

SENDI 2004
XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Sistema de Compensação Reativa com Filtragem de Harmônicas

N. R. Batista Filho
CPFL Companhia Piratininga de Força e Luz
norbertoribeiro@piratininga.net

M. R. Gouvêa
N. Kagan
N. Matsuo
ENERQ/USP

J. Camargo
josue@expertise-eng.com.br
R.A. Souza Jr
E. R. Zanetti
Expertise Engenharia

A. C. Naves
F. R. Garcia
IESA

Palavras-chave: alívio do sistema elétrico, compensação reativa, distorção harmônica, perdas elétricas e qualidade da energia elétrica.

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados iniciais do projeto de pesquisa motivado pelo mau aproveitamento dos equipamentos de compensação reativa na Baixada Santista. Nas épocas de temporadas (finais de ano e feriados prolongados) nesta região, ocorrem significativos acréscimos de carga e, conseqüentemente, déficit de reativos; no restante do ano, com a carga reduzida, há sobra. Isto provoca sobrecargas e perdas desnecessárias na rede, e ainda exige investimentos constantes para atender aumentos de cargas ou adequar níveis de tensão.

O sistema secundário é prejudicado pela circulação de correntes harmônicas, provenientes de cargas não-lineares nas residências e comércios, que sobrecarregam e reduzem a vida útil dos transformadores, proporcionam elevação das perdas e comprometem os níveis de tensão.

Este projeto desenvolve um Sistema de Compensação Reativa que monitora o fluxo de reativos nas subestações e propõe periodicamente movimentações de bancos de capacitores, considerando o cadastro de equipamentos instalados. Foram pesquisados e desenvolvidos padrões de bancos de capacitores para se instalar e retirar rapidamente da rede, sem desligamentos, e padrões de filtros harmônicos, de baixo custo, para aplicação junto aos transformadores de distribuição, no lado do sistema secundário, além de um software para controlar e propor automaticamente movimentações de bancos, utilizando o Re-configurador de rede em uso na CPFL.

1. INTRODUÇÃO

Os trabalhos de pesquisa foram dimensionados para serem executados em três anos. No primeiro ano, a partir da elaboração de uma pesquisa bibliográfica sobre inovações tecnológicas e verificação do Estado-da-Arte da compensação reativa em sistemas primários de distribuição, foi desenvolvido e instalado um padrão versátil de bancos de capacitores para poste, também chamado de banco *Plug and Play*, idealizado para ser instalado e retirado de forma fácil, segura e rápida. Como resultado foi obtido um banco formado por um único capacitor de 300 kVAr, direto, instalado no alimentador MBR-140, com tempo gasto na instalação menor que uma hora.

Ainda no primeiro ano, a partir da realização de uma pesquisa bibliográfica sobre inovações tecnológicas e verificação do Estado-da-Arte da compensação reativa e filtragem de harmônicas em sistemas secundários de distribuição, e medições de fluxo de potência, foi desenvolvido e implementado um padrão de filtro de harmônicas de baixo custo para aplicação em sistemas secundários de distribuição, compondo assim o sistema conjugado de compensação reativa. Como resultado, foi desenvolvido um filtro harmônico composto por dois capacitores trifásicos de 50 kVAr e três reatores com núcleo de ar, que foi instalado junto a um dos transformadores de 225 kVA, pertencente ao sistema secundário do alimentador MBR-140.

No segundo ano foi avaliada a performance do banco versátil quanto a relocabilidade e segurança, sendo proposto aprimoramentos na estrutura do mesmo. A partir desta avaliação e de estudos para definição da necessidade de reativos e identificação de pontos onde há significativos acréscimos de cargas em épocas de temporadas, estão sendo desenvolvidos novos protótipos destes bancos, sendo estes fixos e automáticos (controle por tempo) de 300 e 600 kVAr, formados também por capacitores trifásicos de 300 kVAr, considerando os aprimoramentos propostos.

Também foi avaliada a performance do filtro instalado no sistema secundário, com relação a sobrecargas e operação dos fusíveis. Complementarmente, foi avaliado o fluxo de potência na Subestação Mário Brígido, considerando a operação do sistema de compensação reativa conjugado, banco relocável na média e filtro de harmônicas na baixa tensão. Como resultado será feita uma reavaliação nos quatro protótipos de filtros previstos no terceiro ciclo, buscando reduzir as dimensões e o custo dos mesmos; para tanto está previsto uma pesquisa para desenvolver reatores especiais com núcleo de ferro.

Ainda no segundo ano foi iniciado o desenvolvimento dos softwares de comunicação e análise, que alimentará o *RECONFIGURADOR DE REDE no modo bancos de capacitores*, fruto de outro projeto de pesquisa e desenvolvimento da CPFL. O SW que está sendo desenvolvido terá função específica de avaliar constantemente o fluxo de reativos na saída dos alimentadores e nos transformadores de força das subestações, de forma concatenada com o sistema de cadastro de bancos de capacitores, e propor periodicamente movimentações de equipamentos, visando minimizar o fluxo de reativos no sistema. Além disto o software avaliará a situação de cada banco instalado e proporrá inspeções em bancos que deveriam estar operando normalmente e provavelmente não estão, devido a avarias ou necessidade de reajustes nos controles.

No terceiro e último ano, além do desenvolvimento dos quatro protótipos aperfeiçoados do filtro de harmônicas de BT e conclusão do desenvolvimento do Software de comunicação e análise, será feita a avaliação da performance global do Sistema Conjugado de Compensação reativa e a validação do sistema de compensação reativa desenvolvido.

Este projeto está tendo grande receptividade dentro da CPFL em virtude da redução dos investimentos necessários, tanto em materiais como em serviços, pois a facilidade de execução dos serviços e redução dos componentes além de reduzir a quantidade de mão de obra necessária para instalação,

retirada e manutenção dos bancos de capacitores. Essa receptividade poderá ser ainda maior quando o software estiver operando.

2. DESENVOLVIMENTO

O projeto foi dividido em quatro etapas para cada um dos três anos de desenvolvimento.

2.1. Primeiro Ano

2.1.1. Etapa 01 – Desenvolvimento de um Protótipo do Banco de Capacitor Relocável para MT

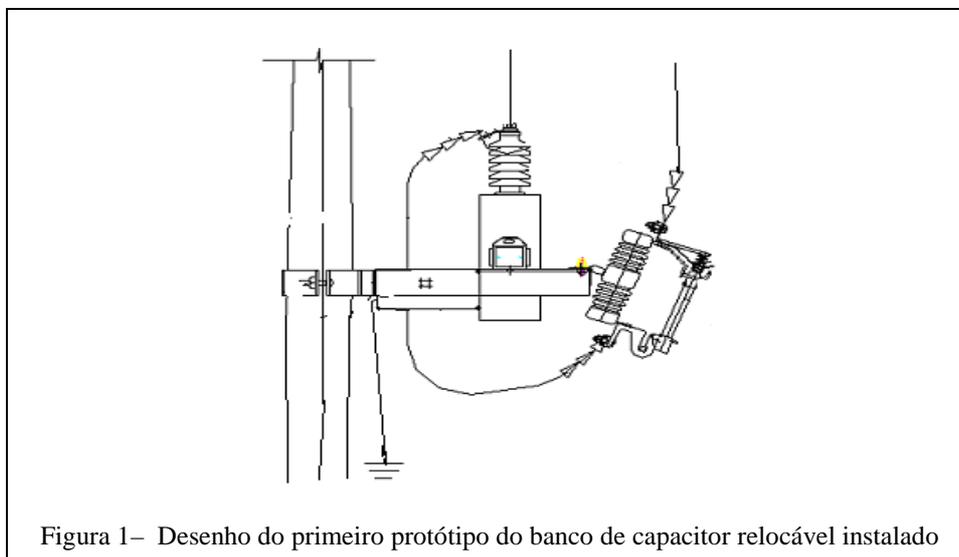
Nesta etapa foi elaborado um levantamento bibliográfico sobre o tema “Compensação Reativa em Sistemas Primários de Distribuição”, visando subsidiar o desenvolvimento do Padrão Versátil (relocável) para aplicação na MT - Média Tensão.

Constatou-se que, na maioria das obras pesquisadas, buscou-se definir os melhores métodos e pontos para a instalação dos bancos de capacitores. Também foi observada a presença de referências tratando dos problemas que surgiram nas últimas décadas com o aparecimento significativo das distorções harmônicas, que podem acarretar efeitos danosos sobre os bancos de capacitores instalados na rede.

Nesta análise, alguns aspectos importantes relativos à compensação reativa foram destacados como, por exemplo: aspectos técnicos e econômicos, vantagens e desvantagens de cada tipo de localização (alimentadores ou subestações, por exemplo); tópicos da compensação reativa relacionada ao controle de tensão; degradação de capacitores na presença de harmônicas (ressonâncias); estudos de transitórios provenientes do chaveamento de bancos de capacitores; estudos de instalação de bancos em ambientes industriais, considerando efeitos de ressonância entre a rede da concessionária e as instalações industriais. A maioria das obras também relaciona os problemas verificados na instalação de bancos de capacitores com a circulação de correntes harmônicas na rede, a localização e nos chaveamentos desses equipamentos, destacando-se a importância do desenvolvimento de um sistema que forneça uma configuração ótima para bancos de capacitores, reduza a circulação de harmônicos na rede e o número de chaveamentos. Isto direcionou o desenvolvimento para um banco fixo, e para que não precisasse de chaves a óleo, foi definida a potência 300 kVAr.

Também foram feitas análises visando definir a estrutura de sustentação do banco, de forma que este tivesse grande facilidade para instalação e retirada, ou seja, fosse o mais relocável possível. Assim como para definir o alimentador e o ponto de instalação deste primeiro protótipo.

A estrutura que foi definida é formada por apenas um capacitor trifásico de 300 kVAr e chaves fusíveis, para ser presa ao poste através de cinta metálica, do tipo que sustenta transformadores de distribuição, e está representada na figura 1.



2.1.2. Etapa 02 – Implementação do Protótipo do Banco de Capacitor Relocável

O primeiro protótipo do banco relocável foi instalado em menos de 1 hora, e poderia ser ainda bem menor, em virtude de improvisações que precisaram ser aplicadas pelo fato dos eletricitistas ainda não conhecerem este tipo de instalação. Não houve necessidade de desligar a rede, nem ao menos dar um pisca para manobrar o banco. Com isto nasceu o termo *Banco PP - Plug & Play*, em virtude da facilidade de instalação.

O banco foi instalado a mais ou menos dois quilômetros da SE Mário Brígido ao longo do alimentador MBR-140, e as figuras de 2 a 4 mostram a seqüência da instalação:



Figura 2. Protótipo do Banco Relocável iniciando o içamento



Figura 3. Protótipo do Banco Versátil sendo Energizado



Figura 4. Protótipo do Banco Relocável em operação

Com base na implementação foram propostas melhorias do protótipo, como: aumentar o grau de sustentação do conjunto, estrutura e capacitor, pois esta ficou um pouco “arriada” e aumentar a distâncias entre fases do conjunto de fusíveis, pois as mesmas ficaram abaixo dos valores padronizados como mínimos, para não comprometer as operações com a ferramenta Load Booster.

2.1.3. Etapa 03 – Desenvolvimento de um Protótipo de Filtro Harmônico de Baixo Custo para BT

Nesta etapa também foi elaborado um levantamento bibliográfico, agora sobre o tema “inovações tecnológicas e verificação do estado - da - arte da compensação reativa e filtragem harmônica para sistemas secundários de distribuição visando subsidiar o desenvolvimento Protótipo de Filtro Harmônico de Baixo Custo para BT – Baixa Tensão”.

Constatou-se que várias referências destacam a capacidade de um filtro passivo de harmônicas para compensar reativos na frequência fundamental, devido à presença de um capacitor em sua estrutura. Destacam também a sensibilidade desses filtros em relação aos parâmetros da rede onde estão instalados, razões pela qual deve ser muito bem projetado. E também, vários artigos propõem alternativas para mitigar possíveis problemas como, por exemplo, metodologias para alocação ótima de filtros bem como procedimentos para cálculo dos parâmetros R,L e C do filtro. A partir deste levantamento bibliográfico foi definido o local para instalação do filtro, e definidos foram levantados os tópicos que deveriam ser considerados para determinação dos parâmetros do filtro.

Como o projeto buscava avaliar a Compensação Conjugada, foram pesquisados transformadores com potência igual ou superior a 75 KVA, pertencentes ao alimentador MBR-140, onde foi instalado o banco relocável, que tivessem alto carregamento e que atendessem cargas residências e comerciais, em

virtude destas cargas certamente possuem valores significativos de circulação de correntes harmônicas.

O transformador escolhido possui as seguintes características:

- Número: 1735
- Potência Nominal Trifásica de 225 kVA
- Ligação: Delta - Estrela Aterrada (13200/220/127 V)
- Demanda Máxima: 150 kVA
- N° do Alimentador primário de 13,2 kV: MBR-140
- Corrente Máxima do Alimentador: 330 A
- N° Clientes Residenciais = 162
- N° Clientes Comerciais = 44
- Localização: Rua Padre Anchieta – Centro - São Vicente

Para definição dos parâmetros do filtro foram efetuadas medições do fluxo de potência no lado secundário do transformador escolhido, que se encontrava instalado no centro de São Vicente. Como a medição foi ao ar livre foi necessário utilizar uma caixa especial de vedação e um clamp flexível.

O equipamento de medição utilizado foi o SMART T da IMS. As fotos no. 5 e 6 mostram a instalação da medição.



Figura 5 – Equipamento de medição junto ao transformador



Figura 6 – Caixa vedada que abrigou o equipamento de medição

Com base nas análises dos dados, como exemplo, o Relatório de Potências e Correntes Harmônicas, mostrado na figura 7, e o Espectro Harmônico de Corrente, mostrado na figura 8, foi definido que o protótipo seria um filtro passivo sintonizado na 5ª harmônica, cuja especificação está mostrada na figura 9, e cujo aspecto está mostrado na figura 10.



RELATÓRIO DE POTÊNCIAS E CORRENTES HARMÔNICAS
 Versão 1 - de 10/06/2003
 MEDIDOR SMART T PLUS - IMS

Rel. TC =	1	
Amostras	2145	
Data	17/04/03	Hora
Início	17/04/03 15:50:0000	
Término	25/04/03 02:20:0000	
Frequência	0:05:00	

CLIENTE : P&D 69
 LOCAL : TR-1735 - Alimentador MBR-140 - São Vicente

Dados de Potência para Modelagem da Carga			
Dado	Mínimo	Médio	Máximo
KVA	36,78	124,96	196,81
FP	0,71	0,87	0,96

THDV Máx	3,9
THDIMáx	23,1

Correntes Harmônicas em Ordem e Amplitude				DHI Máx Via Cálculo (%)
Ordem	(A)	Ordem	(A)	
i2	8,94	i14	0,87	14,46
i3	31,10	i15	3,55	
i4	5,31	i16	1,06	
i5	60,28	i17	2,35	
i6	4,55	i18	0,88	
i7	26,70	i19	1,95	
i8	2,36	i20	0,81	
i9	7,09	i21	1,95	
i10	2,10	i22	1,01	
i11	4,32	i23	1,17	
i12	1,51	i24	1,53	
i13	4,13	i25	1,29	

Dados dos kvar necessários p/ Correção do FP			
FP	Mínimo	Médio	Máximo
0,92	-17,38	11,38	19,07
0,95	-3,11	16,52	22,94
1	22,01	49,92	78,69

i
Medição

Modelagem da Carga no PQF		
KVA	196,81	FP
		0,87

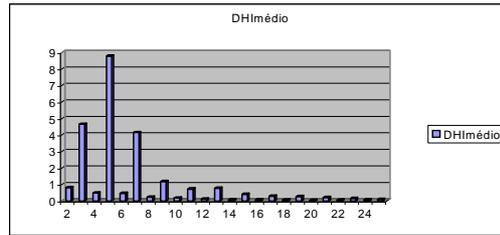
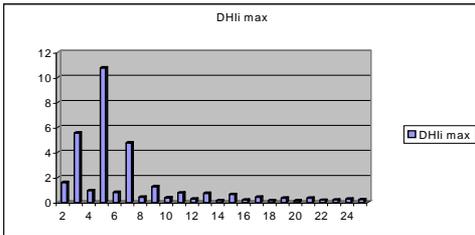


Figura 7: Relatório de Potência e Correntes Harmônicas

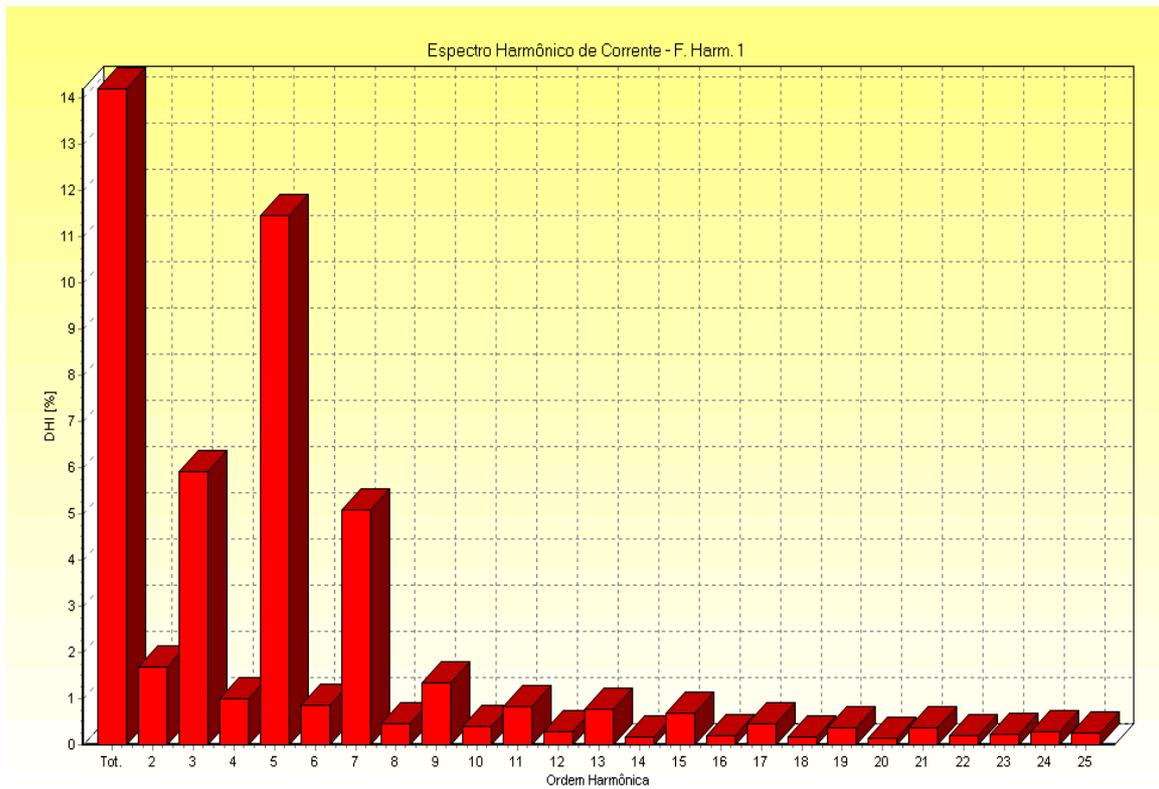


Figura 8 – Espectro Harmônico de Corrente



Cliente :	P&D69 - 5a. Harmônica - TR 1735 - São Vicente		
Produto:	Filtro com Potência Efetiva de 50 kvar / 220 Volts		
Capacitor Utilizado no Equipamento			
Potência (kvar):	120,00	Tensão (V):	350,00
Ic nominal (A):	197,95	I1+Ih (A) :	143,63

ESPECIFICAÇÃO COMPLETA DO EQUIPAMENTO

ESPECIFICAÇÕES GERAIS DO EQUIPAMENTO

Dados Gerais	Tensão Efetiva na Barra Máxima		220	Volts
	Frequência do Sistema Supridor		60	Hertz
	Frequência de (des) sintonia		288	Hertz
	Fator de Qualidade do Equipamento		50,00	
	Resistência Equivalente Total	F sistema 1,94	F sintonia 4,25	mili ohms
	Corrente Fundamental Circulante (60Hz)		130,07	Amperes
Corrente Harmônica Circulante		60,93		
Corrente Total por Ramo (I60Hz + Ih)		143,63		

Potência Efetiva Fornecida para Correção do FP na Barra	49,56	kvar
---	-------	------

ESPECIFICAÇÃO DO CAPACITOR

Potência Nominal Trifásica do Banco	120,00	kvar
Tensão Nominal Fase-Fase	350,00	Volts
Capacitância Equivalente Trifásica (Estrela)	2598,4481	uF
Capacitância Equivalente (TRIÂNGULO)	866,1494	uF
Capacitância FASE-FASE para Aferição	1299,2240	uF
Corrente Nominal do Capacitor	197,9487	Amperes

ESPECIFICAÇÃO DO INDUTOR

Indutância do Reator	0,1175	mH	
Corrente Total (Fundamental + Harmônicas)	188	Amperes	
Fator de Qualidade	F sistema 22,82	F sintonia 50	Minimo
Resistência Máxima	F sistema 1,94	F sintonia 4,25	mili ohms

Figura 9: Especificação Completa do Banco

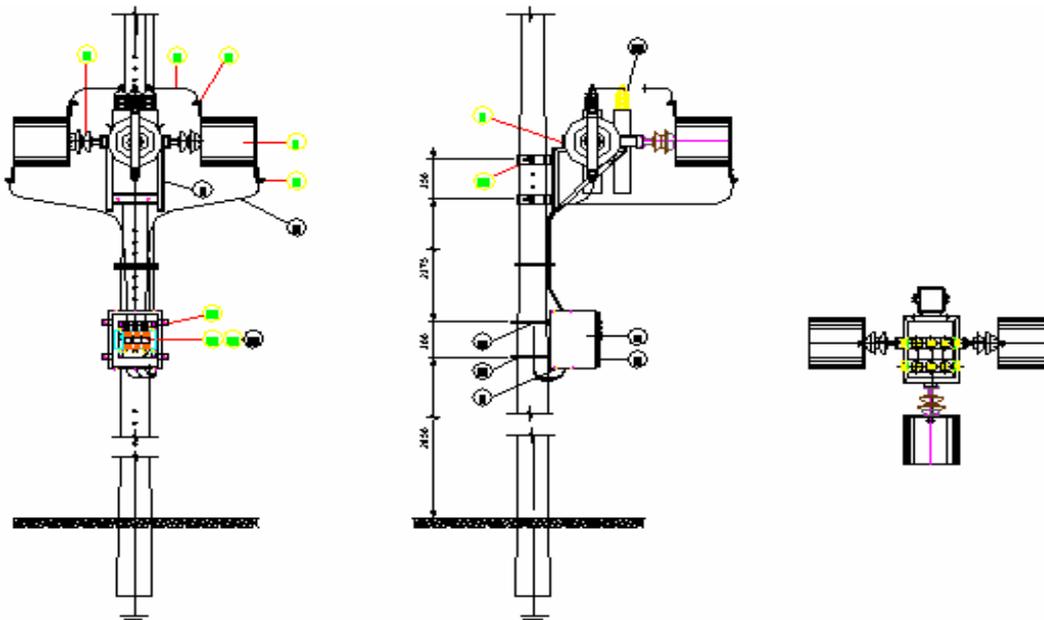


Figura 10: Aspecto do protótipo do Filtro de Harmônica Instalado na BT

2.1.4. Etapa 4 – Implementação do Protótipo do Filtro de Harmônicas de Baixo Custo na BT

Em virtude da dificuldade de instalação, o filtro não pôde ser instalado no transformador nº 1735, inicialmente escolhido, e onde foi feita a medição. Sendo escolhido o transformador nº 5827, fisicamente próximo ao anterior, e com características de carregamento semelhantes. As figuras 11 e 12 mostram a seqüência da instalação:



Figura 11. Protótipo do Filtro sendo instalado



Figura 12. Protótipo do Filtro sendo instalado

Após a colocação em serviço, foi efetuada a medição da corrente passante pelo filtro, sendo registrado 125 A. Dentro das propostas iniciais de melhorias no protótipo pode-se citar: redução das dimensões devido à grande dificuldade de posicionamento do equipamento na rede secundária, sinalização do estado do filtro (ativo ou inativo), e desenvolvimento de um sistema de sinalização de operação da chave fusível, na parte de baixo da base da caixa de proteção e comando.

2.2. Segundo Ano

2.2.1. Etapa 1 – Avaliação do desempenho do protótipo de banco de capacitor relocável com relação à relocabilidade

Foi feita a avaliação da performance do equipamento com relação à relocabilidade, considerando os aspectos de segurança, estabilidade, facilidade de instalação e retirada, sendo constatado que:

- A pré-montagem e a estrutura do banco representa uma grande facilidade para a instalação, sendo que a primeira instalação levou menos de 1 hora, e a instalação convencionou leva em torno de 6 horas.
- Precisa ser aprimorado o sistema de fixação no poste, no sentido de dar mais sustentação ao conjunto (por exemplo, uma mão francesa).
- É necessário aumentar o espaçamento entre fases da chave fusível, visando reduzir a possibilidade de abertura de arco de uma para outra fase no instante de abertura da chave, com bastão com Load Booster.

Os novos protótipos deverão contemplar estas necessidades. Desde a data da primeira avaliação, 23/1/2004, o banco vem operando adequadamente, não sendo registrado nenhuma avaria ou atuação do fusível (vale atentar pelo fato do BC ser formado por um único capacitor trifásico de potência acima dos padrões da CPFL). Os trabalhos de avaliação da performance do primeiro protótipo do BC Versátil irão continuar até o terceiro ano, visto que o mesmo já faz parte do ativo da CPFL.

2.2.2. Etapa 2 - Avaliação do protótipo do Sistema Conjugado Instalado no primeiro ano

Os primeiros trabalhos de avaliação do desempenho do Sistema Conjugado de Compensação Reativa foram elaborados através de um monitoramento do fluxo de potência e fator de potência efetuado no

alimentador MBR-140 que, além do protótipo do banco relocável instalado na MT, e do protótipo do filtro harmônico instalado na BT, possui um banco de capacitores de 600 kVAr com controle eletrônico.

O monitoramento foi realizado no período de 08 a 29/04/2004, através da instalação do medidor SAGA 1000, na saída do alimentador MBR-140 e de um monitor de fluxo de potência e harmônicos, SMART IV – IMS, junto a Estação Transformadora ET 5827, onde está instalado o filtro de harmônicas.

Para a primeira avaliação da performance do Sistema Conjugado de Compensação Reativa foi adotada a seguinte seqüência de manobras nos equipamentos:

1. Instalação dos medidores na SE Mário Brígido e na Estação Transformadora 5827 - 08/04/2004;
2. Desligamento do BC Eletrônico 600 kVAr – 19/04/2004 às 10:45hs.
3. Desligamento do protótipo do Filtro Harmônico na ET 5827 – 26/04/2004 às 15:45hs;
4. Desligamento do protótipo do BC relocável 300 kVAr – 27/04/2004 às 14:40hs;
5. Ligação do protótipo do BC relocável 300 kVAr – 28/04/2004 às 16:10hs.
6. Ligação do protótipo do Filtro Harmônico na ET 5827 – 29/04/2004 às 15:45hs.

Sendo obtidos os seguintes resultados:

- Houve uma redução no fator de potência de 93,6 para 90,6%, após o desligamento do BC Eletrônico de 600 kVAr, no dia 19/04, mostrando que o banco estava operando.
- Houve uma redução no fator de potência de 91,1 para 88,2%, após o desligamento do protótipo do Filtro Harmônico no dia 26/04 e aumento no fator de potência de 90,1 para 90,2%, após a ligação do mesmo no dia 29/04, mostrando que este também participa na compensação reativa do alimentador.
- A redução no fator de potência de 90,3 para 87,5%, após o desligamento do protótipo do BC relocável no dia 27/04 e o aumento no fator de potência de 88,2 para 91,2%, provocado pela ligação do mesmo no dia 28/04, mostraram que o protótipo do BC relocável 300 kVAr também participa na compensação reativa do alimentador.

As avaliações da performance do Sistema Conjugado de Compensação Reativa serão complementadas por novos monitoramentos a serem efetuados quando da instalação dos quatro novos protótipos do BC relocável, previstos ainda para este segundo ciclo, e dos quatro novos protótipos do filtro de harmônicos, previstos para o terceiro ciclo.

Também está sendo avaliada a performance do filtro harmônico quanto à filtragem de harmônicas e compensação reativa no ponto de instalação, utilizando o SMART IV – IMS. Os resultados deste trabalho servirão para comparar a frequência de sintonia real, do filtro, com a prevista, e subsidiará os projetos dos novos protótipos do filtro.

2.2.3. Etapa 3 - Início do desenvolvimento dos softwares de comunicação e análise alimentando o software reconfigurador de rede (módulo banco de capacitores) desenvolvido na CPFL

Esta atividade ainda não está concluída, mas já foram realizadas as seguintes tarefas:

- Elaboração de uma Pesquisa bibliográfica sobre inovações tecnológicas em sistemas de medição e gestão da compensação reativa em redes primárias, onde se destacaram as tecnologias de telemedição e de supervisão através de UTR's – Unidades Terminais Remotas.
- Elaboração do levantamento das características do sistema de monitoramento existentes no Sistema da Piratininga, considerando principalmente a SE Mário Brígido, que foi recente automatizada a partir da instalação de UTR's. Esta subestação é supervisionada totalmente pelo Centro de Operação da Distribuição que possui, em tempo real, informações do fluxo de potência nas saídas dos alimentadores e carregamento do transformador.

- Início no desenvolvimento de softwares preliminares.

2.2.4. Etapa 4 - Desenvolvimento e implementação de quatro protótipos aperfeiçoados de bancos de capacitores padrão versátil

Esta atividade ainda não está concluída, mas já foram realizadas as seguintes tarefas:

- Avaliações para definição dos alimentadores com alto potencial para relocação de bancos de capacitores concluindo que se deve continuar com a instalação dos protótipos de bancos relocáveis nos alimentadores da SE Mário Brígido, haja vista a facilidade de obtenção das informações do fluxo de potência na subestação. Além disso, a região atendida apresenta cargas elevadas em épocas de temporadas.
- Especificações para quatro tipos de bancos: 300 e 600 kVAr diretos, e 300 e 600 kVAr automáticos por controle de tempo.

A partir da elaboração dessas tarefas foi definido que:

- Apenas os bancos diretos de 300 kVAr diretos não terão chaves a óleo.
- Serão montados protótipos de bancos diretos e automáticos.
- Como os recursos previstos para materiais são maiores que o necessário para montagem de quatro protótipos do banco relocável, está sendo avaliada a possibilidade de se montar um número maior de protótipos.

As figuras 13 e 14 mostram detalhes dos protótipos aperfeiçoados:

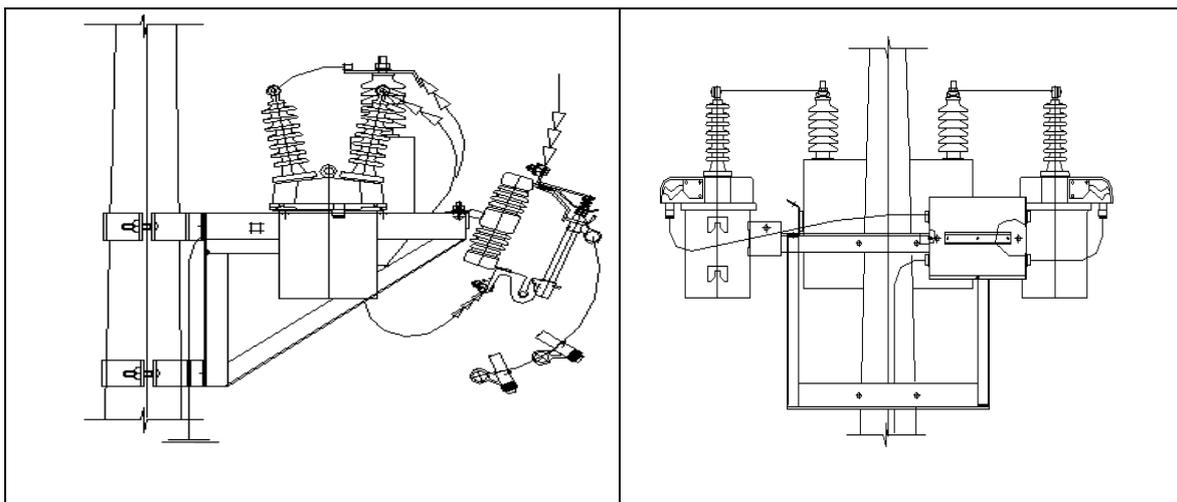


Figura 13 – Detalhes do Protótipo Aperfeiçoado do Banco Relocável automático

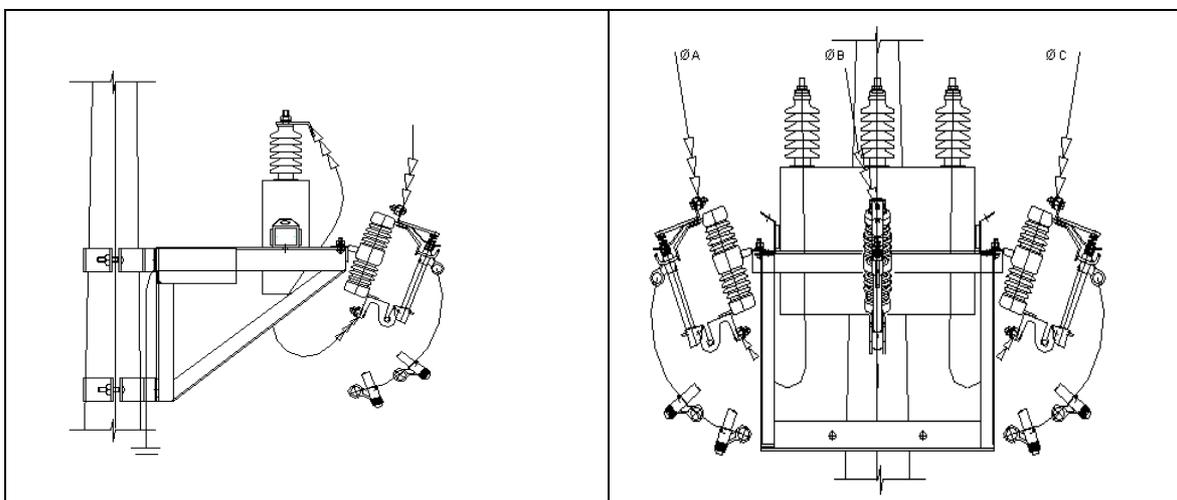


Figura 14 – Detalhes do Protótipo Aperfeiçoado do Banco Relocável de 300 KVar Direto

2.3. Terceiro Ano

Para o próximo ciclo estão previstos as seguintes etapas:

Etapa 1. Conclusão do desenvolvimento e implementação do software de comunicação e análise.

Etapa 2. Desenvolvimento e implementação do protótipo aperfeiçoado de compensação reativa e filtragem harmônica, e adequação do sistema conjugado ao sistema de comunicação e análise desenvolvido.

Etapa 3. Avaliação do desempenho do Sistema Conjugado.

Etapa 4. Validação do Sistema Conjugado de Compensação Reativa.

3. CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido até agora já mostrou que uma das grandes vantagens associadas ao banco relocável, ou *PLUG and PLAY*, é a redução do tempo necessário para movimentação de bancos de capacitores na rede; o que atualmente é feito em várias horas pode ser feito em menos de uma hora. Como os serviços podem ser feitos com a rede energizada, não há necessidade de abertura de ramais para instalação ou retirada dos bancos de capacitores, evitando com isto prejuízos aos consumidores.

Também mostrou que o Sistema Conjugado de Compensação Reativa – instalação de bancos de capacitores na MT e na BT – é bastante interessante, pois compensa o reativo o mais próximo possível, aliviando o carregamento do sistema elétrico a partir do transformador de poste e melhorando os níveis de tensão desde o sistema secundário. Caso esta compensação venha acompanhada de um filtro harmônico, poderá aliviar ainda mais o carregamento e ainda proporcionar maior redução de perdas.

Ademais, haverá oportunidade, no contexto deste projeto, de inovações e melhorias envolvendo aspectos relacionados à filtragem harmônica na BT, que está prevista para o terceiro e último ano do desenvolvimento.

Vale ressaltar que, ainda dentro do contexto do projeto, deverão ser feitas novas avaliações, tanto dos protótipos do banco relocável, como do filtro, que por certo incorporará inovações e melhorias no sistema como um todo, incluindo o sistema de supervisão e análise. Atualmente as empresas estão investindo em tecnologias modernas de medição, supervisão e controle, que poderão facilitar muito a implementação da parte Inteligente e Dinâmica do Sistema, garantindo o aumento da eficiência da Compensação Reativa nos Sistemas de Distribuição.

Em virtude da grande receptibilidade encontrada na CPFL, tanto pela redução do tempo necessário para movimentação de equipamentos, como pela redução dos investimentos necessários para se fazer a Compensação Reativa, pode-se concluir que este projeto de pesquisa vem atingindo seus objetivos contidos na proposta de P&D aprovada pela ANEEL.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. R. Gouvêa, C. M. V. Tahan, J. Camargo, - “Controle de Tensão e Compensação de Reativos no Sistema Elétrico da CPFL” – I SIDEE – Seminário Internacional de Distribuição de Energia Elétrica – Belo Horizonte, 1990 - Brasil.
- [2] J. Camargo, - “Compensação Reativa Racionalizada” – XIII SENDI – Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica – São Paulo, 1997 – Brasil.
- [3] Relatórios Técnicos do Primeiro Ciclo do Projeto PD-69.
- [4] M. A. Barbosa, - “Cuidados para instalação de Bancos de Capacitores na presença de Harmônica” Revista Eletricidade Moderna – Março, 1995.

- [5] D. V. S. Coury, C. J. Tavares, M. C. Oleskovicz – “Transitórios devido ao chaveamento de Bancos de Capacitores em um Sistema de Distribuição da CPFL” – XIV CBA - Congresso Brasileiro de Automática – Natal, 2002 - Brasil.
- [6] M. Lehtonen, – “Método para dimensionamento otimizado de Capacitores nas Indústrias” – Revista Eletricidade Moderna – Março, 1995.
- [7] IEEE – “IEEE Std 519-1992: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Systems” – 1992.
- [8] E. B. A. Santos, G. M. M. Medeiros – “Harmônicas provocadas por Cargas de Instalações Elétricas Residenciais em Sistemas de Distribuição de Energia” – XIV CBA - Congresso Brasileiro de Automática – Natal, 2002 - Brasil.