

Compensador Série Modularizado para Sistemas de Distribuição até 23 KV

Suzuki M, Ferreira D. J, Borges W. M, Camargo J, Caixeta G. P

Resumo — Este artigo apresenta resultados do PD-96 “Compensador Série Modular - CSM”, que objetivou desenvolver um padrão para viabilizar aplicação deste em qualquer ponto da rede primária com problemas de tensão. O primeiro protótipo foi instalado numa rede 13,8 kV, a 22 km da Subestação, onde havia sérios problemas de partida de motores. O segundo foi instalado na rede 23,1 kV, a 32 km da Subestação, onde havia problemas de queda de tensão. O sucesso dos protótipos resultou em uma proposta de padrão de CSM, compostos por capacitores, varistores, reatores, chave a vácuo, painel de comando e proteção, e estrutura para até 7 capacitores com 9 varistores (utilizado quando o nível de curto circuito proporcionar sobretensão além da tensão suportável pelo capacitor). Melhorias podem ser feitas, mas o padrão proposto é uma solução que se mostrou mais eficiente e barata, em alguns casos, que soluções convencionais para problemas de tensão.

Palavras chave — *Compensação Reativa, Compensação Série, Compensador Série Modularizado, Regulação de Tensão, Ressonâncias Subsíncrona na Distribuição.*

I. INTRODUÇÃO

Apesar da compensação série na distribuição ser conhecida há bastante tempo [1-2-6], a falta de padrões para sua aplicação não permitiu sua viabilização em larga escala, tendo-se apenas alguns registros de poucas instalações no Brasil, onde a CPFL se destaca como pioneira. Assim mesmo, cada caso foi tratado de forma customizada, utilizando unidades capacitivas e estruturas diferentes, sem possibilidade de obtenção de um custo de referência, para as análises de alternativas de expansão [1]. Também a pouca literatura sobre distúrbios devido à compensação série na distribuição, como por exemplo, a ressonância subsíncrona e ferroressonância, sempre dificultou a tomada de decisão quanto à sua aplicação. Em virtude disto o desenvolvimento do **PD-96 Compensador Série Modular** acabou sendo uma pesquisa muito rica, pois permitiu o desenvolvimento e aplicação de dois tipos distintos, o 1º adotando capacitor sobredimensionado e o 2º, capacitor protegido por varistor de óxido de zinco.

Neste artigo é apresentado o conceito do CSM e os componentes dos dois protótipos do CSM, e a experiência da CPFL nas suas aplicações.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL. Foi apoiado pela CPFL - Companhia Piratininga de Força e Luz

Josué de Camargo, Wilson Martin Borges trabalham na Expertise Engenharia (e-mails: Josue@expertise-eng.com.br, Wilson@expertise-eng.com.br). Geraldo P. Caixeta é professor na Universidade São Francisco – USF (e-mail: g.caixeta@ieee.org).

Massayuki Suzuki, Dirceu Jose Ferreira trabalham na CPFL - Companhia Piratininga de Força e Luz (emails: msuzuki@cpfl.com.br, djferreira@cpfl.com.br).

II. CSM - COMPENSADOR SÉRIE MODULARIZADO

O conceito do CSM é possibilitar a formação de um banco capacitor série que possa ser instalado em qualquer ponto da rede primária. Para isto, o CSM é constituído a partir de 2 conjuntos de equipamentos modularizados: 1- Que pode variar com o ponto de instalação (Conjunto de CSMU – Compensador Série Modular Unitário); e 2- Equipamentos que não dependem do ponto de instalação. A Figura 1 apresenta um diagrama esquemático do CSM.

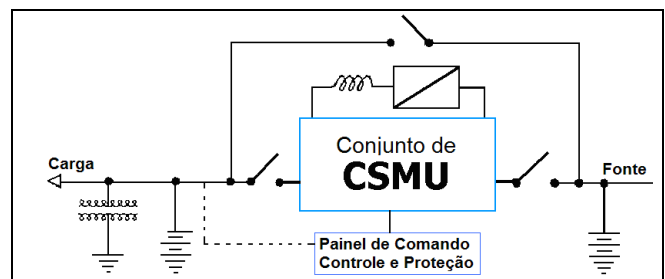


Figura 1 – Diagrama Esquemático do Compensador Série Modular – CSM

O 1º conjunto de equipamentos é formado apenas por capacitores ou por uma combinação de capacitores e varistores de ZnO.

O 2º conjunto é composto pelos seguintes equipamentos:

1. Chaves de by-pass (ou de isolamento) que coloca e retira o CSM de serviço (nos casos de manutenção);
2. RACK (ou estrutura) que faz a sustentação do CSM;
3. Chaves a vácuo com função de colocar temporariamente em by-pass o conjunto de CSM. São acionadas automaticamente e operam em conjunto com o sistema de proteção da rede.
4. Reatores que limitam a corrente de descarga dos capacitores;
5. Pará-raios que protegem os componentes do CSM contra descargas atmosféricas;
6. Painel de Comando e Proteção que comanda a abertura e fechamento das chaves a vácuo;
7. TP ou Transformador de distribuição que alimenta o painel de comando e proteção e fornece a tensão de referência a ser monitorada e pelo relé do referido painel.

III. CSM- 01 PRIMEIRO PROTÓTIPO

O primeiro CSM (CSM-01) foi instalado no alimentador COB-07, que alimentava parte da maior fazenda de plantação de laranja do mundo. O cabo do COB-07 é 477 MCM e as cargas principais eram 61 Motores Trifásicos de Indução (MIT), instaladas a mais de 20 km da SE, acionados por dispositivo Soft-Starter, que permaneciam ligados após partida dos mesmos, funcionando como controladores da

tensão. Na configuração original do alimentador, o sistema era composto por equipamentos corretivos, com 03 bancos de reguladores de tensão em delta fechado e quatro bancos de capacitores em derivação. Nesta situação a partida do 40º MIT provocava queda de tensão acima de 10%, causando a atuação da proteção do Soft-Starter e desligamento dos demais MIT que estavam em funcionamento. Esta configuração não era suficiente para manter a estabilidade de tensão, impedindo a entrada em operação dos demais motores, prejudicando o consumidor e a CPFL. O diagrama esquemático da Figura 2 apresenta os pontos L1-L2-L3- L4 e L7 onde estavam concentradas as cargas motoras.

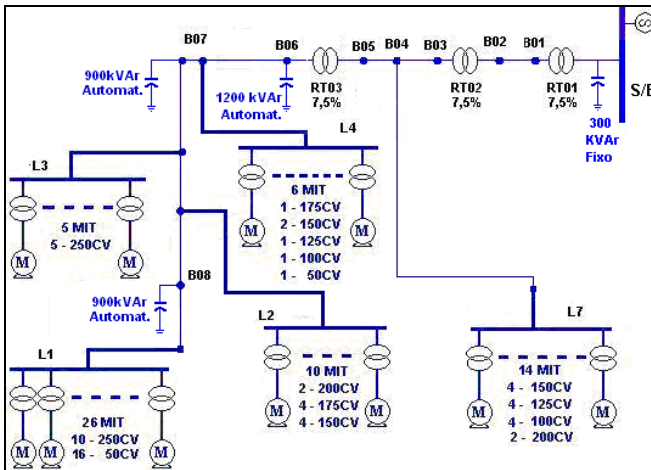


Figura 2 – Diagrama esquemático do COB-07 com os pontos de carga

Visando avaliar a queda de tensão na partida dos motores, foi efetuada medição da forma de onda da tensão na entrada do Soft-Starter do 26º MIT do ponto L1, durante a partida consecutiva de outros 2 MIT.

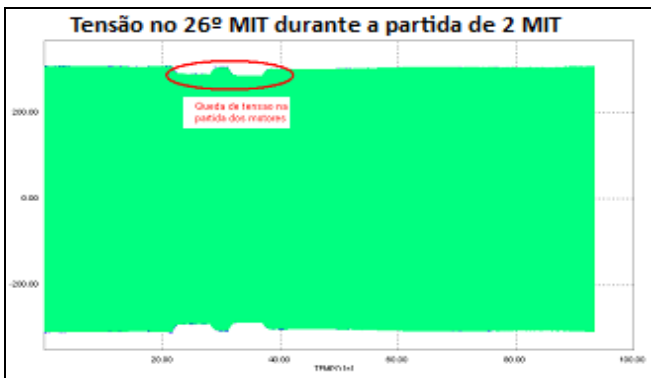


Figura 3 – Tensão no 26º MIT na partida consecutiva de 2 MIT

Pela Figura 3, a queda de tensão registrada no 26º MIT foi de 8%, mostrando a possibilidade da partida do 41º provocar uma queda de tensão superior a 10% e conseqüente desligamento em cascata dos demais motores. Visando avaliar a situação, foram efetuadas simulações da partida do 41º MIT utilizando o software ATP, conforme seqüência de operação dos motores. As simulações mostraram a ocorrência de queda de tensão de 16%, comprovando a possibilidade de partida de apenas 40 MIT.

Para definição do ponto de instalação do CSM-01 e o valor da sua reatância foram feitas simulações para as condições do sistema em regime permanente, não

considerando os reguladores de tensão e os bancos de capacitores. Sendo escolhido um ponto a 20,2 km da S/E, onde o valor da reatância indutiva era de 8,8 Ω , sendo definido o valor da reatância capacitiva de 14,4 Ω . Portanto $X_C/X_L = 1,64$. A Figura 4 mostra o diagrama unifilar da região e a Figura 5 o resultado da simulação do perfil da tensão ao longo do alimentador.

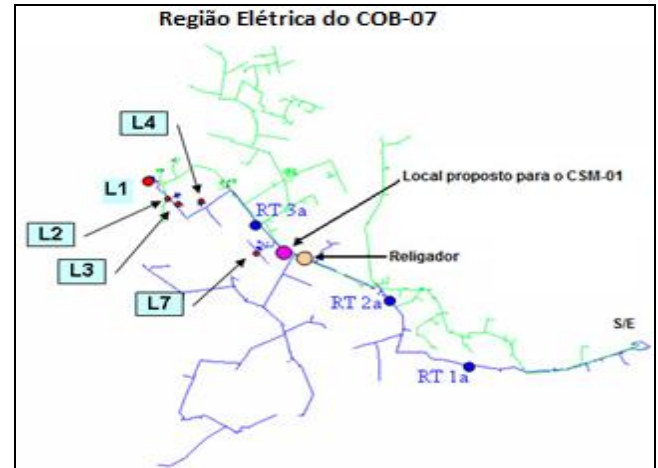


Figura 4 – Diagrama unifilar da região com ponto proposto para o CSM-01

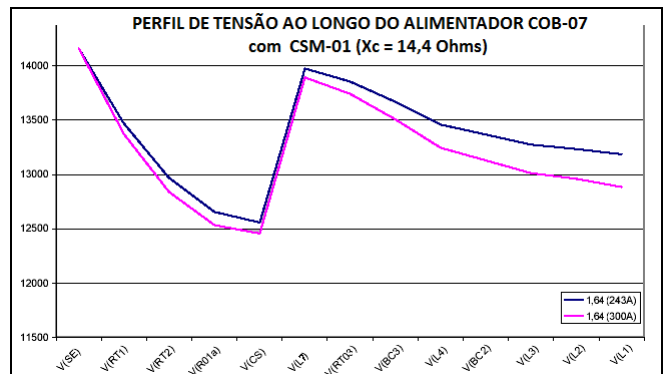


Figura 5 Perfil da tensão ao longo do alimentador COB-07.

O CSM-01 com reatância de 14,4 Ω proporcionava uma I_{CC} máxima de 2.146 A e resolvia o problema de queda de tensão em regime permanente, mas havia a necessidade de um estudo sob o aspecto de transitório. Para isto, foi utilizado o programa ATP, que tem limitação na consideração simultânea de motores, permitindo que a análise considerasse a partida de 10 motores e o restante como carga constante. Este tipo de simulação indicou a possibilidade de partida dos motores e não mostrou nenhum tipo de problema, mostrando que a solução para o regime permanente também atenderia o regime transitório.

Foram feitas análises econômicas considerando duas configurações de CSMU: 1- capacitor sobredimensionado de forma a suportar o curto-circuito máximo durante 500ms; 2- capacitor normal protegido por varistores de óxido de zinco. A 1ª configuração mostrou-se mais vantajosa.

Em virtude da necessidade da operação dos MIT da Fazenda, e do atraso no fornecimento de componentes, foi elaborada uma versão inicial do CSM-01, como mostrada na Figura 6.



Figura 6 Configuração preliminar do CSM-01

A configuração preliminar do CSM-01 foi composta apenas por: capacitor sobredimensionado, chave by-pass e pára-raios, sendo a proteção efetuada apenas pelo religador instalado a montante.

A energização do CSM-01 foi realizada sob condições normais de operação, não verificando quaisquer sinais de ferroressonância envolvendo os transformadores, e obtendo uma boa regulação de tensão. Em seguida, foram efetuados os acionamentos dos motores, de acordo com a seqüência normal de partida dos mesmos. Durante a energização dos primeiros 19 motores, localizados no ponto de carga L1, os resultados obtidos foram bastante satisfatórios.

A Figura 7 mostra o resultado do monitoramento da tensão no lado do Soft-Starter em um MIT de 250 cv, no ponto de carga L1 durante a partida consecutiva de outros dois motores, mostrando que realmente o CSM-01 elimina a queda de tensão durante a partida dos motores.

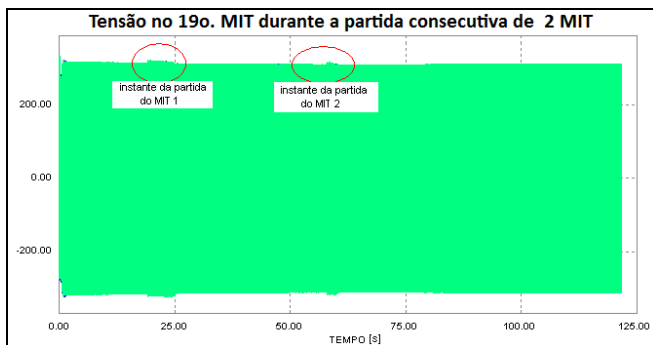


Figura 7. Tensão no 19º MIT em partidas consecutivas de 2 MIT

Porém com a entrada do 20º e 21º motor de 250 cv, localizados no ponto de carga L3, houve uma elevação significativa da corrente provocando a atuação do religador por sobrecorrente. A Figura 8 mostra os resultados dos cinco testes realizados, mostrando as sobrecorrentes que ocorreram durante a partida do 20º ou 21º MIT. Os testes foram realizados com três seqüências diferentes de partida dos motores, mas em todas elas ocorreram atuações do religador, causadas por sobrecorrente quando do acionamento do 20º e 21º MIT.

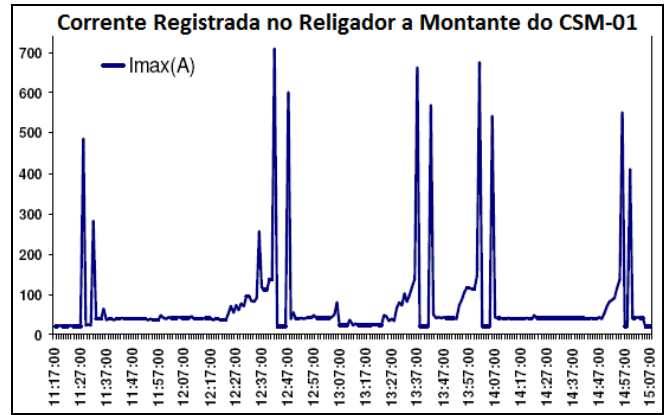


Figura 8. Corrente durante dos Testes do CSM-01 Versão Preliminar

Após a realização destes testes o CSM-01 foi colocado em by-pass e o alimentador mudado para a sua configuração original. Para avaliação dos problemas registrados foram efetuadas várias simulações, utilizando ATP, considerando a modelagem já utilizada, incluindo o sistema elétrico da CPFL, o alimentador, o CSM-01, o banco de regulador de tensão, o transformador com conexão D/Y, os bancos capacitores em derivação e os motores, obedecendo a seqüência normal de partida dos motores.

Para ampliar o desempenho do ATP, visando permitir a simulação de um número maior de motores, foi utilizada uma metodologia de agregação de motores. As simulações iniciaram com o acionamento dos motores do ponto de carga L1 e em seguida do ponto de carga L2, até o 20º MIT, obtendo resultados satisfatórios.

Na simulação do acionamento do 21º MIT ocorreu a sobrecorrente registrada em campo. Como resultados a Figura 9 mostra a corrente a montante do CSM-01 e a Figura 10 mostra a tensão a jusante do CSM-01, durante o acionamento do 20º e 21º MIT.

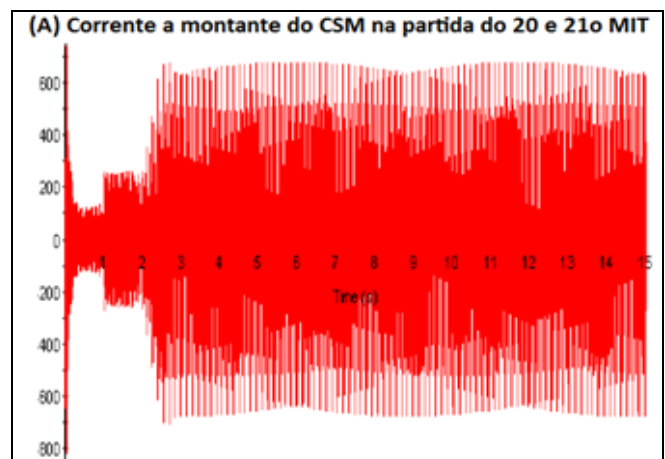


Figura 9. Corrente a Montante do CSM-01 durante testes



Figura 10. Tensão a jusante do CSM-01 durante testes

A Figura 11 mostra a forma de onda da tensão, durante a partida do 21º MIT, onde observa-se claramente a ocorrência da Ressonância Sub-síncrona RSS [7–8] provocada pela interação do sistema elétrico com o CSM-01 e sistema mecânico dos motores. Esta RSS é que provocou as sobrecorrentes e as oscilações de tensão [3–5].

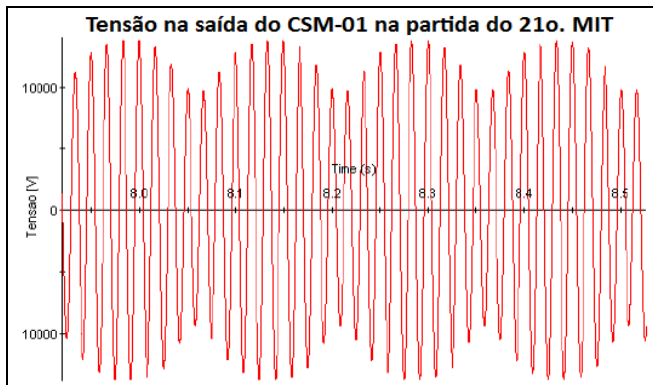


Figura 11. Tensão a jusante do CSM-01 durante os testes

Foram estudadas várias possibilidades para eliminar esta ressonância, sendo a que se mostrou mais eficiente a redução do grau de compensação do CSM. Esta redução consiste na inserção de mais unidades capacitivas instaladas em paralelo com as unidades existentes.

A Figura 12 mostra os resultados da simulação com o grau de compensação (K) reduzido de 164 para 136,84%, obtido através da ampliação da quantidade de unidades capacitivas de 10 para 12, onde se vê que a RSS deixa de ocorrer no 21º MIT e passa a ocorrer no 25º MIT. Já a Figura 13 mostra o resultado da simulação com o grau de compensação reduzido de 136,84% para 117,29%, quando desaparece a ocorrência da ressonância.

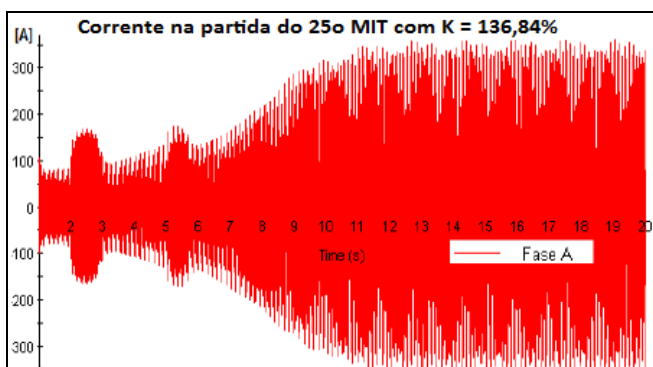


Figura 12. Corrente na partida do 25º MIT com $K = 136,84\%$, $X_C=12\Omega$

A Figura 13 mostra a corrente na partida do 61º MIT, com $K = 117,29\%$. Este grau de compensação foi obtido para uma reatância capacitiva de $10,3 \Omega$, através da ampliação das unidades capacitivas para 15 por fase, no acionamento do 61º MIT, onde se vê que a RSS deixa de existir.

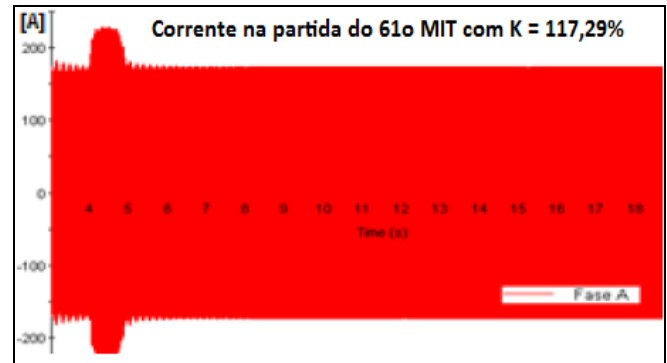


Figura 13. Corrente na partida do 61º MIT com $K = 117,29\%$, $X_C=10,3\Omega$

Em função dos resultados da simulação, o CSM-01 foi ampliado, passando de 10 para 15 unidades por fase. A Figura 14 mostra a Foto do CSM-01 na sua versão definitiva, composto por: capacitor, reator, chave a vácuo, chave by-pass, painel de comando e proteção e pára-raios.

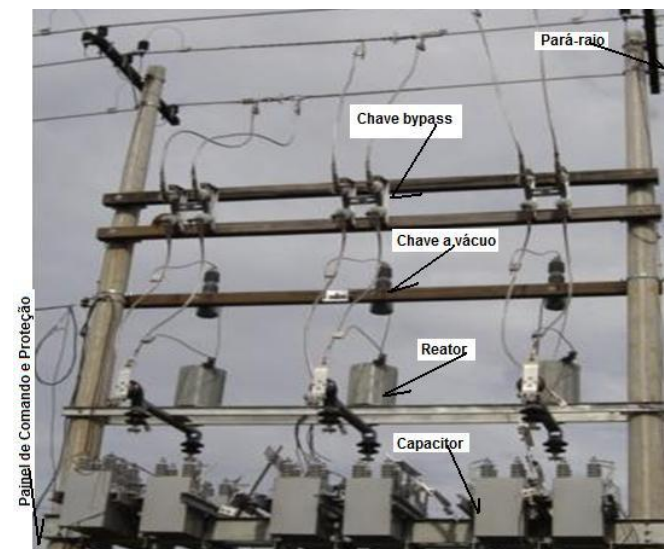


Figura 14. Foto do CSM-01 Versão Final

A Figura 15 mostra o resultado do monitoramento da tensão na saída do CSM-01, com os motores operando normalmente, ou seja, todos os motores funcionando.

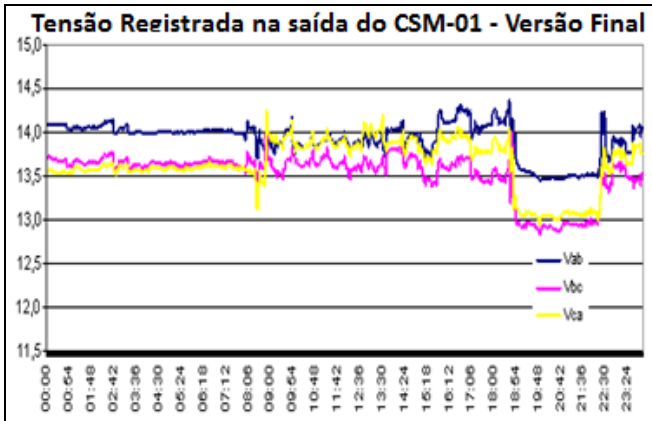


Figura 15. Tensão Registrada na saída do CSM-01

IV. CSM-02 SEGUNDO PROTÓTIPO

O CSM-02 foi instalado no alimentador IBI-04, que atende parte da zona rural do município de Ibiúna, em 23,1 kV. A Figura 17 mostra, via simulação, o perfil de tensão para a configuração original do alimentador.

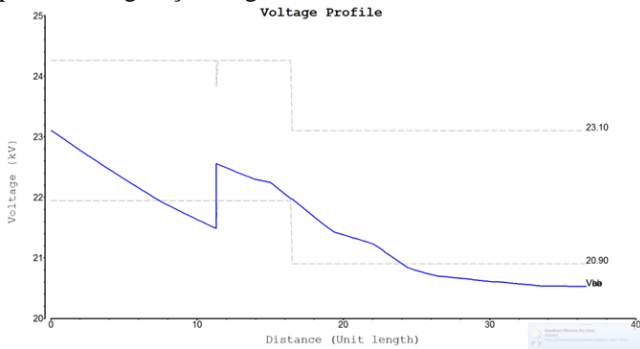


Figura 16. Perfil de Tensão para a configuração original do Alimentador IBI-04

Pela Figura 16 vê-se que o IBI-04 apresenta pontos com tensão próximos de 20,64 kV, que é o limite inferior da faixa considerada como tensão adequada, para tensão de operação 22 kV. Portanto, para atendimento a novas cargas, o alimentador estava esgotado.

Visando ampliar a capacidade de atendimento do alimentador, foi definido que o CSM-02 seria instalado neste alimentador. A Figura 17 apresenta a região elétrica do IBI-04

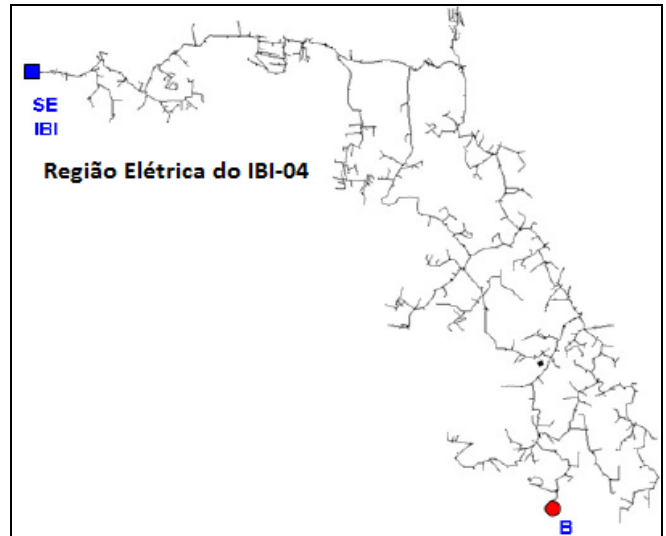


Figura 17. Região Elétrica do IBI-04

Para definição do ponto de instalação e do valor da reatância capacitiva do CSM-02 foram feitas algumas simulações utilizando o software ADEPT para as condições de regime permanente. Como resultado foi escolhido um ponto do alimentador, situado a 29,5 km da S/E, com uma reatância indutiva de 17,1 Ω conforme mostra a Figura 18.

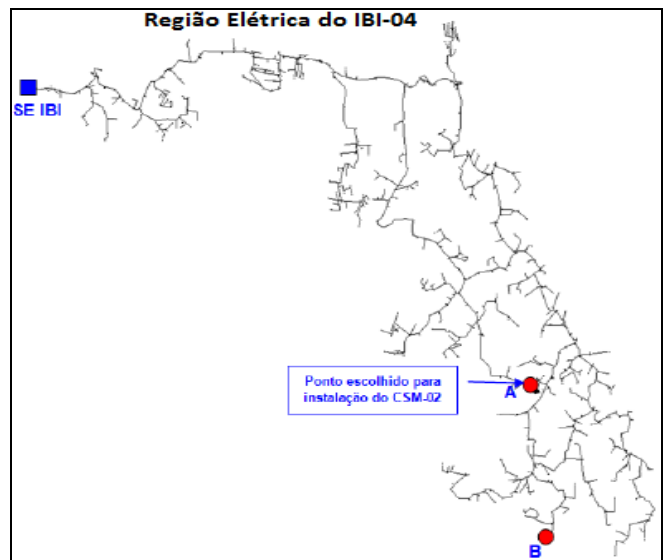


Figura 18. Região Elétrica do IBI-04 e ponto da instalação CSM-02

Considerando os dados da carga e a reatância do ponto escolhido, e uma sobrecompensação de 120%, resultou em uma reatância do CSM-02 de 20,52 Ω . A Figura 19 mostra o perfil da tensão simulada na carga pesada do IBI-04 com CSM-02, com os valores obtidos em campo para corrente 17,59 A e Fator de Potência de 90%, mostrando que a tensão no ponto B ficou em 0,95 pu.

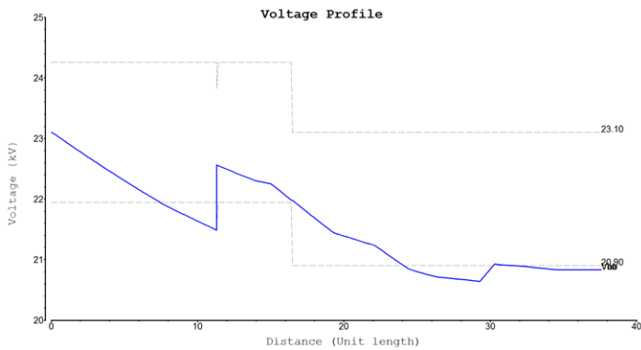


Figura 19. Perfil de Tensão do IBI-04 Carga Pesada com CSM-02

A Figura 20 mostra perfil da tensão na carga leve simulada para o IBI-04 com o CSM-02, para a corrente obtida em campo de 4,84 A e Fator de Potência de 90%, a tensão no ponto B ficou em 1,01 pu.

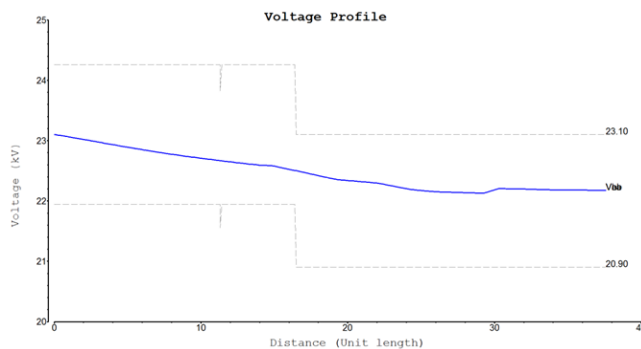


Figura 20. Perfil de Tensão do IBI-04 Carga Leve com CSM-02

Para definição do tipo de CSMU a ser utilizado no CSM-02, com reatância de $20,52 \Omega$ e uma corrente de curto circuito máxima de 640 A, foram feitas análises econômicas considerando as seguintes configurações:

- 1- capacitor dimensionado para suportar o curto-circuito máximo durante 500ms (sobredimensionado);
- 2- capacitor normal protegido por varistores de óxido de zinco.

O resultado das análises apontou como sendo mais vantajosa a configuração nº 2.

A Figura 21 mostra a Foto do CSM-02 na configuração composta por: capacitor normal, varistor de óxido de zinco, reator, chave by-pass, painel de comando e proteção, painel de proteção contra desequilíbrio de tensão, transformador e pára-raios.

A Figura 22 mostra o resultado do monitoramento da tensão na saída do CSM-02 em dois momentos:

- a) Com o banco desligado (22/02) e;
- b) Com o banco ligado (12/04).

Ainda que a medição tenha sido em dias diferentes, apesar de ser num mesmo dia da semana (quarta-feira) o gráfico permite constatar o ganho de tensão obtido com a aplicação do CSM-02.

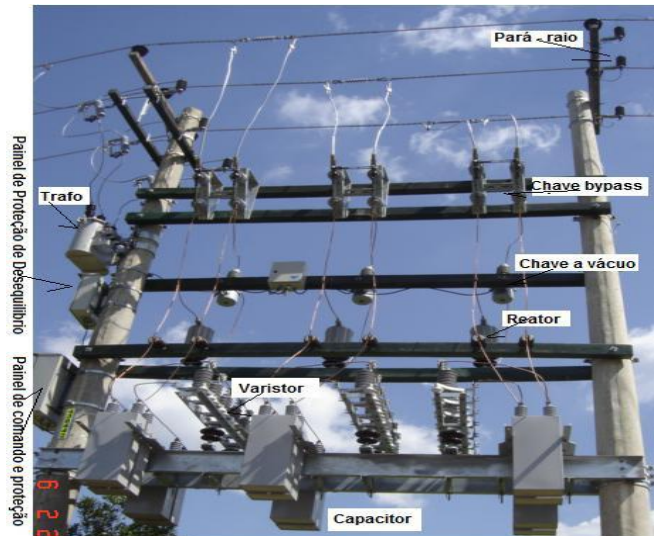


Figura 21. Foto do CSM-02 Instalado e em Operação.

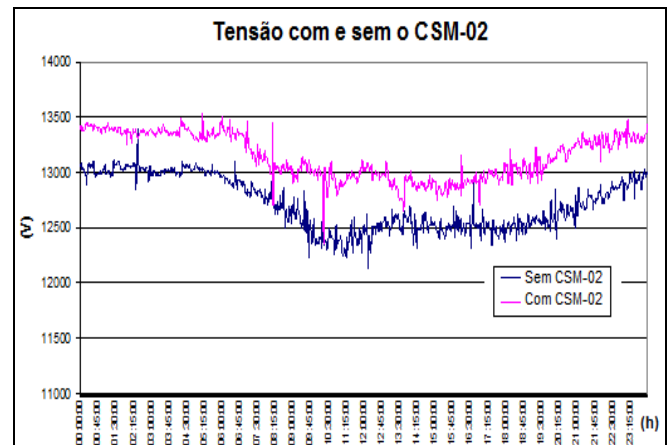


Figura 22. Tensão com e sem o CSM-02

V. CONCLUSÃO

O trabalho do PD-96 proporcionou ganhos significativos tanto para a concessionária como para a sociedade. Para a concessionária já resultou numa nova forma de aplicar um conhecimento antigo de regulação de tensão, que em muitos casos pode resolver sérios problemas de tensão, partidas de motores, flicker, etc, com investimentos menores que as soluções tradicionais, como construção de novos alimentadores, subestações, etc.

O problema de partida de motores em uma rede de distribuição não é raro no sistema elétrico brasileiro e geralmente as soluções convencionais envolve um grande volume de investimentos. No caso apresentado, a partida de 41 motores de um total de 61 não foi possível se fazer através de equipamentos corretivos convencionais, como bancos de reguladores de tensão e bancos de capacitores em derivação. No entanto, a aplicação do primeiro protótipo de CSM, possibilitou a partida de todos os motores regularizando o processo de irrigação da maior fazenda de plantação de laranja do mundo.

O CSM-01 utilizou uma estrutura para 48 capacitores, mas abrigou 45, dimensionados para suportar a máxima corrente de curto, dispensando a necessidade do uso de varistores, mostrando-se bastante eficiente. Entretanto caso

precisasse ser feito novamente, nas mesmas condições, economicamente seria mais vantajosa a utilização da estrutura padronizada com capacitores e varistores, o que reduziria bastante a quantidade de capacitores e o custo.

No segundo protótipo o grande desafio foi construir uma estrutura com pouco recurso, visto que a aplicação da mesma tecnologia do CSM-01 exigiria investimentos da ordem de mais de R\$ 600.000,00 quando o disponível era em torno de R\$ 160.000,00. Por isto foi pesquisado com bastante profundidade o uso de varistores de óxido de zinco, para grampear a tensão dos capacitores, quando da ocorrência de curtos circuitos, permitindo com isto reduzir a tensão dos capacitores.

O segundo protótipo instalado no 23,1 kV, a 32 km da SE, onde havia problemas de queda de tensão, permitirá que a CPFL atenda a carga da região, sem necessidade de obras para regulação de tensão, até o ano de 2017. Este se mostrou mais adequado para a CPFL, em virtude do seu tamanho, e possibilidade de ser instalado em vias públicas, o que não seria possível com o protótipo do CSM-01, que foi instalado em uma fazenda. A estrutura do CSM padrão foi proposta para comportar no máximo 7 capacitores padronizados e 9 varistores padronizados, mas foi avaliada combinações para o CSMU, contendo de 3 a 7 capacitores com 1 a 9 varistores, considerando também as combinações sem varistores, contemplando 49 combinações diferentes de CSMU.

O sucesso dos protótipos resultou em uma proposta de padrão de CSM, que é uma mescla entre os dois protótipos, compostos por capacitores, varistores, reatores, chave a vácuo e painel de comando e proteção, e estrutura. A estrutura comporta até 7 capacitores e 9 varistores. Os varistores são utilizados quando o nível de curto proporcionar sobretensão além da tensão suportável do capacitor. A sobretensão depende da reatância do capacitor e do nível de curto-circuito local. Se a tensão resultante nos terminais dos capacitores, for menor que a tensão suportável por eles o CSMU poderá ser do tipo autoprottegido (sem varistores), e se for maior, poderá ser semiprottegido (com varistores). A estrutura permite o uso de qualquer um desses tipos de CSMU.

Todos os equipamentos: capacitor, varistor, reator, chave a vácuo, painel de controle, e partes do suporte do CSM, são previamente definidos e dimensionados e farão parte do material normal de estoque. Com isto, a CPFL fará uso dos equipamentos em função do ponto onde os estudos indicarem a instalação do CSM, bem como do valor de reatância que resolve o problema existente.

No termino do projeto foram mostradas melhorias que ainda podem ser desenvolvidas e implementadas no CSM, visando garantir soluções mais eficientes e mais baratas que as soluções convencionais. Mas o padrão proposto permite à CPFL 49 combinações de CSMU o que já representa um grande avanço para a aplicação da compensação como solução para partida de grandes motores de indução e alternativas para a expansão do sistema de distribuição, até o 23 kV.

Os bons resultados obtidos com a aplicação dos protótipos CSM-01 e CSM-02, protótipos do compensador

série modular, mostraram que a CPFL pode dispor de uma nova tecnologia para ampliar a flexibilidade do seu sistema elétrico no atendimento de seus clientes, mantendo os padrões de qualidade do fornecimento, com menos investimento e com mais eficiência.

Cuidados especiais devem ser tomados na hora da escolha do ponto e do dimensionamento da reatância capacitiva do CSM, principalmente no que se refere a:

Ferroressonância: caso a linha tenha que ser energizada com o CSM inserido (não em by-pass), devem ser feitas simulações considerando as condições transitórias de energização da linha. Numa condição particular, onde a energização é feita com a tensão próxima ao nível zero, os harmônicos preponderantes são os pares e de baixa ordem, com forte saturação do meio magnético, o que favorece a condição de ressonância não-linear, podendo ser estabelecidas correntes sub-harmônicas e oscilantes, que podem gerar níveis de tensão bastante elevados. [4]

Ressonância Subsíncrona: O campo elétrico do sistema elétrico com o CSM energizado pode interagir com o campo magnético dos MIT – Motores Trifásicos de indução. A reatância capacitiva resultante pode ressonar com a reatância indutiva dos MIT em uma determinada condição de acionamento dos mesmos. Portanto, numa linha onde há predominância de motores devem ser feitos estudos dos transitórios, considerando a energização dos motores, para verificar a possibilidade da ocorrência de Ressonância Subsíncrona (RSS) [4].

Proteção contra sobre corrente: Sempre considerar que, para qualquer configuração proposta, o CSM trabalha em conjunto com a proteção da linha. Avaliar se os ajustes de sobrecorrentes da proteção à montante garantem que a primeira operação ocorra na curva instantânea em tempo inferior a 500ms no caso de CSMU autoprottegido, ou 100ms quando se o CSMU semiprottegido.

VI. BIBLIOGRAFIA

Periódicos

- [1]. J. Camargo, M. Martins, W.B., Suzuki, D.J. Ferreira, e G.P. Caixeta. Aplicação de um Compensador de Reativos Série Modular numa Localidade Rural com Grande Concentração de Motores de Indução – XVII SENDI – Recife - 2008.
- [2]. Marafão F. P; Camargo J; Zanetti E.R; Jr Souza R.A. “Capacitor Série como Alternativa de Investimentos para a Expansão da Distribuição” - XVI SENDI - Brasília - 2004.
- [3]. Oliveira, H.R.P.M., C.E.C. Figueiredo, N.C. de Jesus. Operação de Sistemas de Compensação Série em Alimentadores de Média Tensão. Eletricidade Moderna, outubro, 2004.
- [4]. JESUS, N. C. de; Torres, A. O. ; Moor Neto, J. A. ; Oliveira, H. R. P. M. ; Figueiredo, C. E. C. ; Libano, F. B. ; Braga, Rodrigo A. M. . Considerações sobre Aplicação de Compensação Série em Sistemas de Distribuição Visando Melhorias na Qualidade de Energia. V Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica, 2003, Aracaju, 2003.

- [5]. H. R. P. M. de Oliveira & C. E.C. Figueiredo & N.C. de Jesus "Resultados Obtidos na Operação de Sistemas de Compensação Série em Alimentadores de Média Tensão da AES Sul" XV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica - SENDI 2002.
- [6]. Garcia, F. R. And Mello, G. S., "Compensação Série em Sistemas de Distribuição e Subtransmissão: Novas Tecnologias de Controle e Proteção". XVI SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Campinas-SP, 21 a 26 de outubro de 2001.
- [7]. MISKE, S.A. Considerations for the Application of Series Capacitors to Radial Power Distribution Circuits. IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 16, No. 2, April, 2001.
- [8]. C.F. Wagner., "Self-excitation of Induction Motors with Series Capacitor Series Capacitor" AIEE Transactions, vol.60, 1941, pp.1241-1247.