

MITIGAÇÃO DE HARMÔNICOS E TRANSITÓRIOS DEVIDO A INSTALAÇÃO E CHAVEAMENTO DE BANCO DE CAPACITORES: ESTUDO DE CASO REAL

Glássio Costa de Miranda

Professor na Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de engenharia / Departamento de Engenharia Elétrica
Belo Horizonte, MG, Brasil
glassio@ufmg.br

Henrique Fantoni Primo

Gerente do Departamento de Estudos Elétricos
SM&A Sistemas Elétricos Ltda.
Belo Horizonte, MG, Brasil
henrique.fantoni@sma-eng.com.br

Resumo - Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados das análises de alternativas para a mitigação dos harmônicos e transitórios eletromagnéticos gerados na instalação e chaveamento de bancos de capacitores em um sistema elétrico de potência de uma planta industrial de um Terminal Integrador Portuário. Foram realizadas simulações de fluxo de potência e harmônicos no programa SKM PowerTools e simulações de transitórios no software ATP, comprovando-se que a adoção de reatores e resistores em série com os bancos de capacitores, ou seja, filtros harmônicos, foi a melhor solução em relação ao custo-benefício, pois além da redução significativa dos níveis de THDv, de 12,2% para 1,3%, obteve-se a mitigação dos transitórios eletromagnéticos para valores de sobretensões de 105% de V_n e sobrecorrentes de $4,47 \times I_n$.

Palavras Chaves - Chaveamento de bancos de capacitores, correção fator de potência, filtros harmônicos, níveis de distorções harmônicas, sobretensões de manobra.

I. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de reduzir custos e otimizar o desempenho do sistema de energia elétrica, concessionárias de energia e grandes consumidores comumente utilizam bancos de capacitores como alternativa para regulação de tensão, bem como para correção do fator de potência. A inclusão destes bancos altera de forma significativa a ressonância paralela do sistema e em diversos casos, provocam elevados índices de distorções harmônicas de tensão (THDv). Em geral, bancos de capacitores são manobrados diariamente para reagir às condições de carregamento do sistema, sendo este, portanto, um dos eventos mais comuns em sistemas elétricos de potência. Manobras em bancos de capacitores em derivação podem acarretar em severas solicitações, de tensão e corrente, aos equipamentos do sistema, causando transitórios de frequências elevadas cuja intensidade depende da configuração dos componentes da rede, da potência de curto-circuito, da quantidade de bancos de capacitores e de suas respectivas potências, das reatâncias dos barramentos da

subestação, da presença de para-raios e reatores limitadores de corrente, etc. [5]. Desta forma, observa-se a necessidade de estudos específicos para a instalação e manobras de banco de capacitores em cada sistema elétrico com o intuito de determinar os níveis THDv e os valores de sobretensões e sobrecorrentes advindas destas manobras. Tais estudos tornam-se imprescindíveis para o correto dimensionamento dos equipamentos responsáveis pela correção de reativos (bancos de capacitores, reatores e resistores), bem como diversos equipamentos do sistema, tais como para-raios, disjuntores, barramentos, transformadores de corrente, entre outros.

Devido à necessidade da correção do fator de potência na entrada do sistema elétrico analisado neste trabalho, conforme PRODIST (Procedimentos de Distribuição – ANEEL) e Resolução ANEEL nº 414 de 09 de setembro de 2010, fez-se necessária a inclusão de um montante de reativos da ordem de 4,4MVAR em 13,8kV. Dividiu-se este montante de reativos em quatro estágios de bancos de capacitores com 1,1MVAR cada, sendo os mesmos agrupados dois a dois nas Barras A e C, conforme Figura 1, e chaveados de acordo com a operação das cargas da planta industrial. Analisou-se neste trabalho as duas condições operacionais do sistema:

- Regime permanente

Verificou-se que os níveis de THDv obtidos com a inclusão dos bancos de capacitores foram superiores aos limites recomendados pela Norma IEEE 519 [10]. Estes valores podem causar o mau funcionamento de equipamentos, bem como sobreaquecimento, perdas, e até a queima dos mesmos. Desta forma, definiu-se e analisou-se uma alternativa para a mitigação destes níveis de THDv. Esta alternativa consiste na inclusão de reatores e resistores em série com os bancos de capacitores, ou seja, a utilização de filtros harmônicos. Com a adoção dessa alternativa, os níveis de THDv

obtidos foram reduzidos a valores bem inferiores aos limites recomendados.

- **Regime Transitório**

Verificou-se que durante as manobras de chaveamento dos bancos de capacitores a corrente de energização (inrush) atingiu valores extremamente elevados, bem acima do recomendado, $100 \times I_n$, pela Norma NBR 5282 [6], bem como a sobretensão transitória obtida em alguns casos, foi bem superior ao valor recomendado pelos fabricantes de inversores de frequência e equipamentos eletrônicos ($V_{max} < 130\%$ para transitórios) [2]. Desta forma, definiu-se e analisou-se três alternativas para a mitigação destes transitórios, denominados de oscilatórios pela Norma IEEE Std.1159 [9], devido ao chaveamento destes bancos. Estes transitórios duram em torno 150 a 200ms e podem implicar em desligamentos indevidos de cargas sensíveis (inversores de frequência e equipamentos eletrônicos) e até a queima de reatores, bancos de capacitores e outros elementos do sistema elétrico. A alternativa que apresentou a melhor relação custo benefício para sua implementação, mitigou de forma eficaz os efeitos destes transitórios oscilatórios.

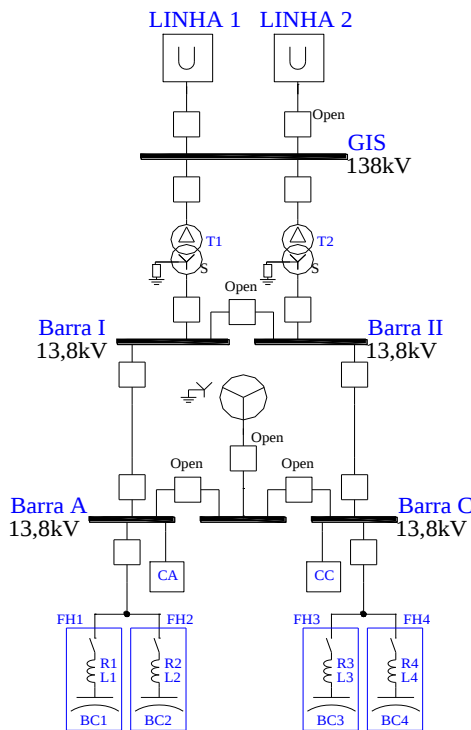


Figure 1. Diagrama Unifilar Simplificado

II. MODELAMENTOS E ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES

A. Regime Permanente

Inicialmente, modelou-se o sistema elétrico do Terminal Integrador Portuário no programa software SKM Power Tools, versão 7.0, considerando os níveis de curto-circuito no ponto de conexão em 138kV, fornecidos pela concessionária de energia, apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Níveis de Curto-circuito em 138kV

DESCRIÇÃO	VALORES	ÂNGULOS
TRIFÁSICO	8.890A	-80,82°
MONOFÁSICO	7.260A	-79,59°

Apresenta-se na Tabela 2 os dados elétricos dos transformadores de força.

Tabela 2 – Dados Elétricos dos Transformadores de Força

TAG	S (MVA)	TENSÃO (kV)	Z (%)	CONEXÃO
T1	12,5/15	138-13,8	10,00	Δ -Y*
T2	12,5/15	138-13,8	10,00	Δ -Y*

* Neutro aterrado com resistor de baixo valor ôhmico, limitando a corrente de curto monofásico em 100A.

Apresenta-se na Tabela 3 os dados elétricos das cargas equivalentes.

Tabela 3 – Dados Elétricos das Cargas Equivalentes

TAG	BARRA	TENSÃO (kV)	S (MVA)	FP	I (A)
CA	A	13,8	6,115	0,820i	255,76
CC	C	13,8	8,021	0,865i	338,04

Apresenta-se na Tabela 4 os valores das contribuições harmônicas das cargas equivalentes LA e LB.

Tabela 4 – Contribuições harmônicas das cargas LA e LB

h	I _h (%)	
	CA	CC
5	0,701	3,259
7	0,439	2,045
11	0,180	0,835
13	0,116	0,538
17	0,060	0,278
19	0,040	0,185
23	0,036	0,166
25	0,032	0,148

Apresenta-se na Tabela 5 os dados elétricos dos quatro bancos de capacitores idênticos.

Tabela 5 – Dados Elétricos dos Bancos de Capacitores

TAG	BARRA	TENSÃO (kV)	Q (MVar)	I _n (A)
BC1	A	13,8	1,100	46
BC2	A	13,8	1,100	46
BC3	C	13,8	1,100	46
BC-4	C	13,8	1,100	46

Desconsiderou-se nas simulações o gerador apresentado na Figura 1, uma vez que o mesmo opera apenas em condições de emergência, sendo conectado na Barra A ou C, via Barra B.

Simulou-se o fluxo de potência e harmônicos em duas condições operacionais possíveis:

- Condição 1 – Normal: T1 e T2 isolados

Na condição normal de operação da planta, o disjuntor de interligação das Barras I e II permanece aberto, ou seja, os transformadores T1 e T2 operam isolados.

- Condição 2 – Contingência: Apenas 1 transformador

Durante uma contingência, como por exemplo a manutenção de um dos transformadores, o disjuntor de interligação das Barras I e II é fechado e o sistema passa a ser alimentado apenas pelo outro.

Apresenta-se nas tabelas 5 os resultados do fluxo de potência obtidos no ponto de conexão com a concessionária em 138kV (Barra GIS), antes e após a inclusão dos quatro bancos de capacitores de 1,1MVar cada.

Tabela 6 – Resultados do Fluxo de Potência para a Condição 1

CONDIÇÃO OPERACIONAL	NATURAL		COM BC	
	S (MVA)	FP	S (MVA)	FP
1 - Normal	14,863	0,821	12,786	0,952
2 - Contingência	15,402	0,796	13,050	0,938

Conforme apresenta-se na Tabela 6, os níveis da Distorção Harmônica Total de Tensão (THDv) calculados para a condição 2, considerando apenas os bancos de capacitores, estão acima dos limites recomendado pela Norma IEEE Std. 519 [10]. Adotou-se a inclusão de resistores e reatores em série com os bancos, como alternativa para a mitigação destes valores. Desta forma, pode-se observar que os níveis de THDv obtidos com os quatro filtros harmônicos de 1,1MVar em 13,8kV, dessintonizados de 3,8ª ordem harmônica e com fator de qualidade igual 40, foram reduzidos para valores bem abaixo do limite recomendado.

Tabela 7 - Resultados do Fluxo de Harmônicos

BARRA	TENSÃO (kV)	THDv (%)					
		COND. 1 Normal		COND. 2 Cont.		LIMITE IEEE 519	
		BC	FH	BC	FH		
GIS	138	0,2	0,1	0,7	0,1	2,5	
I	13,8	1,1	0,3	12,2	1,1	5,0	
II	13,8	3,6	1,4	12,2	1,1	5,0	
A	13,8	1,2	0,3	12,7	1,1	5,0	
B	13,8	3,8	1,5	12,6	1,3	5,0	
C	13,8	3,8	1,5	12,6	1,3	5,0	

Nas Figuras 2 e 3, apresenta-se o espectro harmônico de tensão nas barras do sistema elétrico analisado, considerando o mesmo operando na Condição 2 – Contingência (apenas 1 dos transformadores), com bancos de capacitores e com os filtros harmônicos, respectivamente.

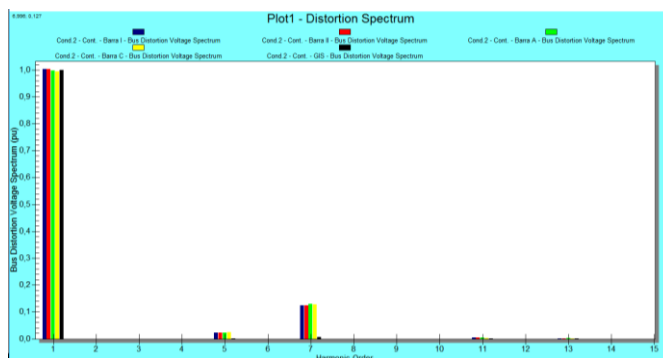


Figure 2. Espectro harmônico de tensão nas barras para a Condição 2 com Bancos de Capacitores

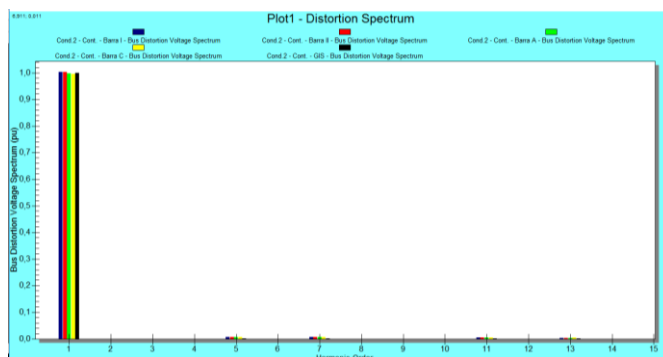


Figure 3. Espectro harmônico de tensão nas barras para a Condição 2 com Filtros Harmônicos

Nas Figuras 4 e 5, apresenta-se o espectro harmônico de tensão e a ressonância harmônica paralela nas barras do sistema elétrico analisado, considerando o mesmo operando na Condição 2 – Contingência, com bancos de capacitores e com os filtros harmônicos, respectivamente.

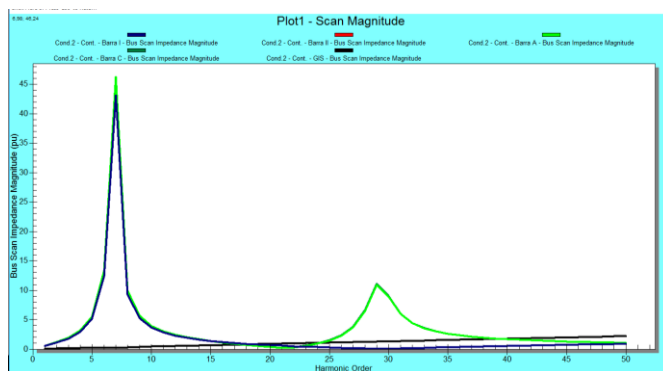


Figure 4. Ressonância harmônica paralela nas barras para a Condição 2 com Bancos de Capacitores

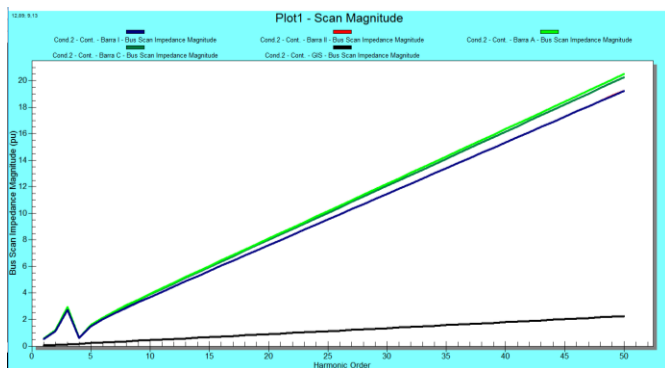


Figure 5. Ressonância harmônica paralela nas barras para a Condição 2 com Filtros Harmônicos

B. Regime Transitório

Modelou-se o sistema elétrico do Terminal Integrador Portuário no programa ATDraw considerando uma fonte de tensão trifásica a partir do modelo AC surge (1&3), com 13,8kV RMS entre fases e uma corrente de curto-circuito trifásica, calculada conforme Norma IEC 60909 [2], igual 5,2kA.

Modelou-se as cargas alimentadas na Barra A, como uma carga equivalente a partir do modelo RLC 3-ph, de acordo com os valores apresentados na Tabela 3.

Utilizou-se dois estágios com conexão Duplo-estrela Isolada para o modelamento dos bancos de capacitores BC-01 e BC-02, sendo duas unidades capacitivas de 183,33kVAr em 13,8kV por fase, totalizando 1,1MVar por estágio. As unidades foram modeladas como elementos lineares a partir do modelo Capacitor.

O modelo RLC 3-ph foi utilizado para a representação dos Cabos C-01, C-02 e C-03, considerando-se os parâmetros elétricos obtidos de catálogos de cabos de média tensão Eprotenax 15kV, sendo 1 cabo monopolar por fase com bitola igual a 50mm² e comprimentos: C-01 = 15m, C-02 e C-03 = 5m.

Para a mitigação dos transitórios eletromagnéticos gerados durante o chaveamento dos bancos de capacitores BC-01 e BC-02, analisou-se três alternativas:

- Filtros Harmônicos

Utilização dos quatro filtros harmônicos de 1,1MVar em 13,8kV, dessintonizados de 3,8ª ordem harmônica e com fator de qualidade igual 40, ou seja, inclusão de resistores e reatores em série com os bancos de capacitores. Estes elementos foram modelados como elementos lineares a partir dos modelos Resistor e Indutor.

- Chaves à vácuo com ZVC

Utilização de uma chave seccionadora tripolar à vácuo em cada estágio com um sistema de monitoramento denominado Zero Voltage Closing (ZVC).

Este sistema é capaz de realizar a manobra individual de cada fase no instante em que a tensão passa por

zero, no momento seguinte ao comando de fechamento. Modelou-se as chaves à vácuo CV-01 e CV-02, como monopolares, a partir do modelo Switch time_controlled.

- Filtros Harmônicos mais chaves à vácuo com ZVC

Utilização dos quatro filtros harmônicos de 1,1MVar em 13,8kV e das chaves seccionadoras com ZVC.

Os circuitos equivalentes utilizados no ATPDraw são apresentados nas Figuras 6 e 7.

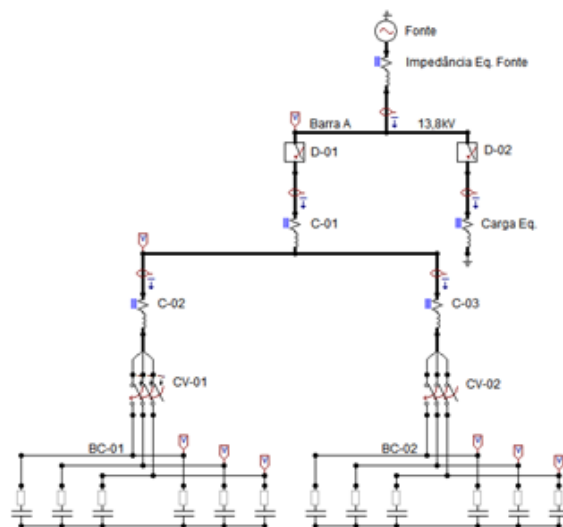


Figure 6. Modelamento do Sistema Elétrico Equivalente com BC

De forma a comprovar a eficácia dos métodos de mitigação descritos anteriormente, bem como definir qual o mais recomendado para este sistema elétrico analisado, realizou-se 12 simulações, sendo 8 manobras de fechamento (energização) e 4 manobras de abertura das chaves CV-01 e CV02. As características destas simulações são descritas na Tabela 7.

Tabela 8 – Simulações realizadas

SIMULAÇÃO	CV-01	CV-02	ALTERNATIVA MITIGAÇÃO
1	Fechamento	Aberta	-
2	Fechada	Fechamento	-
(back-to-back)			
3	Fechamento	Aberta	1 - FH
4	Fechada	Fechamento	1 - FH
(back-to-back)			
5	Fechamento	Aberta	2 - Chaves ZVC
6	Fechada	Fechamento	2 - Chaves ZVC
(back-to-back)			
7	Fechamento	Aberta	3 - FH e Chaves ZVC
8	Fechada	Fechamento	3 - FH e Chaves ZVC
(back-to-back)			
9	Abertura	Aberta	-
10	Fechada	Abertura	-
11	Abertura	Aberta	1 - FH
12	Fechada	Abertura	1 - FH

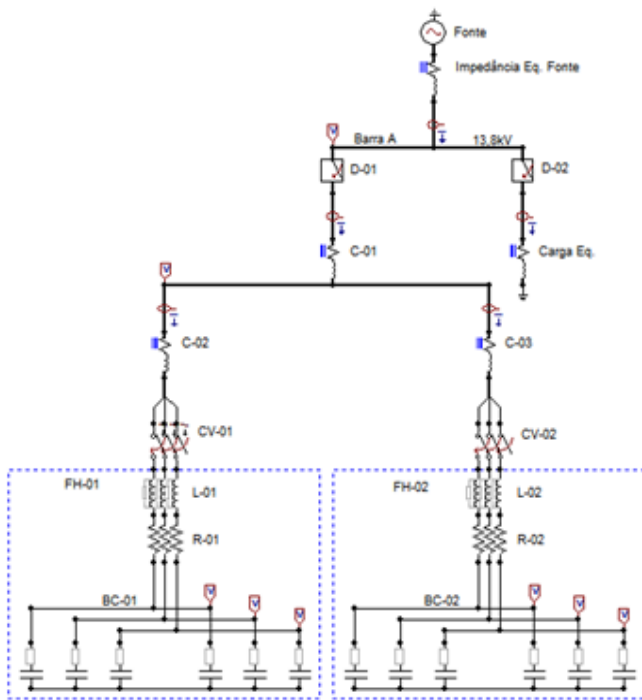


Figure 7. Modelamento do Sistema Elétrico Equivalente com FH

Conforme pode-se observar nos resultados apresentados na Tabela 8 e na Figura 8, a sobretensão máxima obtida na Barra A foi durante a energização do BC-01, sem a mitigação dos transitórios eletromagnéticos (Simulação 1), chegando a 186% da tensão nominal (V_n). Este valor está bem acima do recomendado pelos fabricantes de inversores de frequência e equipamentos eletrônicos ($V_{max} < 130\%$ para transitórios) [10]. Apesar das sobretensões máximas obtidas no banco de capacitores serem da ordem de 188% de V_n , pode-se verificar na Figura 9, que o tempo é da ordem de microssegundos. Conforme a Norma NBR 5282 [6], a suportabilidade dos capacitores neste caso é extremamente elevada, sendo bem superior a este valor.

Tabela 9 – Sobretensões e Sobrecorrentes Transitórias máximas obtidas nas Simulações

SIM.	SOBRETENSÕES (% V_n)			SOBRECORRENTES (x I_n)		
	BARRA A	BC-01	BC-02	BARRA A	BC-01	BC-02
1	186	188	-	2,53	10,21	-
2	139	148	142	2,08	225,58	225,79
3	105	185	-	1,5	4,47	-
4	105	174	173	1,41	3,25	4,43
5	132	132	-	1,59	4,75	-
6	116	117	118	1,36	91,64	92,23
7	101	139	-	1,18	2,66	-
8	101	136	141	1,18	2,34	2,45
9	102	146	-	-	-	-
10	100	102	146	-	-	-
11	101	155	-	-	-	-
12	102	105	157	-	-	-

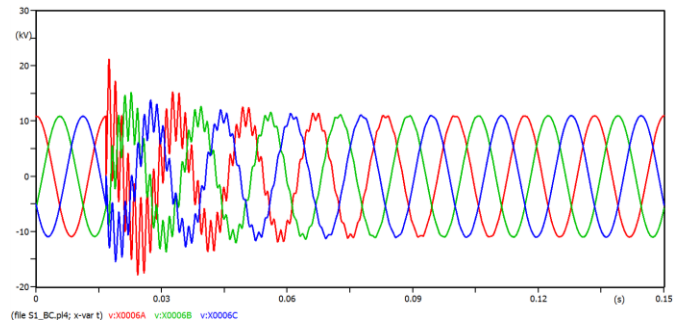


Figure 8. Simulação 1 - Tensões na Barra A durante a energização do Banco de Capacitor BC-02

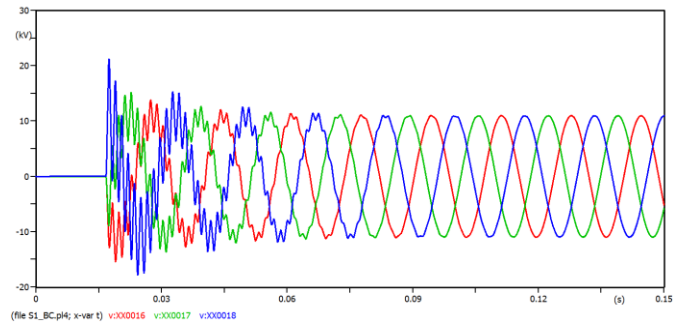


Figure 9. Simulação 1 - Tensões no BC-01 durante a energização do mesmo

Com a utilização da Alternativa 1 (Simulações 3 e 4), pode-se observar na Figura 10, que a inclusão dos reatores e resistores em série com os bancos e capacitores reduziu as sobretensões na Barra A para valores em torno de 105% da nominal. Já as sobretensões máximas obtidas nos bancos de capacitores foram em torno de 185% V_n .

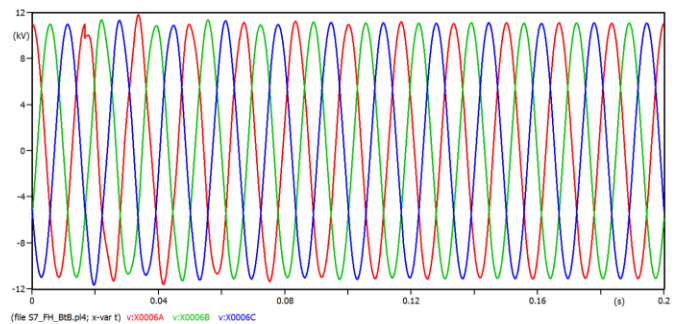


Figure 10. Simulação 4 - Tensões na Barra A durante a energização do Filtro de Harmônicos FH-02

As sobretensões máximas obtidas na Barra A e nos bancos de capacitores, considerando a utilização das chaves à vácuo com ZVC, Alternativa 2 (Simulações 5 e 6), foram de 132%, valores levemente acima do recomendado pelos fabricantes dos equipamentos sensíveis.

Para as Simulações 7 e 8, pode-se observar que a utilização dos filtros harmônicos e das chaves à vácuo com ZVC (Alternativa 3) as tensões obtidas na Barra A foram próximas a nominal e as sobretensões máximas nos bancos de capacitores foram de 139%.

Nesta mesma tabela, pode-se verificar que as manobras de abertura das chaves CV-01 e CV-02, Simulações 9, 10, não provocam sobretensões significativas na Barra A, porém nos bancos de capacitores os valores máximos obtidos foram de 146%. O mesmo pode-se afirmar das tensões na Barra A em relação as Simulações 11 e 12, que contemplam a adoção da Alternativa 1. As sobretensões máximas obtidas nos bancos de capacitores foram de 157% Vn, conforme Figura 11.

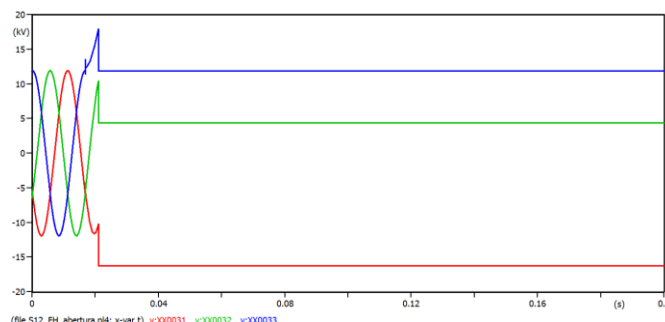


Figure 11. Simulação 12 - Tensões transitórias durante o desligamento do Banco de Capacitor BC-02

Em relação as sobrecorrentes transitórias, como era esperado, pode-se observar nos resultados apresentados na Tabela 8 e na Figura 12, que o valor máximo obtido foi durante a energização do BC-02, sem a mitigação dos transitórios eletromagnéticos e com o BC-01 ligado (Simulação 2), chegando a 225,79 da corrente nominal (I_n) dos bancos de capacitores. Este valor está bem acima do recomendado, $100 \times I_n$, pela Norma NBR 5282 [6]. Estas correntes extremamente elevadas, correspondem a uma troca de energia entre os bancos BC-01 e BC-02, pouco influenciando a contribuição do sistema. Nomeia-se este tipo de energização de bancos de capacitores em paralelo, como back-to-back.

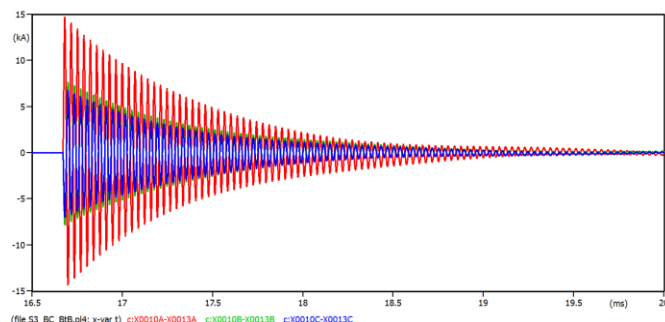


Figure 12. Simulação 2 - Correntes transitórias durante a energização do Banco de Capacitor BC-02

Com a inclusão dos reatores e resistores em série com os bancos e capacitores (Alternativa 1), pode-se observar na Figura 13 que as sobrecorrentes máximas obtidas na Simulação 4 reduziram para valores inferiores a $5 \times I_n$.

Conforme Figura 14, as sobrecorrentes máximas obtidas na Simulação 6, considerando a utilização das chaves à vácuo com ZVC (Alternativa 2), foram reduzidas para $92,23 \times I_n$, valores levemente abaixo do recomendado pela Norma NBR 5282 [6].

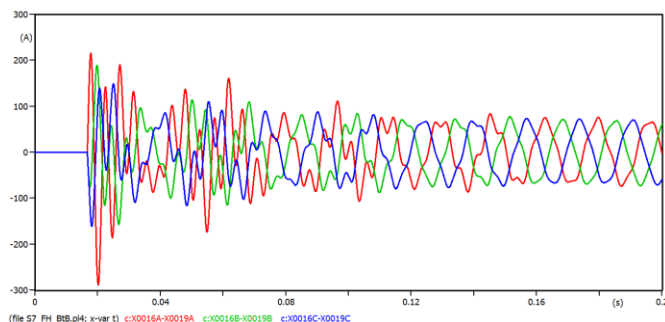


Figure 13. Simulação 4 - Correntes transitórias durante a energização do Filtro de Harmônicos FH-02

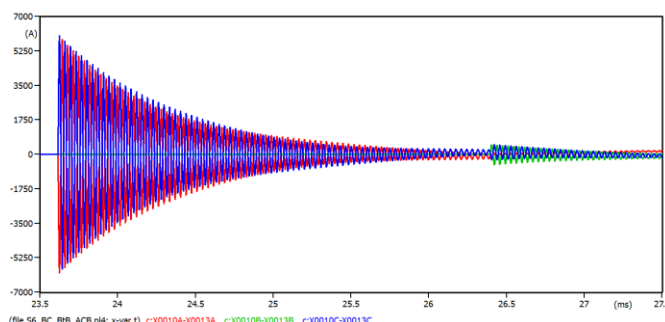


Figure 14. Simulação 6 - Correntes transitórias durante a energização do Banco de Capacitor BC-02.

Para a Simulação 8, pode-se observar que a inclusão dos reatores e resistores em série com os bancos e capacitores e a utilização das chaves à vácuo com ZVC (Alternativa 3) as sobrecorrentes máximas obtidas foram em torno de $2,45 \times I_n$.

Conforme resultados apresentados na Tabela 8, para o sistema analisado é necessária a utilização de uma das três alternativas de mitigação dos transitórios eletromagnéticos, de forma a evitar desligamentos indevidos de cargas sensíveis (inversores de frequência e equipamentos eletrônicos) e a queima de reatores e bancos de capacitores e outros elementos do sistema elétrico.

Tecnicamente a melhor solução para a mitigação destes gerados no chaveamento dos bancos de capacitores é a Alternativa 3, ou seja, a inclusão de reatores e resistores em série, bem com a adoção de chaves à vácuo com o sistema ZVC, conforme resultados apresentados na Simulação 8.

Em relação a questão financeira, pode-se afirmar que a solução descrita acima, possui um elevado custo, uma vez que além da inclusão dos resistores e reatores, o valor das chaves com o sistema ZVC chega a 140% do custo de uma comum.

Desta forma, adotou-se a utilização dos filtros harmônicos (Alternativa 1) por se tratar da melhor relação custo-benefício, para este sistema elétrico analisado, bem como por ser a mesma solução adotada para a mitigação dos níveis de THDv.

III. CONCLUSÃO

Mediante os resultados obtidos do fluxo de potência e harmônicos e das simulações de transitórios de manobras, observa-se a importância dos estudos relativos à análise das

alternativas para mitigar os níveis de THDv e as solicitações transitórias de tensão e corrente as quais o sistema elétrico pode ser submetido devido a instalação e às manobras de fechamento e abertura de bancos de capacitores.

Verificou-se que a forma (monopolar ou tripolar) e o instante de fechamento das chaves à vácuo influem diretamente nos valores das sobretensões e sobrecorrentes transitórias geradas no sistema. Os resultados obtidos com a utilização do sistema de monitoramento ZVC (Simulações 5, 6, 7 e 8), apresentaram valores inferiores aos das simulações com fechamento tripolar (Simulações 1, 2, 3 e 4). Entretanto, devido ao elevado custo de implementação, a mesma deverá ser adotada apenas quando não for necessária a redução dos níveis de THDv ou quando mesmo com a inclusão dos reatores e resistores em série com os bancos de capacitores (Alternativa 1), os valores das sobretensões e sobrecorrentes transitórias possam causar desligamentos indevidos de cargas sensíveis (inversores de frequência e equipamentos eletrônicos) ou a queima de reatores e bancos de capacitores e outros elementos do sistema elétrico.

De maneira geral, utiliza-se chaves à vácuo para manobras de bancos de capacitores de até 36kV. Há uma nova tecnologia em manobra de correntes capacitivas, conhecida com chave livre de transientes. Basicamente, é uma chave à vácuo com diodos em paralelo a cada polo. No momento que a tensão passa por zero e está na mesma polaridade dos diodos, ela passa a conduzir, e logo em seguida o polo principal se fecha. Resultado: manobra do banco sem produção de transientes. Atualmente estas chaves estão disponíveis apenas para instalação em ambiente interno e tensões de 15kV, mas existem trabalhos em desenvolvimento para aplicação desta tecnologia em ambiente externo com ranges de até 36kV.

Para tensões superiores a 36kV, tais como 145kV, 245kV e 500kV, utiliza-se na prática, disjuntores de uso externo sem e com sincronismo (dispositivo com função similar ao ZVC) para os chaveamentos dos bancos de capacitores e/ou filtros harmônicos.

Neste artigo, comprovou-se que com a utilização dos filtros harmônicos, minimizaram consideravelmente os valores das sobretensões para 105% de V_n e das sobrecorrentes transitórias na configuração back-to-back para $4,47 \times I_n$, além de reduzirem os níveis de THDv de 12,2% para 1,3%, valores inferiores aos limites recomendados pela Norma IEEE Std. 519 [10].

Desta forma, pode-se concluir que para o sistema elétrico analisado, a correção de reativos será realizada através da inclusão dos quatro filtros harmônicos de 1,1MVAR em 13,8kV, dessintonizados de 3,8ª ordem harmônica.

REFERÊNCIAS

- [1] Araújo, A. E.; Neves, W. L. A. *Cálculo de Transitórios Eletromagnéticos em Sistema de Energia*, 1ª ed. BH: Ed. UFMG, 2005, p. 260.
- [2] Garcia, F. R.; Silva, A. M.; Almeida, P. R.; Lemes, M. I., "Aplicação de Equipamentos de Compensação Reativa em Sistemas Industriais sob os Aspectos de Harmônicos e Transitórios de Manobra: Estudo de Casos Reais", Revisão E, CBQEEE, 2015.
- [3] Júnior, L. C. Z., *Fundamentos de Sistemas Elétricos de Potência*, 1ª ed. SP: Ed. Livraria da Física, 2006, p. 312.
- [4] Júnior, L. C. Z., *Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Potência*, Vol. 52. SP: Ed. Edusp – Editora da Universidade de São Paulo, 2003, p. 712.
- [5] Moura, D. F. P.; Dantas, K. M. C.; Neves W. L. A.; Júnior D. F., "Estudo de Surtos Decorrentes de Manobras em Bancos de Capacitores – Procedimentos Computacionais e Medidas Mitigadoras", 96708 SBSE 2012, p. 6.
- [6] Norma ABNT NBR para *Capacitores de Potência em Derivação para Sistemas de Tensão Nominal acima de 1000V - Especificação*, ABNT NBR 5282-1998, Jun. 1998.
- [7] Norma ANSI para *Application Guide for Capacitance Current Switching for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis*. ANSI C37.012-1979, Fev. 1979.
- [8] Norma IEC para *Short-circuit Currents In Three-Phase A.C. Systems*, IEC 60909-2001, Jul. 2001.
- [9] Norma IEEE para *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, IEEE Std. 1159-2009, Jun. 2009.
- [10] Norma IEEE para *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*, IEEE Std. 519-2014, Jun. 2014.