

ANÁLISE COMPUTACIONAL DE DESEMPENHO DE DUAS PROPOSTAS DE CONTROLE E CHAVEAMENTO PARA O COMPENSADOR ELETROMAGNÉTICO DE TENSÃO

Thiago V. Silva, Fabricio P. Santilio, Lucas E. Vasconcelos, José C. Oliveira

E-mails: tvsilva@gmail.com, fabricio.qee@gmail.com, lucasevasconcelos@gmail.com, jcoliveira@ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Grupo de Qualidade da Energia Elétrica - Uberlândia - MG, Fone: (34) 3239 4760 / 3239 4733

Resumo - O presente artigo apresenta uma comparação entre duas estratégias de controle para o regulador de tensão série, denominado aqui por Compensador Eletromagnético de Tensão – CET, assim como as características que cada uma das propostas demanda do sistema. A ideia fundamental do compensador apoia-se na injeção série de reforços de tensão, aditiva ou subtrativa, através de um arranjo físico totalmente eletromagnético quanto às suas unidades de potência e à parte de controle relativa a cada um dos modelos. O artigo ressalta ainda a estrutura física do dispositivo, os arranjos de cada unidade de controle e avalia o desempenho dos mesmos quando da ocorrência de variações de tensão advindas do supridor. Quanto aos estudos feitos e discutidos, estes se encontram alicerçados em trabalhos computacionais conduzidos através da plataforma ATPDraw.

Palavras-Chave – ATPDraw, Compensador Eletromagnético, Controle de Tensão, Dispositivos Semicondutores, Qualidade de Energia, Sistemas de Distribuição.

THE COMPUTATIONAL PERFORMANCE ANALYSIS OF TWO CONTROL AND SWITCHING PROPOSALS FOR THE ELECTROMAGNETIC VOLTAGE COMPENSATOR

Abstract - The present paper proposes two strategies for the electromagnetic voltage compensator (EVC) control units, as well as their system implications. The main idea lies on a series voltage reinforcement imposed by its electromagnetic power components which could generate an additive or subtractive voltage imposition and also compares both control strategies. The paper exposes the EVC physical structure, each one of the control units and enlightens their performance for voltage deviations occurrences in the main supplier. The time domain software ATPDraw was used to conduct the performance analysis and its results are then shown.

Keywords - ATPDraw, Distribution System, Electromagnetic Voltage Compensator, Power Quality, Semiconductor Devices, Voltage Control.

I. INTRODUÇÃO

A melhoria na qualidade de fornecimento de energia elétrica é um processo que vem se aperfeiçoando com o transcorrer do tempo, não somente por parte das empresas concessionárias de energia, como também motivada pelos consumidores e agentes reguladores como a ANEEL-PRODIST [1]. Neste cenário, quando da violação dos níveis preconizados, medidas corretivas devem ser utilizadas para a restauração do supridor aos padrões exigidos e, neste campo, as questões associadas com a regulação das tensões constituem-se em tema de grande relevância no contexto nacional e internacional.

Neste particular, reconhecem-se, há tempos, diversas propostas de soluções comerciais as quais, de um modo geral, contemplam tecnologias que utilizam princípios visando à regulação da tensão através da compensação de reativos ou através de meios que conduzam a variações diretas da tensão. Assim, destacam-se procedimentos tradicionais alicerçados na mudança de tapes (reguladores automáticos), injeção de tensão (filosofia dos condicionadores eletrônicos) e, por fim, outros baseados no conceito da absorção ou injeção de reativos nas redes elétricas (RCT, CCT, DVR, etc.) [2]-[5].

Muito embora haja o reconhecimento que tal diversidade de produtos comerciais possa atender às exigências do mercado, focando, de modo especial, situações específicas do cenário nacional, a busca por sistemas de compensação de tensão diferenciados em que pese aspectos como: simplicidade operacional, índice de nacionalização do produto e seus componentes, custos competitivos, manutenção apropriada às condições operacionais impostas, relação custo/benefício atrativo, tempo de resposta, etc., ainda oferecem desafios importantes a serem transpostos.

À luz destes fatos, fundamentando-se no princípio da compensação direta da tensão através da injeção de reforços positivos ou negativos desta grandeza, conciliando ainda características operacionais, dinâmicas e de regime permanente, apropriadas aos fins aqui delineados empregando arranjos físicos totalmente eletromagnéticos, surge a proposta do, aqui denominado, Compensador Eletromagnético de Tensão - CET. Tal equipamento, denominado aqui constitui-se, em sua essência, de duas unidades básicas como pode ser visto na Figura 1. Uma primeira destinada à extração de energia da rede, materializada na forma de um autotransformador conectado



X CEEEL - ISSN 2178-8308
24 a 28 de setembro de 2012
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

em paralelo com a rede e, uma segunda unidade, destinada à alimentação de um transformador responsável pela inserção, em série com o alimentador principal, de uma tensão compatível ao enquadramento do suprimento final aos padrões almejados [6]-[8]. Tais componentes, como será oportunamente constatado, não se constituem em equipamentos para os quais a potência passante seja igual à de suprimento, mas apenas de parcelas necessárias aos processos de compensação desejados.

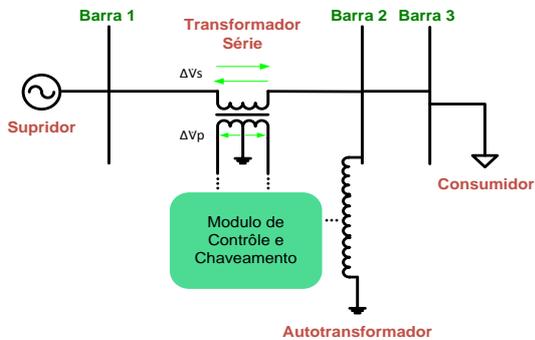


Fig. 1. Estrutura do compensador eletromagnético de tensão.

Uma vez apresentada a estrutura do equipamento, surge a proposta de duas técnicas distintas de controle e chaveamento que serão contempladas e comparadas neste artigo. Após a modelagem de ambos os arranjos idealizados no simulador ATP, um conjunto de testes computacionais, assim como a análise comparativa de desempenho das unidades de controle e das características operacionais dos mesmos aos fins de regulação de tensão almejados, serão apresentados na forma de gráficos de tensão, corrente e potência em diversas partes que perfazem o sistema.

II. SISTEMAS DE CONTROLE E CHAVEAMENTO DO COMPENSADOR ELETROMAGNÉTICO DE TENSÃO

O arranjo da Figura 1 evidencia que o regulador apresenta-se, dentre outras características, com: uma unidade paralela para extração da potência da rede; um transformador para a injeção da tensão de compensação em série; e um módulo de controle com mecanismos de chaveamento que utilizam tensões mais baixas que a nominal. Disto desprende que as potências do autotransformador e do transformador para inserção da tensão de regulação possuem valores distintos e inferiores à da carga suprida.

A Figura 2 mostra simplificada a ação esperada para o compensador em discussão. Vale lembrar que, generalizando, a injeção do complemento de tensão pode ser feita variando-se a sua amplitude através da dinâmica dos chaveamentos, assim como sua polaridade. Esta última propriedade irá conferir a possibilidade da compensação de elevações de tensão.

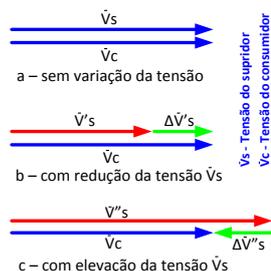


Fig. 2. Diagrama fasorial do desempenho do compensador no que tange a variações de tensão e respectivas compensações.

No que se refere ao módulo de controle disposto na Figura 1, este artigo visa comparar duas tecnologias distintas, as quais são dispostas nas Figuras 3 e 4. Ambos os controles de chaveamento monitoram a tensão entregue pela fonte supridora para a determinação do nível de tensão a ser corrigido.

A. Primeira proposta de chaveamento e controle: CET 1

A primeira delas, mostrada na Figura 3, baseia-se no chaveamento de tapes do autotransformador para o controle da tensão a ser injetada em série através do secundário do transformador. A escolha entre os diversos tapes ligados ao autotransformador, chaves Ch_1 a Ch_5 , determina a amplitude da tensão de compensação a ser aplicada. Já a escolha entre o fechamento das chaves Ch_{pn} e Ch_{pp} depende da polaridade da tensão a ser injetada, ou seja, na ocorrência de afundamentos fecha-se a chave Ch_{pp} visando um reforço de tensão positivo, e quando da elevações de tensão, fecha-se Ch_{pn} visando um reforço negativo da tensão e consequente diminuição da tensão na carga. A chave by-pass Ch_{bp} mantém-se fechada quando o nível da tensão no consumidor permanece dentro dos limites preestabelecidos.

O funcionamento básico do controle ocorre na monitoração da tensão da Barra 1 e a confronta constantemente com os limites de referência estabelecidos para cada tape. Se a tensão da Barra 1 encontra-se fora da faixa adequada, ocorre a determinação do tape mais apropriado e também a identificação do ponto ótimo do chaveamento visando, sobretudo, à minimização dos fenômenos transitórios.

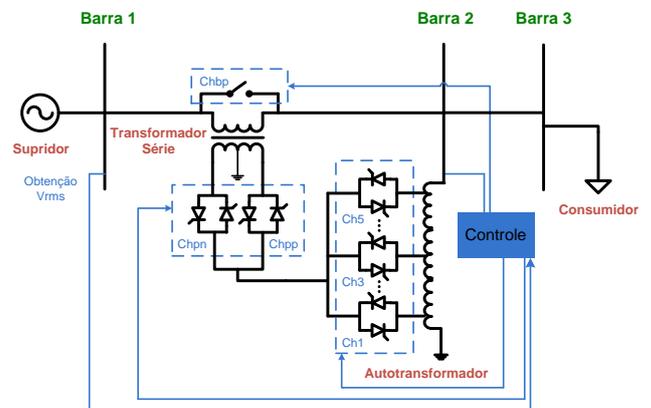


Fig. 3. Estrutura do compensador eletromagnético de tensão com mudança de tapes – CET 1.

No que tange às chaves indicadas, estas se apresentam com características operacionais de dispositivos eletrônicos (semicondutores), podendo ser também possível a utilização de chaves contatoras. Disto desprende que o tempo de resposta para a regulação da tensão pode se apresentar com valores bastante distintos e as exigências vinculadas com os tempos de resposta irão definir o tipo de chave a ser adotada.

B. Segunda proposta de chaveamento e controle: CET 2

A segunda proposta, mostrada na Figura 4, substitui os tapes conectados ao autotransformador por dois pares de

semicondutores que têm por objetivo variar o valor RMS da tensão a ser injetada em série pelo transformador por meio do cisalhamento da onda senoidal de tensão proveniente da Barra 2. Ainda, a escolha pelo par de semicondutores, denominadas Chaves Principais, a ser utilizado é análoga à escolha pelas chaves Ch_{pp} e Ch_{pn} no CET 1, ou seja, depende da necessidade de se compensar afundamentos ou elevações de tensão.

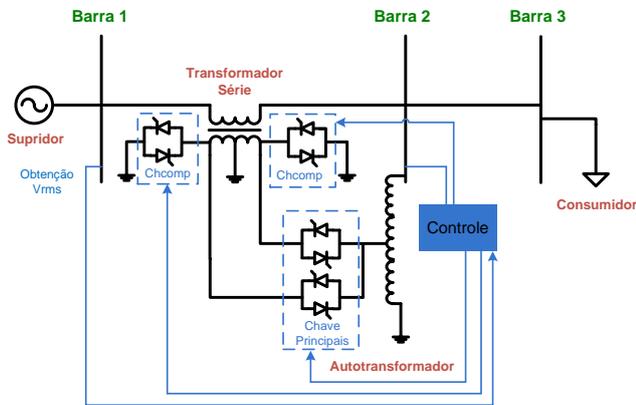


Fig. 4. Estrutura do compensador eletromagnético de tensão com tape único - CET 2.

Ainda com relação ao CET 2, percebe-se a existência de outros dois pares de semicondutores conectados às extremidades do transformador série, que mantém-se fechados quando o nível da tensão no consumidor permanece dentro dos limites preestabelecidos. A Figura 5 mostra o processo de obtenção da parcela de tensão necessária para regular a tensão na barra do consumidor ao se fazer variar os valores dos ângulos de disparo dos semicondutores (α e β). Nesse artigo, em especial, utilizou-se dispositivos semicondutores do tipo GTO (tiristores de desligamento pelo gatilho), os quais são disparados pela aplicação de um pulso positivo no gatilho e podem ser desligados aplicando-se um pulso negativo no mesmo.

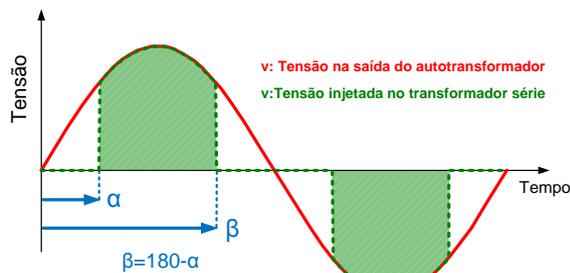


Fig. 5. Obtenção do complemento de tensão pela variação dos ângulos de disparo dos semicondutores.

III. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA E CASOS ESTUDADOS

O sistema hipotético utilizado nos estudos encontra-se caracterizado através do diagrama unifilar das Figuras 3 e 4, o qual consiste num suprimento, consumidor final e da estrutura de compensação de tensão aqui focada, cada qual com sua unidade de controle e chaveamento.

Para fins do presente trabalho, as Tabelas I e II sintetizam as principais informações sobre o sistema hipotético dos

dispositivos CET 1 e CET 2 adotados para os estudos aqui descritos.

TABELA I
Parâmetros do Regulador CET 1

Dados	Potência (VA)	FP	Tensão (V)	Zcc%	Rcc%
Autotransformador	260	-	127/5Tapes	12,5	10,0
Trafo Série	260	-	1:1	12,5	10,0
Carga	528,8	1	127	-	-

No CET 1, para realizar a regulação de tensão o autotransformador foi adotado com cinco tapes pré-definidos, a saber: 5%, 10%, 15%, 20% e 25%. Os motivos que levaram a tais valores foram as margens de variações requeridas pelos estudos de desempenho propostos para o processo avaliativo da operacionalidade do compensador aqui referido.

TABELA II
Parâmetros do Regulador CET 2

Dados	Potência (VA)	FP	Tensão (V)	Zcc%	Rcc%
Autotransformador	260	-	127/34	12,5	10,0
Trafo Série	260	-	1:1	12,5	10,0
Carga	528,8	1	127	-	-

Para o CET 2, foi utilizado apenas um tape no autotransformador. A variação da tensão injetada em série ao barramento principal ocorre por meio do chaveamento da onda senoidal de tensão proveniente da Barra 2.

No que tange aos casos investigados computacionalmente e experimentalmente, dentro de um número infinito de situações factíveis de ocorrência foram adotadas condições operativas atreladas com variações de tensão, acima e abaixo do valor nominal. O conjunto de simulações realizadas pode ser visualizado através dos gráficos de operação apresentados e discutidos nesta etapa, os quais evidenciam que os trabalhos conduzidos envolveram doze intervalos de tempo sequenciais, cada qual atrelado com uma dada condição operativa. O tempo total de estudo foi de 48s e os intervalos representativos dos diferentes desempenhos do sistema correspondem, cada um, a um fenômeno com duração de 4s.

Desta forma, no intervalo de tempo de 0 a 24 segundos, pode-se constatar, gradativamente, decréscimos sucessivos de 5 em 5% da tensão de suprimento. Uma vez restaurada a tensão nominal em $t=24$ s, a partir deste e para os intervalos subsequentes, compreendendo a gama de tempos de 24 a 48 segundos, constata-se elevações de tensão com a mesma taxa percentual anteriormente explicitada. Isto pode ser constatado na Figura 6 e melhor esclarecido na Tabela III.

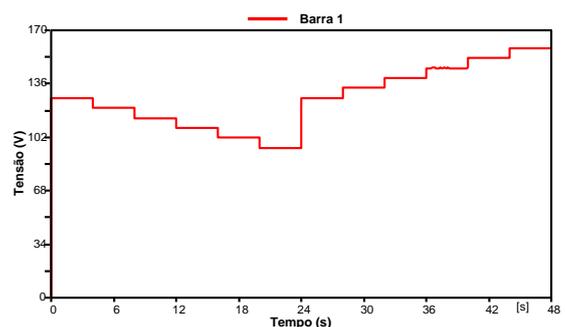


Fig 6. Tensão no barramento 1 – variações adotadas ao longo do período de investigação - exemplificação dos intervalos de variação da tensão de suprimento.

TABELA III

Tensões de Operação Adotadas para o Barramento 1

Intervalos	Tempo [s]	Tensão [V]	$\Delta V\%$
Intervalo 1	0 a 4	127,0	0
Intervalo 2	4 a 8	120,6	-5
Intervalo 3	8 a 12	114,3	-10
Intervalo 4	12 a 16	107,9	-15
Intervalo 5	16 a 20	101,6	-20
Intervalo 6	20 a 24	95,2	-25
Intervalo 7	24 a 28	127,0	0
Intervalo 8	28 a 32	133,3	+5
Intervalo 9	32 a 36	139,7	+10
Intervalo 10	36 a 40	146,0	+15
Intervalo 11	40 a 44	152,4	+20
Intervalo 12	44 a 48	158,7	+25

Diante destas condições, há indiscutivelmente a necessidade de providências para a regularização das tensões da carga. Para o compensador CET 1 deste trabalho e em consonância com a proposta feita, isto implica na disponibilização dos já mencionados cinco tapes para o autotransformador, nos termos fornecidos pela Tabela IV. No CET 2 o único tape utilizado foi o numero 5 de 33,9 V.

TABELA IV

Tapes do Autotransformador para o CET 1 – Aditivo e Subtrativo

Tapes	1	2	3	4	5
Tensão (V)	7,5	14,0	19,9	26,9	33,9

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 7.a e 7.b ilustram as tensões registradas para as Barras 1 e 3 para as distintas situações impostas sob a ação dos compensadores eletromagnéticos de tensão CET 1 e CET 2 respectivamente. Os resultados evidenciam que tais valores expressam a operação dos arranjos elétricos sob a ação das variações de tensão e com a presença do regulador aqui delineado. As regiões demarcadas com colorações distintas, para uma pronta avaliação, delimitam as faixas de tensão classificadas como: adequada, precária e crítica.

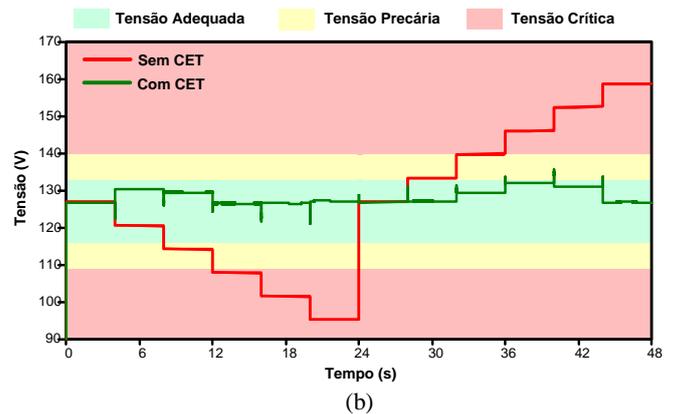
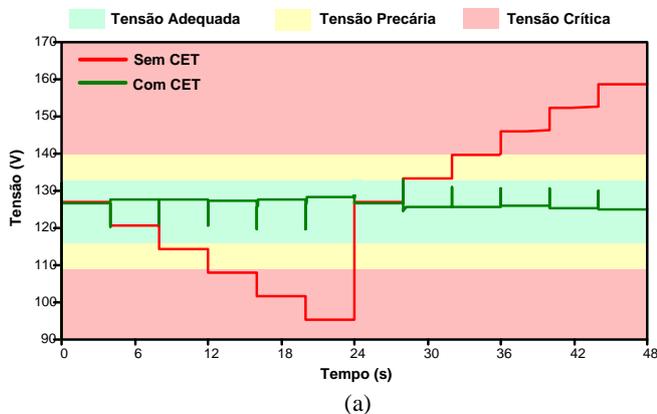


Fig. 7. Tensões nos barramentos 1 e 3: (a) CET 1 (b) CET 2.

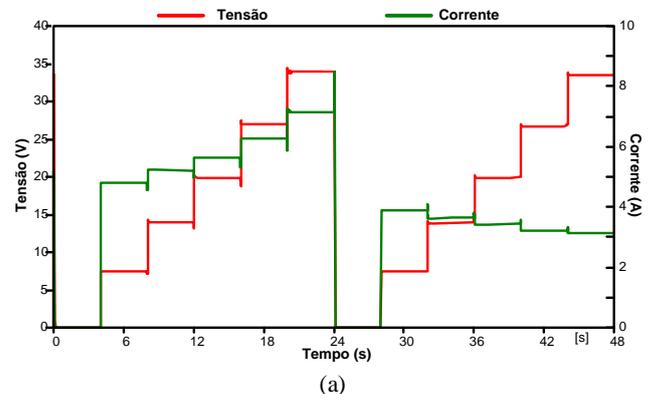
A Tabela V fornece os valores eficazes das tensões nos barramentos 1 e 3 para as distintas situações avaliadas, assim como as respectivas variações de tensões em relação ao valor nominal (127 V).

TABELA V

Tensão nos Barramentos 1 e 3

Tempo [s]	$\Delta V\%$	CET 1		CET 2	
		Barra 1 [V]	Barra 3 [V]	Barra 1 [V]	Barra 3 [V]
0 a 4	0	127,0	127,0	127,0	127,0
4 a 8	-5	120,7	127,8	120,7	130,3
8 a 12	-10	114,3	127,9	114,3	129,4
12 a 16	-15	108,0	127,4	108,0	126,5
16 a 20	-20	101,6	128,1	101,6	126,6
20 a 24	-25	95,3	128,5	95,3	127,2
24 a 28	0	127,0	127,0	127,0	127,0
28 a 32	+5	133,4	125,7	133,4	127,2
32 a 36	+10	139,7	125,7	139,7	129,4
36 a 40	+15	146,0	126,0	146,0	132,1
40 a 44	+20	152,4	125,6	152,4	131,0
44 a 48	+25	158,7	125,2	158,7	126,9

Complementarmente, apresenta-se, na Figura 8, as tensões e correntes impostas pelo autotransformador à entrada do transformador série, a qual, para fins deste trabalho, é identificada como o seu primário. A Figura 8.a está relacionada com os resultados oferecidos pelo CET 1 enquanto que a Figura 8.b evidencia as mesmas grandezas extraídas do CET 2. Visando oferecer maiores detalhes sobre os resultados obtidos, a Tabela VI apresenta os valores das tensões e correntes obtidos.



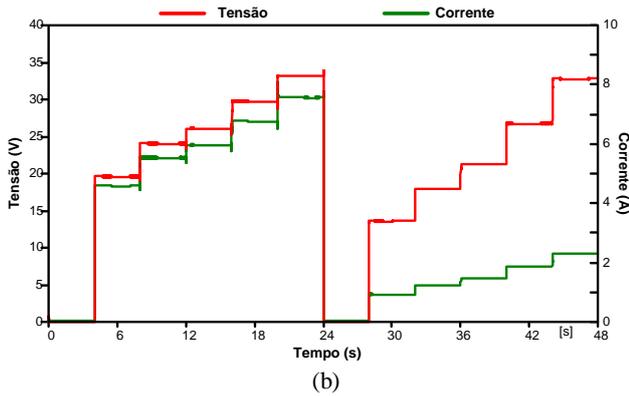


Fig. 8. Tensões e Correntes impostas pelo autotransformador ao primário do transformador série: (a) CET 1 (b) CET 2.

TABELA VI

Tensão e Corrente Imposta pelo Autotransformador no Primário do Transformador Série

Tempo [s]	$\Delta V\%$	CET 1		CET 2	
		Tensão [V]	Corrente [A]	Tensão [V]	Corrente [A]
0 a 4	0	0	0	0	0
4 a 8	-5	7,5	4,8	19,5	4,6
8 a 12	-10	14,0	5,2	24,0	5,5
12 a 16	-15	19,9	5,6	26,0	5,9
16 a 20	-20	26,9	6,2	29,8	6,8
20 a 24	-25	33,9	7,1	33,2	7,6
24 a 28	0	0	0	0	0
28 a 32	+5	7,4	3,9	13,5	0,9
32 a 36	+10	13,8	3,6	17,9	1,2
36 a 40	+15	19,8	3,4	21,3	1,5
40 a 44	+20	26,7	3,2	26,7	1,8
44 a 48	+25	33,4	3,1	32,7	2,3

Objetivando proporcionar uma visão mais completa do mecanismo de compensação e as grandezas envolvidas entre as partes que constituem o dispositivo regulador como um todo, a Figura 9 mostra as correntes nos diversos pontos da rede elétrica, a saber: entre a fonte e a barra 1; entre a barra 3 e a carga; e, por fim, entre o secundário do autotransformador e o primário do transformador série. A Figura 9.a apresenta os resultados atrelados com o CET 1 e a Figura 9.b com os valores alcançados através do CET 2.

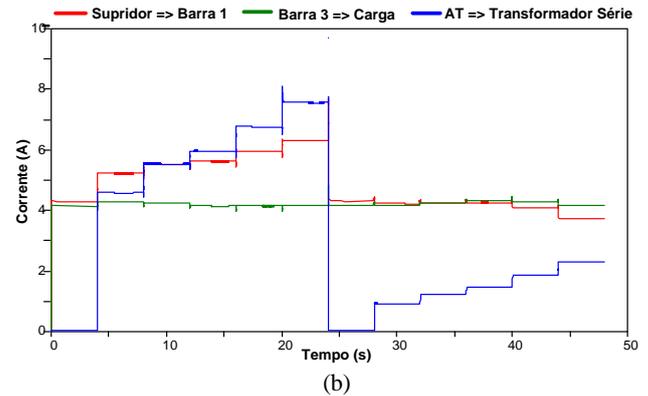
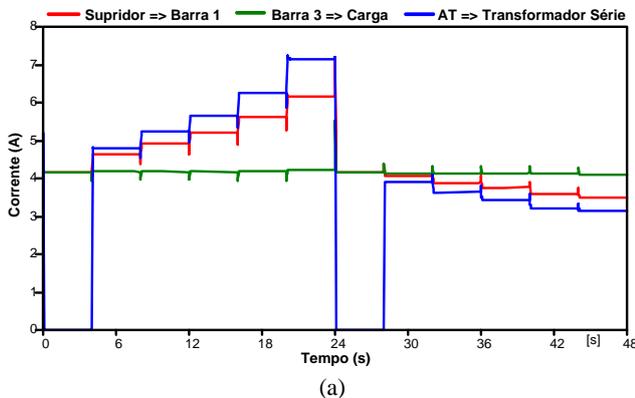


Fig. 9. Correntes nos diversos alimentadores citados: (a) CET 1 (b) CET 2.

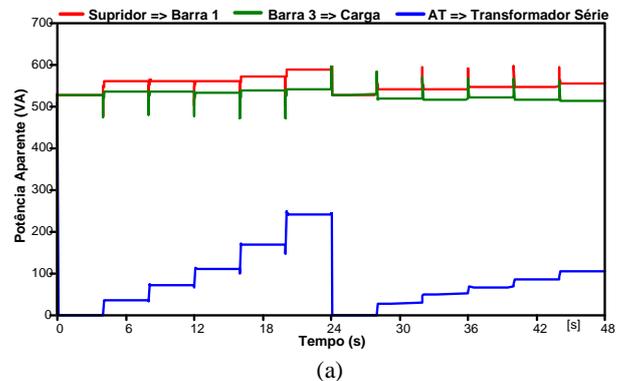
Para maior clareza, os valores das correntes evidenciadas nas figuras anteriores encontram-se fornecidos na Tabela VII.

TABELA VII

Corrente Entre os Barramentos Citados

Tempo [s]	CET 1			CET 2		
	Fonte – Barra1 [A]	Barra3 – Carga [A]	AT – P. Tr. [A]	Fonte – Barra1 [A]	Barra3 – Carga [A]	AT – P. Tr. [A]
0 a 4	4,1	4,1	0	4,1	4,1	0
4 a 8	4,6	4,2	4,8	5,2	4,3	4,6
8 a 12	4,9	4,2	5,2	5,6	4,2	5,5
12 a 16	5,2	4,2	5,6	5,6	4,1	5,9
16 a 20	5,6	4,2	6,2	6,0	4,1	6,8
20 a 24	6,2	4,2	7,1	6,3	4,2	7,6
24 a 28	4,1	4,1	0	4,1	4,1	0
28 a 32	4,0	4,1	3,9	4,2	4,2	0,9
32 a 36	3,9	4,1	3,6	4,2	4,2	1,2
36 a 40	3,7	4,1	3,4	4,3	4,3	1,5
40 a 44	3,6	4,1	3,2	4,1	4,3	1,8
44 a 48	3,5	4,1	3,1	3,7	4,2	2,3

Por fim, no que tange às potências aparentes envolvidas no processo de compensação, a Figura 10 evidencia as tais grandezas para os diversos pontos do sistema, a saber, entre a fonte e a barra 1; entre a barra 3 e a carga; e, por fim, entre o secundário do autotransformador e o primário do transformador série. Em consonância com os procedimentos anteriores, a Figura 10.a apresenta os resultados do CET 1 e a Figura 10.b do CET 2. A Tabela VIII mostra os valores obtidos.



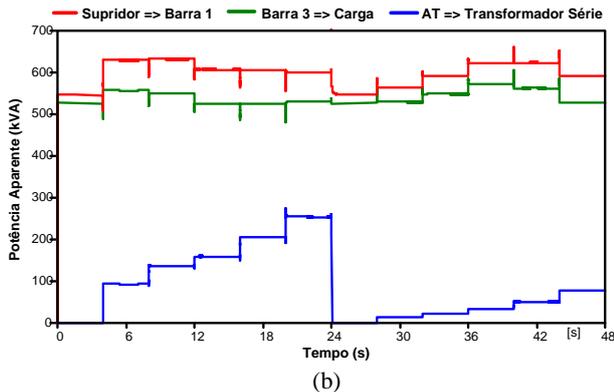


Fig. 10. Potências aparentes nos diversos alimentadores citados: (a) CET 1 (b) CET 2.

TABELA VIII
Potência Aparente Entre os Barramentos Citados

Tempo [s]	CET 1			CET 2		
	Fonte Barra1 [VA]	Barra3 Carga [VA]	AT P. Tr. [VA]	Fonte Barra1 [VA]	Barra3 Carga [VA]	AT P. Tr. [VA]
0 a 4	528,8	528,8	0	526,5	526,5	0
4 a 8	560,3	535,7	36,1	629,2	556,3	92,2
8 a 12	562,3	536,7	73,3	632,9	549,8	136,2
12 a 16	561,0	532,6	112,5	606,8	524,6	158,9
16 a 20	572,4	537,8	168,5	604,9	524,8	205,0
20 a 24	587,6	541,8	242,4	601,0	530,3	254,1
24 a 28	528,8	528,8	0	526,5	526,5	0
28 a 32	541,4	518,2	28,9	564,2	530,3	13,2
32 a 36	541,8	517,8	50,2	591,9	549,1	23,1
36 a 40	547,7	520,9	68,0	622,6	571,7	32,7
40 a 44	548,5	517,0	85,4	623,3	562,6	51,1
44 a 48	554,4	513,8	104,8	592,5	527,5	76,9

À luz dos desempenhos obtidos e sintetizados nas figuras e tabelas anteriores, é possível observar que:

- Muito embora os valores constantes nas figuras e tabelas para as potências associadas com a operação do regulador se mostrem positivos, vale observar que, para os casos de afundamentos de tensão, as mesmas são fornecidas e, para as situações vinculadas com elevações de tensão, estas invertem o seu sentido;
- As relações percentuais entre as potências entregues à carga, para as distintas situações avaliadas, e aquelas atreladas com os requisitos exigidos do compensador, deixam claro que, este último é exigido com valores inferiores ao do suprimento. Isto evidencia que o dispositivo regulador, para cada nível de compensação solicitado, opera com potências significativamente inferiores aos valores entregues à carga. Neste contexto fica demonstrado que quanto maior forem os valores das variações de tensão a serem restauradas, tanto maior será a potência demanda do dispositivo em pauta.

V. CONCLUSÃO

Este artigo dedicou-se à apresentação de uma análise computacional de desempenho de duas propostas de controle e chaveamento para o compensador eletromagnético de tensão destinado à restauração das tensões aos patamares requeridos. Tomando por base os resultados obtidos pelo desenvolvimento, em plataforma ATPDraw, do compensador em questão, foram conduzidos os trabalhos investigativos aqui descritos. Através

da seleção de um conjunto de variações de tensão que compreenderam uma faixa de 0% a 25% (afundamento e elevação) foram exploradas as potencialidades das propostas e sua eficácia aos propósitos aqui estabelecidos. Tanto os resultados apresentados pelo CET 1 como os do CET 2 foram absolutamente consistentes no sentido de evidenciar a operação do dispositivo e o sucesso no processo da compensação. Dentre as principais constatações, como anteriormente mencionado, ficou esclarecido que ambas as propostas de controle e chaveamento para o regulador mostram-se adequadas à compensação de afundamentos e elevações de tensão e que as potências exigidas do mesmo correspondem a uma parcela da potência total da carga, em que pese a correlação com o nível máximo de variação de tensão a ser restaurada. Portanto, com vista a obtenção de maiores esclarecimento de operação e funcionamento das unidades, os autores ressaltam a necessidade de estudos mais profundos envolvendo outras comparações entre simulações computacionais e experimentais, assim como a construção de um protótipo em escala reduzida, a fim de obter maiores conclusões sobre o equipamento proposto, em particular, as estratégias de controle e os chaveamentos requeridos para as ações de compensação que se fizerem necessárias.

VI. AGRADECIMENTO

Os autores expressam seus agradecimentos a FAPEMIG, CAPES e CNPq pelas bolsas de mestrado e de doutorado no programa de Pós-Graduação da FEELT-UFU e outros apoios financeiros que viabilizaram a pesquisa.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Prodist – Modulo 8, 2008.
- [2] SANTILIO, F. P.; SILVA, T. V.; OLIVEIRA, J. C.; BARBOSA, J. A. F.; “A Computational and Experimental Performance Analysis of an Electromagnetic Voltage Regulator Proposal throughout Controlled Series Voltage Injection”. In: International Conference on Renewable Energies and Power Quality - ICREPQ 12, 2012, Santiago de Compostela.
- [3] SANTILIO, F. P.; OLIVEIRA, J. C.; SILVA, T. V.; OLIVEIRA, A.. “An Electromagnetic Voltage Regulator Proposal throughout the Injection of Series Compensation: Physical Conception and Computational Analysis”. In: EPQU - ELECTRICAL POWER QUALITY AND UTILIZATION, 2011, Lisbon.
- [4] SANTILIO, F. P., OLIVEIRA, J. C., OLIVEIRA, A., BONELLI, A. F., BARBOSA, J. A. F., GONDIM, I. N., “Reguladores Eletromagnéticos através do Reforço Série de Tensão: Controle e Avaliação Computacional de Desempenho”. In: CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica, 2011, Cuiabá-MT.
- [5] S. S. Choi, I. D. Li, D. M. Vilathgamuwa "A Generalized Voltage Compensation Strategy for Mitigating the Impacts of Voltage Sags/Swells", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 20, no 3, pp 2289-2297, July 2005.
- [6] K. Piatek “Series voltage restoration under distorted supply voltage condition”, International School on Nonsinusoidal Current and Compensation ISNCC 2008, pp 10-13 June 2008, Lagow, Poland.