

## Influência de Bancos de Capacitores na Subestação para Regular a Tensão de Distribuição e Reativo

<b>Geraldo Passarini</b>	<b>Massayuki Suzuki</b>	<b>Dirceu José Ferreira</b>
<b>CPFL Paulista</b>	<b>CPFL Piratininga</b>	<b>CPFL Paulista</b>
gpassarini@cpfl.com.br	msuzuki@cpfl.com.br	djferreira@cpfl.com.br
<b>Odair José Schrimmer</b>	<b>Alexandre Nogueira Aleixo</b>	<b>Alex Almeida Pignatti</b>
<b>CPFL Piratininga</b>	<b>CPFL Paulista</b>	<b>CPFL Paulista</b>
codairjo@cpfl.com.br	aaleixo@cpfl.com.br	alexpignatti@cpfl.com.br

### PALAVRAS-CHAVE

Capacitores  
Chaveamento  
Regulação de tensão

### RESUMO

Este artigo tem o objetivo de repassar a experiência da CPFL em solucionar o problema da reclamação de consumidores devido à oscilação de tensão causada por chaveamento de bancos de capacitores. Desde 1990, quando foi implantada a filosofia de se corrigir a tensão primeiramente pelos bancos de capacitores e secundariamente pelo regulador de tensão, o sistema automatizado funcionava normalmente. Em meados de 2006, começaram a surgir reclamações de clientes devido à oscilação de tensão, que ocasionavam desligamentos onde existiam equipamentos computadorizados com controles mais apurados. Isto é uma consequência do avanço da tecnologia, pois existe uma constante evolução do mercado eletro-eletrônico, no qual os equipamentos tornam-se cada vez mais sensíveis e susceptíveis a influência da variação de tensão e outros fenômenos do sistema.

Dentro desta problemática, foram realizadas várias medições de qualidade de energia nos clientes reclamantes e na Subestação da CPFL, possibilitando detectar que o problema estava relacionado ao chaveamento de capacitores do sistema elétrico.

Para a resolução do problema foi necessário buscar uma melhor estratégia de utilização e controle dos bancos de capacitores, através de estudos considerando-se as variações das cargas, visando à redução de chaveamentos para a regulação de tensão no sistema de distribuição.

## 1. INTRODUÇÃO

A partir de 1990, para permitir um melhor desempenho na regulação da tensão em subestações onde existam grandes bancos de capacitores, foi implantada a filosofia de corrigir a tensão primeiramente pelos bancos de capacitores e depois pelo regulador de tensão. O intuito desta filosofia era a obtenção de melhor controle e desempenho da potência reativa das linhas de transmissão. Desta feita, foi desenvolvido o COREAT, um sistema para controlar e manter o maior número de bancos de capacitores em operação.

Da década de 90 até os dias atuais houve um avanço muito rápido da tecnologia em função da constante evolução do mercado eletro-eletrônico, no qual equipamentos ficaram mais sensíveis e susceptíveis à influência da variação de tensão. Isto se deve ao fato dos equipamentos estarem acoplados a sistemas de controle microprocessados, com análises computacionais, que propiciam maior qualidade de resultados, surtindo em necessidade de controles mais rigorosos nos processos. Normalmente os equipamentos importados são os que sofrem mais as conseqüências por não estarem adaptados à realidade nacional.

Em meados de 2006, houve um incremento considerável de reclamações de clientes em função da oscilação de tensão na região elétrica atendida pela Subestação Campinas Centro. Isto gerou a necessidade da concessionária investigar o que estava ocorrendo nessa região, através de inspeções visuais e termográficas, verificações da influência de cargas especiais na região e o mapeamento geométrico dos reclamantes. Diante destas reclamações, embora tenham sido feitas medições e análises de FDT – Função de Distribuição da Tensão, não foram constatadas anomalias, estando a tensão sempre dentro da faixa adequada, definida pela Resolução nº 505 da ANEEL. Ressalva-se que estas reclamações eram momentâneas e esporádicas, ou seja, não tinham correlação com a frequência dos fatos.

Em uma destas reclamações, houve deslocamento de uma equipe de emergência ao local, porém com a chegada da equipe, o problema já havia se extinguido, o que dificultou a identificação de sua origem, podendo ser proveniente da rede elétrica da concessionária ou das instalações internas de propriedade dos reclamantes. Além disso, as informações fornecidas pelos reclamantes eram geralmente vagas e insuficientes para subsidiar o diagnóstico do que realmente estava ocorrendo.

Em função do que fora relatado pelos clientes e através de uma análise preliminar da situação, optou-se em instalar no ponto de entrega de energia mais afetado um Medidor de Qualidade de Energia. Isso possibilitaria verificar a existência de oscilações ou de possíveis anomalias de tensão no sistema supridor que porventura estivessem causando problemas.

Após coletadas as informações pelo equipamento, foi realizada a análise preliminar do gráfico de tensão obtido, notando-se a existência de oscilações na tensão de fornecimento dentro da faixa adequada, porém com um número elevado de chaveamentos para a correção de tensão.

Em seguida, analisou-se a origem do problema, concluindo-se que esta era proveniente dos chaveamentos de bancos de capacitores instalados na subestação, onde o controle é feito através do sistema de controle de reativo – COREAT.

Confrontando-se os horários medidos de desligamentos e variações de tensão com os dados do sistema supervisorio da subestação e os relatos dos consumidores sobre desligamentos em seus equipamentos, pode-se constatar a coincidência com os horários de acionamento automático dos bancos de capacitores.

Portanto, chegou-se a conclusão da necessidade de efetuar modificações na lógica do COREAT para evitar o chaveamento excessivo do banco de capacitores agregado a um melhor uso do comutador de tensão dos transformadores.

Desta forma, foram propostas as soluções relatadas nesse trabalho, objetivando-se melhorias contínuas na regulação de tensão e controle de potência reativa da subestação Campinas Centro.

## 2. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO

A partir do número elevado de reclamações de consumidores foram feitas verificações de medição de FDT, inspeção visual, inspeção termográfica e influência de cargas perturbadoras, não sendo encontrada anomalias no sistema, estando os níveis de tensão, em regime permanente, fornecidos aos reclamantes, de acordo com os valores adequados estabelecidos pela legislação.

Através do mapeamento geométrico observou-se que essas reclamações eram provenientes da área suprida pela SE Campinas Centro.

Para uma melhor apuração dos fatos, optou-se por instalar um Medidor de Qualidade de Energia para monitorar os valores de tensão fornecidos nessa região elétrica no consumidor mais afetado.

Embora os valores apurados estivessem dentro dos limites adequados, no gráfico foi verificada a existência de variações instantâneas na tensão de fornecimento, não somente nos horários apontados pelos clientes, mas ao longo de todo período da monitoração, conforme gráfico abaixo:

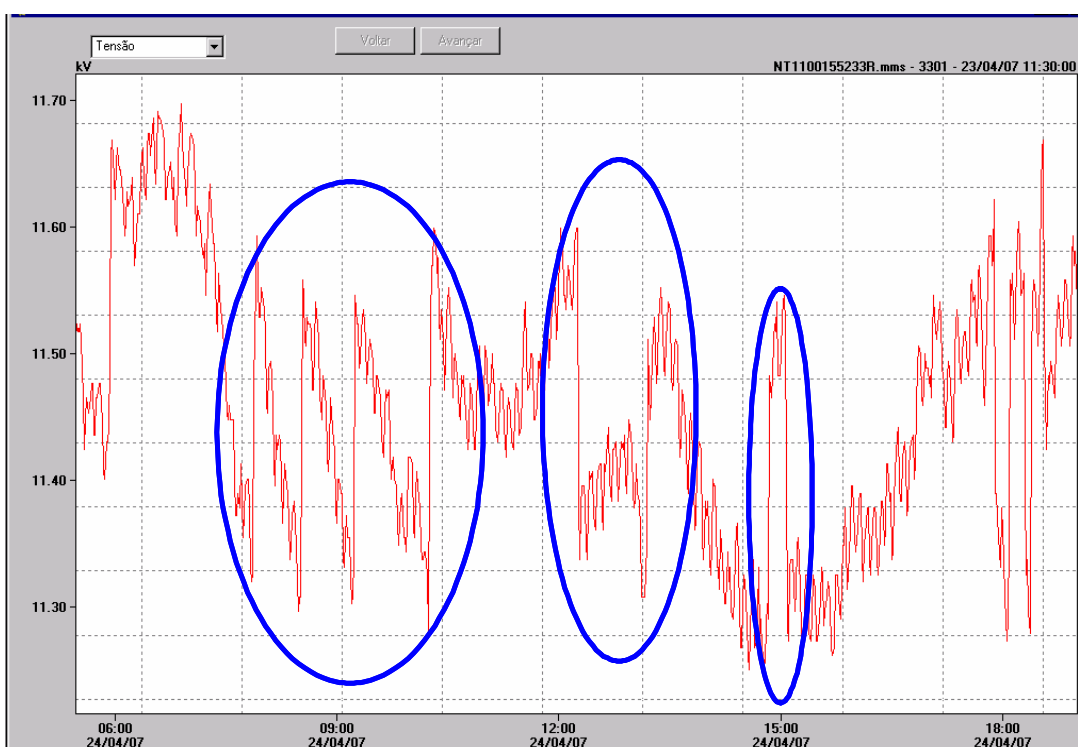


Gráfico 1 - Variação de tensão no consumidor

Analisando-se o gráfico, podemos notar que no período 5 h 00 m a 19 h 00 m do dia 23/04/2007 tivemos 13 comutações para o controle de tensão, número que é elevado. Diante do exposto, iniciou-se uma pesquisa aprofundada dos motivos de tantas comutações, durante um único dia, para correção da tensão na SE Campinas Centro.

### 3. SITUAÇÃO DA SE CAMPINAS CENTRO

A SE Campinas Centro opera com 2 Transformadores de 50 MVA e 2 conjuntos de Banco de Capacitores por barramento de 11,95 kV, cada qual contendo 4 estágios de 3,6 Mvar, sendo o sistema de controle de tensão feito pelo COREAT.

#### **COREAT - Sistema de Controle de Tensão/Reativo:**

A filosofia desse sistema é manter a tensão nas barras das SEs (Regulação automática de tensão) dentro de uma faixa de operação pré-definida, através de dispositivos apropriados para este fim (banco de capacitores e comutadores de taps de transformadores) e ainda possibilitar a redução de fornecimento de energia reativa (regulação automática de energia reativa) do sistema de transmissão, com inserção ou retirada de bancos de capacitores, mesmo estando a tensão dentro da faixa de operação.

#### **Lógica para Regulação Automática de Tensão:**

- Faixa de tensão ajustada entre 11,6 a 11,9 kV
- Com o máximo de capacitores fechados (padrão):
  - Se o limite excedido é inferior, busca-se o próximo equipamento Capacitor, caso não encontre, busca-se o próximo equipamento comutador de taps
  - Se o limite excedido é superior, busca o próximo equipamento comutador de taps, caso não encontre, busca o próximo equipamento Capacitor a ser retirado
  - Tempo de retardo é de 60 s

#### **Lógica para Regulação automática de Potência Reativa**

- Com a subdivisão da faixa de tensão em 3 partes iguais (inferior, intermediário e superior), estavam implementados os seguintes controles:
  - Inferior: liga o capacitor se existir tap para diminuir
  - Intermediário: diminui o tap, se permitir, e após 1 segundo liga o capacitor
  - Superior: diminui o tap
  - Tempo de retardo 30 s<sup>1</sup>

A CPFL adotou a estratégia de realizar as pesquisas e ações em duas etapas, como descritas a seguir.

### 4. TRABALHO DA ETAPA 1

Foram instalados, simultaneamente, medidores de QEE na SE Campinas Centro e em um dos clientes, com o objetivo de relacionar os chaveamentos dos Bancos de Capacitores com as interrupções de energia do cliente.

Através das medições foi possível comprovar a relação entre as reclamações e o número elevado de chaveamentos de capacitores, pelo seguinte:

- A entrada ou saída de 1 estágio de banco de capacitor (3,6 Mvar) causa uma variação de tensão de aproximadamente 220 V no barramento de 11,4 kV (28/06/07)

---

<sup>1</sup> Existe ainda um limite de TAP mínimo em 2.

- A alteração de tensão no sistema 11,4 kV na comutação de taps é de aproximadamente 110 V
- Os chaveamentos dos capacitores operam de modo a ajustar a potência reativa, conforme a filosofia do software implantado
- Praticamente não houve ultrapassagem dos limites inferiores e superiores ajustados da faixa de tensão definida ente 11,6 e 11,9 kV
- Praticamente não existe a atuação dos taps de comutadores de tensão os quais ficam permanentemente em tap 2
- Como a entrada e saída de bancos de capacitores possibilitam o aumento ou redução de tensão em torno de 220 V, a tensão na barra de 15 kV sempre está operando próxima das faixas tanto inferior como superior
- A quantidade diária de chaveamentos de capacitores variava de 26 a 16 por barra;
- A faixa de potência reativa oscilava de  $-3$  Mvar a  $+3$  Mvar

### BARRA 2 (em 29/06/2007):

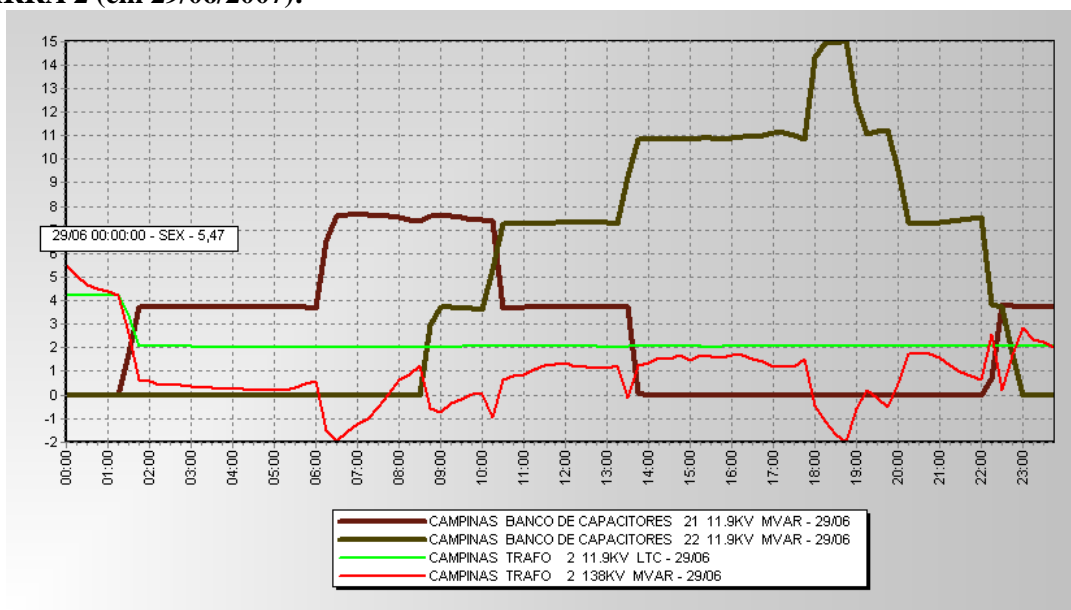


Gráfico 2 – Chaveamento de capacitores x LTC x Mvar x tempo

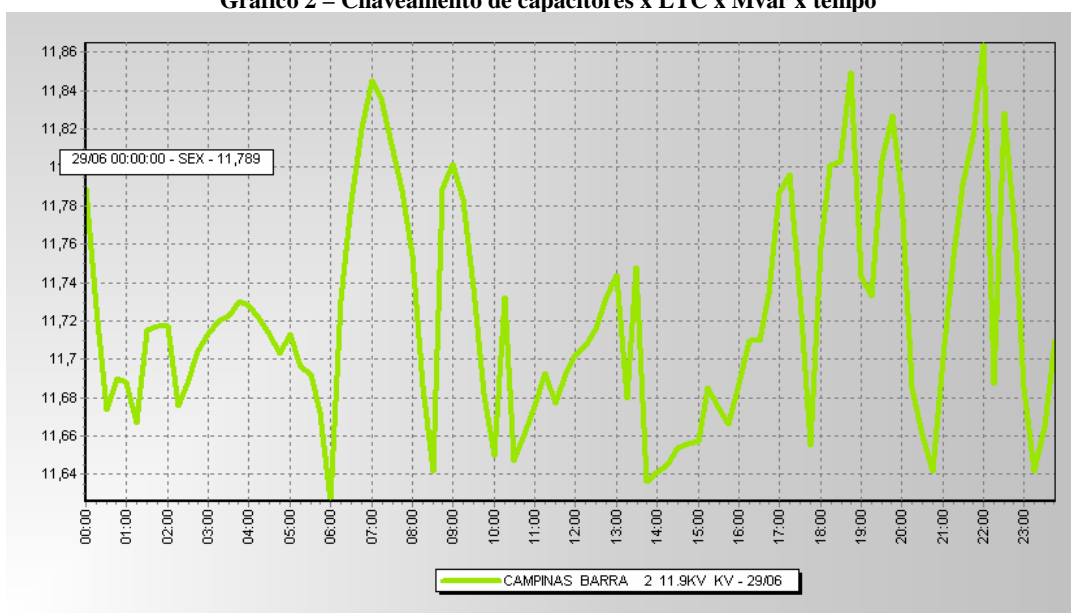


Gráfico 3 - (kV x tempo) - 11,4 kV

## Ações da etapa 1

Pelas análises, chegou-se a conclusão de que havia chaveamentos dos Bancos de Capacitores quando a tensão dos barramentos de 11,4 kV atingia as subfaixas inferior e superior definida pelo Programa COREAT. Assim, num primeiro momento, houve consenso entre as áreas responsáveis da empresa em inibir essas subfaixas, de modo a atuar mais pela Regulação Automática de tensão.

Para avaliar as medidas adotadas, foram realizadas novas medições na SE e no consumidor a partir de 21/07/2007.

## 5. TRABALHO DA ETAPA 2

Na análise das novas medições verificou-se que as ações da Primeira Etapa não proporcionaram redução significativa na quantidade de chaveamentos de bancos de capacitores, persistindo as reclamações dos clientes.

As novas medições mostraram que o cenário de excessivos chaveamentos ainda persistia, porém, foi possível verificar outros fatos como descritos a seguir:

- Os clientes continuavam sofrendo influência de chaveamentos dos bancos de capacitores devido à faixa de regulação ser estreita
- Foi verificado ainda, que as reclamações dos consumidores ocorriam exatamente quando havia alteração de tensão no sistema de 138 kV, causada pela inserção dos bancos de capacitores por FURNAS. – Centrais Elétricas SA

**BARRA 2 - 29/08/2007** (no dia da reclamação de consumidores)

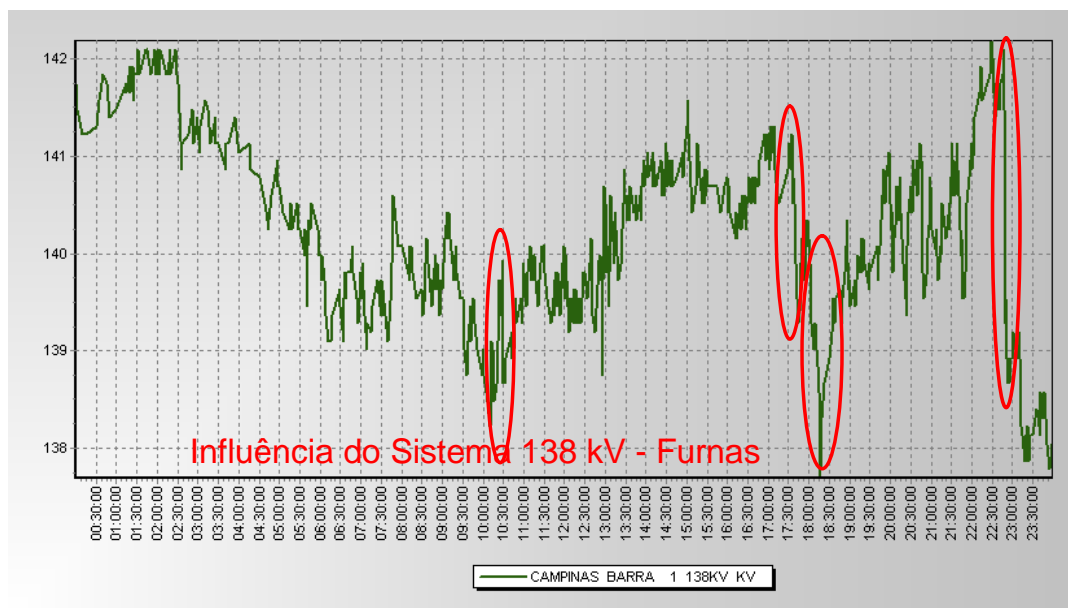
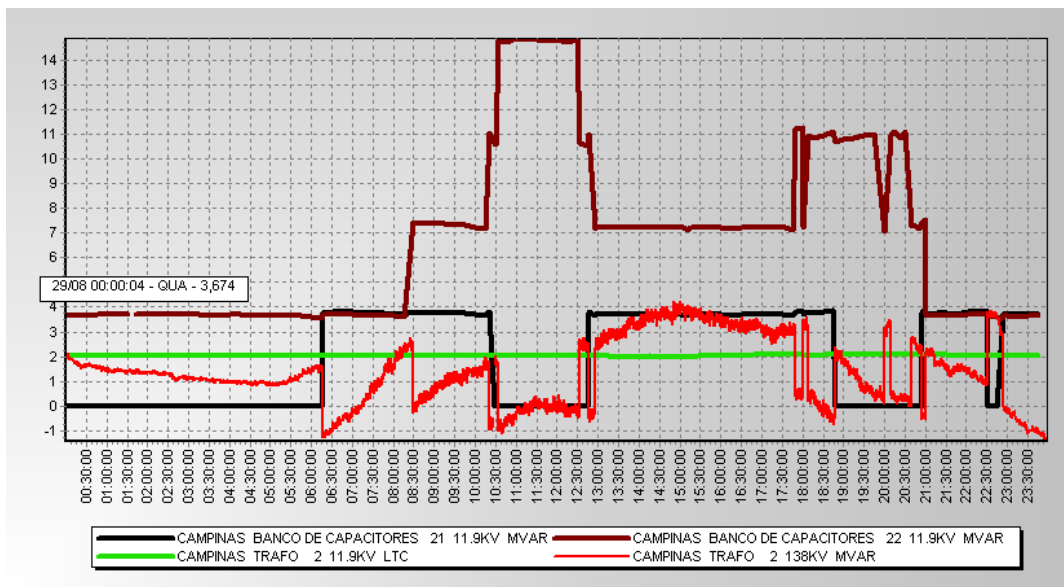
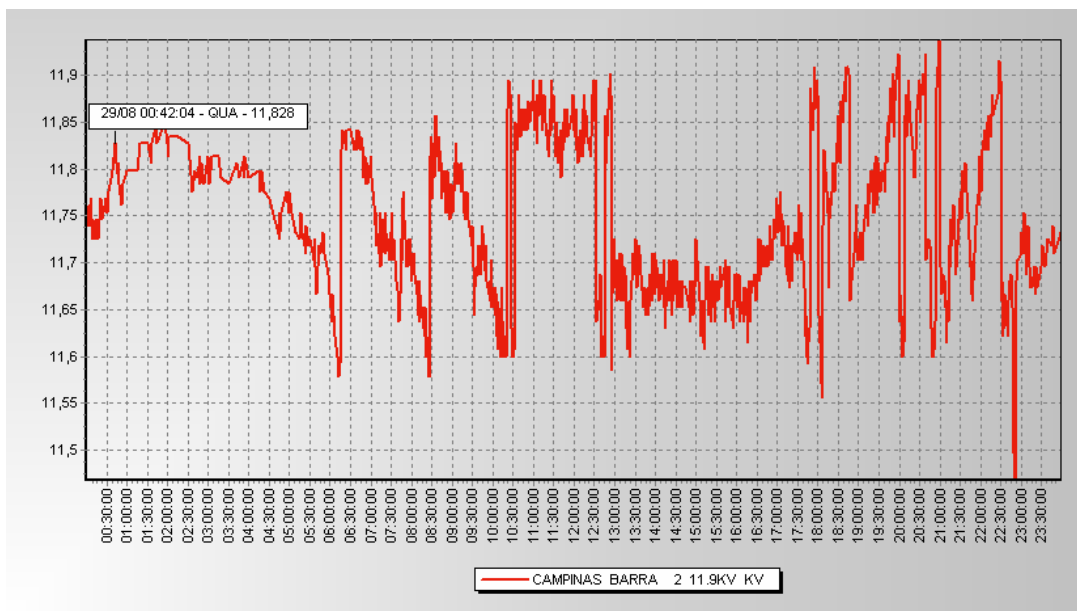


Gráfico 4 –( kV x tempo) – 138 kV



**Gráfico 5 - Chaveamento de capacitores x LTC x Mvar x tempo**



**Gráfico 6 - (kV x tempo) - 11,95 kV**

## Ações da Etapa 2

FASE 1: ampliar a faixa da tensão de 11,6 a 11,9 kV, para 11,55 kV a 11,95 kV (implantado em 26/09/2007);

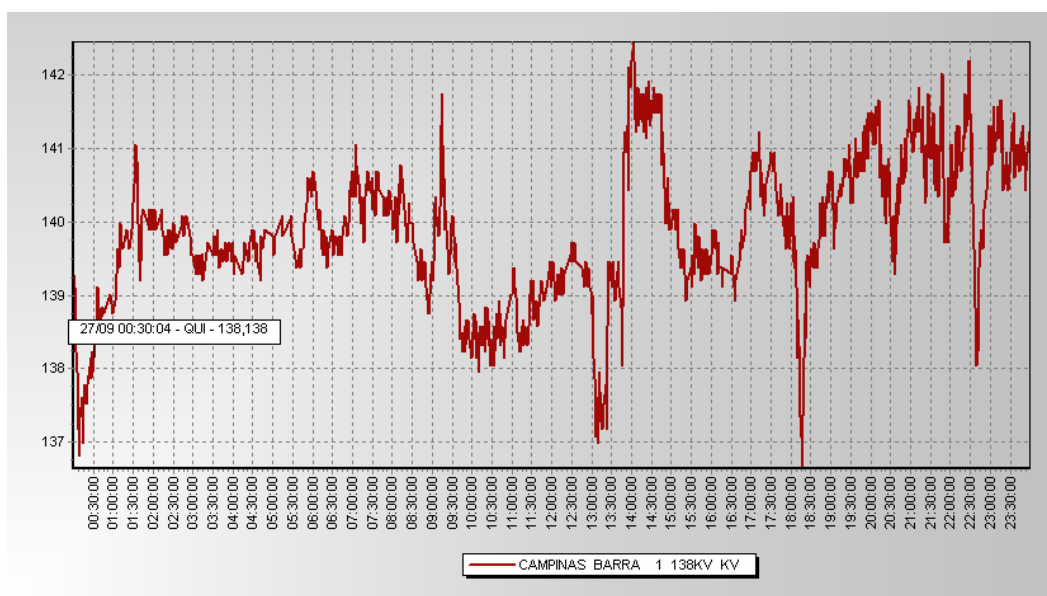
FASE 2: Ajustar a tensão verificando-se as faixas de tensão e potência reativa no lado 138 kV de cada transformador, definida pela Operação em + 5 Mvar a -5 Mvar (capacitivo), conforme lógica a seguir:

O COREAT deverá ajustar a tensão quando sair faixa de tensão (11,55 a 11,95 kV);

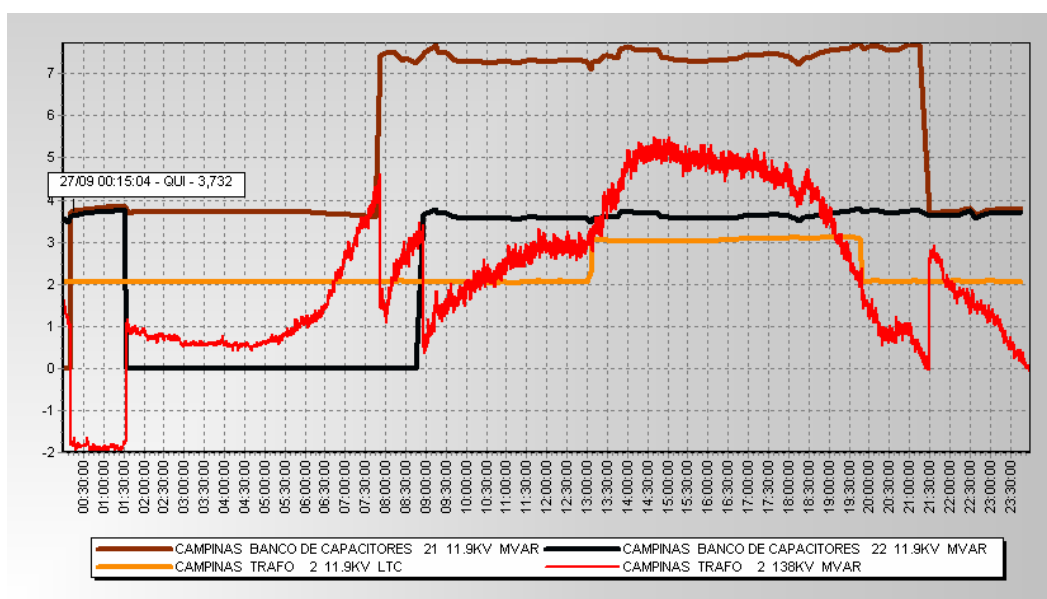
**Tabela 1 – Lógica de ajuste de tensão do COREAT**

Tensão	Potência Reativa	Ajustar pelo <sup>2</sup>
Fora da faixa	Dentro da faixa	Regulador de tensão (tap)
Acima da faixa	Abaixo da faixa	Banco de capacitor
Abaixo da faixa	Abaixo da faixa	Regulador de tensão (tap)
Abaixo da faixa	Acima da faixa	Banco de capacitor
Acima da faixa	Acima da faixa	Regulador de tensão (tap)

Com as medidas adotadas na fase 1, observou-se que houve a redução do número de chaveamentos dos bancos de capacitores, mesmo com a influência do sistema 138 kV de Furnas, conforme mostram os gráficos que seguem.



**Gráfico 7 – (kV x tempo) – 138 kV**



**Gráfico 8 - Chaveamento de capacitores x LTC x Mvar x tempo**

<sup>2</sup> Na falta de um equipamento para atuação, será utilizado outro disponível. Caso não exista equipamento disponível, a regulação é desativada e é enviado um alarme ao operador.



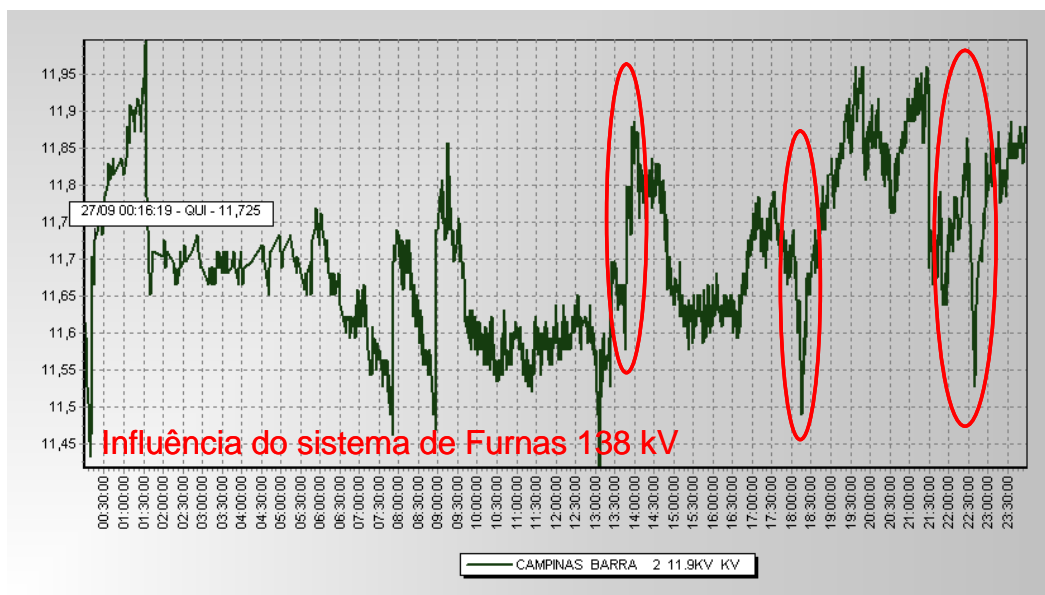


Gráfico 9 – (kV x tempo) – 11,95 kV

## 6. RESULTADOS ALCANÇADOS

### Etapa 1 - Eliminar as subfaixas intermediárias

Com o objetivo de reduzir a frequência de chaveamentos dos Bancos de Capacitores, foi verificado que após alteração do programa COREAT, com a inibição das faixas intermediárias (subfaixas), não houve uma melhoria significativa da qualidade de fornecimento, porque persistiram os mesmos problemas anteriormente reclamados pelos clientes.

As novas medições indicaram que a frequência de chaveamentos nos capacitores permaneceu praticamente nos mesmos patamares, ou seja, em torno de 345 chaveamentos por mês, por BARRA.

### Etapa 2 – Melhorias na lógica do COREAT

#### Ampliação da faixa de tensão

Com a ampliação da faixa de tensão de 11,6 a 11,9 kV para 11,5 a 11,95 kV, foi possível verificar que a influência do Sistema 138 kV de Furnas não influenciou mais nos chaveamentos excessivos para a correção da tensão ajustada no sistema 11,9 kV.

Neste caso o número de chaveamento dos capacitores reduziu para aproximadamente 52 % em relação à situação inicial.

#### Adicionar ao controle de tensão a verificação da faixa de potência reativa

Com a implementação da correção de tensão com verificação da faixa da potência reativa no transformador, no lado de 138 kV, foi observado que os comutadores de tensão evitavam que os bancos de capacitores entrassem ou saíssem da operação indevidamente.

Em relação à situação inicial, a quantidade de chaveamentos dos bancos de capacitores reduziu para 40 %, porém o número de comutações de taps do regulador elevou para 160 %.

Nesta situação, ainda existe a possibilidade de se alterar o tap mínimo no comutador de tensão, atualmente ajustado em 2, e não permitido pelo programa o ajuste em tap 1. Isto significa que se houver necessidade de reduzir a tensão, mesmo que a Potência Reativa esteja dentro da faixa adequada, será retirado de operação 1 banco de 3,6 Mvar da barra.

## Outros fatores a serem considerados

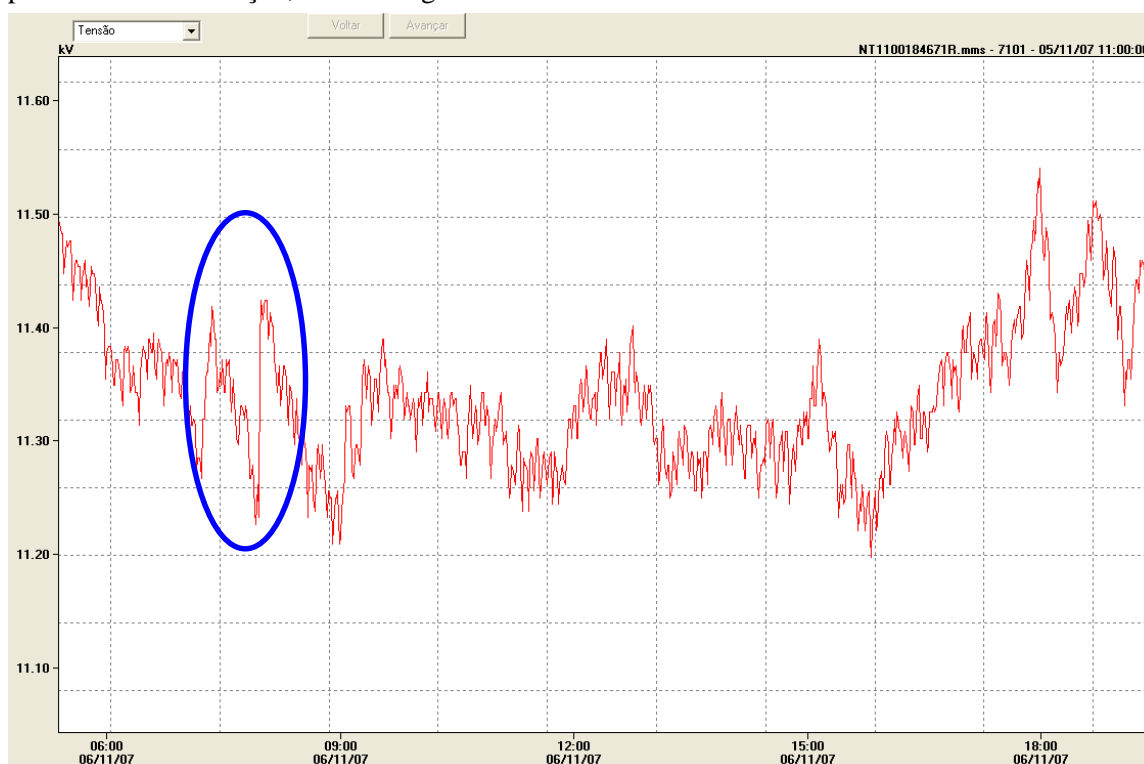
No dia 05/10/2007, em torno das 10 h 00 m um dos principais reclamantes entrou em contato com a CPFL dizendo: “Aconteceram 14 interrupções em seqüência agora mesmo”.

Esta situação, conforme informação do Centro de Operação foi devido à entrada e saída de bancos de capacitores no modo manual, para substituição de elos queimados dos bancos de capacitores nº 11 e 22 do sistema de 15 kV.

Devido ao ocorrido, o Centro de Operação definiu um procedimento específico para liberação desses equipamentos em situações programadas, tendo como alternativa a preparação da liberação em horários menos críticos ou com chaveamentos graduais, o que permite um tempo superior de liberação às equipes.

## Resultados da Melhoria Comprovados Através de Medição de Confirmação

Através de nova medição com o Medidor de Qualidade de Energia no consumidor que mais reclamava, pode-se observar que as ações implementadas reduziram significativamente as variações instantâneas na tensão de fornecimento, dentro da faixa adequada, ao longo de todo período da monitoração, conforme gráfico abaixo:



**Gráfico 10 - Variação de Tensão no Consumidor Após as Etapas**

Analisando-se o gráfico podemos notar que no período de 5 h 00 m a 19 h 00 m do dia 06/11/2007 ocorreram apenas 2 comutações para o controle de tensão.

## Resultados comparativos do número de chaveamentos

A tabela 2 apresenta as análises quinzenais das quantidades de chaveamentos dos Bancos de Capacitores e Comutações dos taps dos reguladores de tensão da SE Campinas, na situação original, e nas etapas descritas neste relatório.

Tabela 2 – Quantidade de chaveamentos de BC e comutações de taps

ETAPA	PERÍODO	CHAVEAMENTO BC			COMUTAÇÃO DE TAP			TOTAL TAP + BC
		TR-1	TR-2	TOTAL	TR-1	TR-2	TOTAL	
0	01/04 a 15/04	164	205	369	17	19	36	405
	16/04 a 30/04	205	209	414	0	17	17	431
	01/05 a 15/05	158	172	330	2	2	4	334
	16/05 a 30/05	173	185	358	3	18	21	379
1	01/08 a 15/08	183	161	344	6	11	17	361
	16/08 a 30/08	182	171	353	18	7	25	378
2a	21/09 a 05/10	92	88	180	45	36	81	261
2b	08/10 a 22/10	87	58	145	44	50	94	239

Legenda:

- **Etapa 0:** resultados do período em que o programa COREAT operava com as faixas intermediárias de tensão, desde sua implantação
- **Etapa 1:** resultados do período em que foram retiradas as faixas intermediárias
- **Etapa 2a:** resultados do período em que foi ampliada a faixa de tensão de operação de 11,6 a 11,9 kV para 11,50 a 11,95 kV
- **Etapa 2b:** resultados após implantação do controle por verificação de tensão e reativo

Esses resultados foram colocados em gráficos para uma melhor visualização do impacto no número de operações com as mudanças implantadas no COREAT, em cada etapa.

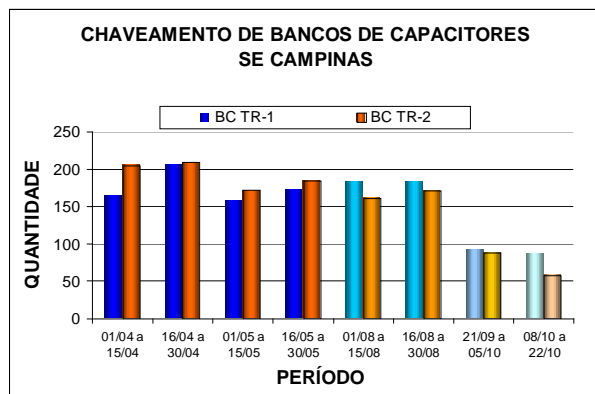


Gráfico 11

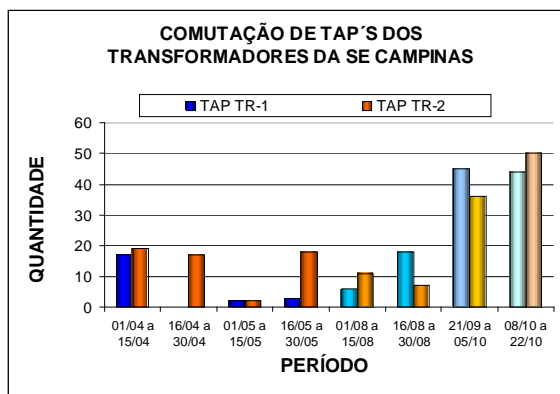


Gráfico 12

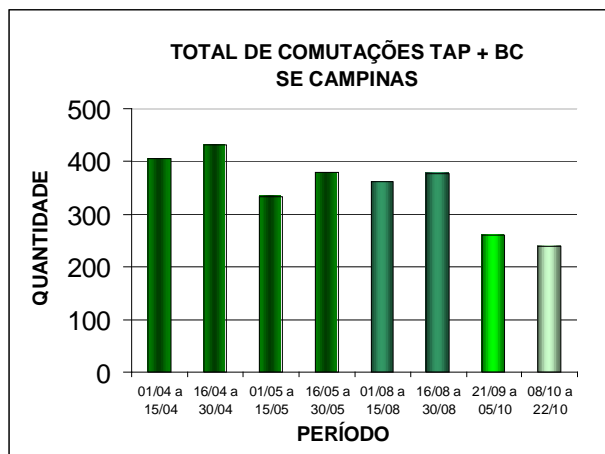


Gráfico 13

## **7. CONCLUSÕES**

Com a ampliação da faixa de tensão e também com a inclusão da faixa de potência reativa para controle de tensão nas BARRAS de 11,4 kV na SE Campinas, foi possível eliminar-se a reclamação de consumidores em função do chaveamento indevido dos bancos de capacitores. Até a presente data da conclusão deste artigo, não houve mais reclamações.

Em função desta alteração na filosofia de controle de tensão e reativo, as seguintes melhorias foram observadas:

- redução para 40 % no número de chaveamento de capacitores (de 369 para 145)
- aumento no número de comutação dos tapes dos transformadores de 20 para aproximadamente 90 comutações por mês, que ainda está bem abaixo da média da CPFL em relação a outros comutadores do mesmo gênero
- redução do risco de descoordenação de ajuste de tensão com o sistema Furnas, evitando-se assim, chaveamentos indevidos, quando da alteração da tensão brusca no sistema de transmissão

## **8. RECOMENDAÇÕES**

Quando da utilização de Banco de Capacitores para o controle de tensão e reativo ao mesmo tempo, é necessário tomar-se as seguintes precauções:

- Utilizar uma faixa de tensão adequada de modo que com a necessidade de ajuste da tensão, o valor corrigido não se aproxime dos limites da faixa superior ou inferior
- Estudar uma faixa de Potência Reativa para definir a necessidade de ser ajustada a tensão pelos Bancos de Capacitores
- Verificar qual a faixa de variação de tensão imposta pelo sistema de transmissão, quando houver
- Definir um procedimento específico para manutenção nos bancos de capacitores, para liberação em situações programadas, tendo como alternativa a preparação da liberação em horários menos críticos ou com chaveamentos graduais

## **9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E/OU BIBLIOGRAFIA**

**CPFL**, Regulação de Tensão\_Filosofia do Software, GED nº 4.999

**ANEEL**, Resolução nº 505 de 26 de Novembro de 2001

**PRODIST**, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Módulo 8 “Qualidade de Energia Elétrica”