

Simulador de Controle de Tensão Área Goiás/Brasília Utilizando Algoritmo Genético de Chu-Beasley

Rubens Batista Pereira*. Marcelo Escobar de Oliveira.**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG–Câmpus Itumbiara, Goiás, Brasil
Núcleo de Pesquisas em Sistemas de Energia - NuPSE

**(Tel: (64)99992-1418; e-mail: rubensbatistapereira@gmail.com).*

*** (Tel: (64)2103-5600; e-mail: marcelo.oliveira@ifg.edu.br)*

Abstract: The constant expansion process of the National Interconnected System (SIN), originated by the socioeconomic development of Brazil, provides dynamism to the mode of operation of the electric power transmission system, so that solutions implemented in the past may have their effectiveness diminished over time due to changes in the energy scenario. Of the consequences caused by these changes, the dip in the voltage profile in buses bordering the electricity distribution system stands out. The voltage control carried out by the SIN operation centers aims to maintain the voltage at acceptable levels at all times in the system. The effectiveness of voltage control during disturbances in the electrical system or in severe load conditions is strongly associated with the sectorial reactive support capacity. The voltage control simulator in the Goiás/Brasília area allows an analysis with emphasis on the effects generated by the maneuverable voltage control shunt equipment – reactors and capacitors – in the system. Through the Chu-Beasley genetic algorithm, the simulator is able to suggest the optimized configuration of the elements so that the bars operate with tension equal to or very close to 1 pu. The performance of simulations allows the previous verification of the effectiveness of the maneuvers to control the desired voltage in the integrated operation with the other equipment of the SIN.

Resumo: O constante processo de expansão do Sistema Interligado Nacional (SIN), originado pelo desenvolvimento socioeconômico do Brasil, provê dinamismo ao modo de operação do sistema de transmissão de energia elétrica, de forma que soluções implementadas no passado podem ter sua eficácia diminuída no decorrer do tempo devido às mudanças ocorridas no cenário energético. Das consequências ocasionadas por estas mudanças, destaca-se o afundamento do perfil de tensão em barramentos que fazem fronteira com o sistema de distribuição de energia elétrica. O controle de tensão executado pelos centros de operação do SIN tem por objetivo manter a tensão em níveis aceitáveis em tempo integral no sistema. A eficácia do controle de tensão durante perturbações no sistema elétrico ou em condições severas de carga, é fortemente associada à capacidade de suporte de reativos setorial. O simulador de controle de tensão da área Goiás/Brasília permite uma análise com ênfase nos efeitos gerados pelos equipamentos shunt manobráveis de controle de tensão – reatores e capacitores – no sistema. Através do algoritmo genético de Chu-Beasley, o simulador é capaz de sugerir a configuração otimizada dos elementos de forma que as barras operem com tensão igual ou muito próxima de 1 pu. A realização de simulações permite a constatação prévia da eficácia das manobras para controle de tensão desejadas na operação integrada com os demais equipamentos do SIN.

Keywords: SIN; National Interconnected System; Goiás/Brasília Area; Voltage control; Genetic Algorithm; Chu-Beasley.

Palavras-chaves: SIN; Sistema Interligado Nacional; Área Goiás/Brasília; Controle de tensão; Algoritmo genético; Chu-Beasley.

1. INTRODUÇÃO

A área Goiás/Brasília é um subsistema de transmissão, classificado pelo Operador Nacional do Sistema (NOS), que, dentre as diversas cidades para as quais fornece energia elétrica, são destacadas as capitais Brasília-DF e Goiânia-GO. Geograficamente, o sistema de transmissão da área

Goiás/Brasília pertence à região Centro Oeste do Brasil, porém não abrange os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, os quais pertencem ao subsistema denominado área Mato Grosso.

O sistema elétrico da área Goiás/Brasília é interligado com o sistema de distribuição da Enel Distribuição Goiás, antiga Divisão de Distribuição da Companhia Energética de Goiás

(CELG D) e da antiga CEB, Companhia Energética de Brasília (NEOENERGIA), que distribuem energia para os estados de Goiás e Distrito Federal, respectivamente. Juntos, estes agentes de distribuição fornecem energia para uma população que perfaz um total de aproximadamente 10 milhões de pessoas, conforme estimativa populacional de 2020 feita pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O sistema elétrico brasileiro é interligado, de forma que as localidades que possuem sistema isolado representam menos de 1% da carga total do país, conforme estudo do ONS. Uma

vez que o sistema é interligado, os estudos de fluxo de potência para o cenário real consideram o conceito de barramento infinito, isto é, o sistema dita as condições sistêmicas, de forma que os ajustes de tensão efetuados localmente produzem efeitos na subestação controlada e em subestações adjacentes a depender da distância a que se situam. Especificamente na área Goiás/Brasília, o sistema é formado por um anel entre a UHE Itumbiara, Goiás, e as subestações situadas em Brasília, Distrito Federal – SE Samambaia e SE Brasília Sul – com dois níveis de tensão: 345 kV e 230 kV, conforme Figura 1.

SISTEMA DE TRANSMISSÃO DA ÁREA GOIÁS/BRASÍLIA

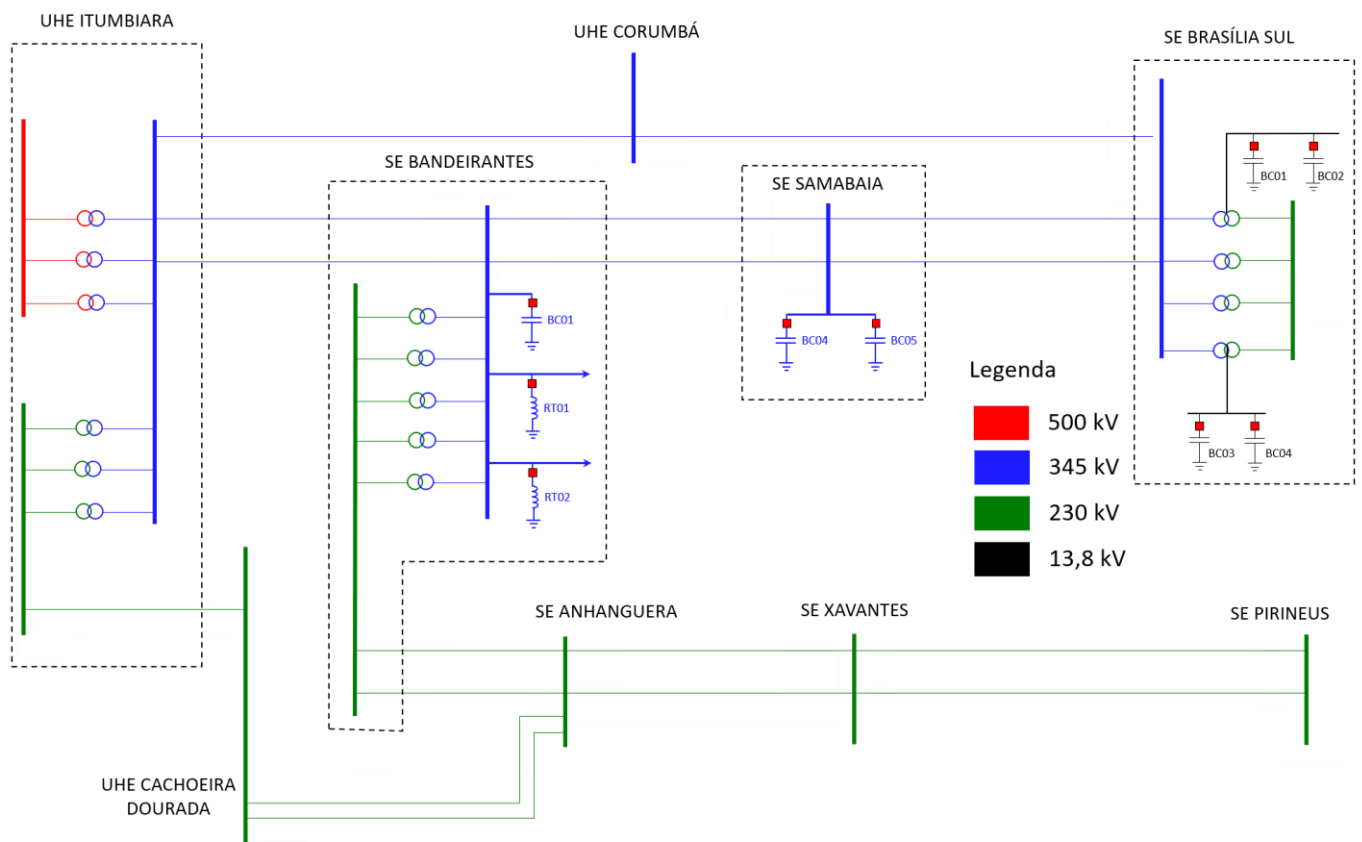


Figura 1 - Sistema de transmissão da área Goiás/Brasília

Todas as barras representadas na Figura 1 possuem mais funções transmissão conectadas (linhas de transmissão, autotransformadores, etc.), porém, com o objetivo de facilitar a visualização foi dado enfoque nos equipamentos que compõem o anel da Área Goiás/Brasília.

O sistema elétrico de transmissão objetiva o despacho da geração, bem como a transmissão desta energia para os agentes de distribuição, que por sua vez realizam a entrega ao consumidor final. O efeito da corrente elétrica que trafega

pelos equipamentos do sistema, somado ao efeito que a carga provoca no sistema, fazem com que o controle de tensão seja uma necessidade operativa.

O controle de tensão tem por objetivo manter a tensão em níveis aceitáveis enquanto ocorre o fluxo de potência no sistema, tanto nas diferentes condições de carga – leve, média e pesada – como em perturbações, sendo determinante na qualidade da energia elétrica entregue ao consumidor final.

De forma geral os equipamentos do sistema elétrico operam com menor rendimento ou têm a sua vida útil diminuída quando submetido a tensões fora dos limites operacionais. Neste contexto, o controle de tensão se faz necessário para preservar a integridade dos equipamentos, e com isso, evitar gastos com manutenções corretivas, além de maximizar o seu tempo de disponibilidade.

Na área Goiás/Brasília o controle de tensão no sistema de transmissão é realizado também para atender a demanda das distribuidoras, que solicitam manobras de controle de tensão no sistema de transmissão para suprir as necessidades de controle de reativos em seus sistemas de distribuição. Isto ocorre quando as distribuidoras necessitam fazer grandes ajustes na tensão (grandes blocos de energia reativa) e também devido à falta de recursos para controle de tensão locais.

No âmbito da operação de sistemas elétricos, a utilização de software de simulação de manobras de controle de tensão é escassa, devido ao enfoque dos estudos no fluxo de potência. Ocorre que o controle de tensão é um recurso que possibilita que o fluxo de potência seja realizado em condições corretas e eletricamente seguras.

A seguir será discorrido sobre o algoritmo que fundamentou a construção do simulador.

2. ALGORITMO GENÉTICO DE CHU-BEASLEY

A idealização do simulador de controle de tensão da área Goiás/Brasília foi baseada no método de Newton-Raphson para a resolução dos cálculos.

O algoritmo foi elaborado em plataforma do Matlab® utilizando o Matpower®, a partir de dados reais do sistema de transmissão da área Goiás/Brasília, disponíveis no mapa dinâmico do SIN [<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>]. Assim foi possível acessar dados de todas as linhas de transmissão do país, como resistência elétrica, reatância, susceptância e limites de operação. De posse dos dados, foi feita a modelagem do sistema apresentado na Figura 1.

O Matpower®, através do comando *runpf*, efetua os cálculos do fluxo de potência utilizando o método Newton-Raphson, obtendo os valores de tensão e ângulo nas barras nas quais se conectam as cargas. Estas grandezas são impressas na tela pelo simulador.

Para efeitos de cálculos, o barramento de 500 kV da UHE Itumbiara foi considerado a barra de referência, ou barra *slack*, por ocorrer nele o despacho da geração da usina, e também devido ao fato de esta ser a usina com maior capacidade de compensação de reativos na área estudada.

Como o controle de tensão é efetuado de forma pontual para cada nível de carga do sistema, o algoritmo foi elaborado de forma a permitir ao usuário escolher entre as seguintes condições de carga: pré estabelecidas (estimada através de dados reais de carga), aleatórias ou definidas manualmente

pelo usuário, para as cidades: Brasília-DF, Goiânia-GO, Itumbiara-GO e Caldas Novas-GO.

Os códigos do algoritmo que efetuam o cálculo da melhor configuração dos elementos shunt para que a tensão nas barras do sistema da área Goiás/Brasília estejam o mais próximo possível de 1 pu.

O algoritmo supracitado é baseado no algoritmo genético de Chu-Beasley, que consiste na definição de uma população inicial aleatória, e através da aplicação de operadores genéticos, geram novos indivíduos com avaliações frequentes (fitness) que elegem os melhores e dão a eles a chance de reprodução.

A escolha da elaboração do algoritmo baseado no algoritmo genético de Chu-Beasley se deu em função da simplicidade que o mesmo oferece para a manipulação das infactibilidades, permitindo o total controle da população gerada (melhorada). Assim, este algoritmo possibilita o alcance de um resultado que atenda a todos os pré requisitos de maneira mais otimizada e simples, haja vista que uma outra opção seria a resolução do problema através de análise combinatória.

Desta forma, indivíduos gerados que não se adaptam à condição estabelecida são penalizados e descartados. O algoritmo efetua os cálculos até que uma solução satisfatória seja encontrada, conforme estabelece a Figura 2.

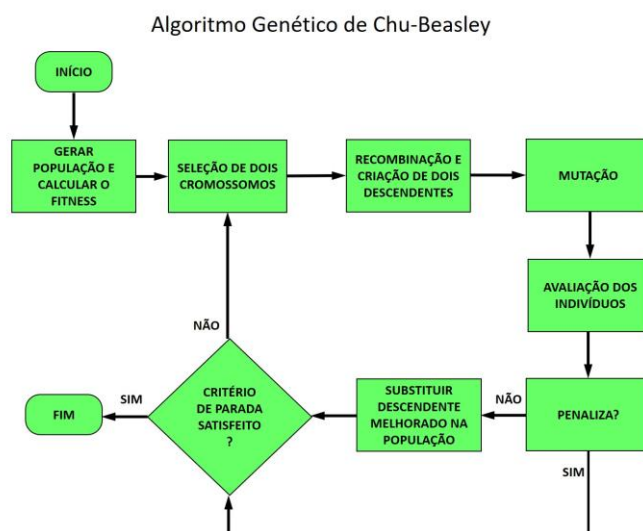


Figura 2 - Fluxograma do Algoritmo Genético de Chu-Beasley

Baseado nesta referência, foi desenvolvido o programa computacional, conforme se segue.

3. SIMULADOR DE CONTROLE DE TENSÃO DA ÁREA GOIÁS/BRASÍLIA

O objetivo do programa computacional desenvolvido é de apresentar-se como uma ferramenta de trabalho que permita que o usuário possa simular o controle de tensão nas barras de carga, possibilitando a verificação dos efeitos sistêmicos

oriundos da inserção de bancos capacitores e reatores, permitindo a avaliação prévia da sua performance ou da obtenção de uma solução que, se aplicada na prática, faça o sistema operar com as tensões nas barras de carga próximas ou iguais a 1 pu.

Inicialmente o usuário opta por definir o status dos equipamentos de controle de tensão da área (ligado ou desligado) e o sistema efetua os cálculos, obtendo as tensões e ângulos das barras de carga; ou o usuário seleciona a opção em que o sistema verifica qual a configuração dos elementos shunt indicada para que as tensões no barramento estejam próximas de 1 pu na condição de carga escolhida. O fluxograma é apresentado na Figura 3.

Fluxograma do Algoritmo do Simulador de Controle de Tensão da Área Goiás/Brasília

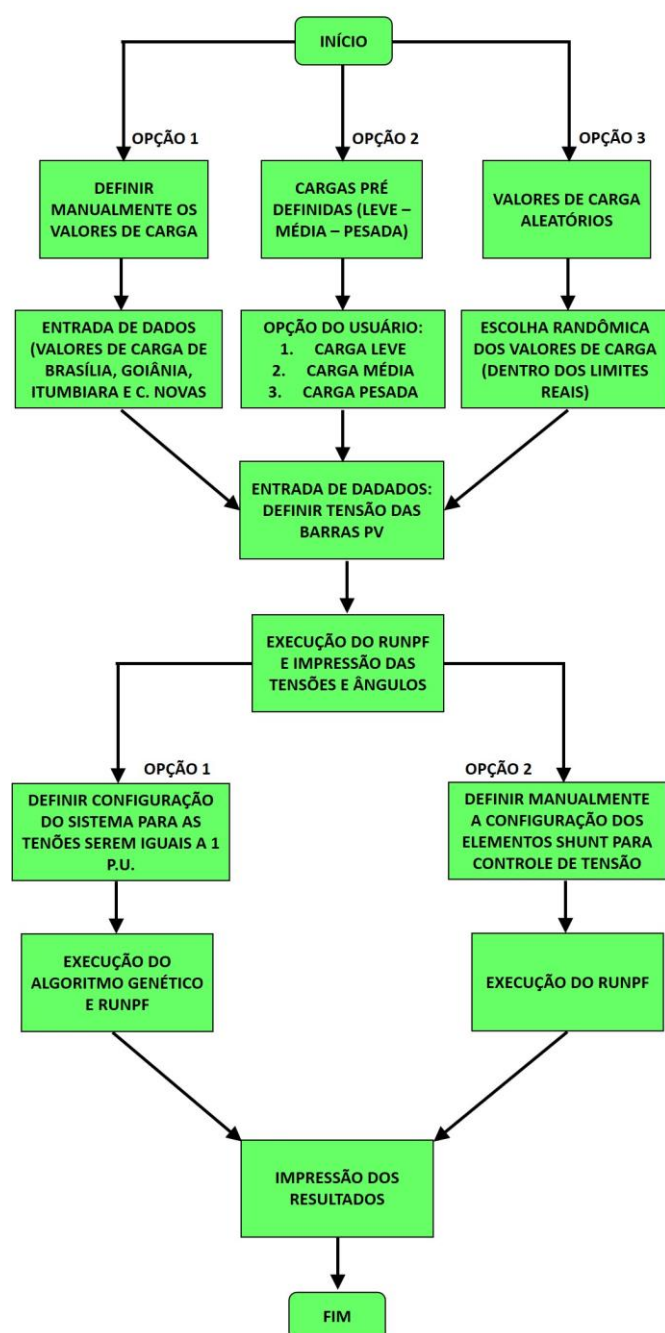


Figura 3 - Fluxograma do algoritmo para cálculo do fluxo de potência da área Goiás/Brasília

É válido enfatizar que o sistema em estudo é real, e foi projetado com uma configuração que permita sua operação em regime sem sobrecargas, com uma correta distribuição do carregamento entre as subestações. Desta forma, as diferentes condições de carga simuladas não resultam em significativas mudanças, e sim apenas mudanças que permitem um fino ajuste da tensão nas barras.

A seguir serão apresentadas simulações realizadas no programa computacional projetado, e efetuada breve análise dos resultados.

4. ESTUDO DE CASOS

Com o intuito de constatar os efeitos da inserção dos equipamentos shunt para controle de tensão do anel de 345/230 kV da Área Goiás/Brasília foram realizadas simulações por amostragem.

Por questão de padronização, em todas as simulações para estudo dos efeitos individuais dos elementos shunt foram considerados os seguintes parâmetros:

- Carga: média
- Tensão barra de 500 kV da UHE Itumbiara (slack): 1 pu
- Tensão barra de 345 kV da UHE Corumbá (PV): 1 pu
- Tensão barra de 345 kV da UHE C. Dourada (PV): 1 pu
- Somente o(s) equipamento(s) shunt em estudo ligado(s)

As demais situações terão seus parâmetros especificados.

A carga média foi escolhida para permitir simulações tanto de inserções de capacitores shunt quando de reatores shunt sem que a manobra ocasionasse violação de tensão no sistema.

4.1 Inserção dos capacitores BC04 e BC05 da SE Samambaia simultaneamente

Esta simulação consistiu em inserir simultaneamente os bancos de capacitores shunt BC04 e BC05 (150 MVAR cada) da SE Samambaia, com os demais elementos shunt desligados. A variação de tensão provocada nos barramentos está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Variação de tensão nas barras de carga mediante a inserção dos capacitores BC04 e BC05 da SE Samambaia

BARRAMENTO	Inserção BC04 e BC05 da SE Samambaia		
	V _{ANTES} PU	V _{DEPOIS} PU	VARIAÇÃO DE TENSÃO % kV
SE Bandeirantes 345 kV	0,983	0,995	1,20% 4,14
SE Bandeirantes 230 kV	0,981	0,994	1,30% 2,99
SE Samambaia 345 kV	0,973	0,996	2,30% 7,94
SE Brasília Sul 345 kV	0,973	0,996	2,30% 7,94
SE Brasília Sul 230 kV	0,971	0,994	2,30% 5,29
SE Planalto 230 kV	0,992	0,998	0,60% 1,38
SE Anhanguera 230 kV	0,981	0,993	1,20% 2,76
SE Xavantes 230 kV	0,971	0,985	1,40% 3,22
SE Pirineus 230 kV	0,967	0,983	1,60% 3,68

A inserção dos capacitores BC04 e BC05 provocou uma elevação de tensão de 8,28 kV no barramento ao qual se conectam, além dos efeitos nas subestações Itumbiara, Bandeirantes, Brasília Sul, Planalto, Anhanguera, Xavantes e Pirineus.

Como os bancos de capacitores supracitados possuem uma potência reativa relativamente grande, suas capacidades de compensação de reativos local são proporcionalmente altas.

4.2 Inserção dos capacitores BC01, BC02, BC03 e da SE Brasília Sul simultaneamente

Foi simulada a inserção simultânea dos capacitores shunt BC01, BC02, BC03 e BC04 (15 MVar cada) da SE Brasília Sul, estando os demais elementos shunt desligados, com os efeitos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Variação de tensão nas barras de carga mediante a inserção dos capacitores BC01, BC02, BC03 e BC04 da SE Brasília Sul

Inserção BC01, BC02, BC03 e BC04 da SE Brasília Sul				
BARRAMENTO	VANTES	VDEPOIS	VARIÇÃO DE TENSÃO	
	PU	PU	%	kV
SE Bandeirantes 345 kV	0,979	0,982	0,30%	1,04
SE Bandeirantes 230 kV	0,978	0,980	0,20%	0,46
SE Samambaia 345 kV	0,968	0,973	0,50%	1,73
SE Brasília Sul 345 kV	0,968	0,973	0,50%	1,73
SE Brasília Sul 230 kV	0,966	0,971	0,50%	1,15
SE Planalto 230 kV	0,991	0,992	0,10%	0,23
SE Anhanguera 230 kV	0,977	0,979	0,20%	0,46
SE Xavantes 230 kV	0,965	0,968	0,30%	0,69
SE Pirineus 230 kV	0,961	0,964	0,30%	0,69

A inserção simultânea dos bancos de capacitores supracitados provocou uma elevação de tensão 1,38 kV no barramento de 345 kV ao qual se conectam e também no barramento de 230 kV da mesma estação, além dos efeitos nas subestações de Bandeirantes, Samambaia, Anhanguera, Xavantes e Pirineus.

Como a potência dos bancos de capacitores inseridos é relativamente baixa, com o conjunto perfazendo uma injeção de reativos total de 60 MVar, o efeito de elevação de tensão esperado é proporcionalmente brando no barramento de conexão dos elementos e também no entorno.

4.3 Inserção do banco de capacitores shunt BC01 da SE Bandeirantes

Nesta simulação foi realizada a inserção do banco de capacitores shunt BC01 (91,50 MVar) da SE Bandeirantes, com os demais elementos shunt desligados, ocasionando a variação de tensão apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Variação de tensão nas barras de carga mediante a inserção do capacitor BC01 da SE Bandeirantes

Inserção BC01 da SE Bandeirantes				
BARRAMENTO	VANTES	VDEPOIS	VARIÇÃO DE TENSÃO	
	PU	PU	%	kV
SE Bandeirantes 345 kV	0,985	0,990	0,50%	1,73
SE Bandeirantes 230 kV	0,984	0,989	0,50%	1,15
SE Samambaia 345 kV	0,976	0,980	0,40%	1,38
SE Brasília Sul 345 kV	0,976	0,980	0,40%	1,38
SE Brasília Sul 230 kV	0,974	0,978	0,40%	0,92
SE Planalto 230 kV	0,994	0,996	0,20%	0,46
SE Anhanguera 230 kV	0,983	0,988	0,50%	1,15
SE Xavantes 230 kV	0,975	0,980	0,50%	1,15
SE Pirineus 230 kV	0,972	0,977	0,50%	1,15

A inserção do BC01 provocou uma elevação de tensão de 1,73 kV no barramento de 345 kV ao qual se conecta e 0,92 kV no barramento de 230 kV da mesma estação, além dos efeitos nas subestações Itumbiara, Samambaia, Brasília Sul, Planalto, Anhanguera, Xavantes e Pirineus.

4.4 Inserção dos reatores shunt RT01 e RT02 da SE Bandeirantes

Foi simulada a inserção simultânea dos reatores shunt RT01 e RT02 (60 MVar cada) da SE Bandeirantes, estando os demais elementos shunt desligados, com resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Variação de tensão nas barras de carga mediante a inserção dos reatores RT01 e RT02 da SE Bandeirantes

Inserção RT01 e RT02 da SE Bandeirantes				
BARRAMENTO	VANTES	VDEPOIS	VARIÇÃO DE TENSÃO	
	PU	PU	%	kV
SE Bandeirantes 345 kV	0,985	0,978	-0,70%	-2,42
SE Bandeirantes 230 kV	0,984	0,978	-0,60%	-1,38
SE Samambaia 345 kV	0,975	0,970	-0,50%	-1,73
SE Brasília Sul 345 kV	0,975	0,970	-0,50%	-1,73
SE Brasília Sul 230 kV	0,974	0,969	-0,50%	-1,15
SE Planalto 230 kV	0,994	0,991	-0,30%	-0,69
SE Anhanguera 230 kV	0,984	0,977	-0,70%	-1,61
SE Xavantes 230 kV	0,976	0,970	-0,60%	-1,38
SE Pirineus 230 kV	0,973	0,967	-0,60%	-1,38

A inserção dos reatores supracitados provocou uma redução de tensão de 2,07 kV no barramento de 345 kV ao qual se conectam e 1,38 kV no barramento de 230 kV da mesma estação, além dos efeitos nas subestações Samambaia, Brasília Sul, Planalto, Anhanguera, Xavantes e Pirineus.

4.5 Definição da configuração do sistema para manter a tensão em 1 pu nas barras em regime de carga pesada

A simulação a seguir foi realizada com os seguintes parâmetros iniciais:

- Carga: pesada
- Tensão barra 500 kV da UHE Itumbiara (slack): 1,00 pu
- Tensão barra 345 kV da UHE Corumbá (PV): 1,00 pu
- Tensão barra 345 kV da UHE C. Dourada (PV): 1,00 pu

As tensões das barras PV e barra de referência foram simuladas com valores em 1,00 pu a fim de possibilitar que a tensão sistêmica esteja com valores mais baixos, devido à carga pesada, e então o simulador possa sugerir um controle

de tensão que eleve a tensão das barras de carga para um valor próximo de 1,00 pu.

Após a inserção dos dados de entrada, o software efetuou os cálculos do fluxo de potência, imprimindo as tensões, as quais estão exibidas no campo “antes” da Tabela 5.

Ao executar o algoritmo genético para definir a melhor configuração de modo a manter a tensão o mais próximo possível de 1 pu, o sistema sugeriu a configuração, conforme Figura 4:

- RT01 (SE Bandeirantes 345 kV): Ligado
- RT02 (SE Bandeirantes 345 kV): Desligado
- BC01 (SE Bandeirantes 345 kV): Desligado
- BC01 (SE Brasília Sul 345 kV): Ligado
- BC02 (SE Brasília Sul 345 kV): Desligado
- BC03 (SE Brasília Sul 345 kV): Ligado
- BC04 (SE Brasília Sul 345 kV): Desligado
- BC04 (SE Samambaia 345 kV): Ligado
- BC05 (SE Samambaia 345 kV): Desligado

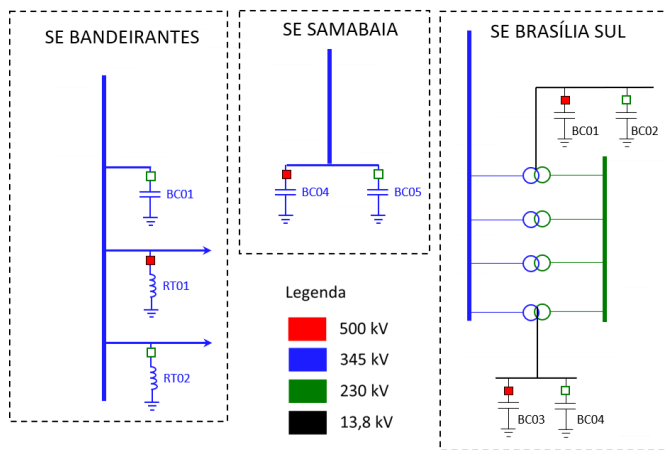


Figura 4 – Configuração recomendada para o regime de carga pesada

O resultado da simulação da inserção dos equipamentos shunt RT01 (SE Bandeirantes), BC01 e BC03 (SE Brasília Sul) e BC04 (SE Samambaia) está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Comparativo de tensões antes e depois da aplicação da configuração recomendada pelo simulador para a carga pesada

Variação de tensão com a configuração recomendada (carga pesada)				
BARRAMENTO	V _{ANTES}	V _{DEPOIS}	VARIÇÃO DE TENSÃO	
	PU	PU	%	kV
SE Bandeirantes 345 kV	0,979	0,991	1,20%	4,14
SE Bandeirantes 230 kV	0,978	0,990	1,20%	2,76
SE Samambaia 345 kV	0,968	0,991	2,30%	7,94
SE Brasília Sul 345 kV	0,968	0,992	2,40%	8,28
SE Brasília Sul 230 kV	0,966	0,990	2,40%	5,52
SE Planalto 230 kV	0,991	0,996	0,50%	1,15
SE Anhanguera 230 kV	0,977	0,989	1,20%	2,76
SE Xavantes 230 kV	0,966	0,979	1,30%	2,99
SE Pirineus 230 kV	0,962	0,977	1,50%	3,45

É possível constatar que, em regime de carga pesada, as tensões nas barras de carga sofrem relativo afundamento no

seu perfil, e as manobras realizadas, embora tenham melhorado o nível de tensão, não são suficientes para elevar as tensões próximas à carga para 1 pu.

4.6 Definição da configuração do sistema para manter a tensão em 1 pu nas barras em regime de carga leve

A simulação a seguir foi realizada com os seguintes parâmetros iniciais:

- Carga: pesada
- Tensão barra 500 kV da UHE Itumbiara (slack): 1,03 pu
- Tensão barra 345 kV da UHE Corumbá (PV): 1,03 pu
- Tensão barra 345 kV da UHE C. Dourada (PV): 1,03 pu

As tensões das barras PV e barra de referência foram simuladas com valores em 1,03 pu a fim de possibilitar que a tensão sistêmica esteja com valores mais altos, devido à carga leve, e então o simulador possa sugerir um controle de tensão que eleve a tensão das barras de carga para um valor próximo de 1,00 pu.

Após a inserção dos dados de entrada, o software efetuou os cálculos do fluxo de potência, imprimindo as tensões, conforme apresentado na Tabela 6.

Após a execução do algoritmo genético para definir a melhor configuração de modo a manter a tensão o mais próximo possível de 1 pu, o sistema sugeriu a configuração a seguir, conforme ilustra a Figura 5:

- RT01 (SE Bandeirantes 345 kV): Ligado
- RT02 (SE Bandeirantes 345 kV): Ligado
- BC01 (SE Bandeirantes 345 kV): Desligado
- BC01 (SE Brasília Sul 345 kV): Desligado
- BC02 (SE Brasília Sul 345 kV): Desligado
- BC03 (SE Brasília Sul 345 kV): Ligado
- BC04 (SE Brasília Sul 345 kV): Desligado
- BC04 (SE Samambaia 345 kV): Desligado
- BC05 (SE Samambaia 345 kV): Desligado

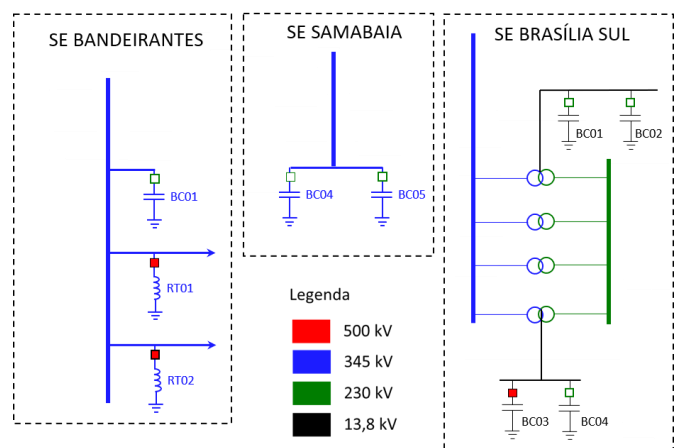


Figura 5 - Configuração recomendada para o regime de carga leve

O resultado da inserção dos equipamentos shunt BC03 (SE Brasília Sul) e RT01 e RT02 (SE Bandeirantes) está apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Comparativo de tensões antes e depois da aplicação da configuração recomendada pelo simulador para a carga leve

Variação de tensão com a configuração recomendada (carga leve)				
BARRAMENTO	V _{ANTES}	V _{DEPOIS}	VARIACÃO DE TENSÃO	
	PU	PU	%	kV
SE Bandeirantes 345 kV	1,017	1,011	-0,60%	-2,07
SE Bandeirantes 230 kV	1,016	1,010	-0,60%	-1,38
SE Samambaia 345 kV	1,007	1,003	-0,40%	-1,38
SE Brasília Sul 345 kV	1,007	1,003	-0,40%	-1,38
SE Brasília Sul 230 kV	1,005	1,001	-0,40%	-0,92
SE Planalto 230 kV	1,019	1,016	-0,30%	-0,69
SE Anhanguera 230 kV	1,015	1,009	-0,60%	-1,38
SE Xavantes 230 kV	1,006	1,001	-0,50%	-1,15
SE Pirineus 230 kV	1,003	0,997	-0,60%	-1,38

Através do resultado impresso pelo simulador é possível notar que as tensões de todas as barras PQ já estavam ligeiramente acima de 1 pu, e o simulador aproximou ainda mais as tensões do valor almejado.

5. CONCLUSÕES

Nas simulações de efeitos de elementos shunt no sistema, a tensão nas barras PV (UHE Corumbá e UHE Cachoeira Dourada) não se alteram devido a compensação de reativos das unidades geradoras. Portanto, os efeitos das manobras em elementos de controle de tensão da área Goiás/Brasília nas barras das usinas citadas são reais, porém não é possível detectá-los através da alteração de tensão, e sim pela alteração da potência reativa das máquinas síncronas.

Através das simulações, levando-se em consideração o local onde se situam as subestações aqui citadas, é possível constatar que o controle de tensão das subestações que fornecem energia para a cidade de Brasília pode ser feito através de manobras em elementos shunt nas subestações de Samambaia e Brasília Sul assim como o controle de tensão das subestações que alimentam as cargas de Goiânia pode ser efetuado através de manobras de elementos shunt na SE Bandeirantes. Contudo, devido ao fato destas subestações estarem ligadas em anel, o controle de tensão efetuado localmente nos barramentos provoca variações nas demais subestações, com dimensão inversamente proporcional às distâncias físicas entre as subestações. Sendo assim, tanto o controle de tensão das cidades do estado de Goiás e quanto do Distrito Federal podem ser efetuados em conjunto com manobras nos troncos de 345 kV e 230 kV que interligam a UHE Itumbiara até as subestações de Brasília.

A limitação apresentada pelo simulador é devido ao fato do programa ser restrito aos dados dos troncos de 345 kV e 230 kV da área Goiás/Brasília. Na prática, devido ao fato do SIN

ser um sistema de barramento infinito, equipamentos de controle de tensão que fazem fronteira com esta área, mas não a integram, também provocam efeitos nas suas tensões quando manobrados.

Apesar da limitação supracitada, o simulador possibilita ao usuário antever os efeitos das manobras almeçadas, ou a obtenção de uma solução para ajustar a tensão das barras de carga o mais próximo possível de 1 pu (limitado aos recursos existentes).

O simulador de fluxo de potência da área Goiás/Brasília reproduz as condições sistêmicas bem aproximadas das situações reais (constatado empiricamente durante comportamento de manobras de controle de tensão no SIN).

6. REFERÊNCIAS

- Robba, E. J. (2000). *Introdução a sistemas elétricos de potência: componentes simétricas*, 484 p. 2ª edição. A Edgard Blucher. São Paulo-SP.
- Franco, Pablo Cuervo. *Análise de Sistemas de Potência – Parte II*, 10 p. Universidade de Brasília – UNB. Brasília-DF.
- Uzinski, Henrique (2015). *Resolução de Problemas Multimodais Usando um Algoritmo Genético de Chu-Beasley Modificado Com Uma Busca Local Eficiente*, 12 p. XLVII SBPO. Porto de Galinhas-PE.
- Durce, Carolina (2010). *O Problema do Fluxo de Potência - MATPOWER*, 19 p. Universidade Federal do Paraná – UFPR.
- Dados populacionais dos estados de Goiás e Distrito Federal, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em 16/07/2021.
- Cidades, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/panorama>. Acesso em 16/07/2021.
- SINDAT, 2021. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. Acesso durante os meses de junho e julho de 2021.
- Resolução de Problemas Multimodais Usando um Algoritmo de Chu-Beasley. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/334960950_Resolucao_de_problemas_multimodais_usando_um_algoritmo_genetico_de_Chu-Beasley_modificado_com_uma_busca_local_eficiente. Acesso em 16/07/2021.