



**XXII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GDS/30
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - X

GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS

**MODELAGEM E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UMA NOVA PROPOSTA DE REGULADOR
ELETROMAGNÉTICO DE TENSÃO**

Lucas Eduardo Vasconcelos(*)
UFU

Fabricio Parra Santilio
UFU

Thiago Vieira da Silva
UFU

José Carlos de Oliveira
UFU

RESUMO

A busca por soluções para a regulação da tensão tem originado propostas de dispositivos inovadores e adequados às legislações em vigor. Apesar da vasta gama de produtos existentes no mercado, a concepção de dispositivos fundamentados em princípios e controle simples, custos competitivos, etc., ainda se apresenta como grande desafio. Neste contexto, o presente informe técnico apresenta um dispositivo totalmente eletromagnético para o cumprimento da legislação em vigor. O artigo ressalta a estrutura física do dispositivo e compara simulações computacionais (ATP) com os resultados obtidos a partir de um arranjo laboratorial buscando validar a proposição aqui feita.

PALAVRAS-CHAVE

Qualidade da Energia Elétrica, Regulação de Tensão, Sistemas de Distribuição, Regulador Eletromagnético de Tensão, ATP.

1.0 - INTRODUÇÃO

Um dos principais pontos associados ao desempenho das redes elétricas de distribuição e transmissão apoia-se na questão do atendimento aos padrões estabelecidos para as faixas permitidas de tensões de suprimento. Somado aos valores de regime permanente, há ainda que se considerar outros fenômenos de natureza dinâmica que podem se apresentar como fatores impactantes no desempenho dos sistemas. De fato, o assunto tem sido considerado nos mais distintos documentos normativos nacionais e internacionais, os quais, de um modo geral, dividem as ocorrências passíveis de manifestação em fenômenos com magnitude e duração definidos [1]. No cenário da regulação de tensão no Brasil, a ANEEL, focando a qualidade da energia elétrica em seu Procedimento de Distribuição (PRODIST) [2], divide as classes de tensão de suprimento em níveis adequados, precários e críticos.

Visando mitigar os desvios na tensão de suprimento, tanto no que tange aos efeitos de longa duração como os de curta duração, diversos equipamentos encontram-se desenvolvidos e disponibilizados para fins da regularização aos padrões exigidos. Neste cenário, uma primeira filosofia de equipamentos direcionados à restauração das tensões de suprimento utiliza o princípio de compensação aqui denominado por método "indireto", os quais se apoiam na clássica relação entre a potência reativa injetada ou extraída e seus impactos sobre a variação de tensão. Nessa categoria de dispositivos, encontram-se: bancos de capacitores e reatores, compensadores síncronos, reatores à núcleo saturado [3], dentre outros. De forma mais atual, acompanhando os desenvolvimentos da eletrônica de potência, apresentam-se os equipamentos que partilham da filosofia FACTS, são eles: reatores controlados a tiristores, capacitores chaveados a tiristores [4], os compensadores estáticos do tipo SVC e, utilizando de conversores de tensão, o STATCOM [5], dentre outros.

Outra estratégia para a fundamentação do processo da regulação encontra-se nos dispositivos de regulação "direta", os quais atuam de forma pontual no sentido de modificar os valores eficazes da tensão. Dentro dessa

categoria destacam-se os transformadores com mudança de tapes sob carga ou a vazio, os reguladores de tensão fixos e automáticos, e outras possibilidades comercialmente disponibilizadas no mercado. Mais uma vez, no tangente aos dispositivos FACTS, observa-se a existência de tecnologias que atuam diretamente na tensão a ser compensada a partir da utilização de conversores para se obter a tensão de compensação, a exemplo dos controladores série de tensão DVR [6], TSSC, SSSC, etc.

Generalizando, pois, o conceito das filosofias de compensação acima pautadas e agrupando, num único dispositivo, os recursos atribuídos às duas estratégias postas, há que se considerar ainda os reguladores denominados por Controladores de Fluxo de Potência Unificado ou UPFC [7], os quais possuem unidades tanto em paralelo quanto em série para o controle da potência reativa e injeção das tensões de compensação, utilizando de conversores de tensão imposta compostos por GTO ou IGBT.

À luz do exposto, fica evidenciado que, muito embora se reconheça a existência de uma extensa gama de produtos disponíveis no mercado para os fins aqui almejados, o tema ainda tem motivado muitos pesquisadores na busca de novas concepções visando, dentro outros aspectos: simplicidade operacional, robustez, valores de investimento competitivos, instalações físicas menores, custos de manutenção reduzidos, maior índice de nacionalização do equipamento e propriedades operativas compatíveis com os requisitos impostos.

Empregando arranjos físicos totalmente eletromagnéticos no que tange às suas partes de potência, surge a proposta contemplada neste artigo, a qual foi designada por Regulador Eletromagnético de Tensão (RET). O arranjo, em sua essência, é formado por duas unidades eletromagnéticas fundamentais. Uma primeira destina-se à extração de energia da rede e é materializada na forma de um autotransformador conectado em paralelo com a mesma, o qual, por vezes tem sido denominado por transformador de excitação. A segunda, destinada à inserção, em série com o alimentador principal, de uma tensão compatível ao enquadramento da tensão final nos termos requeridos pela legislação, é representada por um transformador em série com o alimentador. Vale ressaltar que a concepção aqui utilizada encontra fundamentação nos clássicos dispositivos eletromagnéticos conhecidos por “reguladores de ângulo de fase” [8].

É, pois, dentro desse cenário que se enquadra o presente informe técnico, o qual almeja apresentar a concepção física e construtiva do regulador, sua modelagem no simulador ATP, definição da estratégia de controle e, por fim, através de um arranjo experimental, proceder estudos avaliativos via comparação de desempenhos computacionais e experimentais da proposta.

2.0 - ARRANJO FÍSICO E MODELAGEM DO REGULADOR ELETROMAGNÉTICO DE TENSÃO

O dispositivo regulador de tensão, em consonância com [9] e [10] encontra-se constituído pelas unidades físicas indicadas na Figura 1. Essa proposta, como ilustrado, ao disponibilizar vários tapes derivados do autotransformador, apresenta-se como um dispositivo regulador que oferece tensões discretas ao processo de regulação, cada qual podendo ser obtida através de dispositivos de chaveamento mecânicos ou eletrônicos. A natureza e característica de tais chaves definirão, sobremaneira, o tempo de resposta e a aplicabilidade do dispositivo regulador. Para o presente informe técnico, quanto aos estudos computacionais, os chaveamentos serão realizados de forma ideal com seus instantes de abertura e fechamento previamente definidos.

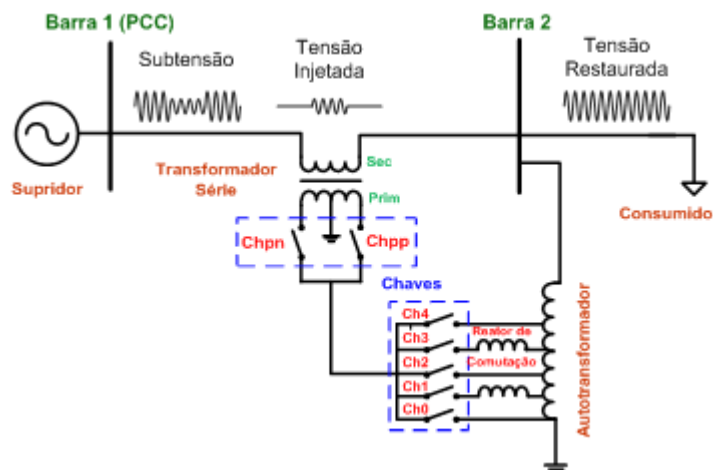


Figura 1 – Estrutura Física do RET com mudança de tapes discretos

Do exposto segue que a estrutura proposta possui como atributos:

- A tensão a ser injetada pelo transformador série é oriunda da própria rede de suprimento.
- A polaridade do reforço de tensão, se positivo ou negativo, é determinada a partir da escolha entre as chaves Ch_{pp} (chave de polaridade positiva) ou Ch_{pn} (chave de polaridade negativa), que conectam o autotransformador às extremidades do enrolamento primário do transformador série, permitindo, assim, a compensação de elevações ou reduções na tensão de suprimento.

A partir da estrutura física deste equipamento e dos recursos tradicionais oferecidos pela plataforma ATP, procedeu-se, de acordo com princípios tradicionais, ao estabelecimento da estratégia para inserção do modelo do

RET nesse simulador. Para tanto, os componentes eletromagnéticos que perfazem o arranjo foram originados empregando recursos disponibilizados pela biblioteca do programa. As chaves utilizadas na mudança de tapes e de polaridade foram as do tipo “SW_TACS” e o módulo de controle programado utilizou a linguagem MODELS para representação do sistema de automação. Esse sistema é responsável pelo cálculo da tensão RMS do supridor para determinação do melhor tape a ser aplicado, e da característica aditiva ou subtrativa, a fim de restaurar os níveis de tensão de suprimento para a carga em questão. Assim agindo, obteve-se uma representação computacional do regulador, o qual, em consonância com os recursos empregados, passa a oferecer uma base de estudos que permite a realização de investigações de desempenho utilizando o domínio do tempo como premissa. A partir da estrutura física do equipamento e dos recursos tradicionais oferecidos pela plataforma ATP, procedeu-se ao estabelecimento da estratégia para a modelagem computacional do RET, trabalho esse que conduziu ao resultado simplificado ilustrado na Figura 2.

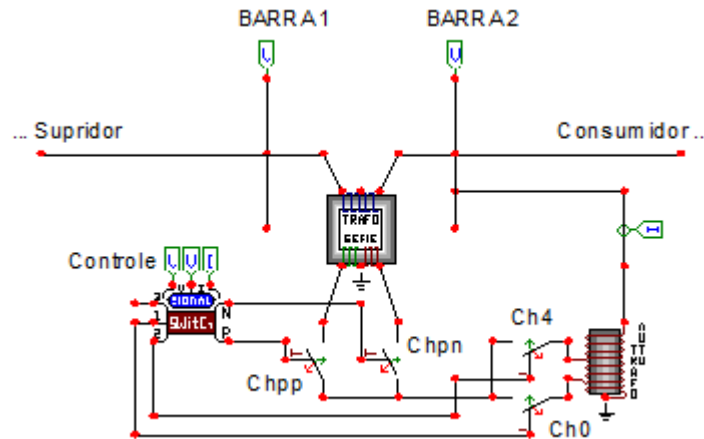


Figura 2 – Modelagem do RET no ATP

3.0 - ESTRATÉGIA DE CONTROLE NO ATP

A estratégia de controle utilizada na operação do RET, destinada à caracterização do tape a ser empregado e polaridade da tensão de compensação, encontram-se sintetizadas no diagrama de blocos da Figura 3, o qual se encontra atrelado à modelagem na plataforma ATP/MODELS. Como será oportunamente constatado, o controle implementado computacionalmente constituiu-se como base para a montagem do arranjo laboratorial.

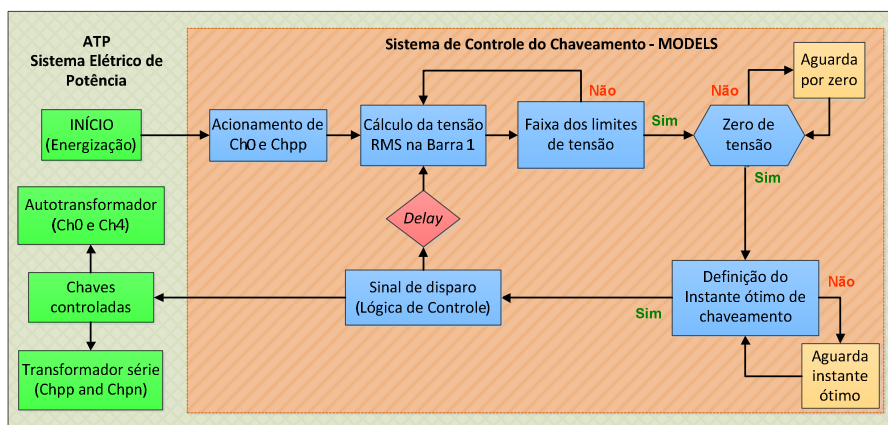


Figura 3 – Diagrama de blocos para o controle dos chaveamentos

A operação do arranjo é iniciada, como se observa no diagrama, com o acionamento das chaves Ch0 (chave terra) e Chpp (chave de polaridade positiva do transformador série), indicadas na Figura 1 e Figura 2. Na sequência, procede-se à determinação da tensão RMS no ponto do complexo elétrico onde se almeja atingir os propósitos da regulação. Para o sistema em análise, tal ponto corresponde à Barra 2. Em seguida, a tensão medida é confrontada com os limites de referência estabelecidos para o chaveamento controlado de cada tape. Cabe observar que os limites de tensões de referência foram selecionados e adicionados na linguagem de controle para atender a uma determinada faixa de tensão de modo que a tensão entregue ao consumidor permaneça dentro dos limites adequados estabelecidos pelos órgãos reguladores. Se inicialmente a tensão na Barra 2 já se encontrar dentro da faixa adequada, o controle permanece com as chaves Ch0 e Chpp fechadas; caso a tensão ultrapasse os limites considerados, o sistema busca um tape para o devido enquadramento. Calculado o tape necessário à regulação, procede-se à detecção da passagem por zero da tensão afim de se determinar o ponto ótimo para o chaveamento do tape visando à minimização dos fenômenos transitórios. Uma vez determinado tal instante, o

controle emite o sinal de disparo comandando o fechamento ou abertura das chaves. Com o intuito de se evitar chaveamentos indevidos, uma nova operação somente será autorizada após um intervalo de tempo predefinido no *Delay*.

4.0 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Os trabalhos avaliativos sobre a eficácia da proposta foram conduzidos à luz da comparação entre os desempenhos computacionais e experimentais do equipamento em foco. Para tanto, foi estabelecida uma montagem laboratorial constituída, dentre outros componentes, por uma composição de transformadores que viesse a oferecer uma estrutura similar à do regulador proposto. A Tabela 1 sintetiza as principais informações sobre o sistema simplificado adotado para os estudos aqui descritos, o qual possui a topologia indicada na Figura 1.

Tabela 1 – Parâmetros do arranjo físico

Dados	Potência [VA]	Fator de Potência	Tensão [V]	Zcc%	Rcc%
Autotransformador	1500	-	127/Tapes	3,5	2,27
Transformador Série	1500	-	50:50	3,5	1,73
Carga	1420	0,94	127	-	-

Para realizar a regulação de tensão, o autotransformador foi adotado com cinco tapes, a saber: 0%, 5%, 10%, 15% e 20%. 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. Objetivando a obtenção de uma estrutura experimental para as análises de desempenho do compensador em foco, de forma análoga àquela empregada para os trabalhos computacionais, foi realizada, em ambiente laboratorial, uma reprodução das unidades componentes do dispositivo e rede elétrica através de recursos em escala reduzida. O sistema utilizado encontra-se ilustrado através da Figura 4, na qual se observa o supridor, carga e a estrutura de compensação de tensão sob consideração, formada pelo autotransformador e o transformador série.

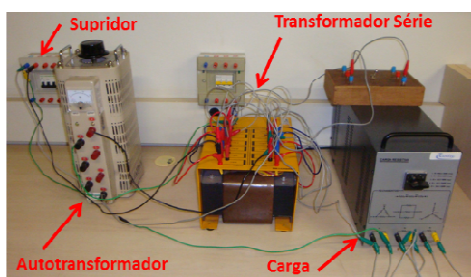


Figura 4 – Estrutura laboratorial para a realização dos estudos de desempenho do RET

No que tange aos casos considerados para ambas as avaliações computacionais e experimentais, o conjunto de simulações realizadas pode ser visualizado através dos gráficos de operação apresentados e discutidos nesta etapa, os quais evidenciam que os estudos envolveram dezessete intervalos de tempo sequenciais, cada qual atrelado com uma dada condição operativa. O tempo total de estudo foi de 170 segundos e os intervalos representativos dos diferentes desempenhos do sistema correspondem, cada um, a um fenômeno com duração de 10 segundos.

Dessa forma, no intervalo de tempo de 0 a 40 segundos, pode-se constatar, gradativamente, decréscimos sucessivos de 5 em 5% da tensão de suprimento e, por sua vez, de 50 a 80 segundos, acréscimos de mesma magnitude. Uma vez restaurada a tensão nominal em $t=80$ s, a partir deste e para os intervalos subsequentes, compreendendo a gama de tempos de 90 a 170 segundos, constata-se elevações de tensão com a mesma taxa percentual anteriormente explicitada. Isto pode ser constatado na Figura 5 e melhor esclarecido na Tabela 2.

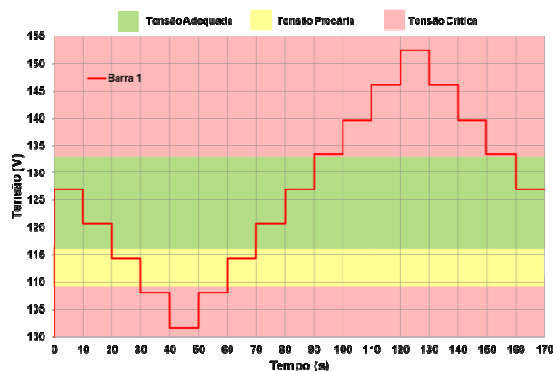


Figura 5 - Tensão na Barra 1 – variações adotadas ao longo do período de investigação – exemplificação dos intervalos de variação da tensão de suprimento

Tabela 2 – Tensões de operação adotadas para a Barra 1

Intervalos	Tempo [s]	Tensão[V]	$\Delta V\%$
Intervalo 1	0 a 10	127,0	0
Intervalo 2	10 a 20	120,6	-5
Intervalo 3	20 a 30	114,3	-10
Intervalo 4	30 a 40	107,9	-15
Intervalo 5	40 a 50	101,6	-20
Intervalo 6	50 a 60	107,8	-15
Intervalo 7	60 a 70	114,3	-10
Intervalo 8	70 a 80	120,6	-5
Intervalo 9	80 a 90	127,0	0
Intervalo 10	90 a 100	133,3	+5
Intervalo 11	100 a 110	139,7	+10
Intervalo 12	110 a 120	146,0	+15
Intervalo 13	120 a 130	152,4	+20
Intervalo 14	130 a 140	146,0	+15
Intervalo 15	140 a 150	139,7	+10
Intervalo 16	150 a 160	133,3	+5
Intervalo 17	160 a 170	127,0	0

5.0 - RESULTADOS E ANÁLISE

A Figura 6 ilustra as tensões registradas computacionalmente e experimentalmente nas Barras 1 e 2 para as distintas situações impostas. Os resultados evidenciam que tais comportamentos expressam a operação do arranjo elétrico sob a ação das variações de tensão (Barra 1) e com a presença do regulador aqui delineado (Barra 2). A Figura 6(a) mostra os resultados obtidos através da plataforma ATP e a Figura 6(b) ilustra o desempenho obtido laboratorialmente.

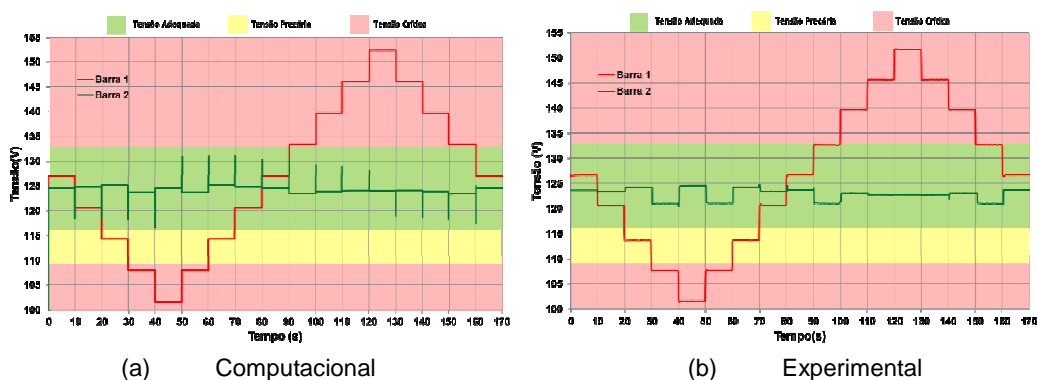


Figura 6 - Tensões nas barras 1 e 2

Complementarmente, a Tabela 3 fornece os valores eficazes das tensões para as distintas situações avaliadas.

Tabela 3 – Tensão das Barras 1 e 2 – computacional e experimental

Tempo [s]	$\Delta V\%$	Computacional		Experimental	
		Barra 1 [V]	Barra 2 [V]	Barra 1 [V]	Barra 2 [V]
0 a 10	0	126,9	124,6	126,6	123,6

10 a 20	-5	120,6	124,8	120,6	123,4
20 a 30	-10	114,2	125,1	113,6	124,2
30 a 40	-15	107,9	123,7	107,6	121,0
40 a 50	-20	101,6	124,6	101,5	124,5
50 a 60	-15	107,9	123,7	107,6	121,0
60 a 70	-10	114,3	125,1	113,6	124,2
70 a 80	-5	120,6	124,8	120,6	123,4
80 a 90	0	126,9	124,6	126,7	123,7
90 a 100	+5	133,3	123,3	132,6	120,9
100 a 110	+10	139,7	123,8	139,7	122,9
110 a 120	+15	146,0	124,0	145,7	122,7
120 a 130	+20	152,4	124,0	151,7	122,7
130 a 140	+15	146,0	124,0	145,7	122,7
140 a 150	+10	139,7	123,8	139,6	123,0
150 a 160	+5	133,3	123,3	132,7	121,0
160 a 170	0	126,9	124,6	126,6	123,7

Quanto às tensões e correntes impostas pelo autotransformador ao primário do transformador série, estas se encontram ilustradas na Figura 7. A Figura 7(a) está relacionada com os resultados computacionais oferecidos pela plataforma do ATP, enquanto que a Figura 7(b) evidencia as mesmas grandezas extraídas do arranjo laboratorial.

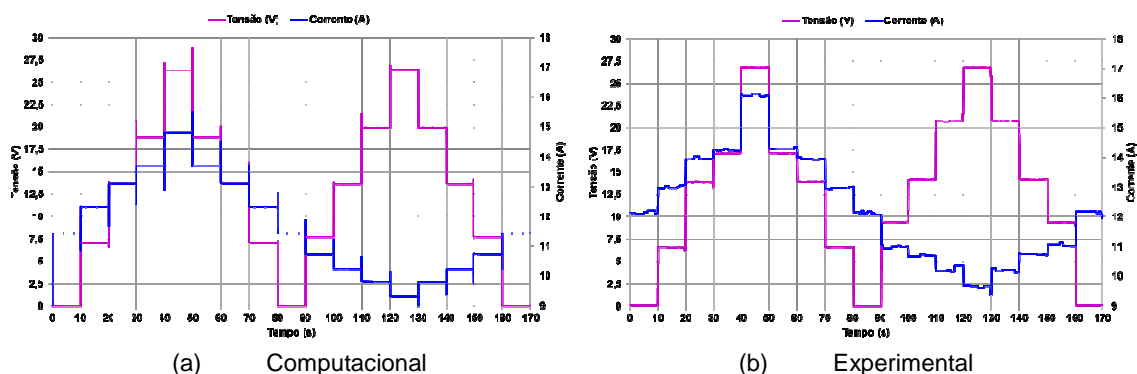


Figura 7 – Tensões e correntes impostas pelo autotransformador ao primário do transformador série

Ao se analisar ambos os resultados fica evidente uma queda de tensão no secundário do transformador série, valor este em torno de 2,3 e 3,0 V, respectivamente, para a simulação computacional e experimental. Também se pode observar que, para a condição de compensação de 5 e 15% da tensão do supridor, tanto na condição de afundamento como para elevação da tensão, a Barra 2 mostra que a tensão regulada apresenta-se ligeiramente divergente do valor ideal. Isto se deve à queda de tensão nos reatores de comutação presentes em série com os tapes 1 e 3 do autotransformador.

Objetivando proporcionar uma visão mais completa do mecanismo de compensação e as grandezas envolvidas no dispositivo regulador como um todo, a Figura 12 mostra as correntes nos diversos pontos da rede elétrica, a saber: entre a fonte e a barra 1; entre a barra 2 e a carga; entre a barra 2 e o primário do autotransformador; e, por fim, entre o secundário do autotransformador e o primário do transformador série. A Figura 12(a) apresenta os resultados computacionais e a Figura 12(b), os valores obtidos através do experimento laboratorial.

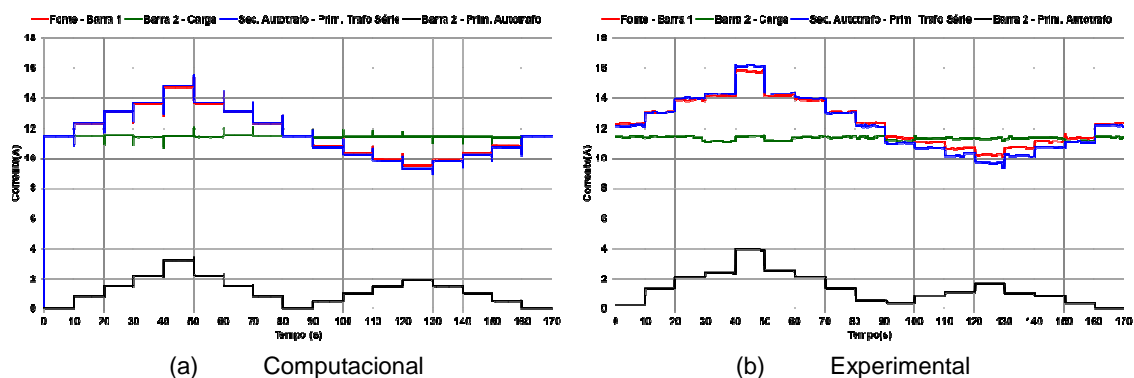
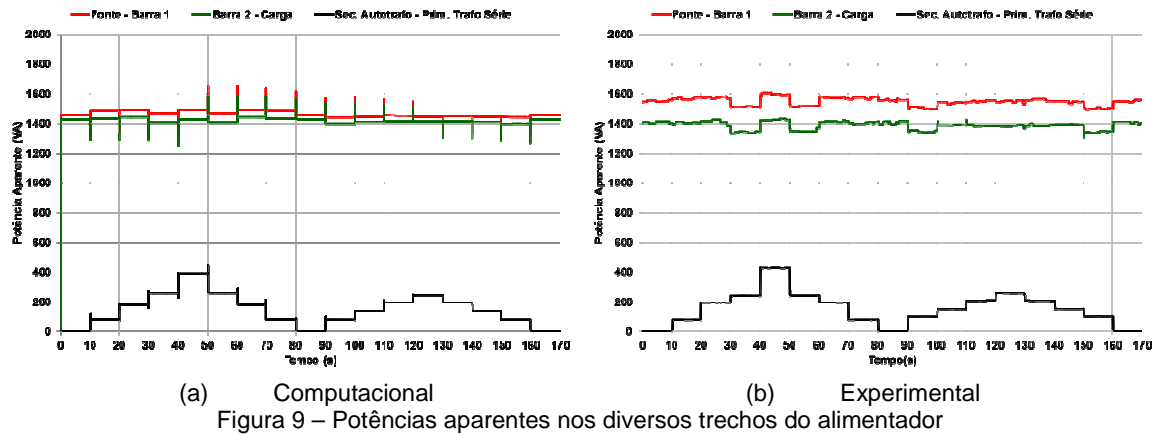


Figura 8 – Correntes nos diversos trechos do alimentador

Por fim, no que tange às potências aparentes envolvidas no processo de compensação, a Figura 9 evidencia tais grandezas para os mesmos trechos supra identificados.



A Tabela IV ilustra os valores de relação percentual entre a potência aparente solicitada pelo RET e a correspondente grandeza solicitada pela carga para as diversas variações da tensão de suprimento. Na tabela, S_{carga} indica a potência entregue à carga, S_{RET} corresponde ao complemento de potência injetada/absorvida pelo regulador e $\Delta[\%]$ expressa o percentual da diferença entre ambas.

Tabela 4 – Potências na carga e no regulador proposto

$\Delta V\%$	Computacional			Experimental		
	S_{CARGA} [VA]	S_{RET} [VA]	$\Delta[\%]$	S_{CARGA} [VA]	S_{RET} [VA]	$\Delta[\%]$
0	1429,6	0	0,0	1415	2	0,1
-5	1434,9	86,3	6,0	1406	83	5,9
-10	1443,1	180,2	12,5	1426	196	13,7
-15	1409,8	259,3	18,4	1349	242	17,9
-20	1429,7	389,8	27,3	1425	430	30,2
-15	1409,8	259,4	18,4	1350	243	18,0
-10	1443,1	180,2	12,5	1416	195	13,8
-5	1434,9	86,3	6,0	1402	83	5,9
0	1429,6	0	0,0	1414	2	0,1
+5	1401,4	82,9	5,9	1357	102	7,5
+10	1412,8	140,1	9,9	1394	151	10,8
+15	1416,6	195,5	13,8	1388	210	15,1
+20	1416,0	246,5	17,4	1389	260	18,7
+15	1417,0	195,4	13,8	1386	212	15,3
+10	1412,8	140,1	9,9	1397	152	10,9
+5	1401,1	82,9	5,9	1352	103	7,6

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

- 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 demandado com valores inferiores ao do suprimento. Isto esclarece que o dispositivo regulador, para cada nível de compensação solicitado, opera com potências significativamente inferiores aos valores exigidos pela carga. Neste contexto fica demonstrado que quanto maiores forem os valores das variações de tensão a serem restauradas, tanto maior será a potência solicitada pelo dispositivo em pauta.
- Apesar dos valores de potência associados à operação do regulador terem se mostrado positivos nas figuras e tabelas analisadas no decorrer de toda a simulação, vale observar que, para os casos de afundamentos de tensão, as potências são fornecidas pelo RET e, para as situações vinculadas com elevações de tensão, estas invertem o seu sentido, ou seja, a potência é absorvida pelo regulador.

6.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho dedicou-se à apresentação e validação de uma nova concepção de dispositivo destinado ao processo da regulação de tensão. O dispositivo, como visto, é composto por duas unidades principais de potência, as quais se apresentam na forma de unidades eletromagnéticas similares a transformadores e, ainda, recursos de controle e chaveamento que proporcionam meios para a restauração das tensões aos patamares requeridos. O dispositivo desenvolvido foi denominado por: RET – Regulador Eletromagnético de Tensão. Uma vez estabelecidas as bases físicas e operacionais, o equipamento compensador, através de recursos internos disponibilizados na biblioteca da plataforma ATP, foi representado através de técnicas de modelagem no domínio do tempo. Visando investigações de cunho experimental, foram também realizadas atividades atreladas ao comportamento de um arranjo laboratorial destinado à representação das condições operativas a que o regulador deve atender. Através da seleção de um

conjunto de variações de tensão compreendendo uma faixa de 0% à 20% (subtensões e sobretensões), em degraus sucessivos de 5 em 5%, foram exploradas as potencialidades da proposta e sua eficácia aos propósitos aqui estabelecidos. Tanto os resultados computacionais como os experimentais foram absolutamente consistentes no sentido de evidenciar a operação do dispositivo e o sucesso no processo da compensação. Dentre as principais constatações, ficou esclarecido que o regulador mostra-se adequado à compensação de reduções e acréscimos de tensão e que as potências exigidas do mesmo correspondem a apenas uma parcela da potência total da carga, valores estes diretamente vinculados com os níveis de variações de tensão a serem compensados.

7.0 - AGRADECIMENTOS

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

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BOLLEN, M. Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions, Wiley - IEEE Press. 1999.
- (2) ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Modulo 8, 2008.
- (3) VASCONCELLOS, A. B. Modelagem, Projeto e Construção de Compensadores Estáticos tipo Reator a Núcleo Saturado para Melhoria da Qualidade da Energia: Análise Computacional e Validação Experimental. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia - MG. 2004.
- (4) OLIVEIRA, J. C., VASCONCELLOS, A. B., APOLÔNIO, R., KAWAPHARA, M. K., CARVALHO, J. E., RAUPP, R. Compensador Estático de Reativos Controlado a Tiristores: Modelagem e Simulação. VII Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia – VII CBQEE, Santos, São Paulo. 2007.
- (5) KHEDERZADEH, M., GHORBANI, A. STATCOM Modeling Impacts on Performance Evaluation of Distance Protection of Transmission Lines. European Transactions on Electrical Power 21: 2063-2079. 2011.
- (6) NIELSEN, J. G., NEWMAN, M., NIELSEN, H., BLAABJER, F. Control and Testing of a Dynamic Voltage Restorer (DVR) at Medium Voltage Level. IEEE Transactions on Power Electronics 19(3): 806-813. 2004.
- (7) GUPTA, R., GHOSH, A., JOSHI, A. Performance Comparison of VSC-Based Shunt and Series Compensators Used for Load Voltage Control in Distribution Systems. IEEE Transactions on Power Delivery 26(1): 268-278. 2011.
- (8) IRAVANI, M. R., MARATUKULAM, D. Review of semiconductor-controlled (static) phase shifters for power systems applications. IEEE Transactions on Power Systems 1994; 9(4): 1833-1839.
- (9) 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, Lisbon. 2011.
- (10) 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, Cuiabá-MT. 2011.

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Lucas Eduardo Vasconcelos nasceu em Uberlândia – MG (1988). Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (2012). Aluno intercambista durante os anos de 2010 e 2011 pelo *Institut National Polytechnique de Grenoble*, França, na área de produção, transmissão e distribuição da energia elétrica. Durante o mesmo intercâmbio, teve experiência profissional na empresa *Schneider Electric*, no polo nacional de P&D, trabalhando em conjunto com o laboratório de redes elétricas e qualidade de energia do INP-Grenoble no âmbito da eficiência energética em máquinas de indução. Atualmente é mestrando na Universidade Federal de Uberlândia, fazendo parte do Núcleo de Qualidade da Energia Elétrica e atuando especialmente em temas relacionados a reguladores de tensão.



Fabricio Parra Santilio nasceu em Fernandópolis – SP (1983). Engenheiro eletricitista graduado em fevereiro de 2009 pela Universidade Federal de Mato Grosso (2008). Trabalhou em pesquisas na área de Qualidade da Energia Elétrica, a qual abrange a área de controle de tensão através da compensação de reativos via reator a núcleo saturado. Iniciou o mestrado em março de 2009 no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia na área de Qualidade da Energia Elétrica. Em setembro de 2010 fez a mudança de nível do curso de mestrado para o curso de doutorado, focando reguladores de tensão.



Thiago Vieira da Silva nasceu em Palotina – PR (1988). Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso-Brasil e mestrado pela Universidade Federal de Uberlândia-Brasil. Atualmente é doutorando do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia-Brasil, sendo parte integrante do Núcleo de Qualidade de Energia Elétrica. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso (2010) e mestrado pela Universidade Federal de Uberlândia (2012), atuando principalmente nos seguintes temas: harmônicos, cargas não lineares, qualidade de energia, eficiência energética e regulação de tensão. Atualmente, é doutorando do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, sendo parte integrante do Núcleo de Qualidade de Energia Elétrica.



José Carlos de Oliveira nasceu em Itajubá – MG (1947). Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (1970), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (1974) e doutorado em Engenharia Elétrica - *University Of Manchester - Institute of Science and Technology* (1978). Foi professor titular da Universidade Federal de Itajubá de 1971 a 1981 e desde 1982 ocupa a mesma posição junto a Universidade Federal de Uberlândia. No cenário das pesquisas realizou um considerável número de projetos apoiados por órgãos financiadores governamentais (CNPq, FAPEMIG, FINEP) e fundos setoriais (P&D). É membro atuante em associações de classe, destacando a vice-presidência e a presidência da SBQEE - Sociedade Brasileira de Qualidade da Energia Elétrica, junto a qual foi um dos fundadores.