



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
XXX.YY
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

**GRUPO XIII
GRUPO DE ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA
E QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA**

**EXPERIÊNCIA COM REGULAÇÃO DE TENSÃO EM REDES MISTAS UTILIZANDO RELÉ COM
PARAMETRIZAÇÕES MÚLTIPLAS**

**Eng. Eduardo Carraro
ELEKTRO S.A.**

**Eng. Carlos Benedik
ELEKTRO S.A.**

**Marcos E. G. Alves *
TREETECH SISTEMAS DIGITAIS LTDA.**

RESUMO

A resolução ANEEL 505 tornou mais estritos os limites para fornecimento de tensão. Com isso, a regulação de tensão era difícil em algumas instalações da Elektro, não se obtendo resultados satisfatórios com relés reguladores convencionais devido à associação de linhas longas alimentando cargas industriais e residências, o que pode causar baixas tensões nos períodos em que o segmento industrial estiver operando em carga leve e o segmento residencial em carga pesada.

São apresentados os resultados de uma parceria entre a Elektro e a Treetech para desenvolvimento de um relé que opera com grupos de ajustes múltiplos, programados para operação automática em faixas horárias e dias da semana. São apresentadas as experiências com este relé em uma S/E 138/34,5kV, que alimenta uma S/E 34,5/13,8kV sem comutação sob carga a aproximadamente 20km. Analisando as curvas de carga do sistema foram elaborados 6 grupos de ajustes para atuações em dias e horários específicos.

A experiência com o novo relé regulador de tensão trouxe ganhos significativos, incluindo melhoria da regulação de tensão, redução do número de operações e do desgaste nos comutadores sob carga e eliminação de investimentos com a troca dos transformadores sem comutação atualmente em operação na S/E 34,5kV, além de evitar os custos com manutenção de novos comutadores.

PALAVRAS-CHAVE

Relé regulador de tensão; qualidade de energia; parametrização; cargas mistas; comutador sob carga.

1.0 - INTRODUÇÃO

Com uma área de concessão formada por 223 municípios no Estado de São Paulo e 5 no Mato Grosso do Sul e atendendo a 1,9 milhão de clientes, a Elektro iniciou suas operações em 1998, através da privatização da área de distribuição de energia elétrica da Cesp.

A Elektro abrange uma área de mais de 120 mil quilômetros quadrados, o equivalente a 37% do Estado de São Paulo, de modo que o perfil dos clientes atendidos inclui indústrias, estabelecimentos comerciais e residências que muitas vezes estão geograficamente distantes e ligados à mesma rede de distribuição. Com isso, observam-se grandes mudanças nas características do consumo em função do horário e do dia semana, incluindo mudanças do perfil diário de carregamento e deslocamentos significativos dos centros de carga.

Nesse contexto, a resolução 505 da ANEEL1, emitida em 26/11/2001, visa assegurar a todos os clientes ao longo da rede elétrica o fornecimento de tensão dentro de limites adequados, e para isso prescreve os níveis considerados aceitáveis, precários ou críticos para a tensão fornecida (Tensão de Atendimento), além dos indicadores e limites para os tempos em que a tensão permanece fora dos níveis aceitáveis. Esses indicadores que vão se tornando gradualmente mais rígidos a cada ano, até atingirem seus valores mínimos definitivos no ano de 2007.

A abordagem tradicionalmente utilizada pela Elektro para buscar atender às determinações da resolução 505 foi a utilização da função Compensador de Queda de Tensão na Linha (LDC, do inglês Line Drop Compensation),

(*) Rua Otávio Passos, 588 – CEP 12942-590 Atibaia, SP – Brasil
Tel: (+55 11) 4413-5272 – Fax: (+55 11) 4411-9192 – Email: marcos.alves@treetech.com.br

presente na quase totalidade dos relés reguladores de tensão existentes no mercado. Essa abordagem, no entanto, não se mostrou satisfatória em algumas situações, devido às mudanças sazonais já mencionadas no perfil dos consumidores ou por mudanças nas configurações do sistema elétrico em situações de manobras ou ainda por característica da carga durante um dia típico onde, durante o dia, a carga é fortemente industrial em determinadas partes de uma região elétrica (distritos industriais) e, no horário de ponta, fortemente residencial em outras partes da mesma região elétrica (bairros residenciais).

Em função disso, a Elektro observou a necessidade de um sistema de regulação de tensão que fosse capaz de suprir as características de sazonalidade de suas redes de distribuição, o que pôde ser obtido no ano de 2004 através de um trabalho conjunto com um fabricante de relés reguladores de tensão (Treetech). Sob este aspecto, este artigo apresentará as experiências e os resultados obtidos tanto nas tentativas iniciais de resolução do problema, como com a aplicação do novo sistema de regulação de tensão, que opera considerando a sazonalidade das cargas.

2.0 - OPERAÇÃO DOS RELÉS REGULADORES DE TENSÃO

2.1 Operação Básica dos Relés Convencionais

A operação dos relés reguladores de tensão está baseada na programação de alguns parâmetros básicos, conforme ilustrado na figura 1.

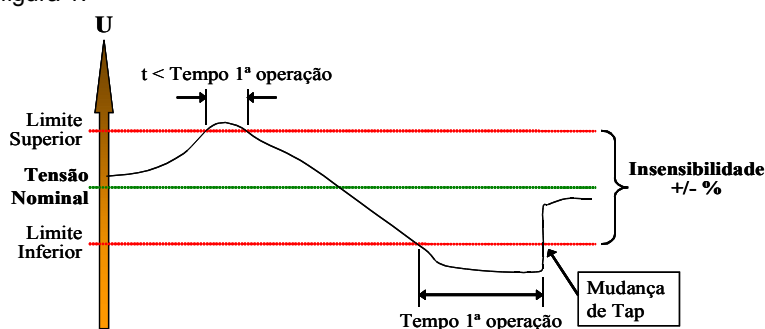


Figura 1 – Parâmetros básicos de operação de um relé regulador de tensão

Estes parâmetros são:

- A tensão nominal ou de referência, que pode estar referida à tensão real de operação do sistema (kV) ou ao secundário do TP (V),
- A insensibilidade, que é a faixa de tolerância aceitável para a tensão acima e abaixo da tensão de referência, definida geralmente como um percentual desta,
- A temporização para efetuar a primeira mudança de tap após a tensão medida permanecer acima ou abaixo dos limites superior ou inferior respectivamente, dado em segundos.
- A temporização acima mencionada pode ser programada ainda para operação por:
- Tempo Definido, em que o retardo para efetuar a comutação é sempre o mesmo (o próprio valor ajustado em segundos), independente da magnitude do desvio da tensão, ou
- Tempo Inverso, em que o retardo para efetuar a comutação (t) é igual ao valor ajustado (T) multiplicado por um fator de redução que é inversamente proporcional à magnitude do desvio de tensão (ΔU) em relação ao ajuste de insensibilidade (Ins), como mostra a equação 1:

$$t = T \cdot (Ins / \Delta U) \quad (1)$$

A programação dos parâmetros acima expostos já seria suficiente para garantir uma boa regulação de tensão na barra da subestação e para as cargas próximas a esta. Porém, para as cargas localizadas mais distantes, as quedas de tensão resistiva e indutiva nos condutores podem fazer com que a tensão que chega à carga esteja abaixo do limite inferior permitido, especialmente quando as correntes de carga forem mais elevadas, como ilustra a figura 2. Por esse motivo, a maioria dos relés reguladores é equipada também com uma medição de corrente de carga e com ajustes para as quedas de tensão na linha.

Como na maioria das aplicações práticas não existe a situação ideal mostrada nesta figura, em que a carga está concentrada em um único ponto, o procedimento usual é adotar um centro de carga fictício, que é um ponto da rede no qual se considera que todas as cargas estão concentradas. Baseado na localização deste ponto são calculados, então, os parâmetros para compensação de queda na linha. O resultado é que, neste ponto específico, a tensão será calculada pelo relé regulador e mantida próxima do valor nominal. Para os demais pontos da rede poderão existir variações, porém se o centro de carga for adequadamente escolhido (e as

características da rede o permitirem) estas variações ainda estarão dentro dos limites superior e inferior permitidos.

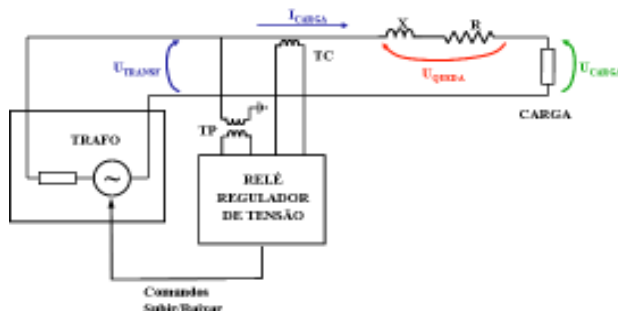


Figura 2 – Queda de tensão na linha e tensão na carga

2.2 Limitações da abordagem convencional

2.2.1 Regulação de tensão ruim nos horários de ponta devido ao efeito de arraste.

Como mencionado acima no item 2.1, a operação dos relés reguladores de tensão está baseada na mudança de tap do comutador somente depois que é detectado um desvio entre a tensão medida e a tensão nominal maior que a insensibilidade ajustada, acrescentando ainda uma temporização antes da mudança de tap para evitar comutações desnecessárias devido a desvios momentâneos da tensão. Durante os períodos em que a carga permanece constante ou tem variação lenta essa abordagem se mostra adequada.

Porém nos horários de ponta, quando a carga apresenta variações rápidas, tanto na subida quanto na descida, ocorre o efeito de “arraste” mostrado na figura 3. Neste gráfico se observa que a tensão média permanece abaixo do valor nominal durante o crescimento da carga, que se inicia por volta das 17:30 horas, justamente o período em que seria necessária tensão mais alta, e o inverso ocorre durante a redução da carga, quando a tensão média permanece acima do valor nominal. Além disso, observa-se que aumentam bastante os períodos de tensão acima e abaixo dos limites superior e inferior permitidos, o que contribui para piorar os indicadores de qualidade prescritos na resolução 505 da ANEEL.

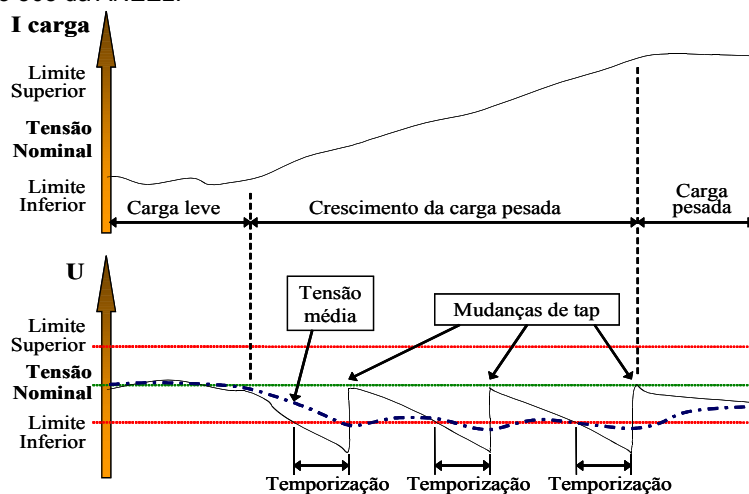


Figura 3 – Efeito de arraste durante os horários de ponta

Uma possível solução para o problema seria a redução dos ajustes de insensibilidade e de temporização do relé regulador, de forma a tornar mais ágil sua atuação nesses períodos de variação rápida da carga. Porém essa solução apresentaria o grave inconveniente de aumentar bastante o número de operações realizadas pelo comutador sob carga durante todo o dia, mesmo nos períodos em que essas operações não seriam necessárias. As conseqüências disso incluem maior custo de manutenção do comutador, já que os intervalos de manutenção são determinados pelo número de operações, aumento dos períodos de indisponibilidade do equipamento devido ao aumento da freqüência de manutenção e aumento no risco de falhas, considerando que o comutador sob carga é uma das principais fontes de defeitos em transformadores.

2.2.2 Compensação de queda na linha ineficiente devido ao deslocamento do centro de carga

Como indicado no item 2.1, o uso da compensação de queda na linha na maioria das aplicações exige a definição de um centro de carga minimamente representativo das cargas conectadas à rede de distribuição. Este processo pode ser aplicado com sucesso em redes onde esse centro de carga permanece praticamente inalterado ao longo

do tempo. Esta hipótese tem boas chances de ser verdadeira se a maioria das cargas conectadas à mesma rede forem de natureza similar, como por exemplo, exclusivamente residenciais, onde a carga máxima com determinado patamar ocorre entre 18 e 20 horas, ou exclusivamente industriais, onde normalmente a carga máxima em outro patamar ocorre entre 7 e 17 horas.

No entanto, em redes de distribuição em que estão conectadas cargas mistas, mesclando, por exemplo, cargas residências e industriais, o centro de carga pode sofrer significativos deslocamentos dependendo do dia da semana ou mesmo do horário ao longo do dia. Em casos como esse, o uso dos relés reguladores de tensão convencionais e do recurso de compensação de queda na linha, descritos acima no item 2.1, não apresenta resultados satisfatórios, visto que os cálculos e parametrizações efetuados considerando a predominância de um dado tipo de carga (industrial, por exemplo) trará como resultados tensões muito altas ou muito baixas quando outros tipos de carga forem mais significativos.

Pode ocorrer ainda, nos casos em que a carga industrial supera a residencial, que a demanda total durante o horário de operação das indústrias, até cerca de 17 horas, seja maior que no período em que predominam as cargas residenciais, das 18 às 20 horas. Neste período, que é quando a carga residencial atinge seu pico de consumo, a tensão na barra da subestação deveria ser mantida elevada, visto que as redes secundárias estão mais carregadas e com seu maior nível de queda de tensão. No entanto, como a demanda total foi reduzida, o compensador de queda na linha diminuirá a tensão na barra da subestação, de forma que as cargas residenciais poderão receber tensões abaixo dos valores mínimos aceitáveis.

2.2.3 Atendimento aos indicadores de qualidade da resolução 505 da ANEEL

A resolução 505 da ANEEL, além de especificar os limites aceitáveis de tensão para o fornecimento, estabelece indicadores para os tempos em que a tensão permanece em níveis precários e críticos, determinando também valores limites para esses indicadores.

Como os níveis de tensão considerados precários e críticos são diferentes quando a tensão está acima ou abaixo do valor nominal, também os tempos admissíveis para os desvios da tensão podem ser diferentes dependendo do sentido do desvio. Com isso, os relés reguladores convencionais obrigariam à programação da temporização de atuação de acordo com o menor desses tempos, levando o comutador a realizar operações desnecessárias na situação inversa, com os inconvenientes já anteriormente mencionados com relação a maior custo de manutenção do comutador, aumento dos períodos de indisponibilidade do equipamento devido ao aumento da frequência de manutenção e aumento no risco de falhas.

2.3 Solução usando relé regulador com parametrização múltipla

As deficiências da abordagem convencional, como acima expostas, levaram a Elektro, no ano de 2004, a buscar no mercado uma solução que permitisse contornar as dificuldades apontadas, o que pôde ser obtido através de contatos com um fabricante nacional de relés reguladores de tensão que culminaram com o desenvolvimento de um relé que permitisse a existência de múltiplas parametrizações simultaneamente no mesmo aparelho e com flexibilização das programações.

2.3.1 Ajustes de parametrizações múltiplas

Com relação às parametrizações múltiplas, o relé assim desenvolvido possui as seguintes características:

- Seis conjuntos completos e independentes de parâmetros para regulação de tensão, sendo cada conjunto composto pelos ajustes individuais a seguir:
 - Tensão nominal
 - Insensibilidade
 - Temporizações para primeira operação
 - Tipo de temporização (tempo Definido ou Inverso)
 - Queda resistiva de tensão na linha
 - Queda reativa de tensão na linha
 - Queda percentual de tensão na linha
 - Limite de elevação de tensão máxima para a compensação de queda na linha.
- Seleção do conjunto de parâmetros a utilizar na regulação de tensão por:
 - Programação de dia(s) da semana (de domingo a sábado) em que cada conjunto deve ser utilizado, complementada com horário de início e de fim da atuação do conjunto, ou
 - Seleção remota do conjunto por meio de entradas para contatos secos.

- Relógio interno com dia, mês, ano, hora, minuto, segundo e dia da semana, com manutenção do acerto do relógio em caso de falta de alimentação sem o uso de baterias internas.

A utilização de relé dotado de parametrização múltipla traz os seguintes benefícios para a regulação de tensão:

- O efeito de arraste pode ser bastante minimizado, uma vez que é possível a adoção de faixas de insensibilidade variadas para cada horário do dia, de modo que nos períodos de pouca variação de carga, como madrugadas ou mesmo durante o dia, podem se utilizar faixas de insensibilidade mais alargadas e com temporizações mais longas, enquanto nos horários em que as variações de cargas são mais bruscas, como o horário de ponta, se utilizam faixas de insensibilidade mais estreitas e com temporização menores. Com isso, evita-se também o aumento do número de operações do comutador sob carga, que de fato pode ser até mesmo reduzido, uma vez que a economia de comutações obtida durante a maior parte do dia no mínimo compensa o aumento durante os horários de ponta, podendo até superá-lo.
- A compensação de queda na linha pode ser otimizada, através da programação de valores de quedas de tensão resistiva e reativa adequados a real localização do centro de carga, levando em consideração os seus deslocamentos devido às cargas mistas (industriais e residenciais) que são conectadas e desconectadas do sistema dependendo do dia da semana e do horário.

2.3.2 Ajustes de temporização flexíveis

Além da função de parametrização múltipla, o relé de tensão desenvolvido possui as seguintes características adicionais:

- Para cada conjunto de parâmetros de regulação, ajuste de 3 valores de temporização para a primeira mudança de tap, sendo cada ajuste de tempo associado a uma faixa de desvio da tensão medida em relação à nominal
- Cada ajuste de temporização subdividido em 2 ajustes independentes: 1 para o caso de tensão abaixo do limite e um para tensão acima do limite.

A tabela 1 fornece um exemplo de parametrização de temporização. É importante observar que os ajustes exemplificados nessa tabela se repetem para cada conjunto de parâmetros de regulação de tensão, permitindo ajustes de temporização diferentes para cada conjunto.

Tabela 1 – Exemplo de parametrização de temporizações para a primeira mudança de tap

Faixa de desvio da tensão	Até 5%	5% a 8%	8 a 10%	Acima de 10%
Tempo para subir tensão	∞	90 segundos	30 segundos	10 segundos
Tempo para baixar tensão	∞	30 segundos	10 segundos	3 segundos

A utilização de relé dotado de ajustes de temporização flexíveis traz os seguintes benefícios para a regulação de tensão:

- Facilita a adequação do fornecimento de tensão à resolução 505 da ANEEL1, ao permitir ajustes de temporizações independentes para cada faixa de desvio da tensão, evitando que sejam excedidos os valores limite para os indicadores de tempos em que a tensão permanece em níveis precários e críticos.
- Evita o aumento desnecessário do número de operações do comutador sob carga ao permitir ajustes diferentes para a temporização de operação quando o sentido do desvio da tensão está acima ou abaixo do valor nominal, evitando que a programação da temporização seja efetuada de acordo com o menor dos tempos permitidos.

3.0 - INSTALAÇÃO DO NOVO RELÉ REGULADOR NA SUBESTAÇÃO BJP

A subestação de Bom Jesus dos Perdões (BJP) alimenta a subestação da cidade de Piracaia através de dois transformadores 138/34,5kV 12,5MVA, equipados com comutadores sob carga, e de uma linha de 17 km em 34,5kV, como mostra o diagrama unifilar da figura 4.

Temporiz. / Desvio 3	4,0 %	4,0 %	4,0 %	4,0 %	4,0 %	4,0 %
Tempo p/ Subir 3	10 seg	10 seg	10 seg	10 seg	10 seg	10 seg
Tempo p/ Descer 3	5 seg	5 seg	5 seg	5 seg	5 seg	5 seg

Como os dois transformadores 138/34,5kV da SE BJP operam em paralelo pelo método mestre-escravo, o novo relé regulador foi instalado em um dos transformadores, de forma a comandar simultaneamente os comutadores sob carga de ambos os transformadores.

4.0 - RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Regulação de tensão

No caso da subestação de Piracaia, objeto de estudo neste trabalho, o principal problema encontrado com a regulação de tensão convencional era a ocorrência de tensões baixas quando da entrada da carga de ponta, devido ao efeito de arraste explanado no item 2.2.1. Este fato pode ser observado na figura 6, onde é mostrado um exemplo com medições obtidas antes da instalação do novo relé regulador de tensão com parametrizações múltiplas.

Os resultados após a instalação do novo relé são mostrados na figura 7, onde se observa que já no início do horário de ponta a tensão é mantida em níveis mais elevados devido à programação específica para o horário das 17:30h às 20:59h (vide tabela 2, coluna “Conjunto 3”).

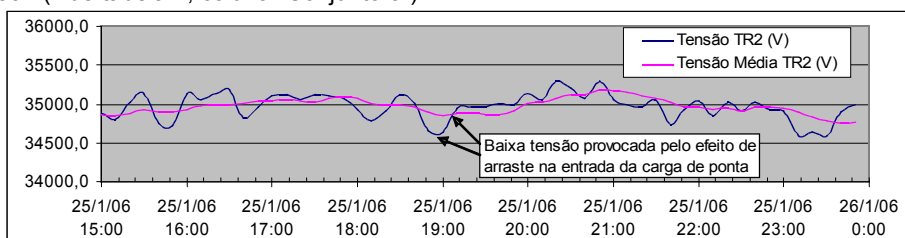


Figura 6 – Tensão na SE Piracaia nos horários de ponta com regulação de tensão convencional

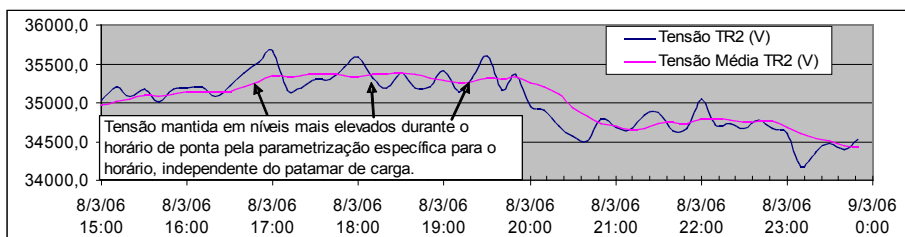


Figura 7 – Tensão na SE Piracaia nos horários de ponta com o novo regulador de tensão

4.2 Manutenção do comutador sob carga

Um importante benefício advindo do uso do novo relé regulador de tensão com parametrizações múltiplas, além da melhor regulação de tensão, é a possibilidade de concentrar as operações do comutador sob carga em determinados dias e horários, seguindo o conceito de economizar em alguns momentos para gastar em outros onde as comutações são realmente necessárias.

Isso pode ser observado na tabela 2, onde se mostra que durante os horários de maior variação na carga, quando a regulação precisa agir de forma mais rápida e precisa, que ocorrem de segunda-feira a sábado das 17:30 às 23:59h e nos domingos das 17:30 às 22:59h, o relé opera com insensibilidade (banda morta) de 0,9% e temporização de 70 segundos para subir e para baixar a tensão. Já nos demais horários, ou seja, de segunda a sábado das 0:00 às 6:59h e nos domingos das 23:00 às 17:29h, o relé opera com insensibilidade e temporização aumentadas para 1,1% e 110 segundos respectivamente.

Tabela 3 – Número de comutações utilizando relé convencional e relé com parametrizações múltiplas

Mês	Ano	Contador	Operações Mês	Operações Acumulado
2	2006	19177	423	90573
1		18754	824	90150

Redução da ordem de 40% no número de comutações

12	2005	17930	754	89326
11		17176	738	88572
10		16438	1211	87834
9		15227	1201	86623
8		14026	1194	85422
7		12832	1192	84228
6		11640	1488	83036
5		10152	1019	81548
4		9133	765	80529
3		8368	1168	79764
2		7200	1218	78596
1		5982	1884	77378
12	2004	4098	832	75494

Os resultados dessa filosofia de ajuste podem ser vistos na tabela 3, onde são mostrados os levantamentos mensais de número de operações do comutador. De Dezembro de 2004 a Janeiro de 2006, quando a regulação era realizada com um relé convencional, a quantidade mensal de comutações nunca foi inferior a 738, chegando a atingir picos de quase 1500 operações/mês no decorrer do último ano. Já o dado mais recente, após a instalação do novo relé regulador em 06 de fevereiro de 2006, indica o número de comutações reduzido a cerca de 420, uma redução da ordem de 40% se mesmo considerando no cálculo o melhor resultado obtido anteriormente com a regulação convencional.

5.0 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A experiência obtida com a aplicação do novo relé regulador de tensão com parametrizações múltiplas demonstrou que ganhos significativos podem ser obtidos com a adoção dessa nova filosofia, em diversos aspectos. Primeiramente foram obtidos ganhos de qualidade no processo de regulação de tensão aos clientes, que no caso estudado foi resultado da possibilidade da parametrização específica para cada faixa horária. Isso permitiu fazer com que o regulador operasse em patamares de tensão distintos de acordo com a situação de carregamento do segmento residencial, mesmo quando o segmento industrial estiver operando em carga leve, como por exemplo, o horário de pico de um domingo.

Adicionalmente, como resultado da flexibilidade da parametrização do relé em função do horário e dias da semana, será possível a redução do desgaste nos comutadores sob carga dos transformadores fontes ao diminuir sensivelmente o número de operações sem sacrificar a qualidade da regulação de tensão. Com isso será possível ampliar os intervalos da manutenção programada nos transformadores de potência, devido à menor quantidade de comutações, reduzindo simultaneamente o risco de falha destes transformadores, considerando que estatisticamente o comutador sob carga é a maior fonte de defeitos em transformadores.

Por fim, com o processo de parametrização inteligente e adequado às características peculiares das cargas, foram obtidos ganhos ao evitar investimentos com a substituição dos transformadores sem comutador sob carga existentes na S/E 34,5kV atualmente em operação, evitando também os custos decorrentes da necessidade de manutenção de novos equipamentos com comutação sob carga.

O bom gerenciamento da regulação de tensão do sistema elétrico, com as funcionalidades do relé regulador de tensão com parametrização múltipla aqui desenvolvido, vêm contribuir para a modicidade tarifária, ajudando a garantir tarifas justas e principalmente zelar pela qualidade do serviço, mantendo a tensão de fornecimento aos clientes dentro da faixa adequada conforme prescrito pela resolução ANEEL 505/2001. Vale ressaltar que o custo do relé regulador de tensão desenvolvido é semelhante aos dos relés convencionais, uma vez que as melhorias foram implementadas através de alteração na lógica de operação, sem alterações significativas de hardware.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) ANEEL: RESOLUÇÃO Nº 505 - Disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente. Brasília / DF, 26/11/2001, última revisão em 28/01/2005.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Eduardo Carraro - Nascido em São Bernardo do Campo, SP, em 22 de Março de 1962, trabalha com a Elektro e Serviços S.A. (anteriormente Cesp S.A.) desde 1988. Especializado em estudos de planejamento da transmissão

e distribuição de sistemas elétricos, formou-se Engenheiro Eletricista em 1986 pela Universidade Santa Cecília dos Bandeirantes, Santos.

Marcos E. Guerra Alves - Nascido no Rio de Janeiro, RJ, em 15 de julho de 1975, trabalha com a Treetech Sistemas Digitais desde 1992. Especializado em sistemas de controle e monitoramento de transformadores de potência, é gerente do departamento de Pesquisas e Desenvolvimento. Formou-se Engenheiro Elétrico em 2001 pela Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, e em 2005 concluiu o seu Mestrado na área de Energia e Automação da Universidade de São Paulo (USP).

Carlos Benedik - Nascido em São Paulo, SP, trabalha com a Elektro e Serviços S.A. (anteriormente Cesp S.A.) desde 1983. Especializado em estudos de planejamento da transmissão e distribuição de sistemas elétricos, formou-se Engenheiro Eletricista em 1978 pela Universidade de São Paulo (USP), e em 1999 concluiu seu curso de especialização na área de Planejamento e Qualidade de Energia na USP.