

# Sistema para Monitoração e Simulação de Ações de Controle de Tensão em Tempo Real

W. L. Feijó Jr.; F. A. B. Lemos e A. V. Zampieri (GSEE) A. L. Franceschi (RGE)

## RESUMO

Este artigo descreve os resultados obtidos através do desenvolvimento do primeiro ciclo do projeto de pesquisa e desenvolvimento, realizado em conjunto entre a Rio Grande Energia S.A. e o Grupo de Sistemas de Energia Elétrica da PUCRS, intitulado Controle Secundário Coordenado de Tensão. Como resultado principal deste projeto de P&D foi desenvolvido um sistema computacional para auxiliar, os operadores do Centro de Operações do Sistema da empresa, na monitoração e na simulação de ações de controle de tensão para a melhoria do perfil de tensão das barras de um sistema piloto real.

## PALAVRAS-CHAVE

Controle de Tensão, Tempo Real, Simulação e Monitoração de Tensão.

## I. INTRODUÇÃO

A atual tendência de operação dos sistemas elétricos de energia (SEE) de operar em uma faixa próxima de seus limites, devido principalmente a uma indefinição de uma política clara para o setor elétrico, juntamente com a capacidade limitada de investimento na expansão do SEE, vem trazendo condições e exigências cada vez mais prementes para a utilização de sistemas computacionais de supervisão, controle e simulação, uma vez que as condições descritas anteriormente estão conduzindo os SEE a operarem próximo aos seus limites, sendo que tal situação pode conduzir o sistema para uma condição onde não seja possível alcançar um novo estado de equilíbrio após uma perturbação ou mesmo uma ação de controle. Além disso, o fornecimento de energia com requisitos de qualidade, confiabilidade e continuidade é uma exigência cada vez maior por parte dos consumidores, o que implica que as empresas devem buscar a sua eficiência operacional e atender a padrões de operação impostos pelo órgão regulador, tais como níveis de tensão [1] e níveis de continuidade [2]. Dessa forma, em centros de operações modernos, o operador tem a necessidade de não só monitorar

as grandezas, mas também simular uma ação de controle antes de efetuar-la no sistema, afim de avaliar se o estado do sistema após esta determinada ação de controle não estará violando certos limites de operação. Este tipo de estudo usualmente não é realizado em tempo real, sendo realizado em um ambiente denominado *Ambiente de Estudos*, o qual pode ser na faixa de tempo de pré-operação (minutos) e possuir sua solicitação originada por uma tendência de violação propiciada pela monitoração, ou no tempo de pós-operação, determinado pela necessidade de avaliar se as decisões adotadas pelo operador foram as melhores ou mais adequadas para a situação de operação apresentada pelo sistema.

A literatura apresenta várias referências na utilização de simuladores no treinamento *off-line* de operadores [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Esses simuladores expõem os operadores a situações emergências que não ocorrem freqüentemente em um centro de supervisão e controle. Desta forma, eventos como curtos-circuitos severos, colapsos de tensão, operação isolada de parte do SEE devido a ilhamentos, perda de grandes unidades de geração ou blocos de carga podem ser simulados e as respectivas ações de controle tomadas sem qualquer risco para o SEE real. Várias referências [9, 10, 11] apresentam soluções para automação e ações de coordenação de controle de tensão/potência reativa, porém não enfocam o problema no sentido de avaliar se estas condições, quando utilizadas na prática diária da operação, estão corretas ou não.

Com base no exposto acima, este artigo apresenta a estrutura e o desenvolvimento de um conjunto de algoritmos computacionais utilizados para o desenvolvimento de um sistema, denominado Controle Secundário Coordenado de Tensão (CSCT), o qual faz parte do programa de pesquisa e desenvolvimento da Rio Grande Energia S.A. (RGE). Este sistema tem como objetivo disponibilizar, ao operador do Centro de Operações do Sistema (COS) da empresa, uma ferramenta capaz de auxiliá-lo na monitoração, na simulação e na otimização de ações de controle de tensão possíveis sobre o sistema (troca e fixação de tap de transformadores, chaveamento de bancos de capacitores e solicitação de tensão em barras de tensão controlada), de forma a auxiliá-lo nestas tarefas. Em função da complexidade do desenvolvimento desse projeto, foi definido um período de 2 anos para execução de todas as etapas do projeto. Dessa forma, este artigo apresenta os resultados obtidos com a execução do primeiro ciclo do projeto,

Este trabalho foi financiado pela Rio Grande Energia S.A., através do programa de P&D, e pelo CNPq através de um projeto de pesquisa.

W. L. Feijó Jr e A. V. Zampieri são pesquisadores do Grupo de Sistemas de Energia Elétrica (GSEE) da PUCRS. (e-mail feijo@ee.pucrs.br, zampa@ee.pucrs.br).

F. A. Becon Lemos é Professor da PUCRS e Coordenador do GSEE (e-mail: lemos@ee.pucrs.br).

A. L. Franceschi é engenheiro da área de operação da RGE. (e-mail: afranceschi@rge-rs.com.br).

o que contempla a conexão com o sistema SCADA da RGE e com o banco de dados on-line da supervisão (HOL), bem como o desenvolvimento do banco de dados cadastral do sistema de sub-transmissão (CADSEE) e o desenvolvimento de dois modos de operação do sistema. Na seção II é apresentada e descrita a estrutura do sistema.

## II. ESQUEMA GERAL DO SISTEMA

O desenvolvimento do CSCT baseou-se na estrutura de supervisão disponível na RGE, a qual fornece, através de um banco de dados denominado Histórico On-Line (HOL), informações de grandezas elétricas analógicas (potência ativa, potência reativa, magnitude de tensão, corrente por fase, etc..) e informações digitais (estado de operação de disjuntores). Este banco de dados é atualizado, de forma automática, minuto a minuto, disponibilizando todas as informações e dados necessários para a execução do CSCT.

A figura 1 apresenta a estrutura principal do Sistema de Controle de Tensão implementado.

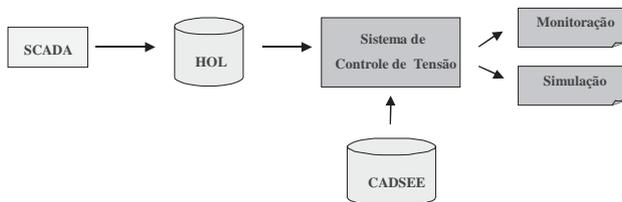


FIGURA 1: Estrutura geral do sistema implementado.

Conforme verifica-se na figura 1 o funcionamento do Sistema de Controle de Tensão desenvolvido utiliza as informações provenientes do sistema de aquisição de dados (SCADA) da RGE, e armazenadas em tempo real no histórico da supervisão (HOL). Além dessas informações, o sistema utiliza as informações cadastrais disponíveis no banco de dados cadastrais CADSEE, desenvolvido em Oracle para suportar esta aplicação.

O sistema dispõe de dois modos de trabalho, o modo de monitoração que possibilita ao operador a visualização, em um ambiente amigável, de todas as variáveis de interesse (nível de tensão das barras, estado dos disjuntores, posição do tap dos transformadores, carregamento de alimentadores) e o modo de simulação, que permite a realização de estudos elétricos estáticos, através da execução de um fluxo de potência, afim de determinar qual a ação de controle mais efetiva para a melhoria do perfil de tensão. Na seção III são descritos em detalhes as características de cada um desses modos de operação.

## III. MODOS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA

O sistema foi dividido em dois modos de operação, os quais podem ser utilizados de forma independente, sendo que as principais características de cada um desses modos são descritas a seguir:

### • MODO MONITORAÇÃO

Neste modo o operador do Centro de Operações do Sistema da RGE terá informações em tempo real das variáveis de interesse especificadas, tais como: nível de tensão por barra, posição do tap de transformadores, estado de disjuntores, carregamento de transformadores, etc. Estas informações são apresentadas em um ambiente gráfico amigável, o qual proporciona uma fácil navegação pelas diversas funções da aplicação. Através do modo de operação, o operador do sistema pode analisar o perfil de tensão das diversas barras do sistema piloto, bem como verificar se estes níveis de tensão estão de acordo aos valores limites estabelecidos na legislação [1], sendo que neste modo existe uma função denominada “ALARME” que monitora as violações de tensão nas barras do sistema. Além disso, é disponibilizado uma ferramenta para o cálculo dos índices de transgressão de tensão (DRP e DRC), a qual apresenta todas as informações pertinentes a determinação desses indicadores, respeitando o período de observação determinado para a análise.

### • MODO SIMULAÇÃO

No modo simulação o operador é capaz de realizar simulações e análises, em tempo real, de ações de controle que possam melhorar o perfil de tensão das barras pertencentes ao sistema sob estudo. Neste modo é possível, por exemplo, solicitar um determinado nível de tensão nas chamadas barras piloto (barras de 69kV pertencentes a Eletrosul e a CEEE), sendo que esta opção foi customizada especialmente a fim de atender uma necessidade específica da RGE. Neste modo também é possível a realização da troca do estado de disjuntores de banco de capacitores (estado ligado ou desligado) ou o ajuste da posição do tap do transformador, de forma a possibilitar ao operador a simulação, através de um fluxo de potência, da melhor ação de controle do nível de tensão.

Neste modo são disponibilizados vários relatórios que auxiliam o operador na tomada de decisão, estes relatórios fornecem, além de outras grandezas de interesse, o valor de tensão de cada barra do sistema, o valor de potência ativa e reativa das barras de carga, o fluxo de potência entre as linhas de transmissão, etc. Além dos relatórios estão disponíveis várias opções de gráficos que fornecem, de uma forma visual, os níveis de tensão por barra.

## IV. resultados

De forma a ilustrar os resultados do primeiro ciclo de desenvolvimento do projeto, são apresentadas e descritas algumas telas do sistema, as quais demonstram a efetividade do trabalho desenvolvido, bem como demonstram a potencialidade da aplicação. Na figura 2 é apresentada a tela inicial do sistema, com um diagrama esquemático do sistema em análise.

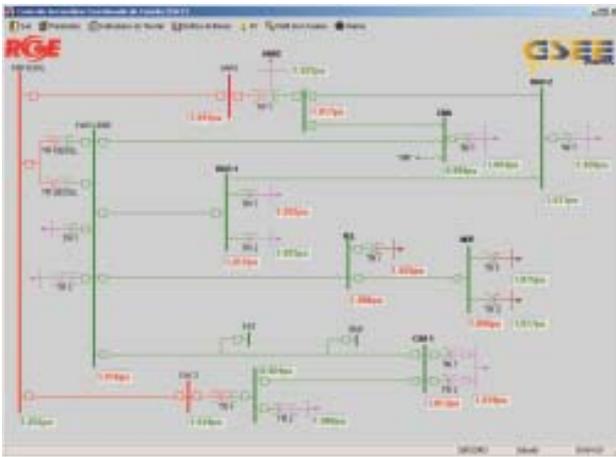


FIGURA 2: Tela principal do sistema - área selecionada.

Conforme verifica-se na figura 2 a tela principal do sistema apresenta todas as tensões de barra do sistema (valores expressos em pu ou kV), sendo que existe uma função que indica, de forma visual através da indicação de cores, se a tensão da barra está violando os limites determinados para o nível de carga do sistema ou se esta tensão tem a tendência de violação nos próximos dez minutos. A identificação por cores é apresentada a seguir:

- Vermelho - tensões violadas
- Amarelo - tensões com tendência de violação
- Verde - tensões normais (sem violação)

Além disso, várias outras funções do sistema podem ser acessadas através dessa tela de monitoração, tais como: parâmetros dos sistema, indicadores de tensão, gráfico de barras, etc. Na tela principal é possível selecionar, através de um simples clique no mouse, uma determinada subestação onde se deseja realizar uma análise mais detalhada da mesma. Para ilustrar estas opções, é apresentada uma tela com o diagrama unifilar da subestação selecionada, conforme é apresentado na figura 3.



FIGURA 3: Tela de diagrama unifilar.

Analisando-se a figura 3 verifica-se o diagrama unifilar da subestação onde é possível visualizar, além do nível de tensão das barras desta subestação, qual a posição atual do TAP do(s) transformador(es), o estado de operação do banco de capacitores (ligado ou desligado) e, também, o carre-

gamento de cada alimentador da subestação. A análise do perfil de tensão de cada barra do sistema pode ser obtida através de um simples clique sobre as indicações de tensão, tanto na tela principal (figura 2), quanto na tela de diagrama unifilar (figura 3). A figura 4 apresenta a tela com o perfil de tensão para uma determinada barra do sistema.



FIGURA 4: Monitoração de nível de tensão por subestação.

A figura 4 apresenta a tela de monitoração do nível de tensão por subestação, sendo que a tensão analisada é fornecida conforme a barra selecionada. Nesta tela é possível analisar-se o perfil de tensão da barra selecionada, comparando-o com os limites de pré-determinados de patamares de carga ou os limites da Resolução ANEEL 505. Além disso, através do quadro de informações, localizado na parte inferior, é possível verificar-se o carregamento geral desta subestação, além das informações de horário e de tensão do ponto analisado. Outra funcionalidade é a visualização gráfica, com indicação das violações de tensão por patamar de carga, dos demais níveis de tensão do sistema.

Para uma análise geral dos níveis de tensão das barras do sistema, a aplicação disponibiliza, ao operador, uma tela contendo o gráfico com todas as barras do sistema e com os seus respectivos valores de tensão, os quais são atualizados minuto a minuto. Esta funcionalidade da aplicação é apresentada na figura 5.

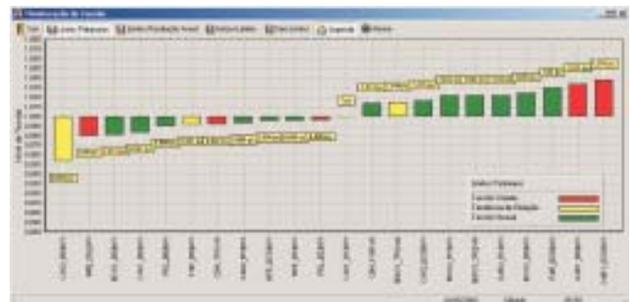


FIGURA 5: Monitoração dos níveis de tensão do sistema, por barra.

A figura 5 apresenta os gráficos de barra implementados no sistema, onde é possível analisar os níveis de tensão por barra em relação aos limites pré-estabelecidos. Estes limites podem ser função dos valores máximos e mínimos de ten

são, cadastrados nos parâmetros do sistema, ou, ainda, os limites definidos pela resolução ANEEL 505. Além disso, é possível verificar as violações de tensão que estão ocorrendo, em tempo real, através da opção de alarmes.

A implantação do CSCT exigiu diversas adequações nos sistemas de tempo real existentes no COS da RGE, bem como em ferramentas de suporte ao CSCT que embora sejam necessárias ao mesmo, criaram uma base para futuras implementações. Dentre estes resultados podemos destacar:

- **BANCO DE DADOS CADASTRAIS - CADSEE**

Banco de dados que suporta o configurador de redes integrante do CSCT, se constitui fundamentalmente de dados cadastrais do Sistema Elétrico, abrangendo tanto características topológicas quanto físicas de equipamentos, podendo portanto ser a base que suporta futuras aplicações elétricas.

- **AMPLIAÇÃO E VALIDAÇÃO DA REDE SUPERVISIONADA**

Avaliando a disponibilidade de supervisão em pontos importantes da malha elétrica sob controle do CSCT, uma ampliação da observabilidade da rede se fez necessária, uma vez que pontos importantes ao projeto não eram supervisionados pela RGE. Aproveitou-se então em fazer-se uma modificação ampla que exigiu a participação da RGE, CEEE e Sul Engenharia. Como resultado a RGE teve um incremento bastante significativo em sua área supervisionada, bem como em sua base de dados históricos.

- **LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS E DOS AJUSTES DOS RELÉS 90 DOS ULTCs DA ÁREA**

Este levantamento gerou um relatório contendo todas as informações relacionadas aos equipamentos de regulação de tensão (relé 90), tais como: tipo de regulador, ajustes setados, tempos de atuação, etc. Além disso, esta disponível neste relatório as informações de funcionamento dos bancos de capacitores de todas as subestações existentes na área piloto selecionada.

## V. CONCLUSÃO

A rápida transformação do setor elétrico brasileiro a partir do processo de privatização e desregulamentação, a exigência de altos padrões de qualidade e continuidade do fornecimento com vistas a estimular a melhoria do serviço prestado pelas concessionárias são alguns desafios impostos as distribuidoras de energia. Diferentemente das áreas de geração e transmissão, onde pesquisas e desenvolvimento de aplicativos computacionais para operação e planejamento sempre ocorreram em grande escala, a área de distribuição é carente de soluções e aplicativos computacionais para o planejamento, operação e gerenciamento do sistema. Verifica-se, entretanto, que nos últimos anos está acontecendo uma reversão deste cenário, uma vez que é crescente o número de trabalhos de pesquisa apresentados em congressos e revistas da área de sistemas de energia. Em nível brasileiro esta reversão se dá

principalmente devido aos Programas de Pesquisa e Desenvolvimento desenvolvidos conjuntamente entre as concessionárias e as Universidades e Centros de Pesquisa, bem como aos Fundos Setoriais da área de Energia. Esta publicação apresenta resultados oriundos de uma pesquisa que está sendo desenvolvida conjuntamente entre o Grupo de Sistemas de Energia da PUCRS e a empresa RGE Rio Grande Energia S.A., dentro do âmbito do programa de P&D.

Neste artigo foram apresentados os resultados obtidos com o desenvolvimento do primeiro ciclo do projeto intitulado “Controle Secundário Coordenado de Tensão”, cujo objetivo é auxiliar o operador do Centro de Operações do sistema na tomada de decisão, quanto as ações de controle de tensão para melhoria do perfil de tensão do sistema em estudo. Através dessa aplicação, que encontra-se em operação no COS da RGE, o operador possui uma ferramenta de fácil manuseio capaz de auxiliá-lo nas suas decisões. Esta ferramenta pode ser incrementada de forma a inserir novas funções que sejam úteis no sentido de agilizar os processos internos da empresa. Dessa forma, a empresa é capaz de melhorar e qualificar o fornecimento de energia a seus consumidores, atendendo as questões legais impostas pelo órgão regulador.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRASIL; 2001. Resolução n. 505, de 26 de novembro de 2001. Estabelece, de forma atualizada e consolidada, as disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente.
- [2] BRASIL; 2000. Resolução n. 024, de 27 de janeiro de 2000. Estabelece as disposições relativas à continuidade da distribuição de energia elétrica às unidades consumidoras.
- [3] M. PRAIS, G. ZHANG, Y. CHEN, A. BOSE, D. CURTICE, “Operator Training Simulator : Algorithms and Test Results”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 4, No. 3, August 1989, pg. 1154-1159.
- [4] M. PRAIS, C. JOHNSON, A. BOSE, D. CURTICE, “Operator Training Simulator : Component Models”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 4, No. 3, August 1989, pg. 1160-1166.
- [5] R. PODMORE, J. C. GIRI, M. P. GORENBERG, J. P. BRITTON, N.M. PETERSON, “An Advanced Dispatcher Training Simulator”, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-101, No. 1, January 1982, pg. 17-25.
- [6] G. ZHANG, A. BOSE, “Scenario Building for Operator Training Simulators Using a Transient Stability Program”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 4, No. 4, October 1989, pg. 1542-1549.
- [7] J. G. WAIGHT, K. NODEHI, M. RAFIAN, H. VON MEETEREN, A. BOSE, “An Advanced Transportable Operator Training Simulator”, *IEEE Power Industry Computer Application Conference (17th PICA)*, No. 1992, May 1991, pg. 164-170.
- [8] R. F. CHU, E. J. DOBROWOLSKI, E. J. BARR, J. MCGEEHAN, D. SCHEURER, K. NODEHI, “The Uses of an Operator Training Simulator for System Restoration”, *IEEE Power Industry Computer Application Conference (17th PICA)*, No. 1992, May 1991, pg. 171-177.
- [9] ROYTELMAN, I.; GANESAN, V.; 2000. Coordinated Local and Centralized Control in Distribution Management Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*. v. 15, n. 2 (Apr.), p. 718-724.
- [10] ROYTELMAN, I.; WEE, B. K.; LUGTU, R. L. et al.; 1998. Pilot Project to Estimate the Centralized Volt/Var Control Effectiveness. *IEEE Transactions on Power Systems*. v. 13, n. 3 (Aug.), p. 864-869.
- [11] ROYTELMAN, I.; WEE, B. K.; LUGTU, R. L.; 1995. Volt/Var Control Algorithm for Modern Distribution Management System. *IEEE Transactions on Power Systems*. v. 10, n. 3 (Aug.), p. 1454-1460.