

COORDENAÇÃO VOLT/VAR EM ALIMENTADORES DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

LEONARDO E. BREMERMAN, FLAVIO A. B. LEMOS

*Grupo de Sistemas de Energia Elétrica, Prog.de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, PUCRS
Av. Ipiranga 6681, Partenon 90619-900 Porto Alegre, RS, BRASIL
E-mails: bremer@ee.pucrs.br, flavio.lemos@pucrs.br*

VLADIMIRO MIRANDA

*Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto – INESC – Porto
Rua Dr. Roberto Frias 378, Campus da FEUP 4200-465 Porto, PORTUGAL
E-mail: vmiranda@inescporto.pt*

Abstract — This paper presents a methodology to voltage coordination in distribution system using a cascade of Mamdani Fuzzy Controllers. The control devices considered are On-Load Tap Changer - OLTC and capacitor banks in substation, and Line Drop Compensator - LDC and capacitor banks along of feeders. The system can assess the control effectiveness for the distribution system operating on radial or meshed networks, and considering the inclusion of distributed generation. The system demand is modeled using a load curve. To illustrate the methodology performance it is used a system operating with different topologies.

Keywords — *Voltage control, reactive power, fuzzy logic, Mamdani controller, distribution system*

Resumo — Este artigo apresenta uma metodologia para coordenação de tensão em alimentadores de distribuição utilizando controladores *Fuzzy* do tipo Mamdani. São considerados como dispositivos de controle os transformadores com mudança de *tap* sob carga (*LTC*) das subestações, os reguladores de tensão com compensador de queda (*LDC*) dos alimentadores e os bancos de capacitores das subestações e dos alimentadores. O sistema permite avaliar a efetividade do controle para o sistema de distribuição operando de forma radial ou em anel, bem como com a inclusão de geração distribuída. A demanda do sistema é modelada através de uma curva de carga. Para ilustrar o desempenho da metodologia são apresentadas análises de um sistema exemplo com diferentes topologias.

Palavras-chave — Controle de tensão, Potência reativa, Lógica *Fuzzy*, Controladores de Mamdani, Sistemas de distribuição

1. Introdução

Como um produto, que deve ser fornecido a seus consumidores, a energia elétrica necessita manter padrões de qualidade e confiabilidade de fornecimento que são regulados por normas e resoluções, fiscalizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, no Brasil. Um dos aspectos fundamentais do serviço de entrega do produto “energia elétrica” é a manutenção do nível de tensão de fornecimento dentro de uma faixa entre 0,93 *pu* e 1,05 *pu* (*per unit*). Esses limites são estabelecidos pela Resolução ANEEL 505/2001, os quais devem ser obedecidos em todos os níveis de tensão do Sistema de Distribuição (SD). Desta forma, torna-se fundamental dispor de sistemas que possibilitem simular e analisar ações de controle que sejam efetivas para manter as tensões nos alimentadores dentro de uma faixa pré-determinada, em condições normais de operação para a curva de carga diária, bem como apresentar as melhores soluções factíveis de operação para condições de emergência.

Ao longo dos anos várias pesquisas vêm sendo realizadas no sentido de desenvolver algoritmos que

sejam capazes de tratar o problema de controle de tensão/potência reativa, chamado de controle volt/var, bem como avaliar a sua efetividade em esquemas de controles centralizados e automatizados.

As referências (Roytelman e Shahidepour, 1993) e (Roytelman et alli, 1995) apresentam aspectos teóricos e práticos de automação e discutem a implementação de algoritmos de controle volt/var como funções de modernos *DMS* (*Distribution Management Systems*). Em (Roytelman et alli, 1998) são relatados e discutidos aspectos técnicos e de efetividade da implantação de um método de controle volt/var em um sistema piloto. Algumas referências abordam o problema de forma desacoplada, fazendo, por exemplo, coordenação de banco de capacitores e reguladores de tensão (Baran e Hsu, 1999) e de reguladores de tensão e transformadores com mudança de *tap* sob carga (Lu e Hsu, 1995).

Nos últimos anos começou a ser explorada a utilização de sistemas baseados em lógica *fuzzy* para abordar problemas em diversas áreas em sistemas de energia (El-Hawary, 1998; Momoh et alli, 1995). O problema de controle de tensão utilizando lógica *fuzzy* permite construir sistemas que incorporam incertezas típicas de SD, como por exemplo, o baixo número de pontos de monitoração e a incerteza nos valores das demandas. As referências (Miranda et

alli, 2007; Miranda e Calisto 2002; Ekel *et alli*, 2001; Rahideh e Shaheed, 2006; Yokoyama *et alli*, 1993; Su *et alli*, 1996) são algumas das que apresentam propostas para utilização de controle de tensão baseado em sistemas *fuzzy*.

Neste artigo apresenta-se uma metodologia baseada em controle *fuzzy* para coordenar ações de controle volt/var em alimentadores de distribuição, para condições normais e de emergência. Esta metodologia é um aprofundamento e especialização da metodologia desenvolvida por Miranda (Miranda *et alli*, 2007). Os dispositivos disponíveis para atuação são os transformadores com mudança de *tap* sob carga, banco de capacitores das subestações, os reguladores de tensão e banco de capacitores instalados ao longo dos alimentadores de média tensão.

Para validar a metodologia apresentada, são analisadas simulações de um alimentador exemplo de distribuição operando de forma radial e em anel.

2. O Problema volt/var

O atual nível de automação dos SD que permite aumentar o número de pontos monitorados está impulsionando o desenvolvimento e a utilização de controle centralizado volt/var, tornando-o, segundo Roytelman *et alli*. (1995), uma das funções mais importantes dos modernos *DMS (Distribution Management Systems)*. Este tipo de controle é filosoficamente separado em duas funções: o controle de tensão e o de reativos (Green e Wilson, 2007).

O controle de tensão (*Volt Control*) é projetado para controlar os transformadores *LTC (Load Tap Changer)* das subestações e os reguladores de tensão, do tipo *LDC (Line Drop Compensator)*, instalados nos alimentadores, com o objetivo de manter um perfil adequado de tensão ao longo de todo o alimentador em função da carga e do fluxo disponível de reativos, ajustando o *tap* dos dispositivos para atingir o ajuste implementado.

O controle de reativos (*var Control*) é projetado para controlar os bancos de capacitores instalados na barra de baixa tensão das subestações e ao longo dos alimentadores. A função principal destes dispositivos é reduzir o fluxo de reativos na rede, através do suprimento local de reativos. O resultado é a melhoria do fator de potência com a redução das perdas, liberando potência e ajudando na melhoria do perfil de tensão para a variação de demanda diária.

Tanto o controle de tensão como o de potência reativa, devem ser implementados considerando faixas de atuação, bandas mortas e limites operacionais. Os ajustes destas funções costumam ser realizados de forma *off-line*.

Baseado na metodologia *fuzzy*, o controle volt/var possibilita integrar as duas funções de forma a manter um perfil adequado de tensão para as várias condições de demanda que acontecem durante a

operação diária e sazonal do sistema, proporcionando uma operação segura e econômica.

Este tipo de metodologia deve ainda permitir que em situações de emergência, onde costuma existir reconfiguração e remanejamento de carga, novos ajustes possam ser implementados durante a operação do SD, de forma *on-line*, via sistema *SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)*.

Um sistema volt/var centralizado deve proporcionar ações coordenadas dos equipamentos, atendendo aos seguintes requisitos (Roytelman *et alli*, 1995):

- Possibilidade de implementar diferentes funções objetivos, levando em conta o tipo de operação desejada;
- Remover violações de tensão do sistema;
- Diminuir o fluxo de reativos;
- Manter os níveis de potência reativa e perfil de tensão do sistema para uma operação econômica.

Os esquemas de controle volt/var devem manter a margem de regulação de tensão do sistema em condições normais evitando o esgotamento da capacidade de controle. Este objetivo é alcançado através da coordenação da atuação dos dispositivos, tais como os *taps* e a mudança de *status* dos bancos de capacitores. Como consequência há uma diminuição do desgaste e um aumento da vida útil dos equipamentos.

Para exemplificar o problema de coordenação de tensão em SD, considere a Figura 1, na qual é representado um alimentador de média tensão típico.

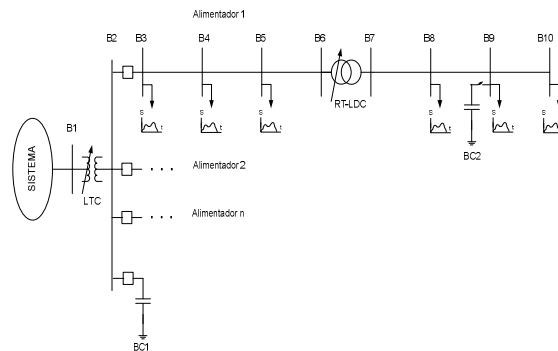


FIGURA 1 – EXEMPLO DE UM ALIMENTADOR DE MÉDIA TENSÃO.

O problema consiste em determinar os ajustes para os *taps* dos transformadores do tipo *LTC* e dos reguladores de tensão, a potência dos bancos de capacitores, da subestação e do alimentador, que devem ser conectados levando em conta a curva de carga diária de cada ponto do SD a fim de eliminar possíveis sub e sobretensões.

A próxima seção apresenta uma proposta utilizando lógica *fuzzy* para tratar o problema de coordenação de tensão em alimentadores de SD.

3. Controle Fuzzy de Tensão

Neste estudo, o problema de controle volt/var em alimentadores do SD vai ser tratado por um conjunto de controladores *fuzzy*, que serão encarregados de coordenar as ações sobre os dispositivos utilizando o método de inferência Mamdani. A metodologia não é rígida em corrigir toda as tensões para um valor alvo pré-estabelecido, por exemplo 1,0 pu, mas sim, reduzir a diferença de tensão entre os pontos dos alimentadores para que todas as tensões estejam dentro de um intervalo aceitável de operação, por exemplo, [0,93 1,05] pu.

Para entender o funcionamento do método utilizado, torna-se necessário apresentar um conjunto mínimo de definições (Miranda e Calisto, 2002) utilizadas na concepção do controle coordenado, as quais são apresentadas a seguir.

3.1 Severidade de Violação de Tensão

Para o efetivo funcionamento da estratégia de coordenação de tensão é necessário estabelecer um intervalo de tensão que atenda à operação normal e segura, dada pela inequação:

$$V_k^{\min} \leq V_k \leq V_k^{\max}, \text{ para todos os } k \text{ nós.}$$

Se as tensões de todos os nós estiverem dentro deste intervalo, não é necessária nenhuma ação de controle. No caso da Resolução ANEEL 505/2001, isto equivale a dizer que as tensões acima de 0,93 pu e abaixo de 1,05 pu satisfazem este critério. Entretanto, se o operador achar necessário, ele pode estreitar o intervalo de controle, fazendo com que as tensões estejam inserida em uma faixa mais restrita, conforme mostra a Figura 2.

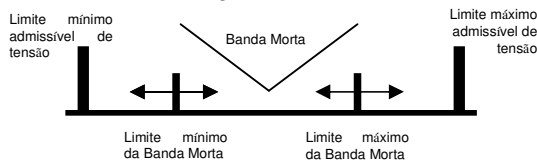


FIGURA 2 – INTERVALO DINÂMICO DOS LIMITES DE OPERAÇÃO.

Este mesmo raciocínio vale para as condições de emergência onde, devido a situações extremas em que é necessário manter o atendimento, a faixa pode ser relaxada, isto é, os limites podem ser alargados para permitir que uma coordenação de tensão seja possível, permitindo o SD operar com a melhor condição de tensão dentro das limitações de operação.

Dessa forma, a severidade da violação irá ser proporcional à diferença do valor do nó k que se afasta dos limites pré-definidos, ou seja

$$\Delta V_k = V_k - V_k^{\min} \text{ ou } \Delta V_k = V_k - V_k^{\max}$$

podendo assumir valores positivos e negativos. A “severidade da violação” de tensão é a segunda variável de entrada do controlador C2, conforme mostra a Figura 3.

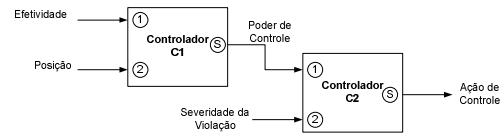


FIGURA 3 – BLOCO DE CONTROLADORES FUZZY DE TENSÃO.

3.2 Efetividade

O problema de controle de tensão em alimentadores está associado à mudança da posição do tap dos LTC e dos reguladores de tensão, bem como do status de operação dos bancos de capacitores. Essas são ações discretas, embora algumas metodologias considerem uma simplificação e assumam a mudança de tap como uma variável contínua. O fato é que o cálculo da matriz sensibilidade através de variações infinitesimais não é adequada para obter um índice de efetividade do controle para este tipo de problema.

Deste modo, a construção de uma matriz de sensibilidade é executada através da média dos desvios de quatro pontos de funcionamento (Miranda e Calisto, 2002).

As linhas da Matriz Sensibilidade gerada serão representadas pelos nós e as colunas pelos equipamentos de controle. Esta matriz gera um índice de efetividade que é a primeira variável de entrada do controlador C1, conforme Figura 3.

3.3 Identificação da posição do controle

Esta etapa tem dois objetivos: realizar uma varredura dos equipamentos no SD para verificar a posição dos taps e o status dos bancos de capacitores e a disponibilidade destes equipamentos, atendendo a seus valores máximos e mínimos. Assim é possível identificar, de acordo com o nível de disponibilidade de ação de controle exigido, qual o ponto do SD e quão severo é o problema de tensão, se há possibilidade de executar uma dada ação de controle e em qual ou quais dispositivos.

É importante para a obtenção de resultados satisfatórios que nessa etapa esteja definido um planejamento da disponibilidade de ação de controle. Isto significa que de acordo com a característica de cada SD é possível deixar os dispositivos mais ou menos limitados, mantendo uma reserva maior ou menor de regulação, ou ainda, especificar se um ou mais dispositivos, em particular, devem ou não executar uma certa ação de controle. Esse

planejamento depende das características de cada SD.

A “posição de controle” é a segunda entrada do primeiro controlador *fuzzy*, como mostra a Figura 3.

3.4 Poder de Controle

O “poder de controle” é o sinal de saída do primeiro controlador *fuzzy* de tensão, conforme Figura 3. É resultado da combinação dos sinais de entrada “efetividade” e “posição de controle”. Seu significado é qualitativo, ou seja, o dispositivo em questão poderá ter grande poder de controle positivo ou negativo, pequeno poder de controle positivo ou negativo, ou ainda, poderá não ter poder de controle. Os sinais estão associados ao problema de tensão que poderá ser de sub ou sobretensão. Este sinal de saída também é um dos sinais de entrada para o segundo controlador *fuzzy*.

3.5 Ação de Controle

O sinal “ação de controle” é a tomada de decisão que será executada sobre um determinado dispositivo, por exemplo, mudar a posição de um *tap* ou ligar determinada potência de banco de capacitores.

Este sinal é resultado da combinação das variáveis “poder de controle” e “severidade da violação”. O valor é “desfuzzyficado”, ou seja, é um valor real necessário para corrigir a violação de tensão. Se for utilizado em nível de operação, tempo real, este sinal pode ser enviado ao dispositivo via sistema *SCADA*.

Na Figura 3, a “ação de controle” é a saída do controlador C2.

4. Metodologia Desenvolvida

A metodologia desenvolvida neste estudo está baseada na teoria de lógica *fuzzy* combinada com ferramentas de configuração e fluxo de potência para redes de distribuição.

Após a identificação de violação de tensão é construída uma Matriz Sensibilidade, comentada em 3.2. Baseada nessa matriz e na identificação da pior violação de tensão, a metodologia verifica qual dispositivo de controle é mais efetivo para determinado nó.

Dessa forma o programa poderá corrigir a tensão no nó de pior violação e conseqüentemente em outros nós que também são, de maneira menos eficaz, atingidos pelas mudanças efetuadas em determinado dispositivo de controle. Isto significa que, para uma dada ação de controle, não apenas o nó em questão

será afetado, mas outros também. É possível acontecer que a ação efetuada em determinado nó, tenha como conseqüência uma violação de tensão em outro nó que, em princípio, não tinha violação de tensão, mas provavelmente estava no limite da violação. Caso isso ocorra, este nó irá entrar para o conjunto de nós com violação de tensão na próxima iteração do algoritmo. Portanto, o algoritmo só pára quando todas as tensões estiverem dentro do intervalo adequado e pré-estabelecido de operação, ou quando não há mais disponibilidade de controle para efetuar tais ações.

O fluxograma da Figura 4 mostra os principais passos da metodologia desenvolvida.

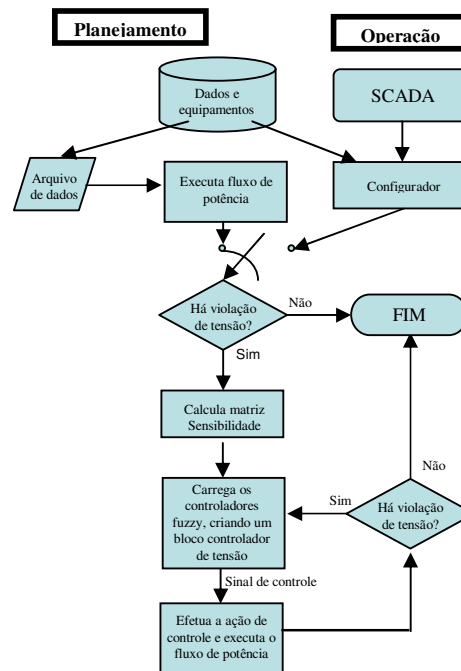


FIGURA 4 – FLUXOGRAMA DO MÉTODO PROPOSTO.

4.1 Estrutura dos Controladores de Tensão

A base da metodologia proposta é uma cascata de dois controladores de Mamdani (Miranda e Moreira, 2007), como mostra a Figura 3.

A estrutura consiste de um bloco de dois controladores de Mamdani em série, formando um bloco de controle central. Esse bloco fornece as ações de controle que auxiliam na tomada de decisão do operador do SD e poderá executar tais ações de controle via sistema *SCADA* de forma *on-line* ou como apoio nas atividades de planejamento da operação.

O processo de atuação dos controladores se dá de forma iterativa, isto é, toda a vez que for detectada uma violação de tensão em um nó ou em um conjunto de nós, é executado o algoritmo de controle volt/var. Inicialmente é criado um modelo da rede através do processador topológico. Após é executado um fluxo de potência para verificar se a rede apresenta

violações de tensão. Em caso positivo, estes valores são enviados aos controladores *fuzzy*, os quais determinam os ajustes de coordenação e os enviam ao modelo de fluxo de potência para avaliar se as ações tomadas foram suficientes para eliminar a violação de tensão.

De acordo com a Figura 3 é possível identificar que os sinais provêm de naturezas diferentes, por exemplo, os sinais de entrada do controlador 1, eficiência de controle e posição de controle. O primeiro é definido através da metodologia apresentada em 3.2. Este sinal é contínuo e representa o valor da Matriz Sensibilidade. O segundo sinal é mais complexo porque envolve posições de *taps* dos reguladores de tensão e dos transformadores *LTC* e a quantidade de reativo dos bancos de capacitores.

Para que esses sinais sejam interpretados pelos controladores é necessário normalizá-los em um intervalo [a,b]. O mesmo foi feito para o sinal de entrada do controlador 2, chamado “severidade da violação”.

4.2 Mapa de Regras dos Controladores

O mapa ou regras *fuzzy* são funções de pertinência definidas qualitativamente com base na experiência dos operadores.

A Tabela 1 apresenta as variáveis linguísticas utilizadas para construir as regras do Controlador C1, onde as linhas são a entrada “eficiência” e as colunas a entrada “posição”, ou seja, o *status* ou posição dos equipamentos de controle. Os valores linguísticos NG, NP, ZE, PP e PG significam respectivamente Negativo Grande, Negativo Pequeno, Zero, Positivo Pequeno e Positivo Grande.

TABELA 1 - REGRAS DO CONTROLADOR C1.

	NG	NP	ZE	PP	PG
NG	PG	PG	PG	PP	ZE
NP	PG	PG	PP	ZE	NP
ZE	PG	PP	ZE	NP	NG
PP	PP	ZE	NP	NG	NG
PG	ZE	NP	NG	NG	NG

A Tabela 2 apresenta as variáveis linguísticas utilizadas para construir as regras do Controlador C2, onde as linhas são a entrada “poder de controle” (saída de C1) e as colunas a entrada “severidade da violação” no nó.

TABELA 2 - REGRAS DO CONTROLADOR C2.

	NG	NP	ZE	PP	PG
NG	PG	PG	ZE	NG	NG
NP	PP	PP	ZE	NP	NP
ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
PP	NP	NP	ZE	PP	PP
PG	NG	NG	ZE	PG	PG

5. Resultados

Esta seção apresenta a avaliação de resultados obtidos através de simulações em uma rede de distribuição exemplo, mostrada na Figura 5.

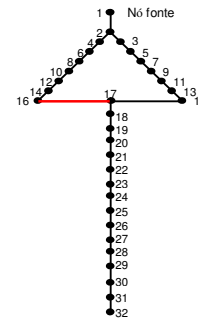


FIGURA 5 – SISTEMA EXEMPLO DE 32 NÓS.

Este sistema é constituído por um transformador *LTC*, um regulador de tensão e três bancos de capacitores, como mostra a Tabela 3.

TABELA 3 – CARACTERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE CONTROLE.

Dispositivos de controle	Localização dos equipamentos	Nº de controle	Faixa de posições / Unidades
Transformador LTC	Entre os nós 01 e 02	02	16 posições
Regulador de Tensão	Entre os nós 24 e 25	25	16 posições
Banco de Capacitores	Nos nós 02, 10 e 13	02, 10 e 13	3 unidades de 600kvar cada

As simulações foram efetuadas com base em uma curva de carga diária, sendo os resultados apresentados na Figura 6 e na Tabela 4

Tabela 4. Essa simulação mostra que os controladores conseguem corrigir as tensões para a banda morta pré-estabelecida de 0,95 pu a 1,05 pu.

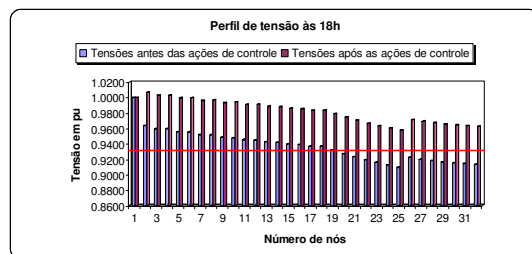


FIGURA 6 – SISTEMA EM ANEL, TENSÕES DAS 18 HORAS.

Quando o sistema opera em anel, Figura 5, observa-se que os dispositivos de controle têm menor número de atuações e têm maior efetividade de controle sobre os nós de um outro alimentador. Por este motivo a potência reativa injetada pelos bancos de capacitores tem uma melhor distribuição e o perfil de tensão do sistema torna-se mais equilibrado.

Durante o dia houve outras ações de controle que podem ser verificadas através da Tabela 4.

TABELA 4 – COMPORTAMENTO DOS DISPOSITIVOS.

Sistema exemplo de uma rede de distribuição radial de 32 barras											
Comportamento dos dispositivos de controle											
Horas	TAP nº 2 em pu		Banco de cap. 2 em pu		Banco de cap. 10 em pu		Banco de cap. 13 em pu		TAP nº 25 em pu		
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	
6	1.0000	1.0312									1.0000
10	1.0312	1.0481									1.0000 1.0000
11	1.0481	1.0500									1.0000 1.0167
16	1.0500	1.0500							0.1292	0.1292	1.0167 1.0167
16	1.0500	1.0500		0.1417		0.1800	0.1292	0.1800	1.0167	1.0167	1.0167 1.0167
22	1.0500	1.0188	0.1417	0.1417	0.1800	0.1800	0.1800	0.1800	0.1800	0.1800	1.0167 1.0167
23	1.0188	0.9880	0.1417	0.1417	0.1800	0.1800	0.1800	0.1800	0.1800	0.1800	1.0167 1.0167

A Figura 7 mostra o perfil de tensão das 22 horas obtido da simulação deste mesmo sistema de 32 nós, mas para uma topologia radial, retirando a linha vermelha que liga os nós 16 e 17 da Figura 5.

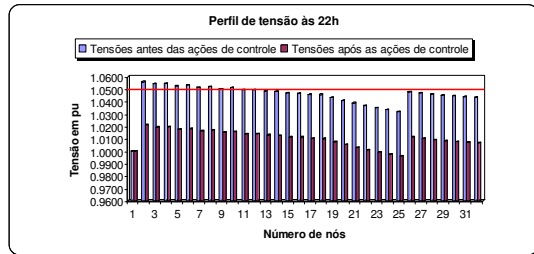


FIGURA 7 – SISTEMA RADIAL, TENSÕES DAS 22 HORAS.

Às 22 horas há um alívio de carga no SD, mas os dispositivos de controle estavam, neste horário, configurados para um perfil de subtensão, em função do horário de ponta. Por este motivo houve sobretensão em alguns nós da rede. Dessa forma, os controladores atuaram no sentido de baixar as tensões do SD para a faixa pré-estabelecida de tensão.

6. Conclusões

Este artigo apresentou uma metodologia para realizar a coordenação dos equipamentos de controle de tensão e potência reativa em alimentadores de energia elétrica. Foram apresentados dois exemplos para ilustrar e validar a metodologia proposta, os quais permitem obter as seguintes conclusões:

- O método corrigiu e melhorou o perfil de tensão dos sistemas;
- Obteve-se uma coordenação adequada para a atuação dos dispositivos de controle;
- Foi possível diminuir a injeção de reativos, mantendo uma reserva.

Os resultados alcançados demonstram a viabilidade da metodologia proposta.

Agradecimentos

Ao INESC-Porto pelo suporte oferecido. O primeiro autor agradece à CELESC S.A. pelo apoio financeiro através de seu programa de P&D. O segundo autor agradece à CAPES pela concessão da bolsa de pós-doutorado.

Referências Bibliográficas

- Baran, M. E. e Hsu, M.-Y. (1999). Volt/var control at distribution substations, *IEEE Transactions On*, Vol. 14, Issue 1, pp. 312 – 318.
- Ekel, P.Y. et alli. (2001). Fuzzy logic in voltage and reactive power control in regulated and deregulated environments, *Transmission and Distribution Conference and Exposition, IEEE/PES*, Vol. 1, pp. 85-90.
- El-Hawary, M. E. (1998). Electric Power Applications of Fuzzy Systems, *IEEE Press*.
- Green, J. N. e Wilson, R. (2007). Control and Automation of Electrical Power Distribution Systems, *CRC Press*.
- Lu, F-C. e Hsu, Y-Y. (1995). Reactive power/voltage control in a distribution substation using dynamic programming, *IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, Volume 142, Issue 6*, pp. 639 – 645.
- Miranda, V. et alli. (2007). An Improved Fuzzy Inference System for Voltage/var Control, *Power Systems, IEEE Transactions On. Vol. 22. pp. 2013-2020*.
- Miranda, V. e Calisto, P. (2002). A Fuzzy Inference System to Voltage/var Control in DMS – Distribution Management System, *14th PSCC – Power System Computation Conference*.
- Momoh, J. (1995). Overview and literature survey of fuzzy set theory in power systems, *IEEE Transactions On. Vol. 10. Issue 3. pp. 1676 – 1690*.
- Rahideh, A. e Shaheed, M. H. (2006). Hybrid Fuzzy-PID-based Control of a Twin Rotor MIMO System, *IEEE Industry Electronics, IECON 2006. pp.48-53*.
- Roytelman, I. et alli. (1998). Pilot project to estimate the centralized Volt/var control effectiveness, *IEEE Transaction on Power Systems. Vol. 13, Issue 3. pp. 864 – 869*.
- Roytelman, I et alli. (1995). Volt/var control algorithm for modern distribution management systems, *Power Systems, IEEE Transactions On. Vol. 10. pp. 1454-1460*.
- Roytelman, I. e Shahidehpour, S. M. (1993). Practical aspects of distribution automation in normal and emergency conditions, *IEEE Transactions On. Vol. 8. Issue 4. pp. 2002 – 2008*.
- Su, C-T. Lin, C-T. (1996). A new fuzzy control approach to voltage profile enhancement for power system, *IEEE Transactions on Power Systems. Vol. 11, NO. 3, pp. 1654-1659*.
- Yokoyama, R. et alli. (1993). A coordinated control of voltage and reactive power by heuristic modeling and approximated reasoning, *IEEE Transactions on Power Systems. Vol. 8. Issue 2, pp. 636-645*.