



**GRUPO IV
GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT**

**INCLUSÃO DO MODELO DE CONTROLE
SECUNDÁRIO DE TENSÃO EM UM PROBLEMA DE FLUXO DE POTÊNCIA**

Thales T. Lopes*
UFJF

José Luiz R. Pereira¹
UFJF

Vander M. da Costa
UFJF

Nilo S. Gomes
CEMIG

RESUMO

O controle secundário de tensão determina as ações de controle baseadas no valor da tensão de referência de certas barras de carga, denominadas barras piloto. Fatores relevantes, de modo a garantir um funcionamento adequado do esquema de controle secundário de tensão, estão na seleção das barras piloto e das fontes de reativo que mais sensibilizam a tensão destas barras. O presente trabalho propõe a aplicação das ferramentas de análise estática de tensão para a seleção das barras piloto e fontes de reativo, assim como a simulação do controle secundário de tensão por meio de um programa de fluxo de potência. Um estudo para o Sistema Regional Leste da Cemig é apresentado, validando a metodologia proposta.

PALAVRAS-CHAVE

Controle Secundário de Tensão, Barras Piloto, Fontes de Reativo, Análise Estática de Tensão, Sensibilidade.

1.0 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem ocorrido um crescente interesse pelo problema do controle de tensão nos sistemas de transmissão, visando garantir segurança e economia para a operação dos sistemas de potência. Estratégias para a manutenção da tensão em níveis adequados e diferentes cenários de carga tem sido, cada vez mais, foco de atenção das empresas do setor de energia elétrica. Estratégias mais modernas de controle de tensão propõem a divisão do sistema em

níveis hierárquicos, em que um nível terciário que atua em âmbito de todo o sistema, regula as ações dos níveis secundários e níveis primários [1, 4].

A estratégia de Controle Secundário de Tensão (CST) tem se mostrado uma eficiente ferramenta para o controle de tensão, já sendo introduzida em alguns países da Europa, como Itália [1], França [2] e Espanha [3]. Sua filosofia baseia-se em manter constante a tensão de algumas barras do sistema, chamadas de barras piloto, mediante ações de controle coordenadas sobre os equipamentos compensadores de potência reativa.

A determinação de barras piloto pressupõe a divisão do sistema de potência em áreas distintas, denominadas zonas de influência, sendo o perfil de tensão da área imposto pela barra piloto [2].

A manutenção do perfil de tensão do nó piloto obedece a uma estrutura de controle hierárquica, sendo a prioridade para ações de controle voltadas para atuação na tensão de excitação de geradores e compensadores síncronos. O chaveamento de capacitores e reatores shunts e a mudança de taps de transformadores on-line também são considerados na estratégia, porém em níveis inferiores de prioridade [1].

A seleção de barras piloto constitui um dos principais pontos de enfoque no controle secundário de tensão. Um dos mais simples métodos que tem sido proposto baseia-se na seleção das barras com a maior capacidade de curto-circuito [2]. Em [6] propõe-se a solução de um problema combinatorial em larga escala, através da minimização de uma função objetiva. A referência [7], por sua vez, propõe a

¹ UFJF– Juiz de Fora - MG - BRASIL (jluz@ieeee.org)

*UFJF – Juiz de Fora – MG - terrola@eletrica.ufjf.br

Tel.: (31)9963-3388

determinação da barra piloto do sistema através do estudo do vetor tangente associado à matriz jacobiana.

O critério para seleção dos grupos geradores tem se voltado principalmente para o estudo de sensibilidade entre a tensão na barra piloto e a mudança na geração de reativos, como pode ser verificado em [3, 7].

A implementação do controle secundário de tensão tem sido realizada empregando, principalmente, técnicas de otimização [1, 3, 4] e estudo de estabilidade dinâmica do sistema [8].

No presente trabalho uma proposta diferenciada é apresentada, na qual a estratégia de simulação do controle secundário de tensão é realizada empregando um Fluxo de Potência em coordenadas polares, obedecendo a níveis hierárquicos de atuação dos elementos compensadores de potência reativa. A proposta para a determinação das barras piloto apresentada neste trabalho baseia-se na utilização do fluxo de potência continuado, das curvas P-V, da análise modal no ponto de colapso do sistema e do estudo do vetor tangente à curva P-V. As informações fornecidas pela análise modal e pelo vetor tangente são comparadas. Após a determinação da barra piloto, avalia-se as barras com fontes de reativo capazes de sensibilizar a tensão da barra piloto para vários cenários de operação do sistema, obtendo-se, assim, as curvas de sensibilidade para cada fonte de reativo. O critério aplicado para a seleção das zonas de influência da barra piloto emprega as curvas P-V e a análise do vetor tangente à curva, considerando que apenas a barra piloto tem a sua carga aumentada no processo de continuação.

A principal vantagem da metodologia proposta é a viabilidade da aplicação para estudos de planejamento da operação, visto que os resultados obtidos se mostram satisfatórios em todos os critérios de análise.

Para avaliação das metodologias propostas optou-se, preliminarmente, por analisar o sistema Leste da Cemig, visto que este atualmente vem apresentando problema com relação à estabilidade de tensão.

2.0 - SELEÇÃO DE BARRAS PILOTO

O problema de seleção de barras piloto pode ser assim formulado:

a) Obtenção do ponto de máximo carregamento do sistema por meio da curva P-V.

b) Estudo dos autovalores e autovetores à direita e à esquerda da matriz jacobiana reduzida por meio da análise modal no ponto de máximo carregamento do sistema.

Considerando apenas a variação incremental de potência reativa no sistema, tem-se:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P\theta} & J_{PV} \\ J_{Q\theta} & J_{QV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (1)$$

Realizando as devidas manipulações matemáticas obtêm-se a matriz jacobiana reduzida:

$$\left(J_{QV} - J_{Q\theta} J_{P\theta}^{-1} J_{PV} \right) \Delta V = \Delta Q \quad (2)$$

$$J_R \Delta V = \Delta Q \quad (3)$$

A análise em função dos autovetores de J_R permite que a equação (3) seja assim reescrita:

$$J_R = \Phi \Lambda \Gamma \quad (4)$$

onde:

- J_R Matriz jacobiana reduzida do sistema;
- Φ Matriz dos autovetores à direita associados aos autovalores da matriz J_R .
- Λ Matriz diagonal dos autovalores da matriz J_R .
- Γ Matriz dos autovetores à esquerda associados aos autovalores da matriz J_R .

O fator de participação das barras em relação a cada modo é assim definido:

$$PB = \Phi \Gamma \quad (5)$$

O fator de participação das barras indica para o modo crítico, a barra que mais contribui para a instabilidade de tensão [5]. Assim, realizando-se um estudo no ponto de máximo carregamento da curva P-V, a barra piloto é aquela que apresentar o maior fator de participação para o modo crítico.

c) Estudo do vetor tangente à curva P-V.

O processo de estimação das variáveis de estado em um fluxo de potência continuado é feito através do vetor tangente $[d\theta \ dV \ d\gamma]^t$, obtido por:

$$\begin{bmatrix} F_\theta & F_V & F_\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\theta \\ dV \\ d\gamma \end{bmatrix} = 0 \quad (6)$$

F_θ , F_V e F_γ referem-se as derivadas da função parametrizada em relação às variáveis de estado para o processo de estimação em um fluxo de potência continuado [5].

No ponto de bifurcação da curva de continuação, o vetor tangente se aproxima do autovetor à direita associado ao menor autovalor da matriz jacobiana, ou autovalor crítico [5]. Desta forma, pode ser usado para indicar as variáveis de estado que sofrerão as maiores variações com o aumento da demanda. A barra que apresentar a maior componente do vetor tangente à curva P-V no ponto de máximo carregamento será a barra piloto. As informações fornecidas pelo vetor tangente e pelo fator de participação das barras são comparadas.

3.0 - SELEÇÃO DE FONTES DE REATIVO

A técnica aqui empregada para a seleção das fontes de reativo capazes de sensibilizar a tensão da barra piloto para vários cenários de operação do sistema, baseia-se no estudo de curvas de sensibilidade obtidas para cada fonte de reativo com auxílio das curvas P-V. As curvas de sensibilidade são determinadas, utilizando-se os seguintes passos: (i)

Para cada fluxo de potência, durante a execução do método de continuação, determina-se um ponto da curva de sensibilidade para cada fonte de reativo; (ii) A determinação deste ponto da curva de sensibilidade consiste em injetar um degrau de potência reativa na barra que possui fonte de reativo e na resolução do sistema linearizado no ponto de operação para cálculo do incremento de tensão na barra piloto; (iii) As curvas de sensibilidade são analisadas para determinação das fontes de reativo mais influentes.

Para um distúrbio aplicado em um gerador ou capacitor situado em uma barra m , o sistema linear a ser resolvido a cada ponto de operação é o seguinte:

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \Delta Q_m \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ddots & \frac{\partial P_k}{\partial \theta_k} & \frac{\partial P_k}{\partial V_k} & \dots & \frac{\partial P_k}{\partial \theta_m} & \frac{\partial P_k}{\partial V_m} & \ddots \\ \dots & \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_k} & \frac{\partial Q_k}{\partial V_k} & \dots & \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_m} & \frac{\partial Q_k}{\partial V_m} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots & \frac{\partial P_m}{\partial \theta_k} & \frac{\partial P_m}{\partial V_k} & \dots & \frac{\partial P_m}{\partial \theta_m} & \frac{\partial P_m}{\partial V_m} & \dots \\ \dots & \frac{\partial Q_m}{\partial \theta_k} & \frac{\partial Q_m}{\partial V_k} & \dots & \frac{\partial Q_m}{\partial \theta_m} & \frac{\partial Q_m}{\partial V_m} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vdots \\ \Delta \theta_k \\ \Delta V_k \\ \vdots \\ \Delta \theta_m \\ \Delta V_m \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (7)$$

No caso dos transformadores de tap variável o processo de obtenção das curvas de sensibilidade é semelhante ao dos geradores, porém o degrau de potência reativa é injetado nos terminais do transformador.

O sistema linear a ser resolvido considerando um transformador entre as barras k e m é da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ \Delta P_k \\ \Delta Q_k \\ \vdots \\ \Delta P_m \\ \Delta Q_m \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ddots & \frac{\partial P_k}{\partial \theta_k} & \frac{\partial P_k}{\partial V_k} & \dots & \frac{\partial P_k}{\partial \theta_m} & \frac{\partial P_k}{\partial V_m} & \ddots \\ \dots & \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_k} & \frac{\partial Q_k}{\partial V_k} & \dots & \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_m} & \frac{\partial Q_k}{\partial V_m} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots & \frac{\partial P_m}{\partial \theta_k} & \frac{\partial P_m}{\partial V_k} & \dots & \frac{\partial P_m}{\partial \theta_m} & \frac{\partial P_m}{\partial V_m} & \dots \\ \dots & \frac{\partial Q_m}{\partial \theta_k} & \frac{\partial Q_m}{\partial V_k} & \dots & \frac{\partial Q_m}{\partial \theta_m} & \frac{\partial Q_m}{\partial V_m} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vdots \\ \Delta \theta_k \\ \Delta V_k \\ \vdots \\ \Delta \theta_m \\ \Delta V_m \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (8)$$

De posse das curvas de sensibilidade de todas as fontes de reativo é possível determinar os geradores, capacitores e transformadores que mais influenciam na tensão da barra piloto.

4.0 - DETERMINAÇÃO DA ZONA DE INFLUÊNCIA DA BARRA PILOTO

O critério para determinação da zona de influência é realizado empregando um fluxo de potência continuado, aumentando apenas o carregamento da barra piloto durante o processo de continuação e analisando o vetor tangente das barras de carga do sistema. As barras com maiores componentes do vetor tangente são barras candidatas a pertencerem a sua zona. O tamanho da zona é definido de acordo com a variação de tensão de cada barra candidata em relação à variação da tensão da barra piloto. As

variações de tensão são obtidas através das seguintes igualdades:

$$\Delta V_k = V_k^{\text{base}} - V_k^{\text{colapso}} \quad (9)$$

$$\Delta V_{\text{piloto}} = V_{\text{piloto}}^{\text{base}} - V_{\text{piloto}}^{\text{critico}} \quad (10)$$

Quando a Equação (11) for verificada, a barra pertencerá à zona de influência da barra piloto.

$$\Delta V_k > ft \Delta V_{\text{piloto}} \quad (11)$$

onde:

ΔV_k Desvio de tensão entre o caso base e ponto de colapso para todas as barras de carga;

ΔV_{piloto} Desvio de tensão entre o caso base e ponto de colapso para a barra piloto;

ft Medida da variação da tensão das barras de carga em relação à tensão da barra piloto;

O número de barras piloto a serem determinadas para o sistema pode ser definido de acordo com o tamanho de ft .

A cada barra piloto selecionada, a sua conseqüente zona deve ser, imediatamente, obtida, uma vez que as barras pertencentes às zonas já determinadas não terão seu carregamento aumentado durante o processo de continuação que visa determinar uma nova barra piloto.

5.0 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA ANALISADO

A região Leste de Minas Gerais é suprida por uma linha de transmissão de 500 kV Neves-Mesquita, por três linhas de 230 kV que partem da SE Taquaril, e conta com uma interligação em 230 kV com a ECELISA, através da linha de transmissão Conselheiro Pena-Mascarenhas.

A Figura 1 apresenta o diagrama unifilar do sistema leste da Cemig simplificado para fins de simulação.

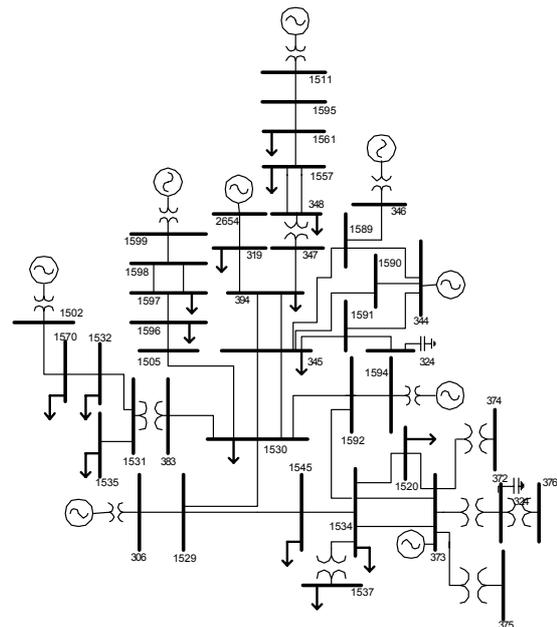


Figura 1: Diagrama unifilar da Regional Leste da Cemig

O sistema mostrado na Figura 1 é composto por 50 linhas e 43 barras, sendo 34 barras de carga, 5 geradores, 1 compensador síncrono e mais 3 barras representando as injeções de potência em 500 kV e 230 kV. A região apresenta um total de 172 MVar disponíveis para chaveamento, e sete transformadores de tap variável aptos a atuar no controle de tensão.

6.0 - RESULTADOS

O estudo foi realizado considerando os períodos de carregamento leve, médio e pesado para a região leste de Minas Gerais. O aumento de carregamento para fins de obtenção das curvas P-V se deu apenas nas barras de carga, sendo adotado modelo de potência constante para o sistema. Para fins de verificação do comportamento da região Leste separada do restante do sistema Cemig, a mesma foi equivalentada em três injeções de potência, correspondentes às barras 344 (Mesquita 500 kV), 373 (Taquaril 230 kV) e 2654 (Mascarenhas 230 kV).

Os histogramas da Figura 2 permitem determinar a primeira barra piloto obtida pela análise modal no ponto de colapso e pelo vetor tangente obtido pelo processo de estimação, considerando o sistema operando em carga pesada.

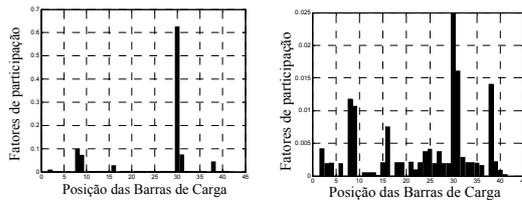


Figura 2: Análise Modal e Vetor Tangente

A Tabela 1 mostra as barras piloto obtidas aplicando ambas as técnicas, para os três níveis de carregamento. Observa-se que para ambas as análises a primeira barra piloto determinada corresponde à barra 30 do arquivo de dados, ou barra 1557 (Teófilo Otoni).

Tabela 1: Seleção de barras piloto

Barra Piloto	Carga Leve		Carga Média		Carga Pesada	
	Análise Modal	Vetor Tangente	Análise Modal	Vetor Tangente	Análise Modal	Vetor Tangente
1	1557	1557	1557	1557	1557	1557
2	1520	1520	1545	1545	1520	1520
3	1535	1535	1532	1532	1532	1532
4	-	-	1597	1597	1597	1597

Após a determinação das barras piloto, avalia-se as barras com fontes de reativo capazes de sensibilizar a tensão de cada barra piloto para vários cenários de operação do sistema. As Figuras 3 e 4 apresentam as curvas de sensibilidade para os geradores e transformadores em relação à barra piloto 1557.

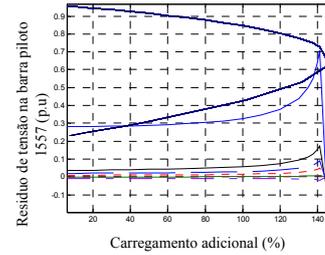


Figura 3: Curva de sensibilidade para geradores.

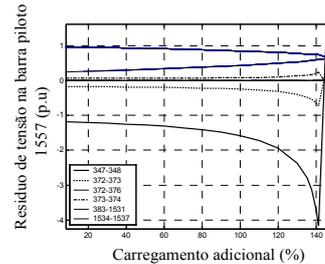


Figura 4: Curva de sensibilidade para transformadores.

O resultado para seleção de geradores em relação às barras piloto anteriormente determinadas, avaliando-se as curvas de sensibilidade é apresentado na Tabela 2. A Tabela 3 mostra o resultado da seleção de bancos capacitores e transformadores para as barras piloto considerando todos os níveis de carregamento.

Tabela 2: Seleção de geradores

Barras Piloto	Geradores Escolhidos para cada Barra Piloto
1520	306, 1594, 346
1532	1502
1535	1502
1545	1594, 306, 346
1557	1511, 2654
1597	1599

Tabela 3: Seleção de Capacitores e Transformadores

Barras Piloto	Capacitores Escolhidos	Transformadores Escolhidos
	Curva de Sensibilidade	Curva de Sensibilidade
1520	374, 375, 324	372-373
1532	324, 374, 375	383-1531
1535	324, 374, 375	383-1531
1545	374, 375	372-373
1557	324	347-348
1597	374, 375	372-373

A definição da zona de cada barra piloto varia de acordo com o tamanho definido para ft . Os resultados foram obtidos considerando $ft=10\%$ e $ft=25\%$. Quando

se emprega uma variação de 10%, 3 barras piloto são determinadas para o sistema, enquanto que para 25% uma barra adicional extra é determinada (1597), considerando os carregamentos médio e pesado. A Figura 5 apresenta as zonas definidas quando se considera um f_t de 25% e o período de carregamento pesado no sistema leste Cemig.

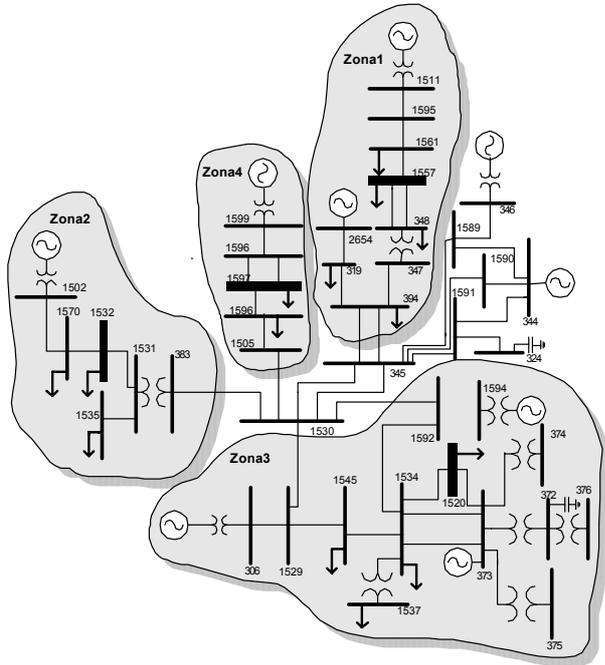


Figura 5: Zonas de controle para a Regional Leste da Cemig.

6.1 Estratégia de Controle Secundário de Tensão Aplicado a Seleção Descrita

A estratégia de controle secundário de tensão aqui adotada parte do caso base e procura manter as tensões dos barramentos nas faixas recomendadas. As fontes de reativo envolvidas no controle de tensão estão agrupadas em três níveis hierárquicos de atuação. A prioridade de controle é dada aos grupos geradores associados a cada ponto piloto, ficando, em secundário, o chaveamento de bancos capacitores e por último a atuação na tensão da barra controlada pelo transformador. O fator de participação dos geradores envolvidos em controle secundário foi definido inicialmente de acordo com a capacidade instalada de geração de reativos, porém este foi sendo ajustado com a intenção de impedir que alguns barramentos próximos aos geradores violassem um dos seus limites de tensão.

O chaveamento de bancos capacitores é realizado de modo discreto, sendo que um banco entra em atuação quando um dos geradores esta operando próximo dos seus limites de potência reativa. A modificação da tensão da barra controlada por um transformador só é aplicada quando todos os bancos capacitores relativos à zona da barra piloto já tiverem sido chaveados.

As Tabelas 4 e 5 ilustram as principais condições operativas iniciais, antes da aplicação do controle secundário de tensão para o sistema operando sob carga pesada. Verifica-se que a tensão de algumas

barras encontra-se fora da faixa de tensão recomendada para a operação do sistema.

Tabela 4: Condições operativas iniciais

Barra	Tensão (kV)	Ângulo (Graus)	Limites de Tensão (kV)
344	533.59	0.00	520 – 550
345	235.19	-2.583	230 – 238
394	232.48	-8.077	225 – 238
1520	220.12	-3.911	229 – 237
1529	229.23	3.403	232 – 238
1530	234.24	-2.786	230 – 238
1531	159.78	-6.864	162 – 168
1534	221.92	-3.519	230 – 237
1570	160.91	-4.196	158 – 166
1592	231.81	-3.003	232 – 238
1597	67.80	2.245	–

Tabela 5: Condições operativas iniciais

Barra de Geração	Geração	
	(MW)	(Mvar)
306	119.99	-21.78
344	587.00	249.60
346	0	13.778
372	159.81	-20.083
1502	68	8.398
1511	20	0.340
1594	7	16.094
1599	78	-10.112
2654	-52,99	8.856

A estrutura do controle secundário aplicado para a região leste é feita considerando a presença de 3 ou 4 barras piloto. O compensador síncrono localizado na barra 346 não é empregado na estratégia de controle de tensão das barras 1520 ou 1545, ficando livre para absorver os excessos de reativo da área, ou fornecer potência para as barras que não estão agrupadas em zonas distintas.

Os geradores associados a cada barra piloto não se alteram com a variação do nível de carregamento. De acordo com o período de carga vigente, um novo fator de participação entre os geradores envolvidos no controle secundário de tensão é definido. A Tabela 6 apresenta o fator de participação adotado para os geradores que realizam controle secundário de tensão, considerando as oscilações diárias da carga.

Tabela 6: Fator de participação dos geradores

Geradores Atuando em CST	Carga Leve	Carga Média	Carga Pesada	Barra Piloto Controlada
306 / 1594	7:3	-	4:6	1520
306 / 1594	-	3:7	-	1545

As Tabelas 7 e 8 apresentam as condições operativas decorrentes da aplicação do controle

secundário de tensão à região Leste da Cemig, considerando-se a presença de 3 ou 4 barras piloto e com o sistema operando com carregamento pesado.

Tabela 7: Condições operativas com o CST

Barra	CST em 3 Barras Piloto (KV)	CST em 4 Barras Piloto (KV)	Limites de Tensão (kV)
344	533.59	533.59	520 – 550
345	237.59	237.67	230 – 238
394	235.67	235.71	225 – 238
1520	230.00	230.00	229 – 237
1529	234.01	233.97	232 - 238
1530	236.86	236.94	230 – 238
1531	162.07	162.12	162 – 168
1534	231.38	231.38	230 – 237
1570	166.11	166.07	158 – 166
1592	234.55	234.56	232 – 238
1597	68.11	69.00	–

Tabela 8: Condições operativas com o CST

Barra de Geração	Geração	
	(MW)	(Mvar)
306	120	-12.857
344	580.89	120.88
346	0	-2.2079
372	166.59	-17.00
1502	68	32.110
1511	20	18.018
1594	7	-19.286
1599	78	-13.56
2654	-52.99	-1.405

Pode-se verificar que o emprego da quarta barra piloto não contribui significativamente para melhoria do perfil de tensão geral da Regional Leste da Cemig.

O valor dos bancos capacitores chaveados pelo programa, considerando a variação sazonal da carga, é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Bancos de capacitores chaveados

Barra com Banco Capacitor	Bancos Capacitores Chaveados (MVar)			
	Carga Leve	Carga Média	Carga Pesada	Valor do Banco Capacitor (MVar)
324	-	25	75	100
374	-	24	24	24
375	-	-	-	48

As simulações para carga média e pesada foram feitas considerando-se já chaveados os 24 MVar relativos a barra 374. O chaveamento de 75 MVar em carga pesada proporciona a manutenção da geração nas barras 306, 1502 e 1594, além da melhoria do perfil de tensão de algumas barras de carga.

O controle de tensão na barra 373, realizado pelo transformador da subestação de Taquaril 230 kV, é considerado para todos os períodos de carga diários, sendo sua tensão operada próxima ao limite inferior da faixa. Esta ação possibilita um melhor controle de tensão na malha Regional Leste. Para o carregamento pesado, considerou-se o controle local de tensão na barra 376 pela ação de transformador, uma vez que esta barra apresentava níveis de tensão abaixo do aceitável.

Os resultados foram obtidos considerando uma estratégia de controle que visasse reduzir a atuação de transformadores e o chaveamento dos bancos capacitores. Alternativas diferentes de controle, empregando os transformadores não considerados e se valendo das áreas e barras piloto determinadas podem ser avaliados.

7.0 - CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma metodologia para análise do problema de controle secundário de tensão em redes elétricas. Esta técnica foi aplicada ao sistema Regional Leste da Cemig e os resultados obtidos foram satisfatórios.

Os resultados desta metodologia podem ser aplicados em estudos referentes ao planejamento operacional, podendo selecionar os melhores locais para a instalação de equipamentos de compensação de reativos, ou definir as ações de controle mais efetivas a serem tomadas.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] V. Arcadiacono, S. Corsi e R. Chinnici, "The Regional Voltage Regulator for ENEL's Dispatchers" *CIGRE*, Session 1996.
- [2] P. Lagonotte, J. C. Sabonnadiere, J. Y. Léost e J. P. Paul, "Structural Analysis of the Electrical System Application to Secondary Voltage Control in France," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 4, No.2, May, 1989.
- [3] J. L. Sancha, J. L. Fernández, A. Cortés e J. T. Abarca, "Secondary Voltage Control: Analysis, Solutions and Simulation Results for the Spanish Transmission System," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 11, No.2, May, 1996.
- [4] N. Janssens, "Tertiary and Secondary Voltage Control for the Belgian HV System," *IEEE Colloquium on International Practices in Reactive Power Control*, London, April, 1993.
- [5] L. C. Leite, "Análise Estática da Estabilidade de Tensão Via Formulação de Injeção de Corrente," Dissertação de Mestrado, UFJF, 2002.
- [6] A. Conejo e M. J. Aguilar, "Secondary Voltage Control: Nonlinear Selection of Pilot Buses, Design of an Optimal Control Law, and Simulation Results," *IEEE Proceedings online*, Vol.145, No.1, January, 1998.
- [7] A. C. Valle, G. C. Guimarães, J. C. Oliveira e A. J. Moraes, "The Use of Tangent Vectors for Voltage Collapse Analysis," *International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies 2000*, London, April, 2000.

- [8] G.N. Taranto, N. Martins, D.M. Falcão, A.C.B. Martins, "Benefits of Applying Secondary Voltage Control Schemes to the Brazilian System," *Proceedings of the IEEE PES Summer Meeting*, Seattle, W.A, July, 2000.