



GAT-010

21 a 26 de Outubro de 2001  
Campinas - São Paulo - Brasil

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

**POLÍTICAS, CRITÉRIOS E PROCEDIMENTOS PARA  
COMPENSAÇÃO REATIVA E CONTROLE DE TENSÃO**

José Roberto Valadares (\*)  
CEMIG  
Companhia Energética de Minas Gerais

Maria Helena Murta Vale  
UFMG  
Universidade Federal de Minas Gerais

LRC – Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Descargas Atmosféricas

**RESUMO**

Este trabalho apresenta o estágio atual de desenvolvimento de uma *Estratégia para Compensação Reativa e Controle de Tensão aplicada ao Planejamento da Expansão* de sistemas elétricos de grande porte, fruto das investigações que vêm sendo realizadas numa parceria entre a CEMIG e a UFMG. Tal estratégia, expressa através de *Políticas, Critérios e Procedimentos*, objetiva uma maior utilização dos recursos existentes no sistema elétrico, sem perder de vista os estímulos necessários à sua expansão, atendendo os critérios de qualidade de fornecimento de energia. Os resultados da aplicação prática da metodologia proposta, em rede elétrica da empresa, são também apresentados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compensação reativa, controle de tensão, planejamento da expansão, critérios e procedimentos

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Historicamente, na prática dos *Sistemas de Energia Elétrica* (SEE), os principais objetivos da compensação reativa eram corrigir os valores de tensão em seus barramentos, bem como minorar os efeitos da postergação de obras. O comportamento das grandezas elétricas, caracterizado pela grande sensibilidade entre as variáveis tensão e potência reativa, sempre justificou seu tratamento conjunto. Porém, o controle de tensão durante muito tempo foi visto sob enfoque pontual e localizado, sem ser considerado dentro de um contexto mais amplo de controle de injeção/fluxo de potência reativa.

Atualmente, além dos aspectos teóricos que envolvem a questão, diversos fatores de natureza prática motivam uma nova visão para o tratamento da compensação reativa e do controle de tensão tratando-os de forma integrada, num caráter sistêmico.

Dentre tais fatores, destaca-se o processo de reestruturação do setor elétrico Brasileiro onde há o interesse pela máxima utilização dos recursos existentes no SEE, buscando a minimização de investimentos, dentro de padrões de qualidade cada vez mais rígidos.

No atual modelo organizacional do setor, o provimento de suporte de tensão/potência reativa será regulamentado como um serviço ancilar. O estabelecimento de Políticas, Critérios e Procedimentos, que regulem o provimento e uso desses serviços, de forma transparente e objetiva, torna-se extremamente importante.

Apesar dos conceitos básicos utilizados na compensação reativa/controle de tensão serem de conhecimento do setor elétrico (3), sua aplicação efetiva não é simples e direta. A solução é bastante complexa, principalmente quando se procura um maior e melhor aproveitamento de sistemas já operando próximos aos seus limites, sem perder a qualidade de fornecimento de energia.

Apesar da complexidade envolvida, os ganhos advindos com compensação reativa e controle de tensão adequados estimulam a investigação sobre o tema. Vale lembrar o fato dos custos da compensação serem extremamente atrativos, principalmente quando há restrições financeiras. Sendo assim, com o objetivo de investigar os diversos pontos envolvidos e propor soluções práticas aplicáveis a sistemas de grande porte, a CEMIG e a UFMG iniciaram, há algum tempo, trabalhos conjuntos sobre o tema (1, 2, 5).

A partir destes, foi desenvolvida toda uma estratégia aplicada ao *Planejamento da Expansão* e, neste artigo, o atual estágio de desenvolvimento desta é apresentado. Além dos passos da metodologia é também incluída sua aplicação em sistemas reais.

(\*) CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais  
Avenida Barbacena 1200, 8º andar, Ala B1, Depto: ST/PL - Santo Agostinho  
30123-970 - Belo Horizonte - MG - Brasil  
Tel: (0xx31) 3299-4807 - e-mail: jrobertv@cemig.com.br

## 2.0 - ESTRATÉGIA PARA COMPENSAÇÃO REATIVA E CONTROLE DE TENSÃO- POLÍTICA E CRITÉRIOS

### 2.1 Desenvolvimento da estratégia: considerações

A compensação reativa, efetuada de forma adequada, é necessária para, dentre outras razões: (a) garantir um maior e melhor aproveitamento do sistema elétrico existente; (b) propiciar equilíbrio no balanço geração/consumo de potência reativa; (c) ajustar os fatores de potência, tanto da carga quanto da rede, e os módulos de tensão; (d) eliminar o uso inadequado de equipamentos controlados (por exemplo, a utilização de síncronos atendendo à potência reativa da carga); (e) disponibilizar, para a operação, uma condição adequada para o controle de tensão e, principalmente, o atendimento ao sistema.

O desenvolvimento de estratégias que possibilitem a obtenção dos ganhos de uma compensação reativa bem planejada requer a união de **conhecimentos multidisciplinares**, sem os quais corre-se o risco de se elaborar metodologias pouco ou nada aplicáveis na prática. Esta visão de desenvolvimento é discutida na referência (6), a qual mostra que tais conhecimentos, ponto de partida para a elaboração das políticas, critérios e procedimentos, se relacionam à *formulação* e *solução* do problema a ser resolvido. Dentre outros, é vital conhecer:

O comportamento do sistema elétrico: compreender a relação entre a compensação reativa e a máxima transferência de potência das redes, os limites de estabilidade de tensão e eletromecânica, o valor do SIL (*surge impedance loading*), a penetração harmônica na rede, os efeitos da energização dos equipamentos, dentre outras. Várias destas questões estão detalhadamente discutidas em (5).

As características do sistema elétrico sob investigação e de suas interligações, incluindo informações sobre a rede (geração, transmissão e carga - comportamento, modelagem e previsão), sobre os recursos disponíveis (investimentos financeiros, equipamentos de controle, sistemas de supervisão, controle e processamento de informações etc.) e sobre a filosofia operativa da empresa (hierarquia de controle, tipos de controle, normalizações etc.).

A filosofia operativa e a legislação do setor elétrico no qual o sistema se insere, envolvendo, dentre outras, questões de fronteiras entre sistemas, valores de grandezas a serem respeitados (tensão e fator de potência, principalmente), relacionamento entre os agentes envolvidos, hierarquia de controle do SEE.

As ferramentas computacionais disponíveis e métodos de solução aplicáveis, destacando-se aqueles relacionados à otimização do SEE.

Os avanços tecnológicos relacionados a equipamentos e sistemas de supervisão e controle.

Esses aspectos são fundamentais em todas as etapas relacionadas aos sistemas elétricos, da expansão à operação em tempo real. No entanto, cada uma delas possui a sua meta principal e, portanto, os considera sob diferentes enfoques. Neste trabalho, a estratégia apresentada é aplicada à Expansão do SEE, porém de forma integrada às outras etapas.

Com base na estruturação das informações adquiridas, procede-se à **formulação** do problema envolvido com o controle de tensão/compensação reativa. Apesar deste ser, em essência, caracterizado como de otimização multiobjetivo, sua formulação não se mostra trivial.

A consideração dos inúmeros aspectos levantados anteriormente tornam o problema de grandes dimensões. A experiência dos planejadores é vital para determinar as condições de contorno a serem impostas à otimização. Os objetivos (mínima alocação de reativos, otimização de perdas, mínimo custo de investimentos, máxima segurança do sistema etc.) e restrições (limites de equipamentos e da rede, dificuldades operativas etc.) devem ser muito bem definidos e ponderados, para que se obtenha uma solução aplicável na prática.

Estando o problema bem formulado, passa-se à **elaboração dos critérios e procedimentos** a serem seguidos pelos planejadores. Os critérios definem a direção/forma como deverão ser feitos a compensação reativa e o controle de tensão. Os procedimentos, atendendo os critérios, apresentam os passos a serem seguidos para a elaboração do plano de expansão.

Observa-se que uma estratégia bem fundamentada e consistente permite a atualização dos critérios e procedimentos.

### 2.2 Política para o planejamento

#### 2.2.1 Questões básicas

As grandezas *injeção* (geração e consumo) e *fluxo de potência reativa* são, obviamente, tratadas de forma conjunta com o *módulo da tensão* das barras do SEE. No entanto, para que o problema global seja resolvido, atendendo os objetivos e restrições impostos, este é tratado nesta metodologia através de duas questões básicas denominadas *Compensação Reativa* e *Controle de Tensão*.

Procura-se formular e solucionar o problema global de otimização envolvido. Porém, mesmo para o atendimento apenas das restrições relativas aos valores de fator de potência e de módulo das tensões, tal problema atinge grandes dimensões, tornando inviável sua solução em uma única etapa. Várias são as funções objetivo, sendo algumas delas conflitantes e, para determinadas questões, apresentam difícil formulação analítica (ponderações de custos e funções específicas dos equipamentos, por exemplo).

A *compensação* diz respeito ao provimento de potência

reativa ao sistema, de forma a compensar o balanço de oferta e de demanda do mesmo, evitando-se a circulação de reativos. O *controle de tensão* garante, para as diferentes condições de carga e operação, um perfil de tensão dentro dos limites estabelecidos.

### 2.2.2 Diretrizes gerais para o planejamento

A análise das características do SEE, dos objetivos e das restrições envolvidas, indica como política, o atendimento dos seguintes pontos:

- É necessária uma visão integrada dos sistemas de transmissão e distribuição;
- Para análise das necessidades de *compensação reativa* é necessária a avaliação de, pelo menos, cinco níveis de carga (anos no estudo);
- A *compensação* deve ser encarada como uma obra de curto prazo, devido aos prazos e custos necessários à sua viabilização;
- A *compensação* deverá ser alocada o mais próximo possível do local onde ela é necessária;
- Para a *compensação*, poderão ser utilizados: geradores, reatores, capacitores (*série/shunt*), compensadores síncronos e estáticos;
- Para *controle de tensão*, além das manobras e ajustes dos equipamentos acima, poderão ser utilizados equipamentos específicos tais como reguladores de tensão e LTC;
- Todas as ações de *controle de tensão* deverão ser integradas, considerando os sistemas de transmissão e distribuição;
- A filosofia de *controle* deverá ser hierarquizada em três níveis: local (subestação ou alimentador), regional (distribuição) e global (Rede Básica);
- Para *controle de tensão* deverão ser respeitadas as portarias da ANEEL e os Procedimentos de Rede (ONS);
- Deverá existir uma caracterização bem definida da função do banco de capacitores, se usado para função de compensação reativa, ou controle de tensão, em níveis local, regional ou sistêmico;
- É recomendável que os bancos de capacitores sejam manobráveis de forma automática;
- Os sistemas regionais deverão atender as suas próprias necessidades de *controle de tensão*.

### 2.3 Critérios para o planejamento

Uma vez estabelecida a estratégia básica ditada pela política de planejamento, os critérios a serem adotados na busca da segurança do SEE, do atendimento à legislação vigente, do melhor aproveitamento da rede, dentre outras questões, são assim identificados:

- O dimensionamento da compensação deverá ser feito de forma a garantir o critério N-1 para a transmissão e N para a subtransmissão;
- Deverão ser consideradas, para o sistema de transmissão, as contingências mais severas de linhas e equipamentos. Sugere-se, como contingências mais severas, aquelas que produzirem maior corte de carga por subtensão. Deverão ser avaliadas contingências nas linhas que

se caracterizam como estruturais para os sistemas regionais;

- Na transição de condição normal para emergência não serão permitidas medidas corretivas;
- Na transição da carga leve para média e pesada será permitida a atuação em bancos de capacitores e reatores, mudança do valor de tensão de referência e, como último recurso, o desligamento de linhas de transmissão.
- Os compensadores síncronos e estáticos deverão ser ajustados para que, em condição normal, gerem o mínimo possível, e em contingências não ultrapassem suas capacidades. Estes foram planejados para atender o controle diário de tensão e as situações de contingências;
- O fator de potência dos grandes consumidores, atendidos em tensão acima de 34,5kV, deverá ser considerado no mínimo igual a 92%. Na interface transmissão/distribuição e entre distribuidoras, o fator de potência deverá estar próximo de 1.0;
- A manobra de bancos não poderá provocar flutuações de tensão maiores que 5%;
- Para o automatismo dos bancos de capacitores, deverão ser identificadas as melhores variáveis de controle (tensão, corrente, fator de potência).

### 2.4 Procedimentos para o planejamento

Neste trabalho, é apresentado o estágio atual dos procedimentos propostos, caracterizados através do macro-fluxograma da Figura 1. A caracterização dos seus passos é descrita a seguir:

#### Passo (1) - RECORTES DO SISTEMA

Como forma de facilitar as análises, aconselha-se que sejam identificadas as áreas semelhantes que compõem o SEE (regiões de atendimento de uma empresa, por exemplo).

#### Passo (2) - DIAGNÓSTICO DE REATIVO

Elaborar um *Balanço de Potência Reativa* (BPR) da área sob análise, para se observar os elementos consumidores (cargas, linhas, transformadores, reguladores) e as fontes (capacitores, geradores síncronos, estáticos, LT) de potência reativa. Isto permite verificar se há ou não a necessidade de expansão.

#### Passo (3) – SELEÇÃO DE BARRAS CANDIDATAS

- *Critério para atender o Balanço de Potência Reativa*
  - *Análise do fator de potência da barra:* aquelas barras cujos fatores estiverem abaixo de um determinado valor (0,98) são naturalmente candidatas. O consumo de reativo do transformador deverá ser representado como carga. Deve-se fazer um balanço de potência reativa nos níveis local, regional e sistêmico, para verificação do Fator de Potência Global.
- *Critério para atender o Controle de Tensão - Análise de sensibilidade de tensão:* determinar as barras que mais influenciam o sistema, para variação do

perfil de tensão, e menor geração de potência dos síncronos e estáticos.

A partir da consideração destes critérios e, se possível, utilizando programas computacionais já disponíveis (tais como o Anarede, Flupot, Planvar, Pss/E), tem início o processo de tomada de decisão sobre a escolha efetiva das barras candidatas.

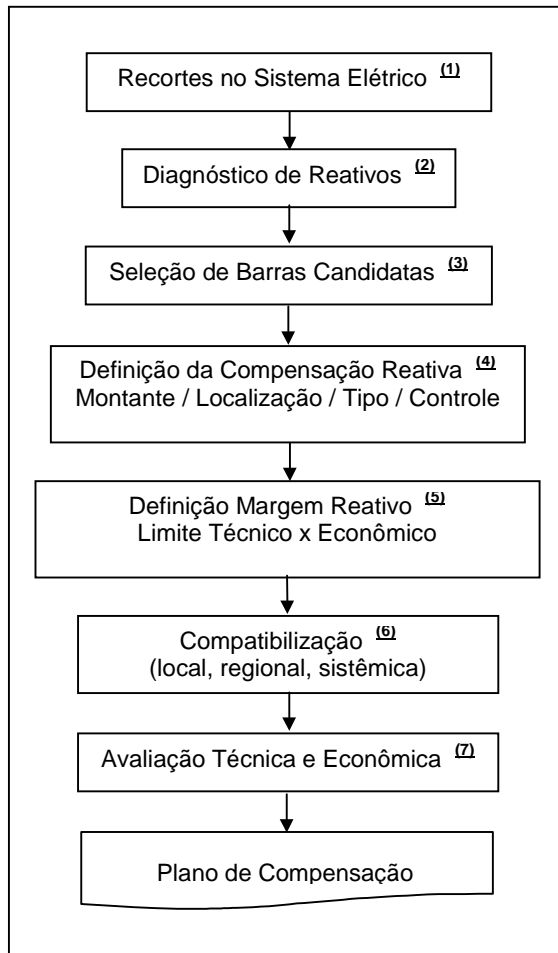


FIGURA 1 – Procedimentos para a expansão

#### Passo (4)-DEFINIÇÃO DA COMPENSAÇÃO REATIVA

##### Montante

Representa o mínimo necessário de compensação para manter a operação do sistema dentro dos limites técnicos adequados. Para a sua definição, propõe-se um fator de potência unitário, para as barras de 13,8kV pois, além de suprir o reativo demandado pelas cargas, deve-se prover as perdas reativas nas transformações (138-13,8kV, 69-13,8kV).

##### Localização

A compensação de potência reativa deverá ser alocada próximo ao local onde ela é necessária, evitando-se sua circulação, que provoca aumento de perdas, dificuldades de controle de tensão, além de ocupar os

equipamentos da rede, restringindo sua capacidade de transporte de potência ativa.

Deverá ser definida, além da localização geográfica, a localização elétrica, seguindo basicamente uma ordem de priorização, ou seja, compensa-se em primeiro lugar a carga (13,8kV), em seguida o sistema de distribuição (138kV) e, finalmente, o sistema de transmissão. Para garantir o controle de tensão recorre-se em primeiro lugar aos recursos da transmissão e, em seguida, da distribuição.

O procedimento de alocação de reativo se baseia na experiência dos planejadores, em conjunto com o uso de ferramentas computacionais de análise, para gerar diversas configurações a serem analisadas. Os princípios básicos que direcionam a elaboração de tais configurações seguem as seguintes etapas:

- Atender critério de fator de potência;
- Atender necessidade de reativo para controle de tensão em condição normal e em emergência;
- Indicar funções objetivo para: minimização de perdas, minimização de custos de investimentos, despacho ótimo de reativo, margem de potência reativa.

A decisão sobre a alternativa mais adequada requer a análise e a ponderação sobre qual delas mais se adequa às políticas estabelecidas para o sistema.

##### Tipo: Compensação Fixa x Controlada

Após a definição do montante de compensação deve-se identificar as parcelas do tipo *fixa* e *manobrável* (controlada). A parcela controlada é calculada através da diferença dos montantes de reativo necessários nas transições de condições operativas do SEE, como por exemplo da carga pesada para leve e condição normal para emergência. Da parcela manobrável é necessário definir o tipo de controle - *manual* ou *automático*, e qual será o tipo de *automatismo*. As variáveis de controle (tensão, corrente, fator de potência) são determinadas de acordo com cada situação, sendo que a manobra de um equipamento poderá demandar mais de uma variável e/ou mais de um ponto de medição.

##### Passo (5) - MARGEM DE POTÊNCIA REATIVA

O limite técnico considerado nos cálculos até o momento corresponde ao limite mínimo de compensação necessária para atender ao balanço e garantir tensões acima dos limites mínimos definidos. A partir deste ponto, a alocação adicional de reativos é permitida até um limite onde o ganho de redução de perdas e de energia não suprida ainda é maior que os custos da instalação, operação e manutenção dessa compensação, ou seja, a relação benefício/custo ainda é maior que um (limite econômico). Esta compensação adicional tem como objetivo garantir uma margem de segurança do sistema, dentro de uma avaliação econômico/financeira. Conforme já citado, as consequências da compensação no comportamento do SEE, com relação ao risco de instabilidade de tensão, devem ser examinadas conforme tratado em (4).

### Passo(6)-COMPATIBILIZAÇÃO DA COMPENSAÇÃO: (LOCAL, REGIONAL E SISTÊMICA)

Nesta etapa avalia-se a simultaneidade de instalação da compensação para as diversas áreas, como também do sistema global. Nesta avaliação, equipamentos para compensação e controle poderão ser redimensionados ou mesmo dispensados, devido à influência de melhoria do perfil de tensão de uma área sobre a outra.

### Passo (7) - AVALIAÇÃO TÉCNICA E FINANCEIRA

#### Avaliação técnica

Deve-se avaliar a disponibilidade física das subestações e a oportunidade de compatibilização da instalação da compensação com outras obras previstas, definindo um cronograma de obras.

Nesta fase, devem ser realizados estudos específicos de regime permanente e transitórios como, por exemplo, energização / desligamento de bancos de capacitores, infiltração harmônica e rejeição de carga.

#### Avaliação econômica

A compensação, definida para cada subsistema ou região, e também os equipamentos de controle associados, devem ser avaliados economicamente, considerando seus custos e benefícios.

Os *custos* referem-se à *instalação* da compensação reativa e equipamentos de controle, bem como à *operação* e *manutenção*. Com respeito aos *benefícios*, são considerados os ganhos de atendimento adicional de mercado, a redução de perdas e a redução de energia não suprida, proporcionados pela instalação da compensação. Deve-se avaliar o benefício desta instalação, no caso de adiamento de obras planejadas. Com a reestruturação do setor elétrico, outros custos e benefícios deverão ser avaliados, tais como o custo da indisponibilização de equipamentos, a tarifação da energia reativa etc.

Após definidos os montantes, a localização, o tipo de compensação e seu automatismo, e também a avaliação técnica e econômica das obras, deverá ser prevista a análise do cronograma de obras, envolvendo as etapas de projeto, construção, instalação e comissionamento do plano.

### 3.0 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

A rede selecionada para aplicação da metodologia proposta pertence à CEMIG. O sistema da empresa é caracterizado por uma região de geração localizada nas bacias dos Rios Paranaíba e Grande, e uma região de carga, na área central do Estado, distantes mais de 450 km. A transferência de grandes blocos de energia entre essas duas regiões é feita através de longas linhas de transmissão (LT) em 345 e 500kV. Há também sistemas de subtransmissão com linhas de 138 e 69kV com extensões da ordem de 400 km do ponto de suprimento. Estas linhas atendem mercados com forte participação residencial, caracterizando uma curva de carga com ponta bastante acentuada e, na

condição de carga leve, atingindo valores bem baixos de carregamentos. Outra característica se apresenta nas regiões Norte e Sudeste do Estado, onde o consumo é preponderantemente industrial, cujas solicitações máximas ocorrem em horários diferentes da ponta global do sistema. Tais características do sistema motivam a utilização de estratégias adequadas de compensação reativa/controle de tensão.

O sistema da empresa é decomposto em sete regiões de atendimento (Metropolitana, Leste, Norte, Triângulo, Oeste, Sudeste e Sul), subdivididas em subsistemas. Para a validação desta proposta utilizou-se uma rede localizada na região leste. Esta é caracterizada por uma carga regional de 130MW, e é atendida a partir de duas linhas de 138kV, alimentando 10 subestações.

Seguindo os passos do procedimento, já identificada a área de estudo, foi elaborado o diagnóstico de reativo. A Tabela 1 apresenta o *balanço de potência reativa* da região e mostra que são necessários 80Mvar em condição normal e 122Mvar em emergência.

TABELA 1 – Balanço de potência reativa

	2001	
	Caso sem capacitores	Emergência Ipat.1-Ipat.3
Carga Reativa	47,50	47,50
Perdas Trafos 138-13,8	12,40	12,80
Perdas Trafos EAT/230/138	16,10	17,30
Reativo Consumido LT	8,60	49,50
<b>Total Carga Reativa</b>	<b>84,60</b>	<b>127,10</b>
Bancos Capacitores	0,00	0,00
Geração Regional	1,00	1,00
Reativo Gerado LT	3,10	3,40
<b>Total Geração Reativo</b>	<b>4,10</b>	<b>4,40</b>
Intercâmbio com Outras Regiões	-80,50	-122,70

Convenção Intercâmbio - recebendo reativo  
+ enviando reativo

A evolução da alocação de compensação reativa seguindo-se os critérios de fator de potência das barras, controle de tensão em condição normal e emergências é apresentada na Tabela 2.

TABELA 2 – Evolução da alocação da compensação

Barra N.o nome	Critérios Determinantes			
	1° FP - Cargas	2° FP - Barras	3° Tensão caso base	4° Emerg.
1201 SAMASM-1-138				
9501 CARANGOL 13R	8,96	14,40	14,40	14,40
9503 CARATING 13R	9,31	10,80	10,80	10,80
9505 CFLCL 138				
9506 INHAPI-2-13R	5,09	7,20	7,20	7,20
9510 IPANEMA 13R	3,98	7,20	7,20	7,20
9520 IPATIN-3-13R	8,42	14,40	14,40	14,40
9502 CARANGOL 138			<b>9,0</b>	9,00
9502 CARANGOL 138				<b>+ 16</b>
<b>Total</b>	<b>35,77</b>	<b>54,00</b>	<b>63,00</b>	<b>79,00</b>

A Tabela 3 mostra as necessidades de reativos para as várias situações de atendimento do sistema.

TABELA 3 – Necessidade de controle de tensão

	Cap. Total (Mvar)	2001			Cap. Total (Mvar)	2003		
		Capitores Ligados				Capitores Ligados		
		Pesada	Media	Leve		Pesada	Media	Leve
1201 SAMASM-1-138								
9501 CARANGOL 13R	14,4	4x3,6	2x3,6	1x3,6	14,4	4x3,6	2x3,6	-
9502 CARANGOL 138	9,0	9,0	-	-	18,0	18,0	9,0	-
CARANGOL 139	16,0	2,06	1,1	2,1	16	2,1	1,8	2,7
9503 CARATING 13R	10,8	3x3,6	2x3,6	1x3,6	14,4	4x3,6	2x3,6	1x3,6
9505 CFLCL 138								
9506 INHAPI-2-13R	7,2	2x3,6	2x3,6	1x3,6	7,2	2x3,6	2x3,6	1x3,6
9510 IPANEMA 13R	7,2	2x3,6	-	-	7,2	2x3,6	-	-
9520 IPATIN-3-13R	14,4	4x3,6	2x3,6	1x3,6	14,4	4x3,6	2x3,6	1x3,6
	<b>79,00</b>				<b>91,60</b>			

A função dos equipamentos alocados (para compensação reativa ou controle de tensão, em nível local, regional ou sistêmico) está indicada na Tabela 4.

TABELA 4 – Definição da função da compensação

Subestação	Equip.	Compensação			Controle de Tensão		
		Loc	Reg	Sist	Loc	Reg	Sist
Carangol-138	4x3,6	X					
Carangol-138	1x9					X	
Carangol-138	Est.+16					X	
Caratinga-138	3x3,6	X					
Inhapi-2-138	2x3,6	X					
Ipanema-138	2x3,6	X					
Patanga-3-138	4x3,6	X					

Após a etapa de definição do montante, da localização, do tipo e do automatismo, procede-se à avaliação da viabilidade econômico/financeira do plano de compensação. Tal avaliação é mostrada na Tabela 5.

TABELA 5 – Avaliação Econômica

	VPL	Ano 1	Ano 2
<b>Dados do Sistema</b>			
Redução de perdas (MW)		2,7	2,5
Redução de ENS (MWh ano)			
<b>Entradas (R\$ mil)</b>	<b>5.229.957</b>	<b>635.766</b>	<b>588.672</b>
Ganhos de perdas	5.229.957	635.766	588.672
Ganhos de Confiabilidade	-	-	-
<b>Saídas (R\$ mil)</b>	<b>5.216.327</b>	<b>4.135.686</b>	<b>545.789</b>
Investimento	4.321.286	4.054.594	455.585
Operação / Manutenção	895.041	81.092	90.204
<b>Custo Global</b>	<b>(13.630)</b>	<b>3.499.920</b>	<b>(42.883)</b>
<b>Relação Benefício / Custo</b>	<b>1,002612931</b>		

Analisando os resultados apresentados, observa-se que a aplicação dos procedimentos apresentou vários ganhos: redução das perdas (2,7 MW, 11,9 Mvar); melhoria do perfil de tensão da região, em condição normal e emergências; atendimento às contingências regionais sem violação e sem corte de carga; atendimento às necessidades de compensação reativa e controle de tensão independente da Rede Básica; viabilidade técnica e econômica.

#### 4.0 – CONCLUSÕES

A metodologia para compensação reativa e controle de tensão discutida neste trabalho é de fácil aplicação, tem apresentado resultados extremamente positivos, e

vem sendo aplicada ao Planejamento da Expansão do sistema da CEMIG.

Apesar do estágio avançado dos desenvolvimentos da metodologia, esta ainda se encontra em fase de ampliação. Dentre os pontos que vêm sendo aprofundados e detalhados encontram-se: (a) passo 7 (avaliação técnica e econômica), principalmente com respeito aos estudos elétricos sobre harmônicos, transitórios e aqueles relativos à estabilidade de tensão; (b) automatismo dos equipamentos; (c) ponderações a serem introduzidas nas formulações de otimização. Encontra-se em fase inicial, o desenvolvimento de um sistema especialista para auxiliar o planejador na expansão da compensação reativa e do controle de tensão, de forma interativa.

Finalizando, pretende-se que a estratégia apresentada neste trabalho possa contribuir de forma significativa para as *empresas* de energia elétrica (melhor perfil de investimentos, melhor qualidade de fornecimento de energia, menor tempo de trabalho das equipes etc.), os *meios acadêmicos* (através da consolidação de uma base de conhecimentos e sua aplicação prática em sistemas reais) e a *sociedade* (maior qualidade da energia recebida, possibilidade da modicidade de tarifas, menor impacto ao meio ambiente etc.)

#### 5.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) COSTA, S.F.S. Controle de tensão de sistemas elétricos de potência: estudo de estratégias globais, Dissertação de Mestrado, PPGEE/UFMG, Belo Horizonte, 1999.
- (2) CARDOSO, R.M. Ferramentas computacionais aplicadas ao controle de tensão de sistemas elétricos de potência, Dissertação de Mestrado, PPGEE/UFMG, Belo Horizonte, 1999.
- (3) GCPS/GTCP/ELETOBRÁS, Critérios e procedimentos para planejamento de sistemas de transmissão – Documento básico, GCPS-035/96, Rio de Janeiro, 1996, 92 p.
- (4) CORTEZ, A. N., Critérios e procedimentos para avaliação de estabilidade de tensão em sistemas elétricos de potência, Dissertação de Mestrado, PPGEE/UFMG, Belo Horizonte, 2001.
- (5) VALADARES, J.R. Políticas, critérios e procedimentos para compensação reativa e controle de tensão em sistemas elétricos de potência, Dissertação de Mestrado, PPGEE/UFMG, Belo Horizonte, 2001.
- (6) VALE, M.I.M., VALE, M.I.M., SILVEIRA, S.F., CARDOSO, R.M. Electric power system voltage control, VII Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Curitiba, Paraná, Brasil, Maio 2000.