

Vice-presidência de Geração e Transmissão  
Superintendência de Expansão e Implantação de Projetos

## **MODULARIZAÇÃO DAS UNIDADES TRANSFORMADORAS DA SE MESQUITA**



Gerência de Expansão da Transmissão EI/ET  
Agosto/2025

## Sumário

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	5
1.0 INTRODUÇÃO.....	6
1.1 Considerações Iniciais .....	6
1.2 Objetivo .....	12
1.3 Metodologia .....	12
2.0 Avaliação Crítica do Escopo do R1 [5].....	16
3.0 CONCLUSÕES.....	17
4.0 RECOMENDAÇÕES .....	19
5.0 PREMISSAS E CRITÉRIOS .....	22
5.1 Critérios Básicos.....	22
5.2 Casos de trabalho.....	22
5.3 Projeções de Mercado .....	23
5.4 Plano de Geração .....	23
5.5 Elaboração dos Cenários.....	27
5.5.1 Escolha dos Cenários e critérios para o Despacho de Geração.....	27
5.5.2 Cenários para a avaliação das Perdas.....	29
5.6 Limites Operativos .....	30
5.6.1 Tensão.....	30
5.6.2 Carregamento.....	31
5.6.3 Fator de Potência.....	31
5.7 Parâmetros Econômicos .....	32
5.8 Classificação do Horizonte das Obras .....	32
6.0 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA.....	33
6.1 Sistema Elétrico de Interesse.....	33
6.2 Desempenho Elétrico da Rede .....	33
6.2.1 Carregamento dos Transformadores da SE Mesquita no horizonte de Estudo (2027 a 2038) .....	33
6.2.2 Condições críticas de carregamento na contingência N-1 da transformação das Subestações Governador Valadares 6 e Itabira 5.....	37
6.3 Restrições Físicas das Instalações .....	40
6.4 Vida útil de transformadores de potência, equipamentos de compensação de reativos. ....	42
7.0 DESCRIÇÃO DAS ALTERNATIVAS.....	43

7.1	Alternativa 1.....	45
7.2	Alternativa 2.....	45
7.3	Alternativa 3.....	46
7.4	Obras Comuns e comentários gerais .....	47
7.4.1	Compartilhamento da Unidade Reserva dos Bancos de Autotransformadores .....	47
7.4.2	Instalação do Reator de Derivação Variável (RDV).....	48
8.0	ANÁLISE DO DESEMPENHO EM REGIME PERMANENTE .....	49
8.1	Alternativa 1 .....	49
8.1.1	Alternativa 1 - Período entre os anos 2036 e 2038 .....	49
8.1.2	Alternativa 1 - Período entre os anos 2038 e 2047 .....	55
8.1.3	Alternativa 1 - Período entre os anos 2047 e 2050 .....	57
8.2	Alternativa 2.....	59
8.2.1	Alternativa 2 – Período entre os anos 2036 e 2039.....	59
8.2.2	Alternativa 2 – Período entre os anos 2038 e 2047.....	64
8.2.3	Alternativa 2 - Período entre os anos de 2047 e 2050 .....	65
8.3	Alternativa 3.....	67
8.3.1	Alternativa 3 - Período entre os anos 2036 e 2038 .....	67
8.3.2	Alternativa 3 – Período entre os anos 2038 e 2047.....	72
8.3.3	Alternativa 3 – Período entre os anos de 2047 e 2050.....	74
9.0	ANÁLISE ECONÔMICA.....	76
9.1	Comparação Econômica.....	76
9.2	Discussão dos Resultados .....	77
10.0	ANÁLISE DE DESEMPENHO DINÂMICO – ESTABILIDADE ELETROMECAÂNICA.....	79
11.0	ANÁLISE DE SUPERAÇÃO DE BARRAMENTOS E EQUIPAMENTOS.....	79
12.0	ANÁLISE DE CURTO-CIRCUITO.....	80
13.0	ANÁLISES COMPLEMENTARES.....	80
13.1.1	Reator de Derivação Variável (RDV).....	80
13.1.2	Compensador Síncrono CS1 .....	82
13.1.3	Análise Ambiental – Ampliação Setor 500 kV - SE Mesquita .....	85
14.0	REFERÊNCIAS .....	87
15.0	EQUIPE TÉCNICA .....	88
16.0	ANEXOS.....	89
16.1	Ficha PET/PELP .....	89
16.2	Projeções de Mercado (Cargas Pesada, Média e Leve) .....	94

16.3	Arranjo Básico – Ampliação SE Mesquita para a Instalação do Reator de Derivação Variável.....	97
16.4	OP/PL-1166-SE Mesquita-R1 – Planejamento dos Recursos de Controle de Tensão da SE Mesquita – R1 .....	98

## **APRESENTAÇÃO**

Este estudo tem como objetivo avaliar a Modularização das Unidades Transformadoras da SE Mesquita. O estudo é motivado sobretudo pela solicitação do MME, através do Ofício nº 124/2024/DPOTI/SNTEP-MME, que visa a definição de novas unidades transformadoras na instalação frente o final de vida útil dos equipamentos, associados aos reforços regionais que impactaram sobremaneira o carregamento da transformação da SE. A Cemig GT cadastrou no Sistema de Gerenciamento dos Planos de Melhorias e Reforços (SGPMR), em 2023, a substituição da unidade autotransformadora T3, por final de vida útil. O prazo final para a emissão do estudo é 30/07/2025.

Adicionalmente, este estudo visa avaliar a necessidade sistêmica do Compensador Síncrono instalado na SE Mesquita. A recém entrada em operação dos reforços supracitados podem ter contribuído para uma possível subutilização dos recursos técnicos deste equipamento.

## 1.0 INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações Iniciais

A Região Leste de Minas Gerais ocupa cerca de 20% da área do estado e engloba 213 municípios. Na Região Leste de Minas Gerais encontra-se a mesorregião do Vale do Rio Doce. Pode-se citar como alguns dos principais municípios desta mesorregião Ipatinga, Mesquita, Coronel Fabriciano, Timóteo, os quais pertencem à microrregião de Ipatinga, também denominada Vale do Aço. A região é caracterizada pela forte presença das indústrias siderúrgicas e mineração, sendo um polo de referência para estas atividades no estado de Minas Gerais e para todo o Brasil.

Abaixo, a Figura 1 apresenta a localização geográfica da região do Vale do Aço:



Figura 1 - Microrregião de Ipatinga

O sistema elétrico desta região é caracterizado por uma malha de 230 kV que é responsável por atender as demandas do sistema de distribuição, mas principalmente as cargas industriais de consumidores especiais da região, os quais acessam a Rede

Básica e possuem elevada demanda contratada para seus respectivos pontos de conexão. Dentre as quais, pode-se citar a Usiminas, White Martins, Aperam, AngloGold, Vale etc. A relação dos principais consumidores Acessantes da Rede Básica se encontra na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais Consumidores Acessantes da Rede Básica da região Leste de MG e Demandas Contratadas (Fonte: ONS)

Consumidor	Nome Barra	Ponto de Conexão	kV	2027 (MW)		2027 (Mvar)	
				Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta
ANGLO FERROUS	A.FERR-MG230	Itabira 2	230	135	135,0	44,4	44,4
ANGLOGOLD	AGLGLD-MG230	Sabará 3	230	28	28,0	9,2	9,2
ANGLOGOLD CORREGO DO SITIO	ANGLB3-MG230	Barão de Cocais 3	230	1	1,0	0,3	0,3
APERAM	ACESIT-MG230	Acesita	230	150	160,0	43,6	46,5
ARCELORMITTAL MONLEVADE	ARCEM2-MG230	João Monlevade 2	230	140,9	148,8	46,4	49,0
MESSER GASES MG	LINDGS-MG069	Acesita	230	17,5	17,5	5,5	5,5
NOVA ERA	NERASL-MG230	LT Guilman - Itabira 2	230	49	49,0	16,1	16,1
USIMINAS	UMINA1-MG230	Mesquita	230	125	125,0	41,1	41,1
USIMINAS	UMINA2-MG230	Ipatinga 1	230	105	105,0	34,5	34,5
VALE BRUCUTU	VALEB3-MG230	Barão de Cocais 3	230	72	72,0	23,7	23,7
VALE ITABIRA	VLITAB-MG230	Itabira 2	230	102,6	102,6	33,8	33,8
VALE MINA CONCEIÇÃO	M.CONC-MG230	Itabira 4	230	100	100,0	32,9	32,9
VALE MONLEVADE	VALEM2-MG230	João Monlevade 2	230	6,4	6,4	2,1	2,1
WHITE MARTINS B. COCAIS	WMBCC3-MG230	Barão de Cocais 3	230	9,8	9,8	3,2	3,2
WHITE MARTINS IPATINGA	WMIPT1-MG230	Mesquita	230	20	18,2	6,6	6,0
WHITE MARTINS IPATINGA	WMIPT2-MG230	Ipatinga 1	230	41	41,0	13,5	13,5
WHITE MARTINS MONLEVADE	WMMON2-MG230	João Monlevade 2	230	35,9	37,5	11,8	12,3
<b>TOTAL</b>				<b>1139,1</b>	<b>1156,8</b>	<b>368,7</b>	<b>374,1</b>

Importante destacar a presença de usinas de geração hidráulica da região, essencial fonte de suprimento, as quais serão abordadas no item 5.4.

A Figura 2 abaixo apresenta o diagrama esquemático da configuração da malha de 230 kV e do sistema local.

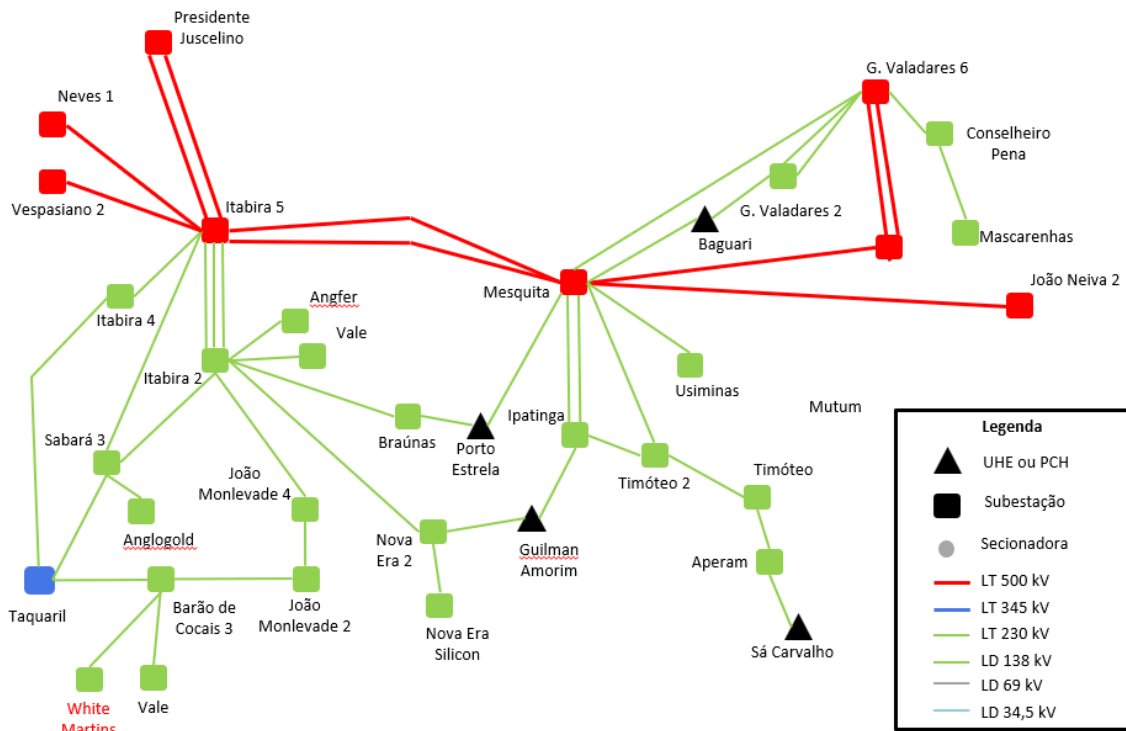


Figura 2 - Sistema Elétrico da Região de Ipatinga e Leste de Minas Gerais

As principais subestações da região são as SE Mesquita, SE Ipatinga 1, SE Itabira 5 e SE Governador Valadares 6. A SE Mesquita 500/230 kV, sob concessão da CEMIG GT e foco desta análise, é composta pelos seguintes equipamentos principais:

- 4 (quatro) Autotransformadores trifásicos 500/230 kV de 400 MVA cada (T1, T2, T3 e T4);
- 1 (um) Compensador Síncrono +100/-60 Mvar, conectado ao terciário do autotransformador T1 (CS1);
- 4 (quatro) Bancos de Capacitores 28,8 Mvar cada, conectados ao terciário do autotransformador T3, que estão em processo de desativação devido ao fim de sua vida

útil técnica e regulatória, e necessidade sistêmica descartada pelo Planejamento Setorial (C1, C2, C3 e C4) (Desativação cadastrada no SGPMR em 2023 (000859/2023, 000860/2023, 000861/2023, 000862/2023) e recomendada no Anexo do POTEE 2023 - 1ª emissão - Melhorias de Grande Porte.

A Subestação Mesquita é composta dos setores de 500 kV, 230 kV e 13,8 kV. Atualmente, possui interligação elétrica em 500 kV com as SEs João Neiva 2 (ano de operação: 2023), Mutum (ano de operação: 2021) e Itabira 5 (ano de operação: 2022). Já as interligações elétricas no 230 kV são realizadas com as SEs Ipatinga 1, Governador Valadares 6, UHE Baguari, Timóteo 2 e para atendimento ao consumidor Usiminas, acessante da Rede Básica.

Os autotransformadores T3 e T4 estão conectados às barras de 500 kV da subestação por meio do arranjo Disjuntor e Meio (DJM) enquanto os autotransformadores T1 e T2 estão conectados nas pontas das barras 1 e 2, respectivamente.

Abaixo, a Figura 3 mostra o Diagrama Unifilar Básico da SE Mesquita:

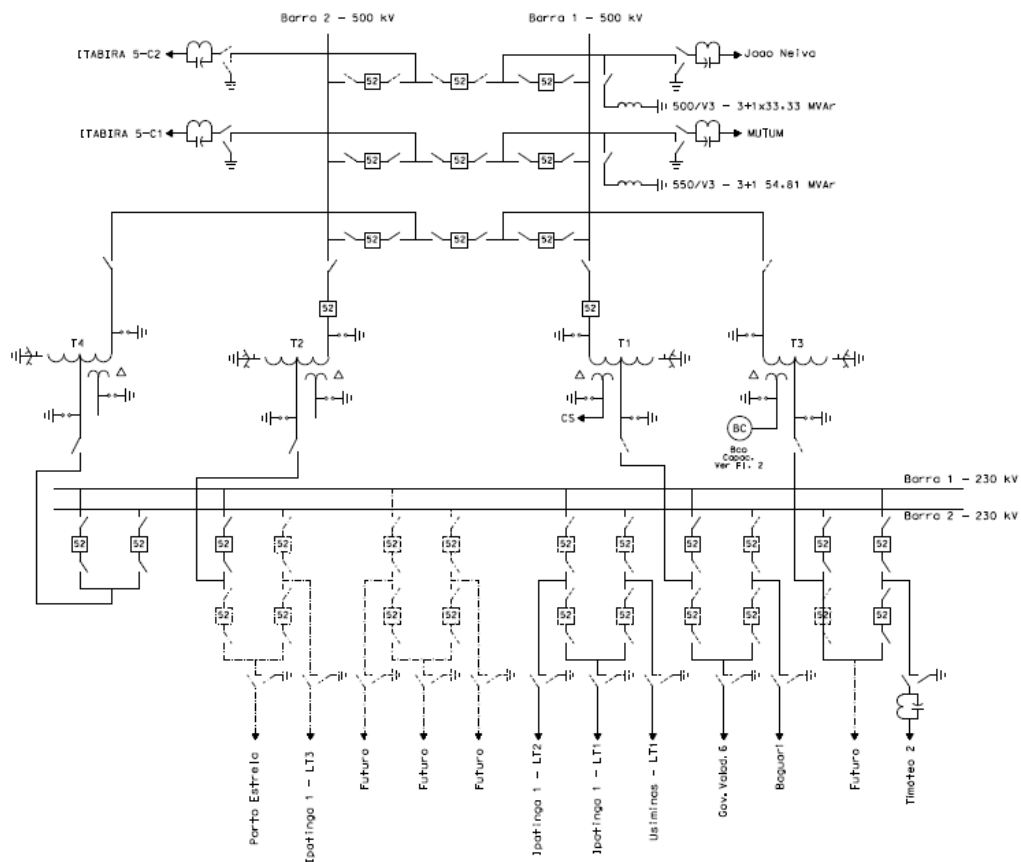


Figura 3 - Diagrama Unifilar Básico SE Mesquita

O autotransformador T3 alcançou o final de sua vida útil regulatória em março de 2019 e é um ativo totalmente depreciado. Considerando a situação deste ativo, foi cadastrada a sua substituição no sistema SGPMR do ONS pelo agente CEMIG GT, cujo código é 0000812/2023, juntamente com a desativação dos bancos de capacitores (C1, C2, C3 e C4, 4 x 28,8 Mvar) ligados ao terciário deste autotransformador, códigos 000859/2023, 000860/2023, 000861/2023, 000862/2023.

Paralelamente, verificou-se que o Compensador Síncrono CS 1 também se encontra em situação semelhante ao autotransformador T3, com vida útil regulatória findada em abril de 2012, e totalmente depreciado. A substituição deste equipamento foi cadastrada no SGPMR em 2024 (0000237/2024) por final de vida útil. O cadastro ficou pendente para análise em 2025 pelo planejamento setorial (ONS e EPE). Tomou-se a decisão de também avaliar a real necessidade sistêmica deste equipamento, considerando os

reforços recomendados pela EPE, tanto os já implantados quanto os planejados, conforme relação abaixo:

**Tabela 2 - Situação dos ativos da SE Mesquita**

Equipamento	Id.	Final Vida Útil Regulatória	Situação do Ativo	Final Vida Útil Contábil	Situação Contábil do Ativo
Autotransformador	T1	Nov/2016	Vida útil regulatória finalizada	Dez/2047	Não depreciado
	T2	Dez/2032	Vida útil regulatória em andamento	Ago/2036	Não depreciado
	T3	Mar/2019	Vida útil regulatória finalizada	Depreciado	Depreciado
	T4	Dez/2049	Vida útil regulatória em andamento	Jan/2050	Não depreciado
Compensador Síncrono	CS1	Abr/2012	Vida útil regulatória finalizada	Depreciado	Depreciado
Banco de Capacitores	C1	Mai/2019	Vida útil regulatória finalizada	Depreciado	Depreciado
	C2				
	C3				
	C4				

Com a recente entrada em operação de reforços recomendados da região, houve uma redução no carregamento das unidades transformadoras da SE Mesquita 500/230 kV, redução essa que infere que a transformação da instalação deve passar por uma revisão, visando o atendimento no curto, médio e longo prazo.

- SE Itabira 5 – com transformação 500/230 kV, 2 x 750 MVA (início da operação: 2022);
- SE Governador Valadares 6 – com transformação 500/230 kV, 2 x 600 MVA (início da operação: 2020);
- LT 230 kV Governador Valadares 6 - Governador Valadares 2, C1;
- LT 230 kV Governador Valadares 6 - Governador Valadares 2, C2;
- LT 230 kV Governador Valadares 6 - Mesquita, C1;
- LT 230 kV Governador Valadares 6 - Conselheiro Pena, C1;
- LT 230 kV Governador Valadares 6 - Verona, C1 (**futuro**);

- SECC LT 230 kV Sabará 3 - Itabira 2, C1, na SE Itabira 5 (**futuro**);
- LT 230 kV Itabira 2 - Itabira 5, C1 e C2;
- LT 230 kV Itabira 4 - Itabira 5, C1;
- LT 500 kV Governador Valadares 6 - Mutum, C1 e C2;
- LT 500 kV Padre Paraíso 2 - Governador Valadares 6, C1 e C2;
- LT 500 kV Itabira 5 - Presidente Juscelino, C1 e C2;
- LT 500 kV Itabira 5 - Vespasiano 2, C1;
- LT 500 kV Itabira 5 - Neves 1, C1;
- LT 500 kV Itabira 5 - Mesquita, C1 e C2;
- LT 500 kV Capelinha 3 - Governador Valadares 6, C1 e C2 (**futuro**);
- LT 500 kV Capelinha 3 - Itabira 5, C1 (**futuro**).

## 1.2 Objetivo

O objetivo deste documento é realizar avaliações de curto, médio e longo prazo para a nova modularização da SE Mesquita, tanto em regime normal de operação quanto em condições de contingência N-1, face às alterações das configurações sistêmicas da região, e considerando o contexto de final de vida útil das transformações existentes, sendo que a unidade T3 é a primeira a atingir essa condição.

## 1.3 Metodologia

Foram realizadas simulações em regime normal e em contingência N-1, avaliando a necessidade da transformação na SE Mesquita, bem como simulando a melhor solução de modularização dos transformadores desta SE. Adicionalmente, foi avaliada a necessidade sistêmica do compensador síncrono e dos bancos de capacitores, tanto em regime permanente quanto do ponto de vista dinâmico, análise a qual consta no relatório OP/PL-1166-SE Mesquita-R1 – Planejamento dos Recursos de Controle de Tensão da SE Mesquita – R1[10].

Nas simulações de fluxo de carga, foram avaliadas as contingências da Rede Básica e Rede Básica de Fronteira nos ramos série e shunt, até a segunda vizinhança, das seguintes subestações e seus respectivos níveis de tensão:

- SE Mesquita – 500 kV e 230 kV;
- SE Ipatinga 1 – 230 kV e 138 kV;
- SE Timóteo 1 – 230 kV e 138 kV;
- SE Timóteo 2 – 230 kV e 138 kV;
- SE Itabira 5 – 500 kV e 230 kV;
- SE Governados Valadares 6 – 500 kV e 230 kV;
- SE Taquaril – 345 kV e 230 kV.

Em resumo, as análises deste relatório seguiram as seguintes etapas:

- Atualização da configuração da rede existente e planejada dentro do horizonte do estudo;
- Determinação dos cenários críticos;
- Análise em regime permanente, em condição normal e em contingência das unidades transformadoras da SE Mesquita;
- Análise da necessidade sistêmica do Compensador Síncrono CS 1;
- Definição de alternativas viáveis sob o ponto de vista técnico e econômico para a nova modularização das unidades transformadoras 500/230 kV da SE;
- Verificação dos níveis de curto-circuito para a solução adotada;
- Análise das perdas elétricas referente às alternativas estudadas;
- Análise econômica e definição dos custos;

- Programa de Obras.

As análises foram realizadas utilizando-se os softwares padronizados para o sistema elétrico de potência brasileiro, ANAREDE (fluxo de carga), ANAFAS (curto-circuito) e ANATEM (transitórios eletromecânicos), desenvolvidos pelo CEPEL/ELETROBRÁS.

Este estudo também contemplou a avaliação do impacto das obras de modularização da transformação da SE Mesquita em anos fora do horizonte dos casos prospectivos (até 2038) utilizando outra metodologia, sem realização de simulações de fluxo de potência devido ao fato de não haver casos capazes de refletir a realidade sistêmica entre os anos 2039 e 2047, não sendo possível a realização de simulações de fluxo.

Em face desta situação, foi realizada uma análise extrapolada que considerou a evolução do carregamento dos transformadores mais críticos da área de interesse de modo a avaliar, minimamente, o atendimento aos requisitos de carregamento previstos pela regulação.

Abaixo são apresentados os valores médios, de acordo com os anos de referência, da evolução do carregamento dos transformadores das Subestações Mesquita, Governador Valadares 6 e Itabira 5 utilizados nos cálculos de extrapolação, discriminados por patamar de carga.

Tabela 3 - Percentual de Médio de Evolução do Carregamento dos Transformadores

Subestação	Transformação	Cenário	% Evolução Carregamento	Anos de Referência
Mesquita	3 x 400 MVA	PES-PD 2033-NORTE SECO_vGET-5.0.0	<b>1,15%</b>	2028-2036
		MED-PD 2033-NORTE SECO_vGET-5.0.0 - MMGD70P - UFVs_NT	<b>0,19%</b>	
Governador Valadares 6	2 x 600 MVA	PES-PD 2033-NORTE SECO_vGET-5.0.0	<b>3,11%</b>	2028 a 2038
		MED-PD 2033-NORTE SECO_vGET-5.0.0 - MMGD70P - UFVs_NT	<b>3,46%</b>	
Itabira 5	2 x 750 MVA	PES-PD 2033-NORTE SECO_vGET-5.0.0	<b>1,96%</b>	2027-2038
		MED-PD 2033-NORTE SECO_vGET-5.0.0 - MMGD70P - UFVs_NT	<b>1,48%</b>	

Obs.: Os anos da coluna “Anos de Referência” correspondem ao intervalo de tempo que melhor reflete a realidade da elevação de carregamento da transformação e foram selecionados por possuírem comportamento estável de variação percentual, sem apresentar alterações bruscas provocadas por mudanças significativas na topologia do sistema elétrico, como a entrada em operação de subestações e linhas de transmissão, bem como alterações de despacho de geração ou aumentos bruscos de carga. Foram calculados os percentuais de evolução para os casos mais críticos (carga média e pesada, norte seco).

Destarte, para as análises entre os anos de 2027 e 2038, foram feitas as simulações de fluxo de potência no software ANAREDE e para os anos de 2039 a 2050, foi utilizada a metodologia de determinação do carregamento da transformação de anos futuros por meio de extrapolação, aplicando, ano a ano, o percentual médio de aumento de carregamento aferido nos anos anteriores.

## 2.0 Avaliação Crítica do Escopo do R1 [4]

Abaixo, tabela indicativa dos principais itens deste estudo, conforme referência apresentada no documento [4].

Tabela 4 - Avaliação crítica do escopo das análises realizadas

	<b>Conteúdo do Relatório R1</b>	<b>SIM/ NÃO</b>	<b>Itens no R1 que tratam do assunto</b>
1	Atendimento aos critérios de planejamento vigentes.	Sim	1.3
2	Premissas consideradas para o desenvolvimento do estudo e as respectivas fontes	Sim	5.0
3	Análise de desempenho em regime permanente	Sim	8.0
4	Análise econômica entre as alternativas tecnicamente viáveis.	Sim	9.0
5	Avaliação técnico-econômica de linhas de transmissão	Não	-
6	Análise de desempenho dinâmico – estabilidade eletromecânica	Sim	10.0
7	Análise de sobretensões à frequência fundamental	Não	-
8	Análise de superação de barramentos e equipamentos de subestação	Sim	11.0
9	Análise de curto-circuito	Sim	12.0
10	Outras análises específicas (citar)	Não	-
11	Plano de obras de forma clara e objetiva.	Sim	4.0
12	Avaliação junto às transmissoras, distribuidoras ou geradoras disponibilidade de espaço nas instalações (SEs) de sua responsabilidade que comportem o plano de obras das alternativas consideradas pelo estudo, bem como da superação de equipamentos de subestação.	Não	-
13	No caso de seccionamento de linhas, avaliação, junto às transmissoras, do impacto causado nas linhas de transmissão seccionadas (cabos para-raios, estruturas, transposição de fases, realocação de equipamentos de compensação reativa da linha, por ex.)	Não	-
14	Avaliação de Sensibilidade Socioambiental Preliminar e o respectivo rebatimento técnico nas alternativas selecionadas e na análise econômica.	Sim	13.1.3

### 3.0 CONCLUSÕES

O presente estudo analisou alternativas para a nova modularização das unidades transformadoras da SE Mesquita. A motivação do estudo se baseia na variação do carregamento dos transformadores da SE Mesquita, sob concessão da Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, devido à entrada em operação de obras de reforço na região de estudo, com destaque para as Subestações Governador Valadares 6 e Itabira 5 e suas respectivas linhas de transmissão que promovem suas interligações, fazendo com que a totalidade da transformação presente hoje no sistema elétrico não seja necessária do ponto de vista sistêmico.

Cabe informar que o arranjo de conexão aos barramentos da transformação atual, composta por 4 (quatro) autotransformadores trifásicos, não está de acordo com os Procedimentos de Rede do ONS, uma vez que 2 (duas) dessas unidades estão conectadas através de disjuntores singelos diretamente nas barras 500 kV nº 1 e nº 2, fora do padrão disjuntor e meio (DJM) atualmente vigente.

O estudo analisou a modularização por meio de 3 (três) alternativas, sendo a **Alternativa 2** àquela de mínimo custo global, considerando os investimentos a serem realizados, as perdas provocadas pelas alternativas e melhor custo-benefício de cada uma das alternativas, conforme detalhado e demonstrado no capítulo 9.0 deste Relatório.

A Alternativa 2 consiste na instalação de dois bancos de autotransformadores monofásicos, (6 + 2R), com regulação automática LTC e potência instalada de 233,33 MVA cada unidade monofásica, totalizando 2 (dois) bancos de 700 MVA cada. Para a implantação desta alternativa não foi possível o compartilhamento da unidade reserva dos bancos autotransformadores por questões relacionadas a edificações existentes, dentre outras, na subestação que inviabilizam o referido compartilhamento.

As alternativas 1 e 2 apresentaram custos de implantação muito próximos, sendo a diferença entre eles menor que 5%. Em face desta condição, houve a necessidade de

uma análise mais aprofundada em relação aos cenários futuros de atendimento da região, aliados aos benefícios sistêmicos proporcionados por cada alternativa. Em síntese, foram analisados os seguintes critérios além dos requisitos econômicos:

- Postergação de Investimentos com a instalação de autotransformadores de maior potência instalada;
- Aumento de demanda contratada do consumidor APERAM em 50 MW;
- Possível solicitação de aumento de demanda contratada de consumidores Acessantes da Rede Básica da região de estudo;
- Redução do carregamento dos autotransformadores da SE Governador Valadares 6 e da SE Itabira 5, em condições de contingência N-1;
- Percentual de carregamento dos autotransformadores da SE Mesquita em contingência N-1.

A análise detalhada destes requisitos adicionais avaliados se encontra exposta no item 9.2.

Pelas simulações realizadas, sob operação em regime permanente e do ponto de vista do controle de tensão, constatou-se a não necessidade de utilização dos bancos de capacitores C1 a C4. Sob o ponto de vista dinâmico, constatou-se que o CS1 não apresenta contribuição relevante para o sistema, considerando a modelagem atualmente disponível e utilizada no ANATEM. No entanto, o compensador síncrono ainda exerce função relevante no controle de tensão local. Tais afirmações podem ser comprovadas por meio das simulações apresentadas no relatório OP/PL-1166-SE Mesquita-R1 – Planejamento dos Recursos de Controle de Tensão da SE Mesquita – R1[10].

Tabela 5 - Rendimentos e investimentos Necessários para Implantação da Alternativa 2

Rendimentos e Investimentos Necessários <sup>1</sup>		
Obras	Rendimentos Necessários (Milhões R\$)	Investimentos Necessários <sup>1</sup> (Milhões R\$)
Desmontagem do autotransformador trifásico T3 (2026 a 2027)	19,88	162,10
Desmontagem do autotransformador trifásico T2 (2036)		
Alocação do autotransformador trifásico T4 para reserva fria (2047)		
Dois Bancos Autotransformadores ATF 500/230 kV, 6+2R x 233,33 MVA 1Φ, sendo 700 MVA, cada		

A comparação das alternativas utilizou a metodologia dos Rendimentos Necessários, conforme preconizado no documento [1]. A composição dos investimentos totais de cada alternativa utilizou como referência os Parâmetros Econômicos de Referência emitidos pela EPE, conforme Informe Técnico EPE-DEE-IT-030/2025 [8].

#### 4.0 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a implantação da **Alternativa 2**, que contempla a instalação de dois novos bancos autotransformadores ATF 1 e ATF 2, 500/230 kV, 3+1R x 233,33 MVA 1Φ, 700 MVA cada, conforme exposto na Tabela 6 - Plano de Obras. Esta Alternativa, sob o ponto de vista técnico-econômico, apresenta o melhor custo-benefício para o sistema elétrico.

<sup>1</sup> Investimentos Necessários são o montante total de capital que precisa ser aplicado para viabilizar a implantação da obra. Rendimentos Necessários é uma técnica de avaliação de investimentos que determina o valor de um ativo com base no rendimento (lucro ou fluxo de caixa) que ele precisa gerar para justificar seu custo de implantação

Tabela 6 - Plano de Obras

Etapa	Anos	Obras	Potência Instalada da Transformação conforme etapa
1	2027	Desativação dos Bancos de Capacitores	1200 MVA
		Desativação do Transformador T3	
2	2029	Instalação do 1º Reator de Derivação Variável (RDV) e conexões para arranjo DJM, com capacidade total de 200 Mvar (3+1 x 66,7 Mvar), regulação linear e faixa ajustável do reativo de 50 a 100%	1200 MVA
		Desativação do Compensador Síncrono <sup>(1)</sup>	
3	2037	Instalação do 1º Banco de Autotransformadores ATF 1 (3 + 1R), 500/230 kV, 700 MVA com aproveitamento das conexões existentes da SE Mesquita, nos arranjos DJM para o setor de 500 kV e Disjuntor e 3/4 para o 230 kV. Na posição anteriormente ocupada pelo T3, já desativado.	1500 MVA
		Desativação do Transformador T2	
4	2047	Remanejamento do Transformador T4 para reserva fria.	1400 MVA
		Desativação do Transformador T1	
		Instalação do 2º Banco de Autotransformadores ATF 2 (3 + 1R), 500/230 kV, 700 MVA com aproveitamento das conexões existentes da SE Mesquita, nos arranjos DJM para o setor de 500 kV e Disjuntor e 3/4 para o 230 kV. Na posição anteriormente ocupada pelo T4.	

(1) Obra condicionada à instalação do novo reator na SE Mesquita.

Complementarmente, o relatório [10] avaliou a necessidade de manutenção do Compensador Síncrono CS 1. As simulações indicaram que do ponto de vista dinâmico o CS 1 não contribui significativamente para o controle de tensão na região, Entretanto, do ponto de vista estático houve contribuição do equipamento.

Após discussões com a EPE, concluiu-se então por recomendar a desmobilização do CS1 após a instalação de um Reator de Derivação Variável (RDV), com capacidade total de 200 Mvar (3+1 x 66,7 Mvar) com regulação linear e faixa ajustável do reativo de 50 a 100% de sua capacidade nominal. Para fins de custeio, desta nova tecnologia, foi

adotado um fator de sobrecusto de 20%, com base na média dos fabricantes consultados. Os detalhes técnicos da especificação do equipamento deverão ser feitos em relatório específico, quando do processo de consolidação. Caso a expansão da área da SE não evolua por questões fundiárias ou ambientais, uma nova alternativa de localização para o reator deverá ser avaliada, sendo previamente acordada a com as instituições setoriais (ONS, EPE, ANEEL), bem como o plano de contingências.

Recomenda-se a dispensa da elaboração de relatórios complementares referentes ao plano de obras, considerando que os reforços propostos neste estudo se concentram, essencialmente, em intervenções cuja implantação ocorrerá na área já disponível da subestação e em seu entorno imediato.

Adicionalmente, recomenda-se a realização de estudos específicos para avaliação do carregamento da transformação das SEs Governador Valadares 6 e Itabira 5, os quais se encontram muito próximos de sua capacidade máxima na ocorrência de contingência N-1 (conforme exposto no item 8.0 deste relatório) no final do horizonte de estudo, a partir do ano de 2034, independentemente da implantação das obras recomendadas neste estudo, nos cenários de carga pesada com exportação de energia da região Norte para a região Sudeste e também na carga média, com exportação de energia da região Norte para a região Sudeste.

## 5.0 PREMISSAS E CRITÉRIOS

### 5.1 Critérios Básicos

Os critérios e procedimentos deste trabalho estão de acordo com aqueles utilizados pelos estudos de planejamento desenvolvidos pela EPE, em consonância com o documento CCPE – Volume II “Critérios e Procedimentos para o Planejamento da Expansão dos Sistemas de Transmissão” [1], dos Procedimentos de Rede do ONS [2], em especial os submódulos 2.3 e 2.10, bem como resoluções específicas da ANEEL. Abaixo, a Tabela 7 indica os níveis de tensão admissíveis em regime permanente para cada tensão nominal envolvida na região de interesse.

Tabela 7 - Níveis de Tensão Admissíveis para cada classe de Tensão

Tensão Nominal	Tensão Mínima	Tensão Máxima
69 kV	65 kV (0,95 PU)	72 kV (1,05 PU)
138 kV	131 kV (0,95 PU)	145 kV (1,05 PU)
230 kV	218 kV (0,95 PU)	242 kV (1,05 PU)
500 kV	500 kV (1,00 PU)	550 kV (1,10 PU)

Os limites de carregamento admissíveis das instalações de transmissão são aqueles especificados nos arquivos de simulação fornecidos pela EPE. Complementarmente, o fator de potência a ser observado nos pontos de fronteira com a Rede Básica deverá situar-se entre 0,95 indutivo e 1,00 para os pontos de 138 kV ou 69 kV, e entre 0,92 indutivo e 0,92 capacitivo em tensões inferiores a 69 kV.

Vale ressaltar que, em todos os casos de fluxo de potência simulados, o Compensador Síncrono CS1 e os bancos de capacitores C1, C2, C3, C4 estão fora de operação, não contribuindo, portanto, para o controle de tensão e fluxo de potência das alternativas.

### 5.2 Casos de trabalho

Para o presente estudo foram utilizados os casos de trabalho do Plano Decenal – horizonte 2027 - 2038, nos quais se incluem os seguintes cenários:

- Cenário 1 – Maximização da exportação do excedente de geração da rede de distribuição para a rede básica – Carga Leve (Norte úmido);
- Cenário 2 – Nordeste Exportador – Norte Seco (Carga Média);
- Cenário 3 – Norte Exportador – Norte Úmido (Carga Média);
- Cenário 4 – Nordeste Exportador – Norte Seco (Carga Pesada).

Os referidos casos foram atualizados com informações obtidas pela concessionária de distribuição local (CEMIG Distribuição) para atualização das cargas, topologia da rede de distribuição 138 kV e 69 kV, a presença de geração distribuída, bem como a presença de compensação reativa na região.

Também foi realizada conferência das cargas dos consumidores livres na região alvo do estudo, bem como a atualização do Mercado (Consumidores, Geradores e cargas das subestações de distribuição) e MMGD por barramento no horizonte de 2027-2038. Os ajustes e compatibilizações realizados foram aplicadas nos casos de fluxo de carga.

### 5.3 Projeções de Mercado

Foram utilizadas as projeções de mercado referentes ao Plano Decenal de Transmissão 2033.

O estudo em questão avaliou os cenários em todos os patamares de carga, em especial os de carga média e pesada, devido a representatividade e forte contribuição no consumo de energia das cargas industriais da região do Vale do Aço, associado à maior demanda requerida pelos consumidores da Cemig D. O Anexo 16.2 apresenta a projeção da evolução do mercado referente a região de análise.

### 5.4 Plano de Geração

As UHEs e PCHs existentes na região do Vale do Aço e Leste de Minas Gerais pertencem à bacia do Rio Doce, cuja hidraulicidade se caracteriza por altas vazões entre

os meses de novembro e março e baixas vazões entre junho e outubro. A Figura 4 e a Figura 5 apresentam os históricos de geração da UHE Guilman Amorim e UHE Baguari, pertencentes a essa bacia, em MWh, média diária.

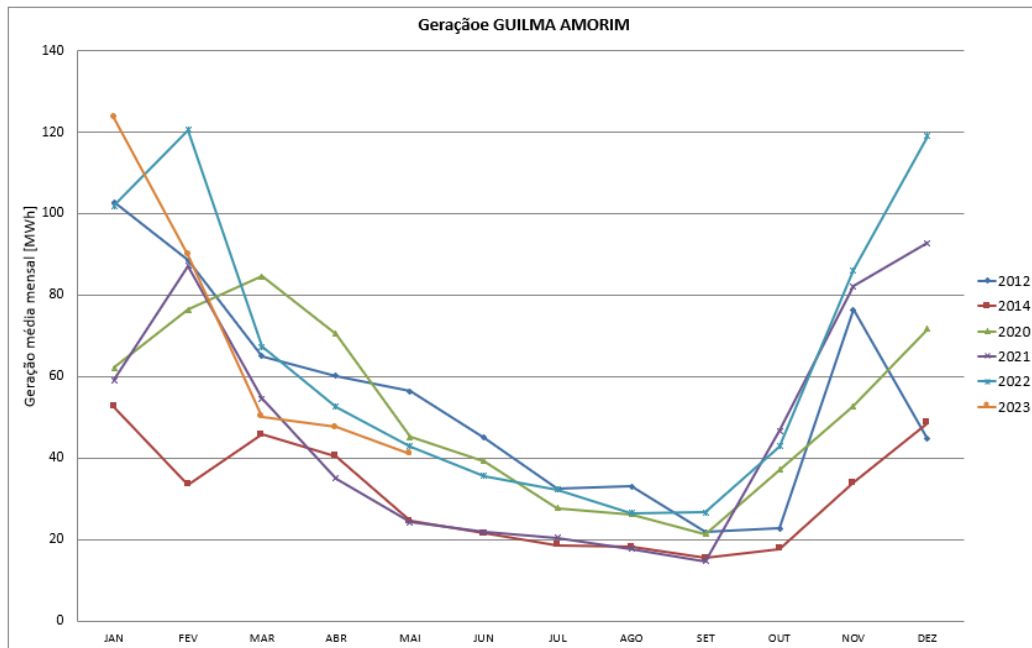


Figura 4 - Histórico de Geração da UHE Guilman Amorim – Fonte: CEMIG GT

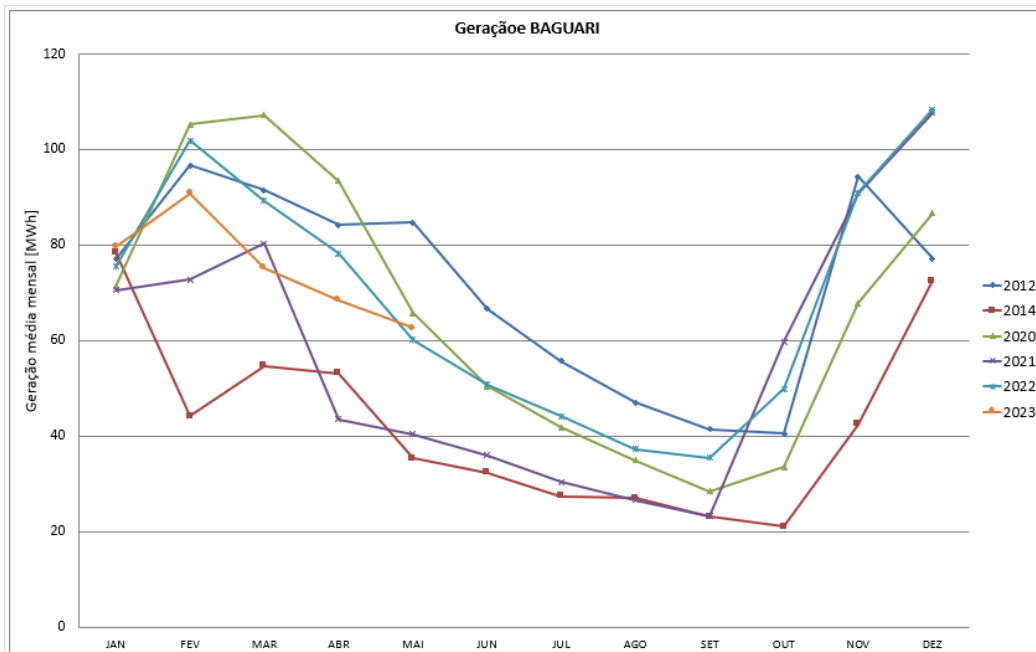


Figura 5 - Histórico de Geração da UHE Baguari – Fonte: CEMIG GT

O comportamento da geração regional pode ser comprovado pelo histórico das 2 (duas) usinas, cuja geração é reduzida no período entre os meses de junho e outubro. É importante ressaltar que os maiores valores de carregamento dos transformadores da regional do Leste de Minas Gerais são verificados entre os meses de agosto a outubro, coincidindo com os menores valores de geração das usinas da região, corroborando com a constatação de que a janela de tempo entre os meses de junho e outubro é determinante para esta análise, o que resulta na necessidade de sua utilização como referência para o devido dimensionamento do sistema de transmissão e das transformações de Rede Básica.

O gráfico da Figura 6 apresenta o perfil de carregamento dos transformadores da SE Mesquita no ano de 2024, obtidos por acompanhamento realizado pela CEMIG-GT, onde é possível constatar que os meses supracitados são os que possuem maior carregamento dos transformadores, ponto que se reflete em toda a região Leste de Minas Gerais.

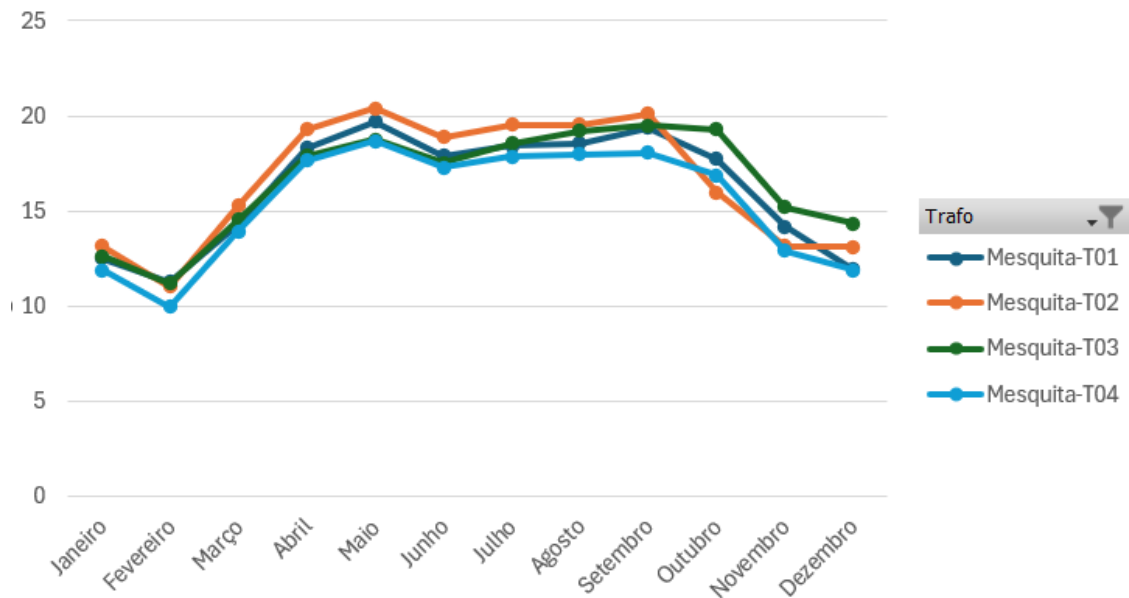


Figura 6 - Gráfico de Carregamento dos Transformadores da SE Mesquita

De forma a reproduzir-se o cenário mais crítico, utilizou-se a média dos valores mínimos de geração em cada ano para as UHEs da região. Para a geração conectada ao sistema de distribuição da região, foram utilizados valores de despacho de 0% para as PCHs. Abaixo, Tabela 8 com a capacidade instalada e respectivos despachos de cada uma destas usinas:

Tabela 8 - Usinas do Leste de Minas Gerais conectadas ao SIN – Potência instalada e Despacho no período seco

Usina	Tipo	Potência (MW)	Despacho (%)	Despacho (MW)
Aimorés	UHE	330	10,6	35
Baguari	UHE	140	5,5	7,7
Guilman Amorim	UHE	140	15,3	21,5
Porto Estrela	UHE	112	17,8	20
Sá Carvalho	UHE	78	6,4	5
Salta Grande	UHE	102	9,8	10
Santa Clara	UHE	60	0	0
<b>Total</b>		<b>962</b>	<b>-</b>	<b>96</b>

## 5.5 Elaboração dos Cenários

### 5.5.1 Escolha dos Cenários e critérios para o Despacho de Geração

O presente estudo utilizou os cenários apresentados no item 5.2, detalhados abaixo.

- **Cenário 1 – Maximização da exportação do excedente de geração da rede de distribuição para a rede básica – Carga Leve (Norte úmido)**

Para este cenário foi considerado a geração conectada no sistema de distribuição de Minas Gerais em patamares elevados, maximizando a geração solar (fins de semana). Do ponto de vista de carga, utilizou-se a carga mínima no fim de semana de modo a direcionar o fluxo de carga da distribuição para as subestações de fronteira. Esta análise se faz necessária para verificar o comportamento do sistema elétrico no sistema de distribuição bem como as subestações de fronteira.

Para a maximização dos fluxos, as UFV's locais foram despachadas com cerca de 90 % de fator de despacho, representando, portanto, uma carga de final de semana com nível de insolação elevada. Não se alterou os valores de intercâmbio entre as regiões do País por não ser significativo esses valores para essa análise específica. Foram considerados todos os empreendimentos solares em operação e com contratos assinados.

- **Cenário 2 – Nordeste Exportador – Norte Seco (Carga Média):**

Este cenário procurou representar os maiores fluxos passantes pela rede básica com foco nos circuitos localizados na região central e leste do estado. Desta forma o intercâmbio entre as regiões Nordeste e Sudeste foram elevados e a geração no estado também elevada, de modo que a injeção do excedente de geração da região Nordeste atravessasse o máximo possível o sistema da rede básica do estado. Assim, foi utilizado o patamar de carga média norte seco, uma vez que é no período seco da região norte em que ocorrem os maiores patamares de geração eólica na região Nordeste. O fluxo Nordeste – Sudeste (FNESE) é de cerca de 10 GW nos anos iniciais e atinge cerca de 14 GW ao final do período analisado.

- **Cenário 3 – Norte Exportador – Norte Úmido (Carga Média)**

Este cenário procurou representar os maiores fluxos passantes pela rede básica priorizando-se os circuitos localizados na região oeste do estado. Desta forma o intercâmbio entre as regiões Norte (além da geração nos estados do Acre, Rondônia e Mato Grosso) e Sudeste foram elevados e a geração no estado também elevada, de modo que a injeção do excedente de geração da região Norte atravessasse o máximo possível o sistema da rede básica do estado. Assim, foi utilizado o patamar de carga média norte úmido, uma vez que é no período úmido da região norte em que ocorrem os maiores patamares de geração hidráulica nesta região. Os bipolos de +/- 800 kV Xingu-Estreito e Xingu-Terminal Rio foram considerados no despacho máximo de 4.000 MW.

- **Cenário 4 – Nordeste Exportador – Norte Seco (Carga Pesada)**

Este cenário visou determinar os maiores carregamentos nas subestações tanto de fronteira como da rede básica. Optou-se pela maximização do intercâmbio entre as regiões Nordeste e Sudeste de modo a se priorizar as subestações localizadas na região central e leste do estado, uma vez que não há expectativa de problemas de carregamento na região oeste do estado em virtude de estudos recentes feitos para esta região. Considerou-se também a geração minimizada no estado de modo a se elevar o carregamento nas unidades transformadoras. Assim, foi utilizado o patamar de carga pesada norte seco uma vez que não há contribuição das UFVs neste período do dia. O fluxo Nordeste – Sudeste (FNESE) é de cerca de 10 GW nos anos iniciais e atinge cerca de 14 GW ao final do período analisado. Adicionalmente a análise deste caso proporciona uma visão sistêmica para avaliação do atendimento da demanda de carga da região, a qual é expressiva devido aos consumidores industriais ali presentes.

Foram analisados os casos da EPE conforme PDE 2033, considerando os anos 2027 a 2033 e, adicionalmente, os casos prospectivos de 2034 a 2038, de modo a cobrir um maior horizonte de análise.

### 5.5.2 Cenários para a avaliação das Perdas

A determinação das perdas elétricas de cada alternativa foi elaborada considerando os cenários abaixo indicados:

- Cenário 1 – Leve Norte Seco

Menor carga bruta global coincidente por agente de distribuição entre 0h e 8h de dias úteis. Maximização da exportação de potência do Nordeste para o Norte e Sudeste/Centro-Oeste (EXP NE), e da exportação de potência do Sul para o Sudeste/Centro-Oeste (RSE).

- Cenário 2 – Leve Norte Úmido

Menor carga bruta global coincidente por agente de distribuição entre 0h e 8h de dias úteis. Maximização da exportação de potência do Norte e Nordeste para o Sudeste/Centro-Oeste (EXP NNE), e da importação de potência pelo Sul (RSUL).

- Cenário 3 – Média Norte Seco

Maior carga bruta global coincidente por agente de distribuição entre 8h e 17h de dias úteis. Maximização da exportação de potência do Nordeste para o Norte e Sudeste/Centro-Oeste (EXP NE), e da exportação de potência do Sul para o Sudeste/Centro-Oeste (RSE).

- Cenário 4 – Média Norte Úmido

Maior carga bruta global coincidente por agente de distribuição entre 8h e 17h de dias úteis. Maximização da exportação de potência do Norte e Nordeste para o Sudeste/Centro-Oeste (EXP NNE), e da importação de potência pelo Sul (RSUL).

- Cenário 5 – Pesada Norte Seco

Maior carga bruta global coincidente por agente de distribuição entre 18h e 22h de dias úteis. Maximização da exportação de potência do Nordeste para o Norte e

Sudeste/Centro-Oeste (EXP NE), e da exportação de potência do Sul para o Sudeste/Centro-Oeste (RSE).

- Cenário 6 – Pesada Norte Úmido

Maior carga bruta global coincidente por agente de distribuição entre 18h e 22h de dias úteis. Maximização da exportação de potência do Norte e Nordeste para o Sudeste/Centro-Oeste (EXP NNE), e da importação de potência pelo Sul (RSUL).

Tabela 9 - Fatores de Permanência dos Cenários para Cálculo de Perdas Elétricas					
Leve Norte Seco	Leve Norte Úmido	Média Norte Seco	Média Norte Úmido	Pesada Norte Seco	Pesada Norte Úmido
21,2%	15,1%	30,9%	22,1%	6,3%	4,5%

## 5.6 Limites Operativos

### 5.6.1 Tensão

De acordo com o Submódulo 2.3 (Critérios) dos Procedimentos de Rede [2], foram considerados os limites de tensão conforme Tabela 10. Para barras de conexão à Rede Básica de agentes de distribuição e de consumidores livres ou potencialmente livres, devem ser adotados, em contingência, os mesmos limites de operação normal.

Tabela 10 - Tensão Admissível entre fases a 60 Hz

Tensão Nominal de Operação <sup>(1)</sup>	Condição Normal de Operação		Condição Operativa sob Contingências	
	(kV)	(pu) <sup>(2)</sup>	(kV)	(pu) <sup>(2)</sup>
<230	-	0,95 a 1,05	-	0,90 a 1,05
230	218 a 242	0,95 a 1,05	207 a 242	0,90 a 1,05
345	328 a 362	0,95 a 1,05	311 a 362	0,90 a 1,05
440	418 a 460	0,95 a 1,046	396 a 460	0,90 a 1,046
500	500 a 550	1,00 a 1,10	475 a 550	0,95 a 1,10
525	500 a 550	0,95 a 1,05	475 a 550	0,90 a 1,05
765	690 a 800	0,90 a 1,046	690 a 800	0,90 a 1,046

(1) Valor eficaz de tensão pelo qual o sistema é designado.

(2) Valores em p.u. tendo como base a tensão nominal de operação.

Os limites de tensão previstos pelo PRODIST deverão ser obedecidos para o Sistema de Distribuição.

### 5.6.2 Carregamento

Os limites de carregamento das linhas e transformadores existentes consideraram os valores informados nos Contratos de Prestação de Serviços de Transmissão (CPST) e/ou Manual de Procedimentos da Operação (MPO), para as condições de operação normal e de emergência de curta duração.

No caso de novas linhas de transmissão de Rede Básica, deverão ser utilizados os valores típicos de limites de transmissão definidos pela EPE na NT-012/2018-rev1 [4].

No caso de novos transformadores de Rede Básica e Rede Básica de Fronteira, deverá ser considerada a capacidade operativa de emergência de longa duração (4 horas), correspondente a 120% da capacidade nominal do equipamento, conforme item H.3.3.3.2 da norma ABNT 5356-7.

### 5.6.3 Fator de Potência

O submódulo 2.10 dos Procedimentos de Rede do ONS determina os limites que devem ser obedecidos para o fator de potência na Rede Básica. A Tabela 11 apresenta os limites estabelecidos.

Tabela 11 - Faixa de fator de potência no ponto de conexão do acessante

Tensão nominal do ponto de conexão	Faixa de Fator de Potência
$V_n \geq 345 \text{ kV}$	0,98 indutivo a 1,0
$69 \text{ kV} \leq V_n \leq 345 \text{ kV}$	0,95 indutivo a 1,0
$V_n < 69 \text{ kV}$	0,92 indutivo a 1,0 0,92 capacitivo a 1,0

As Unidades Geradoras Hidrelétricas e Termelétricas deverão operar com o fator de potência dentro da faixa de 0,90 capacitivo (sobrecitado) a 0,95 indutivo (subexcitado),

sem restrição pelo sistema de excitação. Já as usinas fotovoltaicas operam com fator de potência 0,95 indutivo a 0,95 capacitivo.

Os valores de fator de potência no sistema distribuidor obedeceram aos critérios estabelecidos no PRODIST.

### 5.7 Parâmetros Econômicos

Para o custeamento das novas instalações, foram utilizados os preços referenciais da ANEEL, atualizados para abril de 2025, conforme Informe Técnico EPE-DEE-IT-030/2025 [8]. Destaca-se que esses valores são de referência, compostos por custos médios de mercado e utilizados apenas para comparação de alternativas em estudos de planejamento, não servindo como base para orçamentos executivos do empreendimento.

Foram considerados ainda:

- Custo Marginal de Expansão (custo de perdas): R\$ 199,96 / MWh (de 2029 a 2038);
- Taxa de desconto: 8% a.a.;
- Ano de referência: 2027;
- Tempo de vida útil das instalações: 30 anos;
- Ano horizonte: 2038; e
- Empate entre alternativas: diferença de custos inferior a 5 % (requer análises adicionais).

### 5.8 Classificação do Horizonte das Obras

Foram consideradas como determinativas as obras definidas dentro do horizonte do Programa de Expansão da Transmissão (PET) no momento da realização do estudo. As

demais obras foram definidas como indicativas, e serão incorporadas ao Programa de Expansão de Longo Prazo (PELP).

As obras determinativas e indicativas são parte das recomendações deste estudo, sendo que as indicativas poderão ser reavaliadas/alteradas nos próximos ciclos de planejamento. Caso não sejam verificados novos problemas que justifiquem estudos adicionais para a região em questão, as obras atualmente indicativas alterarão seu status para determinativas, à medida que os problemas que motivaram a recomendação inicial desses empreendimentos passem a ser previstos no horizonte de análise do PET.

## 6.0 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA

### 6.1 Sistema Elétrico de Interesse

As análises consistiram na avaliação da Modularização das Unidades Transformadoras, bem como da necessidade sistêmica do Compensador Síncrono CS1 da SE Mesquita. Foram feitas simulações tanto em regime normal quanto em regime de contingência N-1 em equipamentos da Rede Básica.

As principais contingências analisadas contemplam linhas de transmissão, transformadores e subestações da Rede Básica até a segunda vizinhança das subestações indicadas no item 1.3.

### 6.2 Desempenho Elétrico da Rede

#### 6.2.1 Carregamento dos Transformadores da SE Mesquita no horizonte de Estudo (2027 a 2038)

A SE Mesquita atualmente é composta por 4 autotransformadores trifásicos 500/230 kV, sendo que o autotransformador T3 possui desativação prevista para o ano de 2027 e o autotransformador T2 tem previsão de desativação a partir de agosto/2036. A Figura 7 abaixo apresenta o perfil de carregamento da transformação da SE Mesquita entre os

anos de 2027 e 2038. O cenário base para a análise considera patamar de carga pesada e exportação de energia da região Norte para a região Sudeste, cenário este de maior carregamento da transformação desta SE.

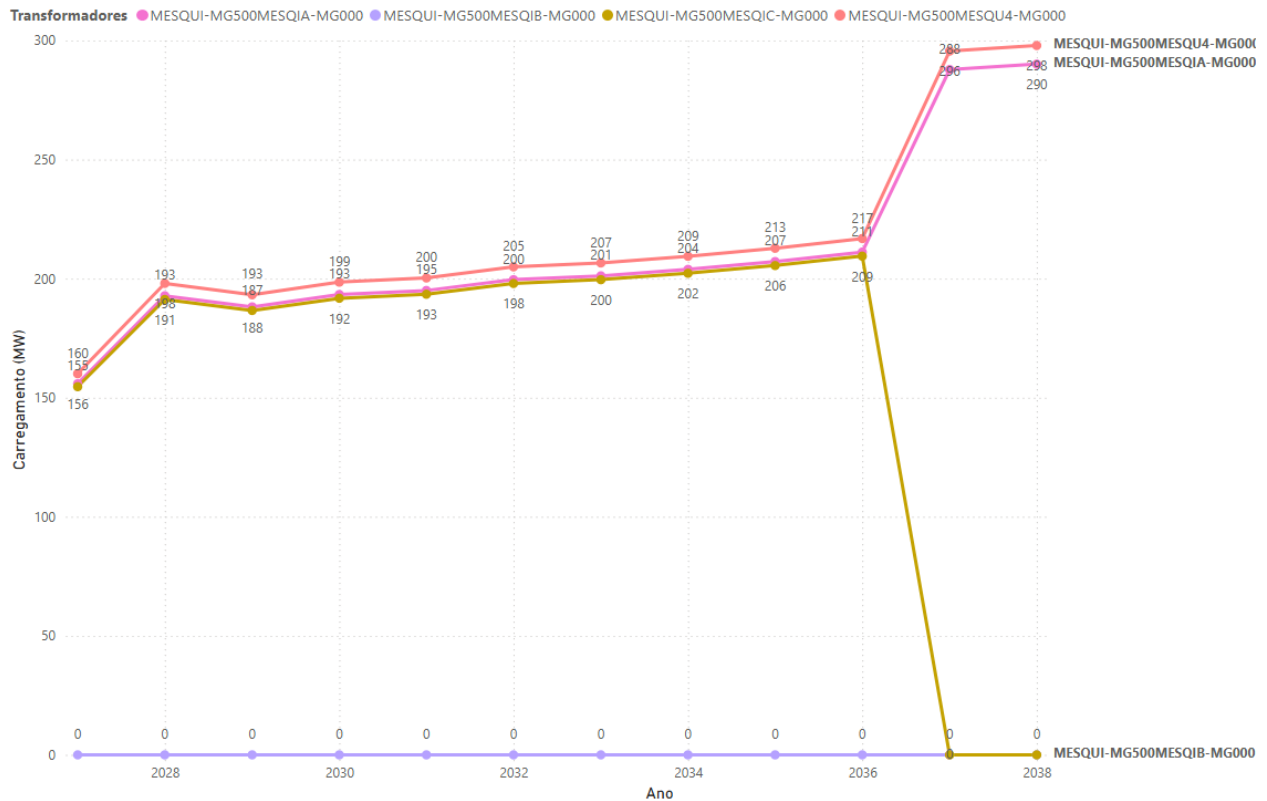


Figura 7 - Evolução do Carregamento da Transformação SE Mesquita (2027 a 2038)

Conforme pode-se verificar na Figura 7 acima, para o patamar de carga pesada com exportação de energia da região Norte para a região Sudeste, é prevista uma evolução do carregamento dos autotransformadores da SE Mesquita entre os anos de 2030 e 2036 com um aumento médio anual de 1,66%.

Após o ano de 2038 pode-se inferir que o crescimento médio anual do carregamento da transformação da SE Mesquita será de 1,66%, mesmo comportamento apresentado entre os anos de 2030 e 2036.

Outro ponto a se destacar é a elevação abrupta no carregamento dos autotransformadores da SE Mesquita no ano de 2028. Paralelamente ao fenômeno

acima citado, verifica-se também uma redução do carregamento dos 2 (dois) bancos de autotransformadores 500/230 kV 600 MVA, instalados na SE Governador Valadares 6. Tal fenômeno pode ser observado no gráfico da Figura 8 abaixo:

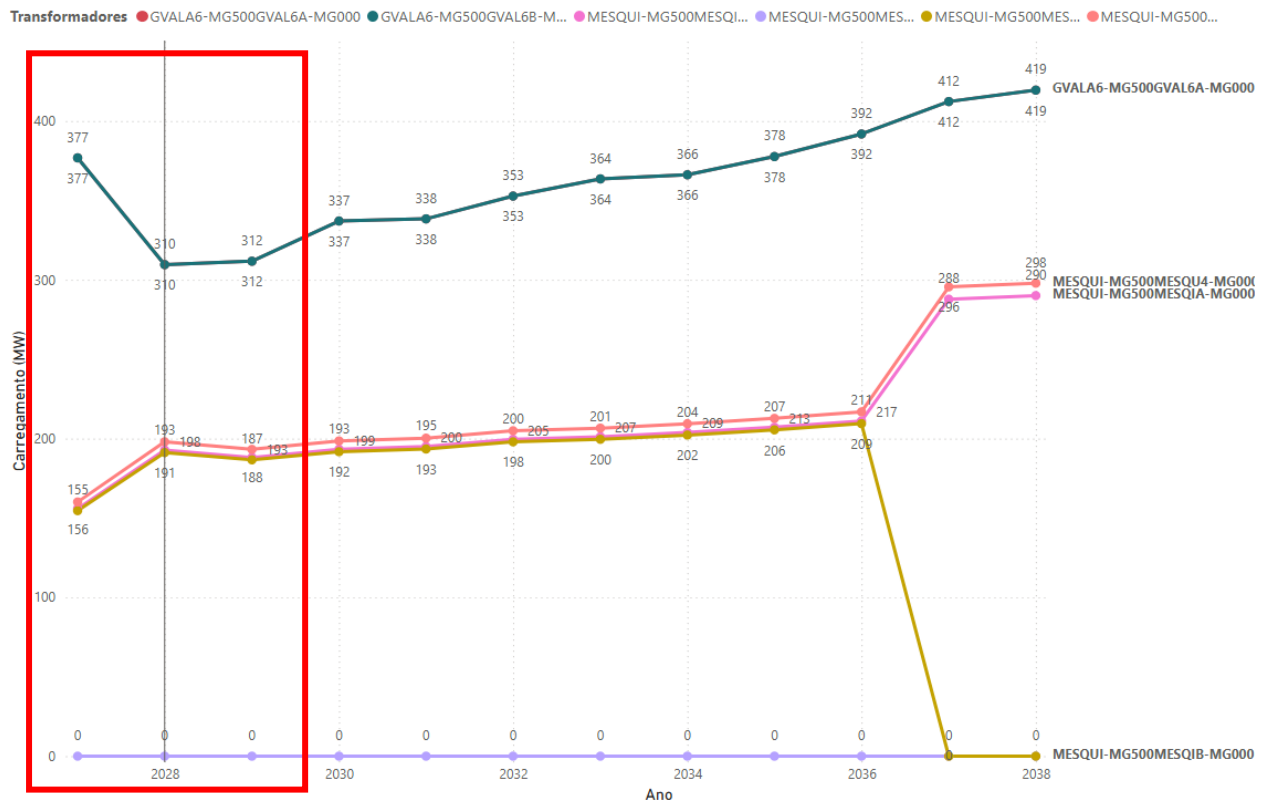


Figura 8 - Evolução Carregamento da Transformação da SE Mesquita e da SE Governador Valadares 6 (2027 a 2038)

Este comportamento do sistema elétrico ocorre devido diversas alterações sistêmicas na região e no entorno ocasionando a variação nas instalações citadas. Após a ocorrência deste fato, a partir do ano de 2029 a transformação da SE Governador Valadares segue apresentando crescimento regular médio anual de 3,11 % até o ano de 2038.

Na operação em regime de contingência N-1, a qual considera a perda de uma das unidades transformadoras da SE Mesquita, verifica-se que até o ano de 2036, ano no qual ainda estão em operação três autotransformadores 500/230 kV, 400 MVA, o carregamento dos equipamentos não tem a sua capacidade nominal, tampouco a

capacidade em emergência, superadas. Entretanto, a partir do ano de 2037, quando é prevista a operação de apenas 2 (duas) unidades de autotransformadores, verifica-se que a capacidade nominal dos equipamentos é superada na ocorrência da perda de uma de suas unidades. A Tabela 12 abaixo apresenta o carregamento da transformação da SE Mesquita nas condições apresentadas acima:

Tabela 12 - Carregamento da transformação da SE Mesquita com a perda de uma das unidades autotransformadoras nos anos de 2037 e 2038

<b>Autotransformador</b>	<b>Capacidade Nominal (MVA)</b>	<b>Capacidade Emergência (MVA)</b>	<b>Carregamento 2037 (MVA)</b>	<b>Carregamento 2038 (MVA)</b>
MESQIA T4 - 500/230 kV – em caso de perda do T1	400	480	449	452
MESQ4 T1 – 500/230 kV – em caso de perda do T4	400	432	<b>454</b>	<b>458</b>

Verifica-se que na perda do autotransformador T1 o carregamento do autotransformador T4 supera sua capacidade nominal, entretanto, não supera a sua capacidade de operação em emergência. Já o autotransformador T1, com a perda do autotransformador T4 apresenta carregamento superior ao carregamento máximo permitido em contingência.

Considerando a tendência de aumento do carregamento da transformação da SE Mesquita em virtude do aumento de carga ao longo dos anos posteriores ao horizonte de estudo (após 2038) conclui-se que os problemas de carregamento acima citados se agravarão.

Salienta-se que a referida análise considerou patamar de carga pesada com exportação de energia da região Norte para a região Sudeste.

Os demais cenários e contingências N-1 simuladas não apresentaram superação do carregamento da transformação da SE Mesquita.

### 6.2.2 Condições críticas de carregamento na contingência N-1 da transformação das Subestações Governador Valadares 6 e Itabira 5

As análises de diagnóstico avaliaram a transformação das SEs Governador Valadares 6 e Itabira 5, importantes para o atendimento do sistema de 230 kV da região.

A operação em contingência N-1 de uma das unidades transformadoras destas SEs apresentou um carregamento elevado, muito próximo do limite máximo previsto de 120% da potência nominal, na unidade remanescente.

As figuras abaixo apresentam o carregamento destes transformadores na condição supracitada:

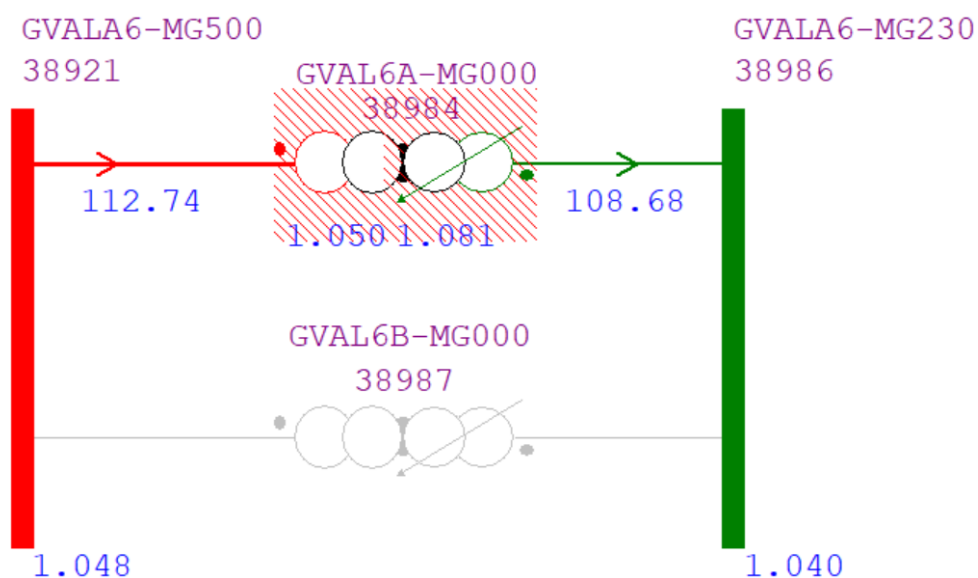


Figura 9 - Ano 2035 – Contingência N-1 de uma unidade transformadora da SE Governador Valadares 6 (Carga Pesada Norte Seco)

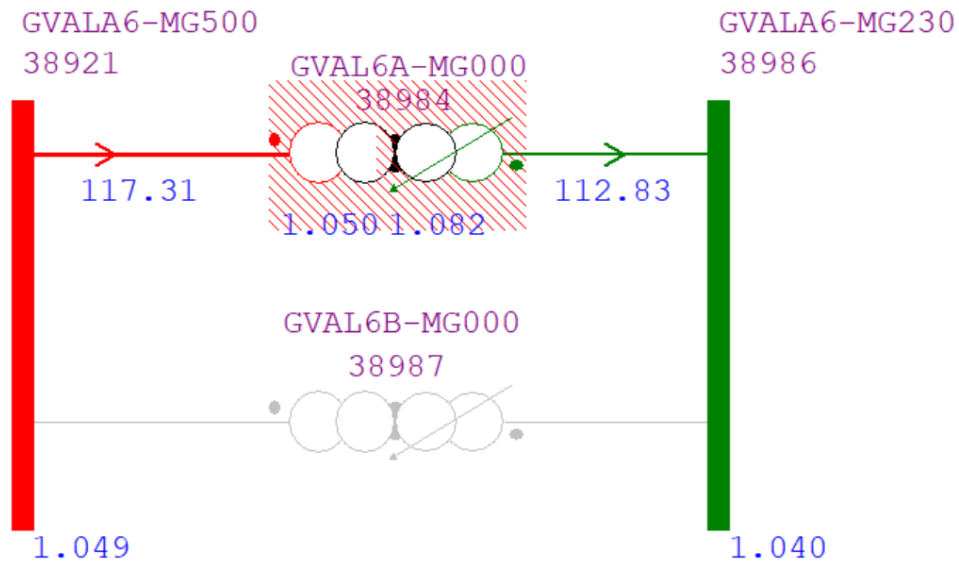


Figura 10 - Ano 2036 – Contingência N-1 de uma unidade transformadora da SE Governador Valadares 6 (Carga Pesada Norte Seco)

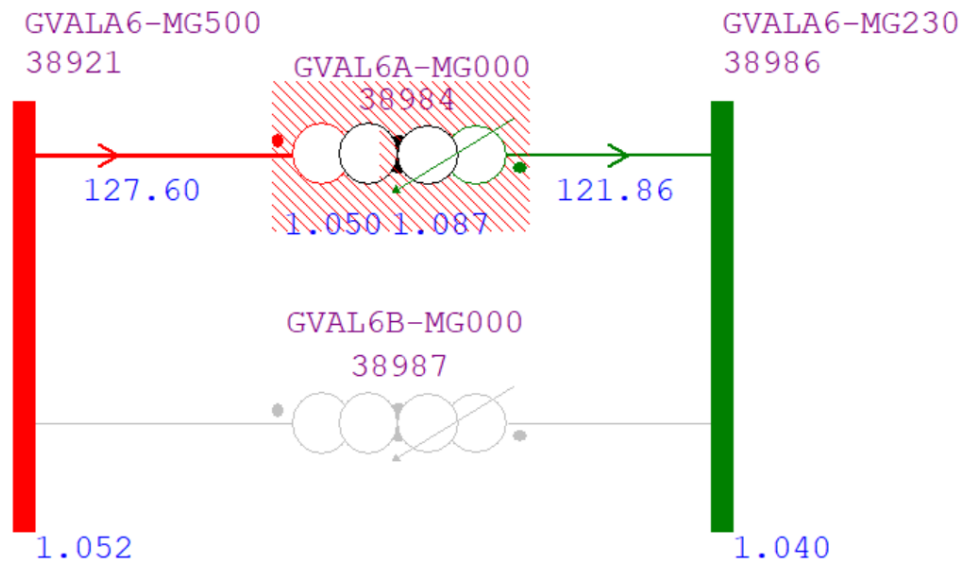


Figura 11 - Ano 2038 – Contingência N-1 de uma unidade transformadora da SE Governador Valadares 6 (Carga Pesada Norte Seco)

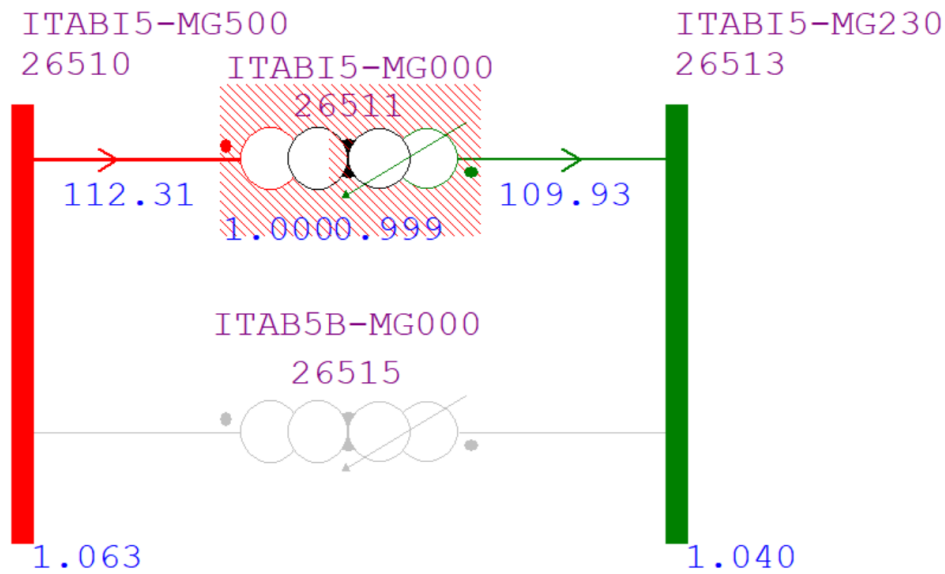


Figura 12 - Ano 2028 – Contingência N-1 de uma unidade transformadora da SE Itabira 5 (Carga Média Norte Seco)

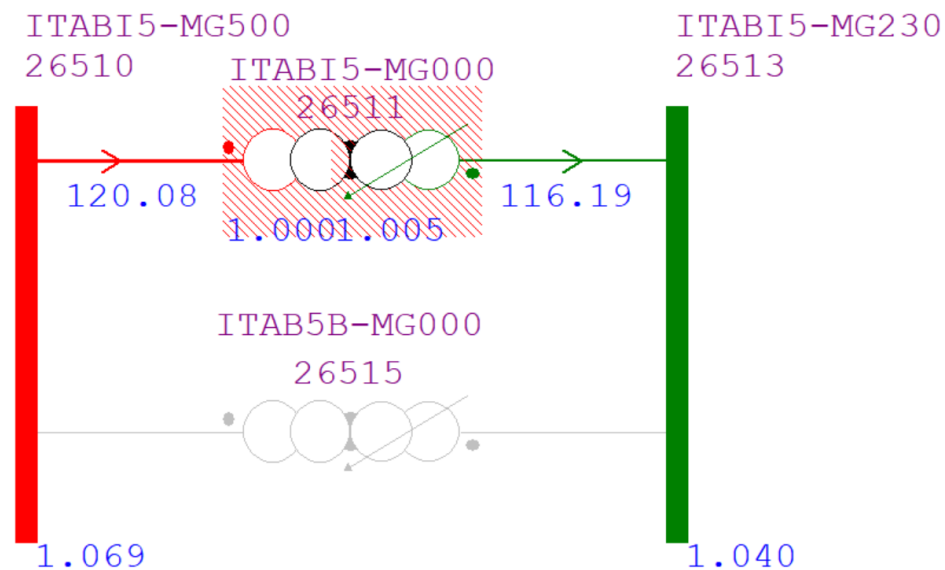


Figura 13 - Ano 2035 – Contingência N-1 de uma unidade transformadora da SE Itabira 5 (Carga Média Norte Seco)

Os resultados das simulações apresentadas nas figuras acima comprovam a condição de carregamento elevado na transformação destas subestações. Observa-se nestas subestações carregamento superior ao máximo permitido sendo no ano de 2035 para a SE Itabira 5 e 2037 para a SE Governador Valadares 6. A situação ocorre sem a implantação das obras recomendadas neste relatório.

A situação tende a se agravar tendo em vista o crescimento de carga previsto para a região. Assim, de antemão, recomenda-se que seja realizada avaliação da situação do carregamento da transformação destas SEs em estudo específico, de modo a eliminar a transgressão deste requisito na operação em contingência N-1, atendendo assim aos requisitos de planejamento.

### 6.3 Restrições Físicas das Instalações

A subestação Mesquita é composta dos seguintes equipamentos principais representados na Tabela 13:

Tabela 13 - Dados dos principais equipamentos da SE Mesquita

Equipamento	Id.	Especificação
<b>Autotransformador</b>	<b>T1</b>	500 / 230 / 13,8 kV 400 / 400 / 133 MVA (OFAP)
	<b>T2</b>	500 / 230 / 13,8 kV 400 / 400 / 133 MVA (OFAP)
	<b>T3</b>	500 / 230 / 13,8 kV 400 / 400 / 133 MVA (OFAP)
	<b>T4</b>	500 / 230 / 13,8 kV 400 / 400 / 1,67 MVA (OFAP)
<b>Compensador Síncrono</b>	<b>CS1</b>	+100 / -60 MVar 60 Hz – 13,8 kV
<b>Banco de Capacitores</b>	<b>C1</b>	28,8 MVar – 13,8 kV
	<b>C2</b>	
	<b>C3</b>	
	<b>C4</b>	

Os autotransformadores T3 e T4, instalados no setor de 500 kV, são ligados aos barramentos por meio do arranjo Disjuntor e Meio, seguindo os requisitos estabelecidos pelos Procedimentos de Rede do ONS. Os autotransformadores T1 e T2, devido a restrições de espaço físico na área de implantação da subestação, estão conectados aos disjuntores 1U4 e 2U4, que por sua vez se conectam diretamente às pontas das barras de 500 kV. Tais disjuntores entraram em operação em 2022.

O compensador síncrono CS1 está conectado ao terciário do autotransformador T1 e, conforme evidenciado na Tabela 14 presente no item 6.4 abaixo, já alcançou o fim de sua vida útil regulatória.

Do ponto de vista técnico, o compensador síncrono apresenta desgastes naturais e obsolescência em alguns de seus componentes, mas não vem apresentando falhas graves e/ou recorrentes. Os mancais foram reformados no ano passado (2024), estando a parte mecânica do compensador em boas condições, embora algumas correções no sistema de circulação de óleo sejam necessárias. O sistema de controle ainda é analógico, estando obsoleto e apresentando algumas falhas de sincronismo, embora gerenciáveis. É necessária ainda a substituição dos disjuntores de 13,8 kV e do sistema de proteção, que também estão obsoletos. Uma modernização no sistema de controle e proteção do regulador de tensão também é necessária, pois ainda é analógico. A substituição do sistema de cunhas, das amarrações de bobinas e no sistema de proteção anti-corona dos enrolamentos do estator é aconselhável, de forma a estender a vida útil do compensador para mais 30 anos.

Os bancos de capacitores C1, C2, C3 e C4 atualmente estão conectados ao terciário do autotransformador T3. Estão em andamento as obras para desativação destes bancos, com previsão de finalização até maio/2026. Destaca-se novamente que as simulações realizadas não contemplaram a operação do compensador síncrono e dos bancos de capacitores.

A SE Mesquita possui limitações físicas para ampliação. A subestação está localizada em espaço urbano densamente povoado, cercada por uma rodovia, uma área residencial e por uma área com vegetação e topografia em declive. Tal cenário dificulta uma ampliação desta subestação, **mas não impossibilita**.

A Figura 14 abaixo apresenta imagem aérea da SE Mesquita. São representadas na figura as linhas de transmissão que se conectam na Subestação, sendo as de cor vermelha de 500 kV e as de cor verde de 230 kV.



Figura 14 - Imagem aérea SE Mesquita (Fonte: Google Earth, ano 2024)

#### 6.4 Vida útil de transformadores de potência, equipamentos de compensação de reativos.

A Tabela 14 abaixo mostra a situação dos principais ativos instalados na SE Mesquita.

Tabela 14 - Situação dos ativos da SE Mesquita

Equipamento	Id.	Final Vida Útil Regulatória	Situação do Ativo	Final Vida Útil Contábil	Situação Contábil do Ativo
<b>Autotransformador</b>	<b>T1</b>	Nov/2016	Vida útil regulatória finalizada	Dez/2047	Não depreciado
	<b>T2</b>	Dez/2032	Vida útil regulatória em andamento	Ago/2036	Não depreciado
	<b>T3</b>	Mar/2019	Vida útil regulatória finalizada	Depreciado	Depreciado
	<b>T4</b>	Dez/2049	Vida útil regulatória em andamento	Jan/2050	Não depreciado
<b>Compensador Síncrono</b>	<b>CS1</b>	Abr/2012	Vida útil regulatória finalizada	Depreciado	Depreciado
<b>Banco de Capacitores</b>	<b>C1</b>	Mai/2019	Vida útil regulatória finalizada	Depreciado	Depreciado
	<b>C2</b>				
	<b>C3</b>				
	<b>C4</b>				

Os autotransformadores T1 e T3 já possuem a sua vida útil regulatória finalizada, assim como os bancos de capacitores e o compensador síncrono. No entanto, o

autotransformador T1 terá sua vida útil contábil finalizada apenas em dez/2047 devido a reforma realizada neste equipamento, o que promoveu a ampliação de sua vida útil.

No ano de 2022 foram instalados os disjuntores dos autotransformadores T1 e T2. Recomenda-se que estes equipamentos continuem em serviço, sendo utilizados na implantação da alternativa recomendada neste relatório, caso seja possível. Caso estes disjuntores não possam ser utilizados, estes devem ser desativados e reaproveitados como equipamento sobressalente ou realocados para outra instalação.

## 7.0 DESCRIÇÃO DAS ALTERNATIVAS

No decorrer deste capítulo serão apresentadas as alternativas analisadas para a Modularização das Unidades Transformadoras da SE Mesquita.

Foram analisadas propostas de obras que minimamente promoviam o atendimento aos critérios de planejamento do sistema elétrico. A utilização de bancos de autotransformadores com potência instalada nominal superior a 650 MVA se deve ao fato de que o carregamento desta nova transformação já iniciaria sua vida útil muito próximo da potência nominal em condições de contingência, podendo ocasionar antecipação da necessidade de novos reforços.

A instalação dos autotransformadores se dará de forma gradual, conforme Tabela 6 - Plano de Obras, e apresentado nas figuras abaixo:

Figura 15 - Etapas das Obras de Modularização da SE Mesquita 2025 a 2036

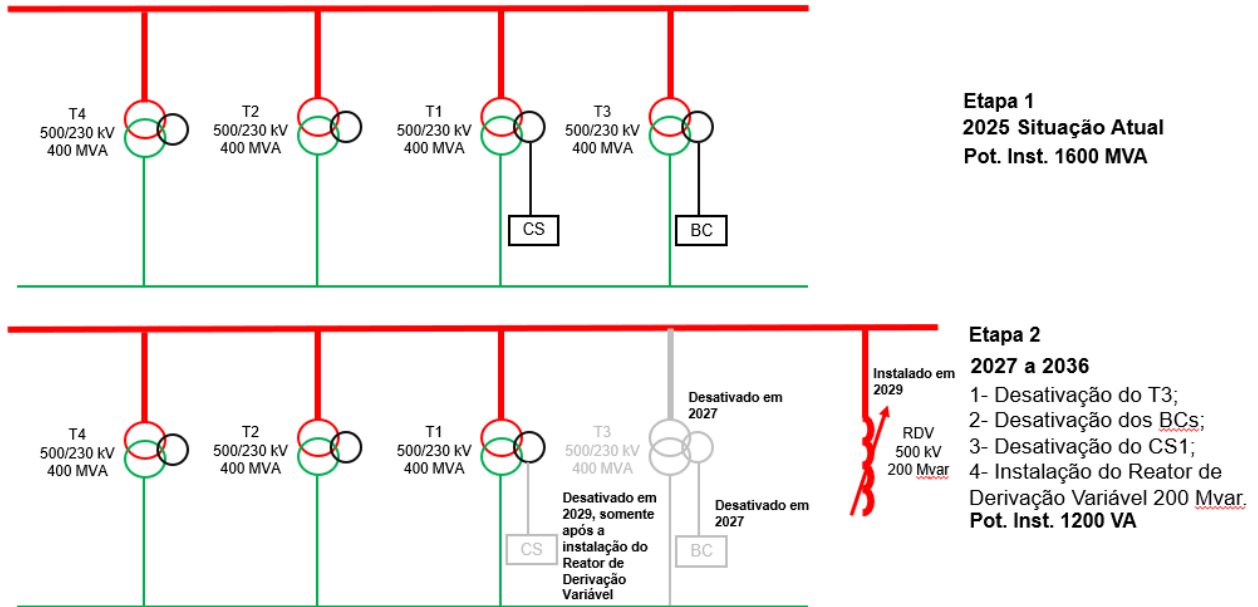
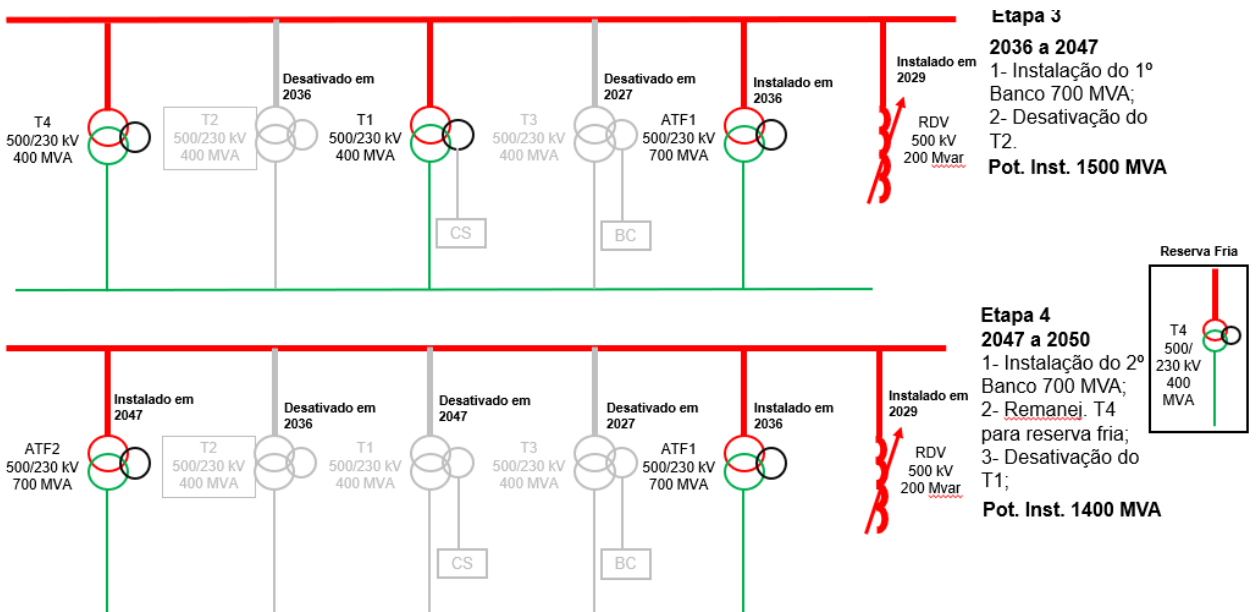


Figura 16 - Etapas das Obras de Modularização da SE Mesquita 2036 a 2050



As instalações dos novos bancos ocorrerão à medida que os transformadores atualmente em operação alcançarem o fim de sua vida útil.

## 7.1 Alternativa 1

A Alternativa 1 considera a substituição dos transformadores existentes por dois bancos de autotransformadores monofásicos. Cada banco será composto por 4 unidades monofásicas 500/230 kV 216,66 MVA, sendo uma das unidades reserva, totalizando 650 MVA, cada. Os bancos autotransformadores se conectarão aos barramentos de 500 kV da SE Mesquita por meio do arranjo Disjuntor e Meio (DJM) e no barramento de 230 kV por meio do arranjo Disjuntor e 1/3. Não é possível o compartilhamento da unidade autotransformadora monofásica reserva, conforme exposto no item 7.4.1. O início da operação se daria no ano de 2037.

Abaixo, são elencadas as características dos bancos autotransformadores utilizados na simulação:

- Capacidade Normal/Emergência: 650/780 MVA;
- Faixa de Variação do LTC: 0,9 a 1,1 pu;
- LTC com +16/-16 tapes e um central.

As obras para a modularização da transformação serão realizadas conforme Tabela 6 - Plano de Obras e Figura 16.

## 7.2 Alternativa 2

A Alternativa 2 considera a substituição dos transformadores existentes por dois bancos de autotransformadores monofásicos. Cada banco será composto por 4 unidades monofásicas 500/230 kV 233,33 MVA, sendo uma das unidades reserva, totalizando 700 MVA, cada. Os bancos autotransformadores se conectarão aos barramentos de 500 kV da SE Mesquita por meio do arranjo Disjuntor e Meio (DJM) e no barramento de 230 kV por meio do arranjo Disjuntor e 1/3. Não é possível o compartilhamento da unidade autotransformadora monofásica reserva, conforme exposto no item 7.4.1. O início da operação também se daria no ano de 2037.

Abaixo, são elencadas as características dos bancos autotransformadores utilizados na simulação:

- Capacidade Normal/Emergência: 700 MVA, cada;
- Faixa de Variação do LTC: 0,9 a 1,1 pu;
- LTC com +16/-16 tapes e um central.

As obras para a modularização da transformação serão realizadas conforme Tabela 6 - Plano de Obras e Figura 16.

### 7.3 Alternativa 3

A Alternativa 3 considera a substituição dos transformadores existentes por dois bancos de autotransformadores monofásicos. Cada banco será composto por 4 unidades monofásicas 500/230 kV 250 MVA, sendo uma das unidades reserva, totalizando 750 MVA, cada. Os bancos autotransformadores se conectarão aos barramentos de 500 kV da SE Mesquita por meio do arranjo Disjuntor e Meio (DJM) e no barramento de 230 kV por meio do arranjo Disjuntor e 1/3. Não é possível o compartilhamento da unidade autotransformadora monofásica reserva, conforme exposto no item 7.4.1. O início da operação também se daria no ano de 2037.

Abaixo, são elencadas as características dos bancos autotransformadores utilizados na simulação:

- Capacidade Normal/Emergência: 750/900 MVA;
- Faixa de Variação do LTC: 0,9 a 1,1 pu;
- LTC com +16/-16 tapes e um central.

As obras para a modularização da transformação serão realizadas conforme Tabela 6 - Plano de Obras e Figura 16.

## 7.4 Obras Comuns e comentários gerais

Todas as Alternativas apresentadas preveem a desmontagem das unidades transformadoras existentes na SE Mesquita, conforme Tabela 6 - Plano de Obras. A conexão dos novos bancos de autotransformadores aos barramentos será realizada por meio da infraestrutura existente: arranjo disjuntor e meio no lado de 500 kV e disjuntor e 1/3 no lado de 230 kV, ambos já adequados conforme os Procedimentos de Rede.

### 7.4.1 Compartilhamento da Unidade Reserva dos Bancos de Autotransformadores

Conforme indicado nas alternativas apresentadas, não será possível o compartilhamento das unidades reservas dos bancos de autotransformadores. Para viabilizar a instalação de um banco de transformadores de cada lado ligados no corredor em arranjo de disjuntor e meio, com apenas uma unidade reserva, seria necessário instalar barramentos nas tensões de 500 kV, 230 kV e 13,8 kV, além da barra de neutro, atravessando de um transformador para outro. Nesta topologia haveria uma série de interferências existentes entre os transformadores e dificuldades como:

- Interferências em canaletas de cabos de controle e de drenagem existentes;
- Interferência com o SPDA e blindagem da instalação;
- Necessidade de relocação de pórticos de 230 kV para atender distâncias elétricas;
- Vãos longos de barramentos de 230 kV e 500 kV com distâncias elétricas críticas;
- Interligação entre os barramentos dos terciários das unidades transformadoras titulares e a unidade reserva;
- Interferência com as edificações existentes na instalação casa de controle, torre de micro-ondas etc.

Considerando o exposto, o compartilhamento da unidade reserva não é tecnicamente viável.

Importante comentar que atualmente estão conectados nos terciários dos transformadores, serviços auxiliares de alimentação dos acessantes. Sendo de responsabilidade da Cemig GT a adequação dos serviços auxiliares para atendimento a estes acessantes.

#### 7.4.2 Instalação do Reator de Derivação Variável (RDV)

A análise que consta no relatório OP/PL-1166-SE Mesquita-R1 – Planejamento dos Recursos de Controle de Tensão da SE Mesquita – R1 recomendou a instalação de um banco de reatores monofásicos de derivação variáveis, com capacidade total de 180 Mvar (3 + 1R 60 Mvar) ou 200 Mvar (3 + 1R 66,7 Mvar) com regulação linear e faixa ajustável do reativo de 50 a 100% de sua capacidade nominal.

A conexão se dará no barramento de 500 kV da SE Mesquita por meio do arranjo Disjuntor e meio. Sendo assim, todas as alternativas possuem em comum a previsão de instalação deste banco de reatores de derivação variável, bem como seu respectivo módulo de conexão e seção de interligação de barras, porém as simulações realizadas não contemplaram a presença destes equipamentos. A ampliação da subestação se dará por meio da ampliação do módulo de infraestrutura geral da SE Mesquita, sendo necessária a execução de extensão da área britada, terraplanagem, provavelmente aterro e construção de contenção. Não há necessidade de aquisição de terreno pois a área necessária para ampliação já pertence à Cemig GT.

Outro ponto de atenção é a necessidade de supressão vegetal na área de ampliação, sendo necessária análise ambiental específica e obtenção de licenciamento/autorização ambiental. A imagem abaixo apresenta a área inicialmente necessária para a referida ampliação:

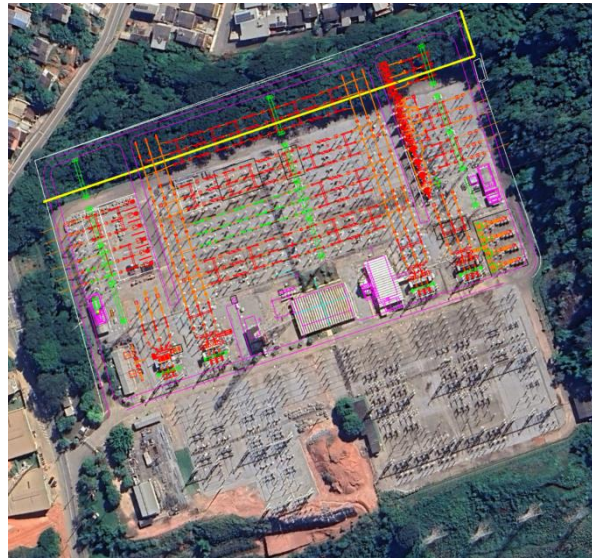


Figura 17 - Área de Ampliação da SE Mesquita para instalação do RDV

Conforme indicado no relatório [10], o compensador síncrono auxilia no controle de tensão em regime permanente nas barras de 500 kV da SE Mesquita. A manutenção do atendimento aos requisitos de tensão dos Procedimentos de Rede só será possível, em caso de desativação do síncrono, com a instalação de equipamento de compensação reativa (RDV) na referida SE.

O Anexo 16.3 apresenta o Arranjo Básico Preliminar com a previsão da ampliação do pátio de 500 kV e instalação do módulo de conexão, da seção de interligação de barras e do RDV.

## 8.0 ANÁLISE DO DESEMPENHO EM REGIME PERMANENTE

### 8.1 Alternativa 1

#### 8.1.1 Alternativa 1 - Período entre os anos 2036 e 2038

No cenário mais crítico, que considera patamar de carga pesada e exportação de energia do Norte para o Sudeste, verifica-se funcionamento adequado da nova

transformação da SE Mesquita, conforme percentual de carregamento indicado nas figuras abaixo.

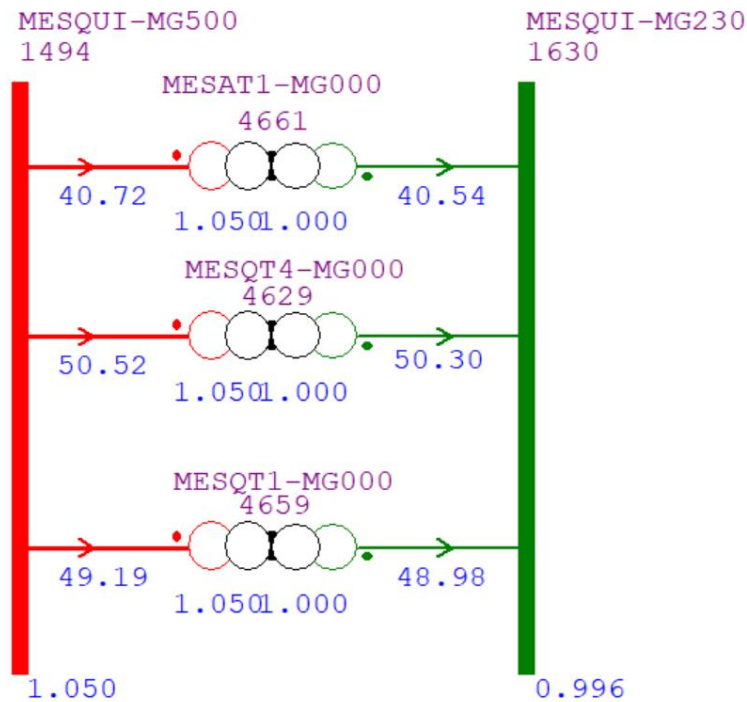


Figura 18 - Alternativa 1 - Ano 2037 - Regime de Operação Normal

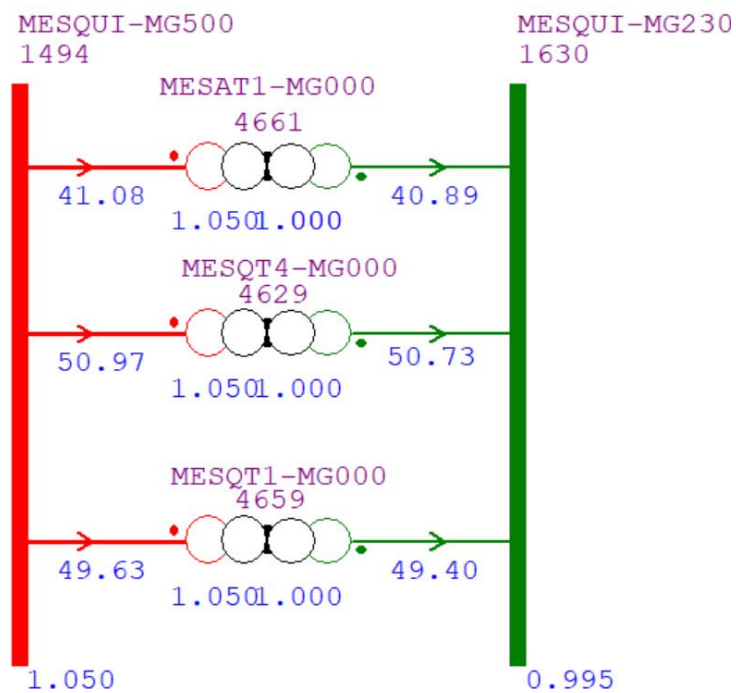


Figura 19 - Alternativa 1 - Ano 2038 - Regime de Operação Normal

Em regime de contingência, não foram observadas condições críticas para o carregamento dos autotransformadores da SE Mesquita, superação de carregamento e tensão nos elementos do sistema elétrico da região. Na perda de uma das unidades autotransformadoras da referida SE, o banco autotransformador remanescente apresenta, inclusive, carregamento inferior à sua potência nominal.

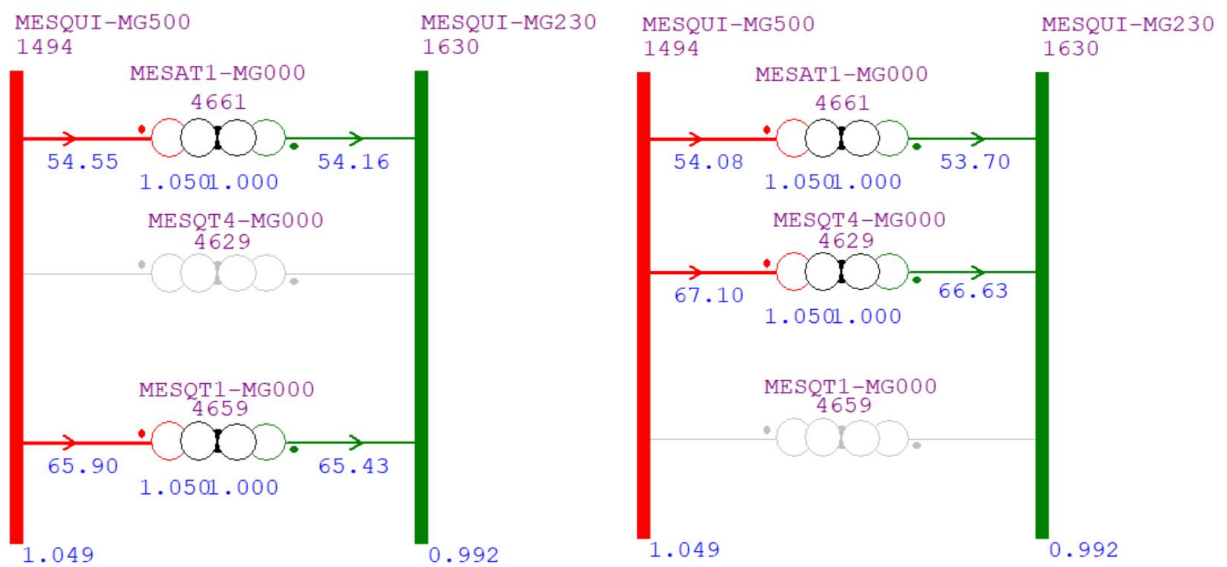


Figura 20 - Alternativa 1 - Ano 2037 - Operação em Contingência – Perda T4

Figura 21 - Alternativa 1 - Ano 2037 - Operação em Contingência – Perda T1

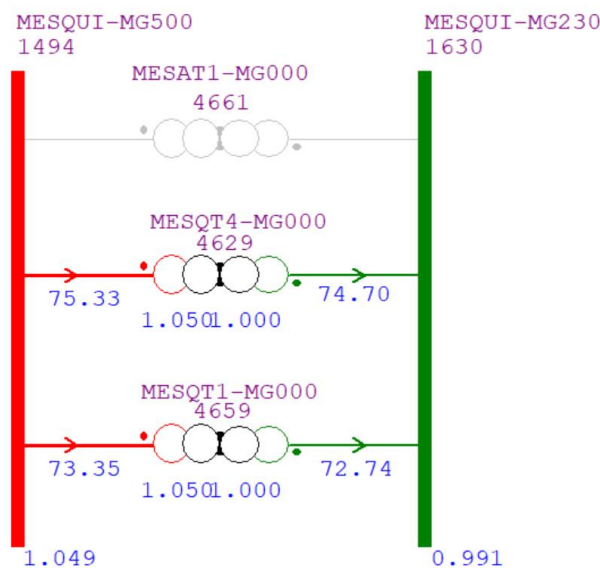


Figura 22 - Alternativa 1 - Ano 2037 - Operação em Contingência – Perda Novo Banco AT1

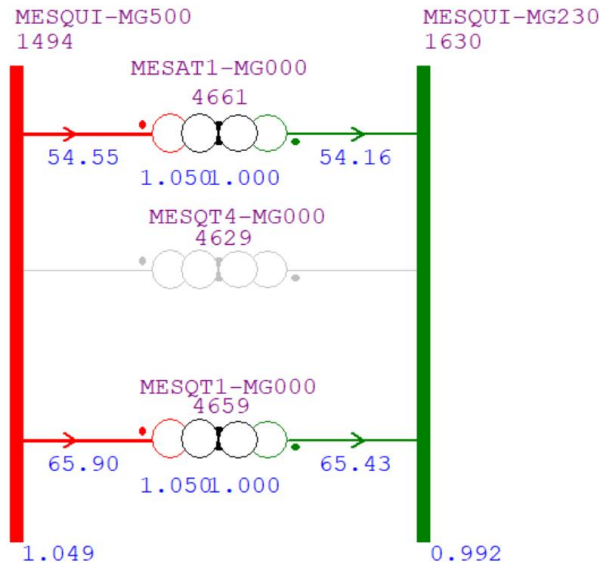


Figura 23 - Alternativa 1 - Ano 2038 - Operação em Contingência – Perda T4

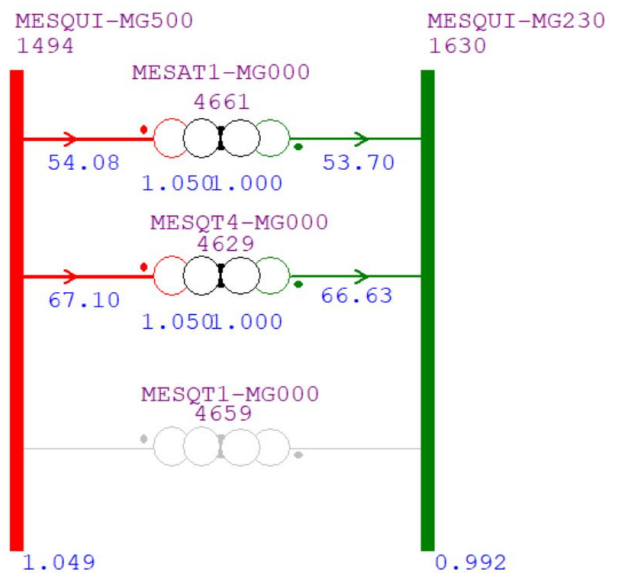


Figura 24 - Alternativa 1 - Ano 2038 - Operação em Contingência – Perda T1

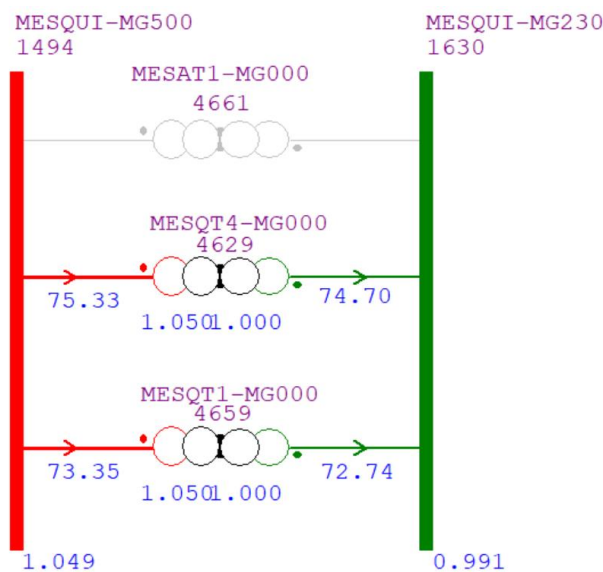


Figura 25 - Alternativa 1 - Ano 2038 - Operação em Contingência – Perda Novo Banco AT1

Foi simulada a perda de uma das unidades autotransformadoras da SE Governador Valadares 6. Os resultados apresentam carregamento de 118,6% para o ano de 2037 e 121,79% em 2038. Observa-se, para o ano de 2038, carregamento acima do permitido em regime de contingência. Destaca-se novamente a necessidade de estudos adicionais com vistas a solucionar possíveis problemas de carregamento em condições de contingência N-1 das unidades autotransformadoras da SE Governador Valadares 6, uma vez que há a previsão de aumento do carregamento desta transformação ao longo

dos anos. As figuras abaixo apresentam os resultados das simulações de contingência N-1 na transformação da SE Governador Valadares.

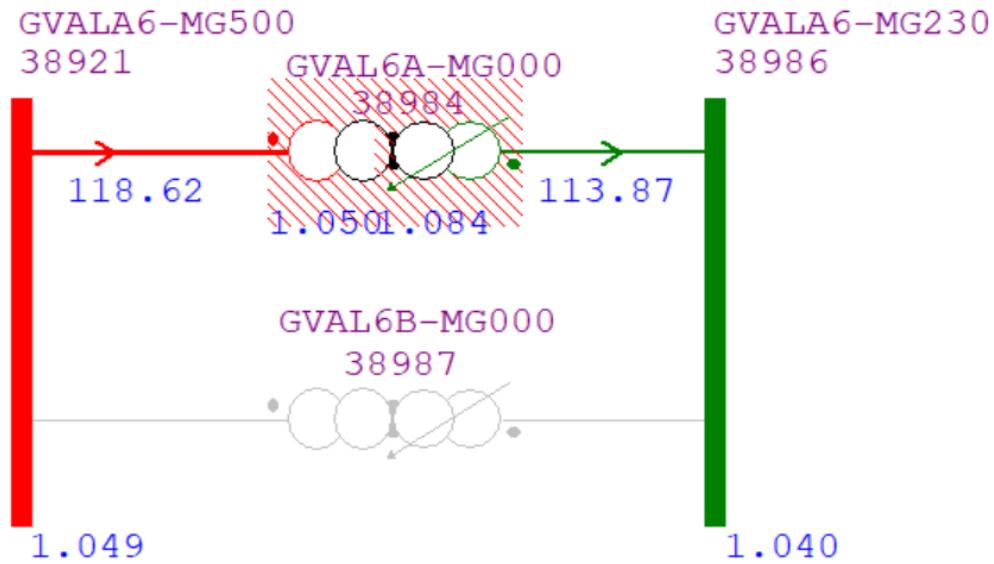


Figura 26 - Alternativa 1 - Ano 2037 - Regime de Contingência Transformação SE Governador Valadares 6

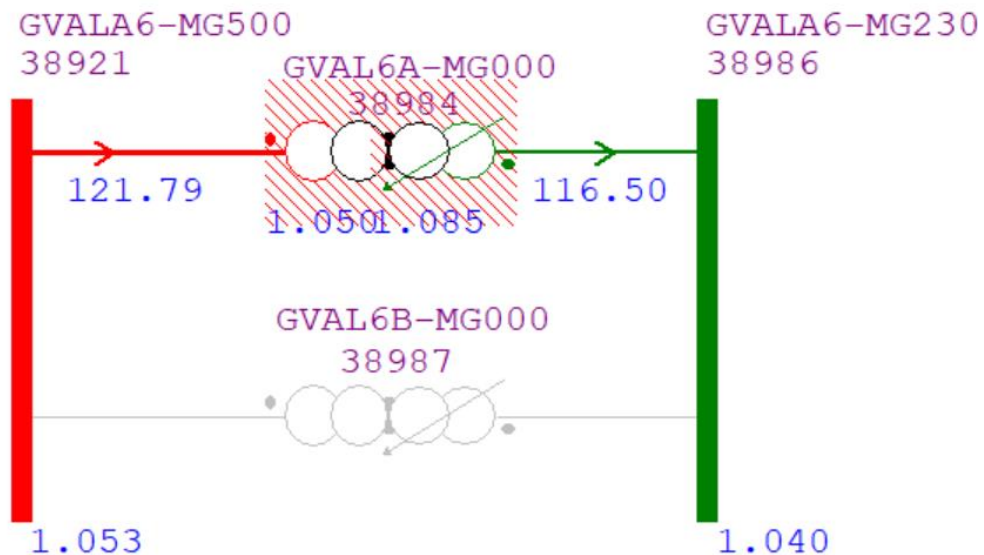


Figura 27 - Alternativa 1 - Ano 2038 - Regime de Contingência Transformação SE Governador Valadares 6

O cenário crítico que considera patamar de carga média com exportação de energia da região Norte para a região Sudeste, considerando em 70% a geração MMGD (Micro e Minigeração Distribuída), não se observam condições críticas de operação do sistema em condição normal.

Verificou-se também o carregamento da transformação da SE Itabira 5, na contingência de um de seus bancos autotransformadores. A análise indicou carregamento muito próximo ao limite do equipamento (119,62% em 2037 e 118,12% em 2038). Destaca-se a tendência de aumento do carregamento desta transformação ao longo dos anos, contribuindo para a situação crítica desta contingência. As figuras abaixo apresentam o resultado das simulações deste cenário.

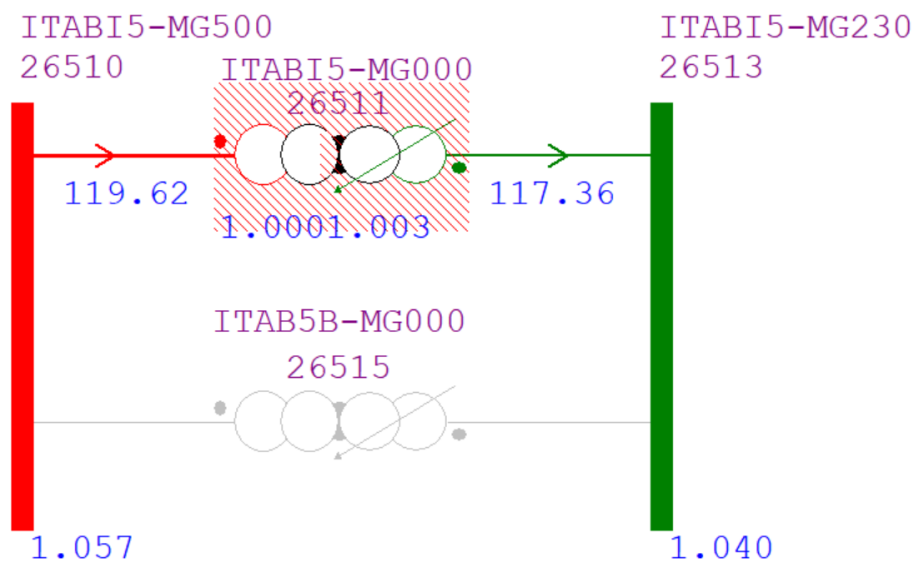


Figura 28 - Alternativa 1 - Ano 2037 - Regime de Contingência Transformação SE Itabira 5

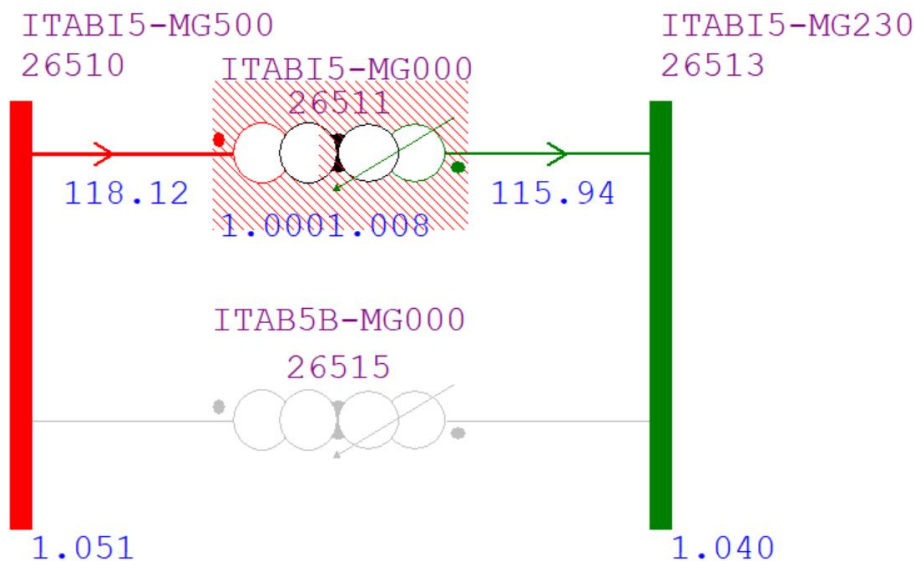


Figura 29 - Alternativa 1 - Ano 2038 - Regime de Contingência Transformação SE Itabira 5

### 8.1.2 Alternativa 1 - Período entre os anos 2038 e 2047

A tabela abaixo apresenta a evolução do carregamento da transformação das Subestações Mesquita, Governador Valadares 6 e Itabira 5 entre os anos de 2039 e 2047. Tais informações foram obtidos por meio da metodologia de extrapolação considerando as taxas médias percentuais de evolução do carregamento destas transformações. Os carregamentos superiores a 85% foram destacados nas tabelas, para indicar ponto de atenção.

Tabela 15 – Alternativa 1 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Pesada – 2038 a 2047

SE	Ano	2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047	
		Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	T1	199	49,6%	202	50,4%	205	51,3%	209	52,1%	212	53,0%	216	53,9%	219	54,8%	223	55,7%	226,4	56,6%	230	57,6%
	T4	204	51,0%	207	51,8%	211	52,7%	214	53,6%	218	54,4%	221	55,3%	225	56,3%	229	57,2%	232,6	58,2%	236	59,1%
	ATF1	267	41,1%	271	41,8%	276	42,5%	281	43,2%	285	43,9%	290	44,6%	295	45,3%	300	46,1%	304,6	46,9%	310	47,6%
Governador Valadares 6	T1	419	69,8%	432	72,0%	445	74,2%	459	76,5%	473	78,9%	488	81,4%	503	83,9%	519	<b>86,5%</b>	535,2	<b>89,2%</b>	552	<b>92,0%</b>
	T2	419	69,8%	432	72,0%	445	74,2%	459	76,5%	473	78,9%	488	81,4%	503	83,9%	519	<b>86,5%</b>	535,2	<b>89,2%</b>	552	<b>92,0%</b>
Itabira 5	T1	463	61,7%	472	62,9%	481	64,2%	491	65,4%	500	66,7%	510	68,0%	520	69,4%	530	70,7%	540,8	72,1%	551	73,5%
	T2	463	61,7%	472	62,9%	481	64,2%	491	65,4%	500	66,7%	510	68,0%	520	69,4%	530	70,7%	540,8	72,1%	551	73,5%

Tabela 16 – Alternativa 1 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Média – 2038 a 2047

SE	Ano	2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047	
		Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	T1	138	34,5%	138	34,6%	139	34,7%	139	34,7%	139	34,8%	140	34,9%	140	35,0%	140	35,1%	140,8	35,2%	141	35,3%
	T4	142	35,4%	142	35,5%	142	35,6%	143	35,7%	143	35,8%	144	35,9%	144	36,0%	144	36,1%	144,7	36,2%	145	36,3%
	ATF1	186	28,5%	186	28,6%	186	28,7%	187	28,8%	187	28,8%	188	28,9%	188	29,0%	189	29,1%	189,4	29,1%	190	29,2%
Governador Valadares 6	T1	256	42,7%	265	44,2%	274	45,7%	284	47,3%	294	48,9%	304	50,6%	314	52,4%	325	54,2%	336,3	56,1%	348	58,0%
	T2	256	42,7%	265	44,2%	274	45,7%	284	47,3%	294	48,9%	304	50,6%	314	52,4%	325	54,2%	336,3	56,1%	348	58,0%
Itabira 5	T1	512	68,3%	520	69,3%	527	70,3%	535	71,3%	543	72,4%	551	73,5%	559	74,6%	567	75,7%	575,9	76,8%	584	77,9%
	T2	512	68,3%	520	69,3%	527	70,3%	535	71,3%	543	72,4%	551	73,5%	559	74,6%	567	75,7%	575,9	76,8%	584	77,9%

Observa-se carregamento satisfatório nos dois cenários críticos, quando realizada a extrapolação do carregamento das transformações. O ponto de atenção é a SE Governador Valadares 6, cujo carregamento se aproxima do limite de 100%.

A seguir, apresenta-se evolução do carregamento das transformações das SEs supracitadas em condições de contingência, considerando os desligamentos mais severos para cada subestação.

Tabela 17 – Alternativa 1 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Pesada em contingência N-1 – 2038 a 2047

SE	Contingência	Ano	2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047	
			Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	Perda ATF1	T1	293	73,4%	298	74,6%	303	75,8%	308	77,1%	313	78,3%	319	79,6%	324	81,0%	329	82,3%	334,7	83,7%	340	85,1%
		T4	301	75,3%	306	76,6%	311	77,8%	317	79,1%	322	80,5%	327	81,8%	333	83,1%	338	84,5%	343,7	85,9%	349	87,4%
		ATF1	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Governador Valadares 6	Perda T2	T1	731	121,8%	753	125,6%	777	129,5%	801	133,5%	826	137,7%	852	141,9%	878	146,3%	905	150,9%	933,6	155,6%	963	160,4%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Itabira 5	Perda T2	T1	822	109,6%	838	111,7%	854	113,9%	871	116,2%	888	118,4%	906	120,8%	923	123,1%	942	125,5%	960	128,0%	979	130,5%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

Tabela 18 – Alternativa 1 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Média em contingência N-1 – 2038 a 2047

SE	Contingência	Ano	2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047	
			Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	Perda ATF1	T1	203	50,9%	204	51,0%	204	51,1%	205	51,2%	206	51,4%	206	51,5%	207	51,6%	207	51,8%	207,7	51,9%	208	52,1%
		T4	209	52,2%	209	52,4%	210	52,5%	211	52,6%	211	52,8%	212	52,9%	212	53,0%	213	53,2%	213,3	53,3%	214	53,5%
		ATF1	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Governador Valadares 6	Perda T2	T1	429	71,4%	443	73,9%	459	76,4%	475	79,1%	491	81,8%	508	84,7%	526	87,6%	544	90,6%	562,5	93,8%	582	97,0%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Itabira 5	Perda T2	T1	886	118,1%	899	119,9%	912	121,6%	926	123,4%	940	125,3%	953	127,1%	968	129,0%	982	130,9%	996,4	132,9%	1011	134,8%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

Para a simulação em contingência, verifica-se sobrecarga superior à admissível na transformação da SE Governador Valadares 6 durante todo o período, no cenário de carga pesada. A transformação da SE Itabira 5 também apresenta carregamento superior ao máximo admissível, a partir do ano de 2043 no cenário de carga pesada e a

partir do ano de 2040 no cenário de carga média. Tal constatação indica a necessidade de obras de reforço visando o alívio do carregamento destas transformações.

### 8.1.3 Alternativa 1 - Período entre os anos 2047 e 2050

Para este período, haverá a operação dos dois novos bancos de autotransformadores na SE Mesquita. Neste sentido, houve a simulação tomando como premissa a instalação dos novos equipamentos no ano de 2038 e feita a extrapolação para o horizonte proposto. As tabelas a seguir apresentam os carregamentos observados na análise:

Tabela 19 – Alternativa 1 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Pesada – 2047 a 2050

SE	Ano	2047		2048		2049		2050	
	Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%
Mesquita	ATF1	402	61,9%	409	62,9%	416	64,0%	423	65,0%
	ATF2	402	61,9%	409	62,9%	416	64,0%	423	65,0%
Governador Valadares 6	T1	544	90,7%	561	93,5%	578	96,4%	596	99,4%
	T2	544	90,7%	561	93,5%	578	96,4%	596	99,4%
Itabira 5	T1	537	71,6%	548	73,0%	559	74,5%	570	75,9%
	T2	537	71,6%	548	73,0%	559	74,5%	570	75,9%

Tabela 20 – Alternativa 1 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Média – 2047 a 2050

SE	Ano	2047		2048		2049		2050	
	Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%
Mesquita	ATF1	241	37,0%	241	37,1%	242	37,2%	243	37,3%
	ATF2	241	37,0%	241	37,1%	242	37,2%	243	37,3%
Governador Valadares 6	T1	346	57,6%	358	59,6%	370	61,7%	383	63,8%
	T2	346	57,6%	358	59,6%	370	61,7%	383	63,8%
Itabira 5	T1	581	77,5%	590	78,7%	599	79,8%	607	81,0%
	T2	581	77,5%	590	78,7%	599	79,8%	607	81,0%

Verifica-se carregamento adequado no cenário de carga média para os anos do horizonte deste tópico. Entretanto, para a carga pesada, verifica-se carregamento muito

próximo ao nominal na transformação da SE Governador Valadares 6, indicando novamente necessidade de soluções de planejamento para alívio desta condição.

Referente à análise da operação em contingência, os seguintes resultados foram obtidos:

Tabela 21 – Alternativa 1 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Pesada em contingência N-1 – 2047 a 2050

SE	Contingência	Ano	2047		2048		2049		2050	
			Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	Perda ATF2	ATF1	685	105,4%	697	107,2%	708	109,0%	720	110,8%
		ATF2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Governador Valadares 6	Perda T2	T1	932	155,3%	961	160,1%	991	165,1%	1021	170,2%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Itabira 5	Perda T2	T1	937	125,0%	956	127,4%	975	129,9%	994	132,5%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

Tabela 22 – Alternativa 1 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Média em contingência N-1 – 2047 a 2050

SE	Contingência	Ano	2047		2048		2049		2050	
			Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	Perda ATF2	ATF1	405	62,3%	406	62,5%	407	62,7%	408	62,8%
		ATF2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Governador Valadares 6	Perda T2	T1	582	96,9%	602	100,3%	623	103,8%	644	107,3%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Itabira 5	Perda T2	T1	999	133,1%	1013	135,1%	1028	137,1%	1044	139,1%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

A subestação de Governador Valadares 6 apresenta condição extremamente crítica de carregamento nestes anos, no cenário de carga pesada, com valores que podem alcançar até 170% do carregamento nominal. Já a transformação da SE Itabira 5 também requer atenção especial, considerando o cenário de carga média, com carregamentos podendo chegar a 139% do nominal. Esta condição reforça a necessidade de avaliação e proposição de obras para eliminar esta restrição.

Destaca-se que, nos cenários de carga leve, não foram observadas restrições tanto em operação normal quanto em contingência N-1.

## 8.2 Alternativa 2

### 8.2.1 Alternativa 2 – Período entre os anos 2036 e 2039

Para esta alternativa, foram obtidos os resultados apresentados nas figuras abaixo, no cenário de carga pesada exportação de energia do Norte para o Sudeste. Destaca-se que também não foram encontradas violações de carregamento e tensão, tanto em operação normal quanto em contingência N-1.

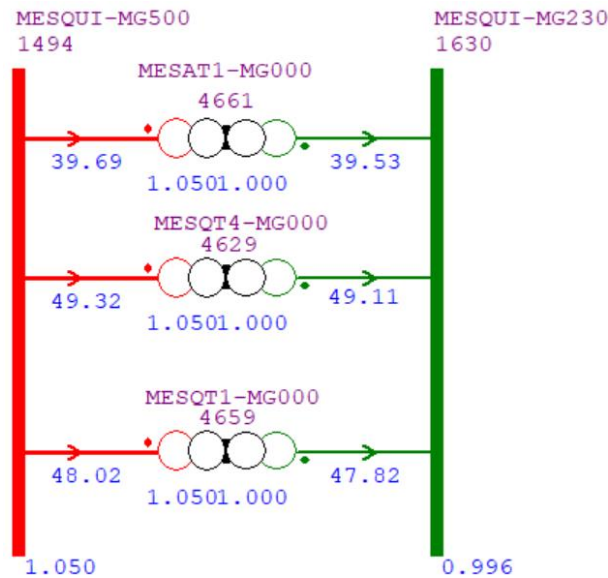


Figura 30 - Alternativa 2 - Ano 2037 - Regime de Operação Normal

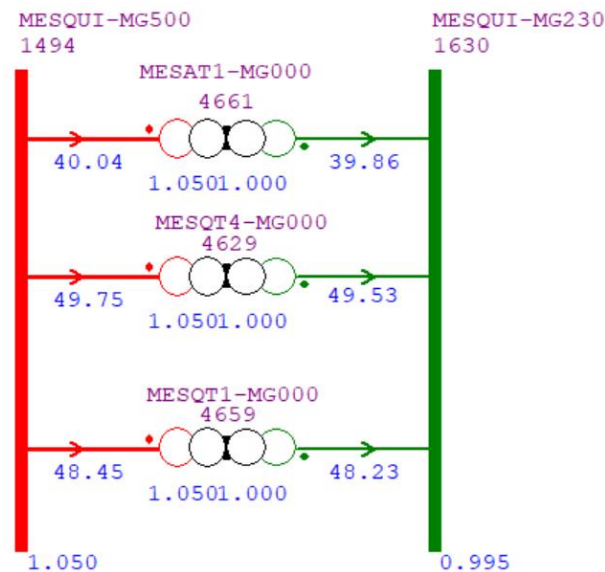


Figura 31 - Alternativa 2 - Ano 2038 - Regime de Operação Normal

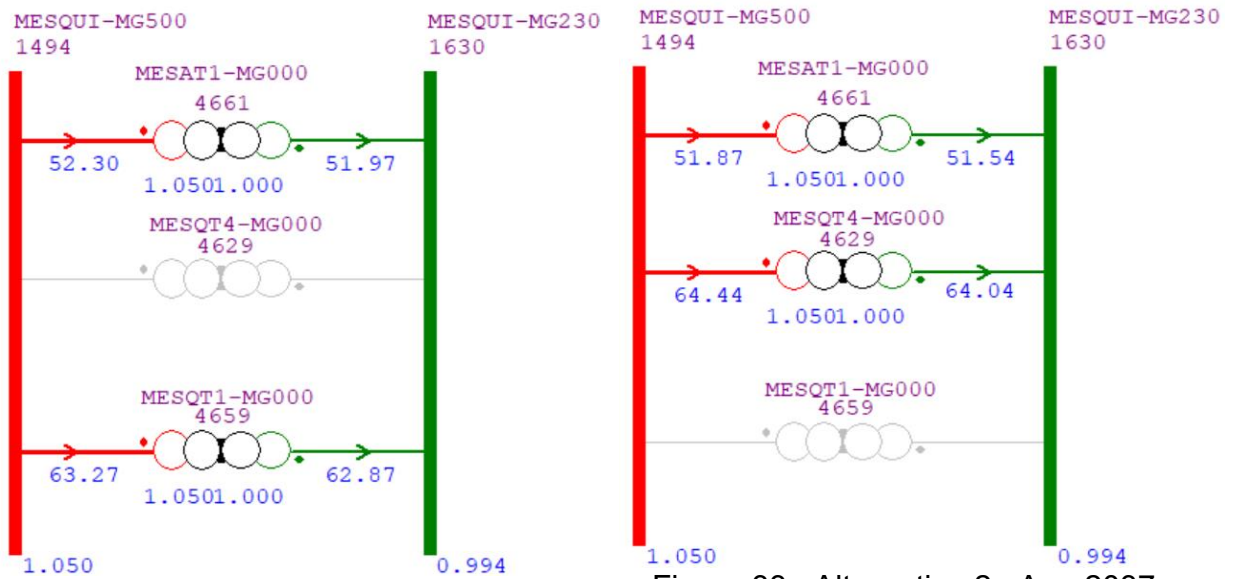


Figura 32 - Alternativa 2 - Ano 2037 - Operação em Contingência – Perda T4

Figura 33 - Alternativa 2 - Ano 2037 - Operação em Contingência – Perda T1

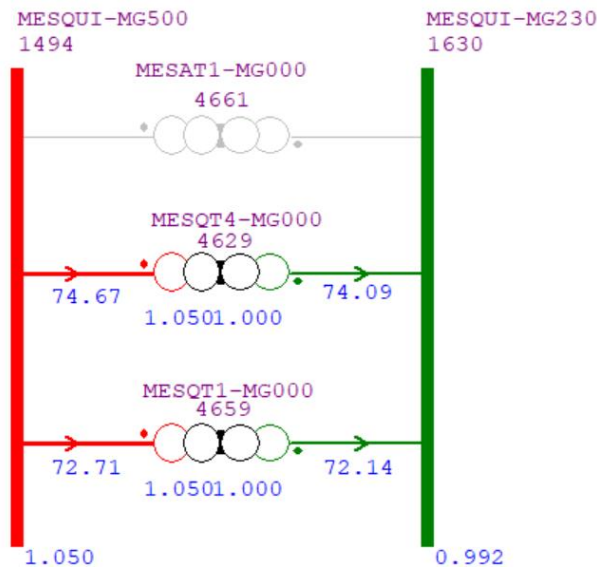


Figura 34 - Alternativa 2 - Ano 2037 - Operação em Contingência – Perda Novo Banco AT1

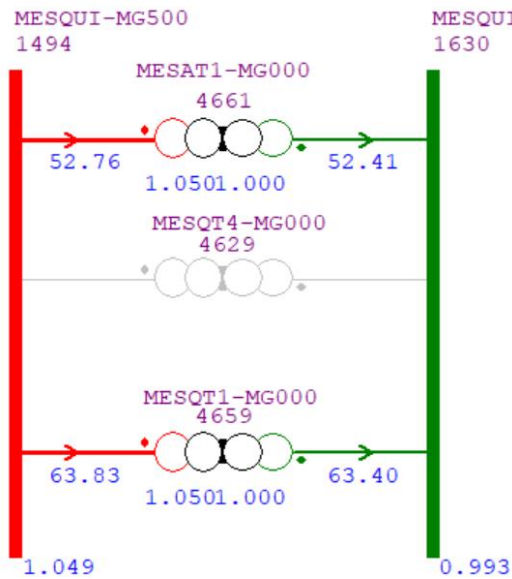


Figura 35 - Alternativa 2 - Ano 2038 - Operação em Contingência – Perda T4

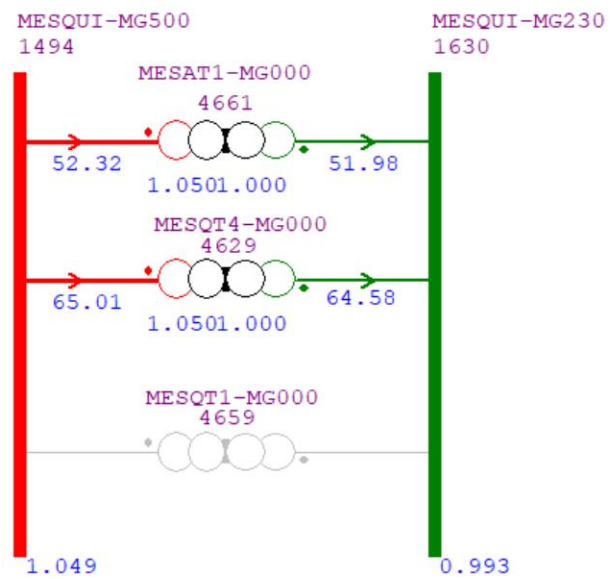


Figura 36 - Alternativa 2 - Ano 2038 - Operação em Contingência – Perda T1

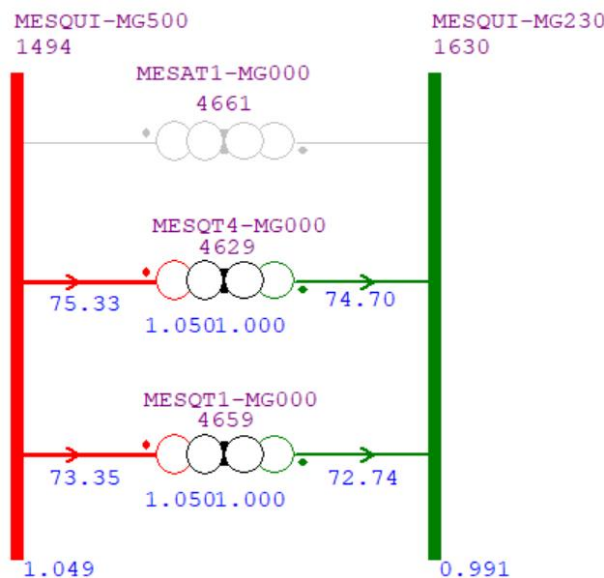


Figura 37 - Alternativa 2 - Ano 2038 - Operação em Contingência – Perda Novo Banco AT1

Em relação ao desempenho das transformações da SE Governador Valadares 6 (cenário de carga pesada) e da SE Itabira 5 (cenário de carga média), verificam-se níveis de carregamento críticos, com destaque para a SE Governador Valadares que tem seu limite ultrapassado no ano de 2038. As figuras abaixo apresentam o resultado das simulações.

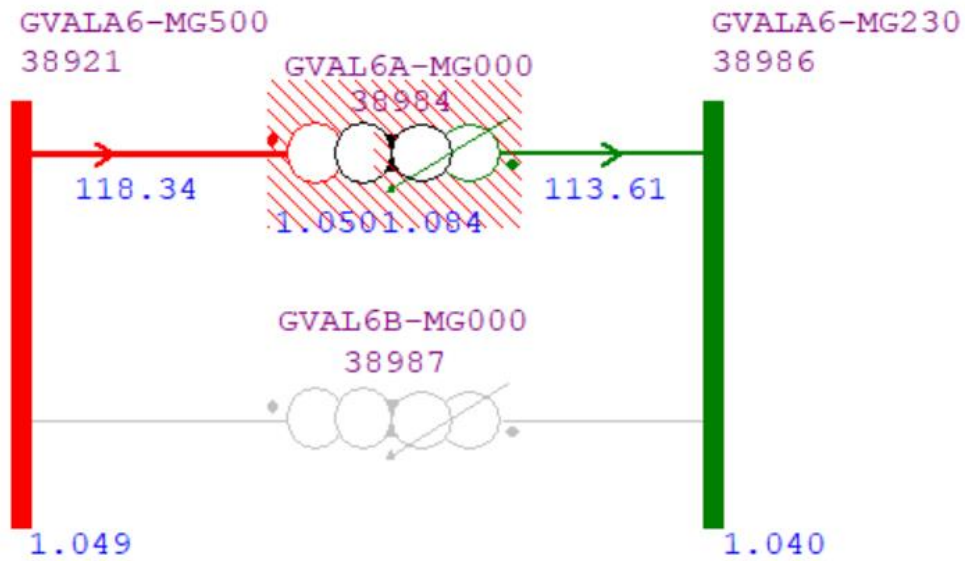


Figura 38 - Alternativa 2 - Ano 2037 – Regime de Contingência Transformação SE Governador Valadares 6

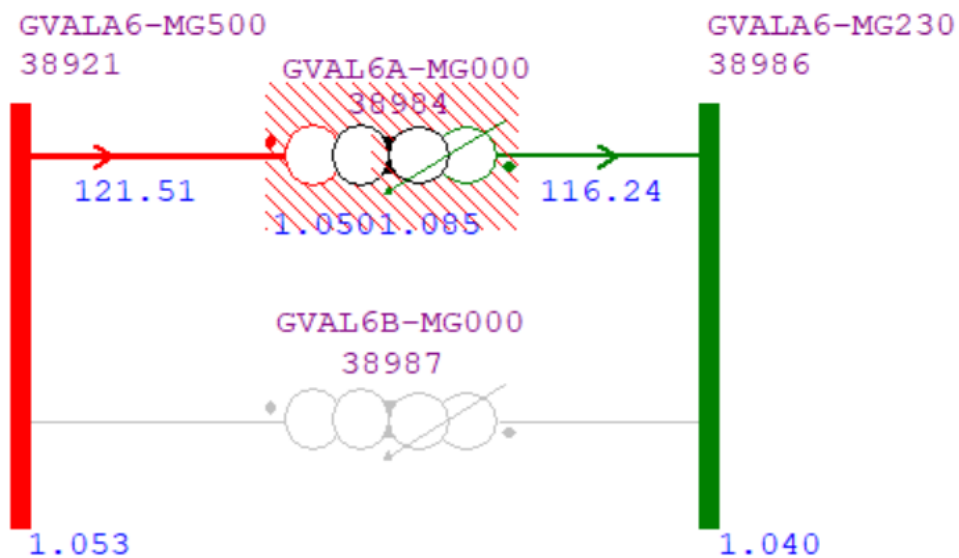


Figura 39 - Alternativa 2 - Ano 2038 – Regime de Contingência Transformação SE Governador Valadares 6

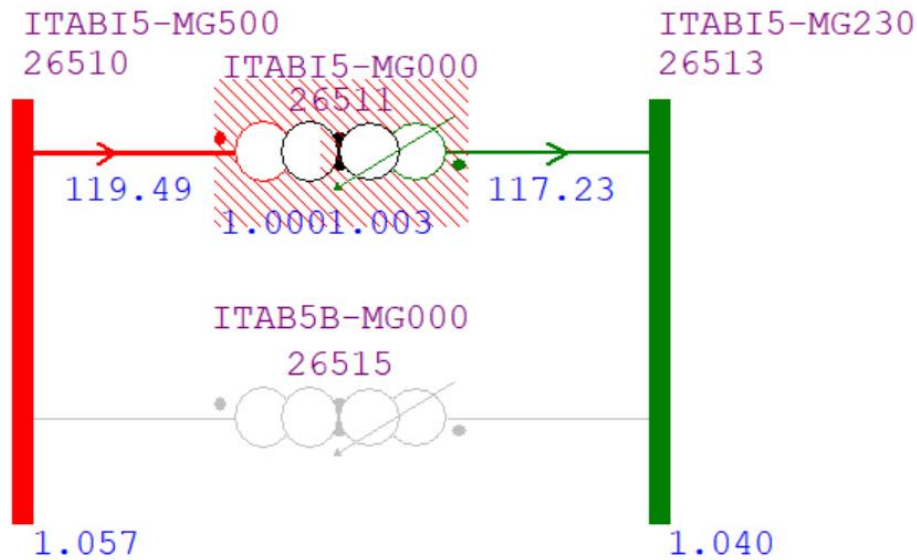


Figura 40 - Alternativa 2 - Ano 2037 – Regime de Contingência Transformação SE Itabira 5

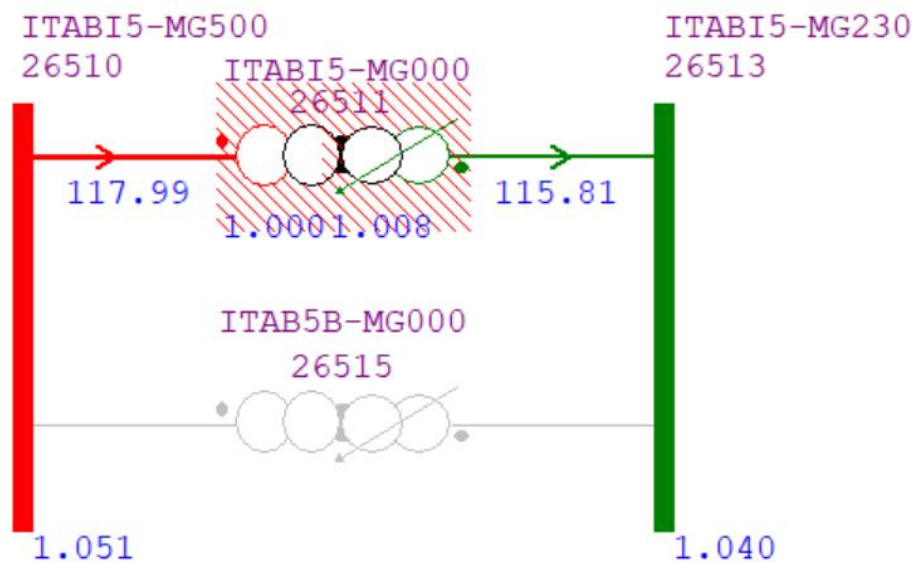


Figura 41 - Alternativa 2 - Ano 2038 – Regime de Contingência Transformação SE Itabira 5

Reforça-se também para esta alternativa necessidade de estudos de planejamentos que visem eliminar esta condição por meio da proposição de obras de reforço.

## 8.2.2 Alternativa 2 – Período entre os anos 2038 e 2047

As tabelas a seguir apresentam a evolução do carregamento da transformação das Subestações Mesquita, Governador Valadares 6 e Itabira 5 entre os anos de 2039 e 2047, conforme metodologia de extrapolação aplicada na Alternativa 1. Os carregamentos superiores a 85% foram destacados nas tabelas para indicar ponto de atenção.

Tabela 23 – Alternativa 2 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Pesada – 2038 a 2047

SE	Ano	2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047	
		Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	T1	194	48,5%	197	49,3%	200	50,1%	204	50,9%	207	51,7%	210	52,6%	214	53,5%	217	54,4%	221,1	55,3%	225	56,2%
	T4	199	49,8%	202	50,6%	206	51,4%	209	52,3%	213	53,1%	216	54,0%	220	54,9%	223	55,8%	227	56,8%	231	57,7%
	ATF1	280	40,0%	285	40,7%	290	41,4%	294	42,1%	299	42,8%	304	43,5%	309	44,2%	315	44,9%	319,8	45,7%	325	46,4%
Governador Valadares 6	T1	418	69,7%	431	71,8%	444	74,1%	458	76,4%	472	78,7%	487	81,2%	502	83,7%	518	86,3%	534,1	89,0%	551	91,8%
	T2	418	69,7%	431	71,8%	444	74,1%	458	76,4%	472	78,7%	487	81,2%	502	83,7%	518	86,3%	534,1	89,0%	551	91,8%
Itabira 5	T1	462	61,6%	471	62,8%	480	64,1%	490	65,3%	500	66,6%	509	67,9%	519	69,2%	529	70,6%	539,8	72,0%	550	73,4%
	T2	462	61,6%	471	62,8%	480	64,1%	490	65,3%	500	66,6%	509	67,9%	519	69,2%	529	70,6%	539,8	72,0%	550	73,4%

Tabela 24 – Alternativa 2 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Média – 2038 a 2047

SE	Ano	2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047	
		Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	T1	135	33,7%	135	33,8%	135	33,9%	136	33,9%	136	34,0%	136	34,1%	137	34,2%	137	34,3%	137,5	34,4%	138	34,5%
	T4	138	34,6%	139	34,7%	139	34,8%	139	34,8%	140	34,9%	140	35,0%	141	35,1%	141	35,2%	141,2	35,3%	142	35,4%
	ATF1	195	27,8%	195	27,9%	196	28,0%	196	28,0%	197	28,1%	197	28,2%	198	28,3%	198	28,3%	198,9	28,4%	199	28,5%
Governador Valadares 6	T1	256	42,6%	264	44,1%	274	45,6%	283	47,2%	293	48,8%	303	50,5%	313	52,2%	324	54,1%	335,5	55,9%	347	57,9%
	T2	256	42,6%	264	44,1%	274	45,6%	283	47,2%	293	48,8%	303	50,5%	313	52,2%	324	54,1%	335,5	55,9%	347	57,9%
Itabira 5	T1	512	68,2%	519	69,2%	527	70,2%	535	71,3%	542	72,3%	550	73,4%	559	74,5%	567	75,6%	575,3	76,7%	584	77,8%
	T2	512	68,2%	519	69,2%	527	70,2%	535	71,3%	542	72,3%	550	73,4%	559	74,5%	567	75,6%	575,3	76,7%	584	77,8%

Tabela 25 – Alternativa 2 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Pesada em contingência N-1 – 2038 a 2047

SE	Contingência	Ano	2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047	
			Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	Perda ATF1	T1	293	73,4%	298	74,6%	303	75,8%	308	77,1%	313	78,3%	319	79,6%	324	81,0%	329	82,3%	334,7	83,7%	340	85,1%
		T4	301	75,3%	306	76,6%	311	77,8%	317	79,1%	322	80,5%	327	81,8%	333	83,1%	338	84,5%	343,7	85,9%	349	87,4%
		ATF1	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Governador Valadares 6	Perda T2	T1	729	121,5%	752	125,3%	775	129,2%	799	133,2%	824	137,3%	850	141,6%	876	146,0%	903	150,6%	931,4	155,2%	960	160,1%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Itabira 5	Perda T2	T1	821	109,4%	837	111,5%	853	113,7%	870	116,0%	887	118,2%	904	120,5%	922	122,9%	940	125,3%	958,3	127,8%	977	130,3%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

Tabela 26 – Alternativa 2 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Média em contingência N-1 – 2038 a 2047

SE	Contingência	Ano	2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047	
			Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	Perda ATF1	T1	203	50,9%	204	51,0%	204	51,1%	205	51,2%	206	51,4%	206	51,5%	207	51,6%	207	51,8%	207,7	51,9%	208	52,1%
		T4	209	52,2%	209	52,4%	210	52,5%	211	52,6%	211	52,8%	212	52,9%	212	53,0%	213	53,2%	213,3	53,3%	214	53,5%
		ATF1	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Governador Valadares 6	Perda T2	T1	428	71,3%	442	73,7%	458	76,3%	473	78,9%	490	81,6%	507	84,5%	524	87,4%	542	90,4%	561,2	93,5%	581	96,8%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Itabira 5	Perda T2	T1	885	118,0%	898	119,7%	911	121,5%	925	123,3%	938	125,1%	952	127,0%	966	128,9%	981	130,8%	995,3	132,7%	1010	134,7%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

Em operação normal, o carregamento das transformações atende aos requisitos dos procedimentos de rede, com ponto de atenção para a SE Governador Valadares 6, com carregamentos muito próximos ao 100%. Entretanto, para operação em contingência observa-se sobrecargas inadmissíveis nos dois cenários de carga, para as subestações de Governador Valadares 6 (160% em 2047) e Itabira 5 (134% em 2047). Tal constatação indica a necessidade de obras de reforço visando o alívio do carregamento destas transformações.

### 8.2.3 Alternativa 2 - Período entre os anos de 2047 e 2050

Entre os anos de 2047 e 2050m considera-se a operação dos dois novos bancos. Abaixo as tabelas com a extrapolação realizada visando obter o carregamento da transformação das subestações na área de interferência do estudo.

Tabela 27 – Alternativa 2 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Pesada – 2047 a 2050

SE	Ano	2047		2048		2049		2050	
		Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	ATF1	408	58,2%	414	59,2%	421	60,2%	428	61,2%
	ATF2	408	58,2%	414	59,2%	421	60,2%	428	61,2%
Governador Valadares 6	T1	541	90,1%	557	92,9%	575	95,8%	593	98,8%
	T2	541	90,1%	557	92,9%	575	95,8%	593	98,8%
Itabira 5	T1	535	71,3%	545	72,7%	556	74,1%	567	75,6%
	T2	535	71,3%	545	72,7%	556	74,1%	567	75,6%

Tabela 28 – Alternativa 2 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Média – 2047 a 2050

SE	Ano	2047		2048		2049		2050	
		Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	ATF1	244	34,9%	245	35,0%	245	35,1%	246	35,1%
	ATF2	244	34,9%	245	35,0%	245	35,1%	246	35,1%
Governador Valadares 6	T1	343	57,2%	355	59,2%	368	61,3%	380	63,4%
	T2	343	57,2%	355	59,2%	368	61,3%	380	63,4%
Itabira 5	T1	579	77,3%	588	78,4%	597	79,6%	606	80,7%
	T2	579	77,3%	588	78,4%	597	79,6%	606	80,7%

Tabela 29 – Alternativa 2 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Pesada em contingência N-1 – 2047 a 2050

SE	Contingência	Ano	2047		2048		2049		2050	
			Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	Perda ATF2	ATF1	704	100,6%	716	102,3%	728	104,0%	740	105,7%
		ATF2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Governador Valadares 6	Perda T2	T1	925	154,2%	954	159,0%	984	164,0%	1014	169,1%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Itabira 5	Perda T2	T1	933	124,4%	951	126,8%	970	129,3%	989	131,8%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

Tabela 30 – Alternativa 2 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Média em contingência N-1 – 2047 a 2050

SE	Contingência	Ano	2047		2048		2049		2050	
			Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	Perda ATF2	ATF1	414	59,1%	415	59,3%	416	59,4%	417	59,6%
		ATF2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Governador Valadares 6	Perda T2	T1	577	96,2%	597	99,5%	618	103,0%	639	106,5%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Itabira 5	Perda T2	T1	995	132,7%	1010	134,7%	1025	136,6%	1040	138,7%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

Em regime normal de operação verifica-se carregamento muito próximo de 100% na SE Governador Valadares 6, porém ainda atendendo aos limites máximos. Já em contingência verifica-se carregamento superior ao nominal nas Subestações Governador Valadares 6 (169% na carga média) e Itabira 5 (131,8% em carga pesada e 138,7% em carga média), reforçando necessidade de estudo específico para a transformação destas subestações.

### 8.3 Alternativa 3

#### 8.3.1 Alternativa 3 - Período entre os anos 2036 e 2038

Esta alternativa prevê a implantação de bancos de autotransformadores com capacidade nominal de 750 MVA cada. Abaixo são apresentados os resultados das simulações entre os anos de 2036 e 2038, indicando o carregamento dos transformadores da SE Mesquita, no cenário de carga pesada norte seco, em condições normais de operação e em contingência.

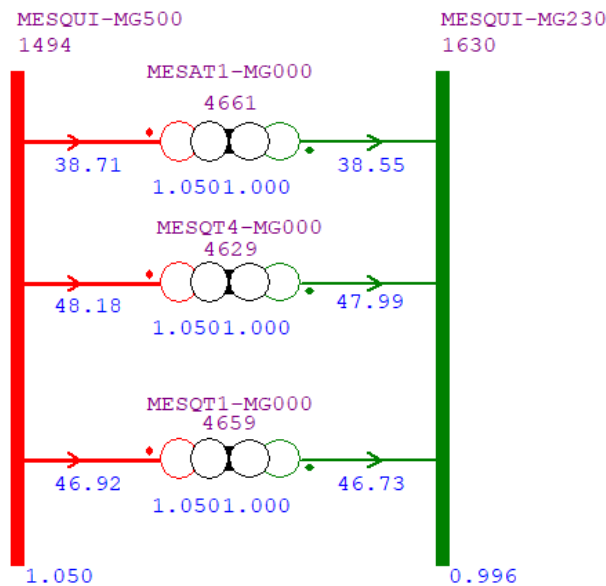


Figura 42 - Alternativa 3 - Ano 2037 - Regime de Operação Normal

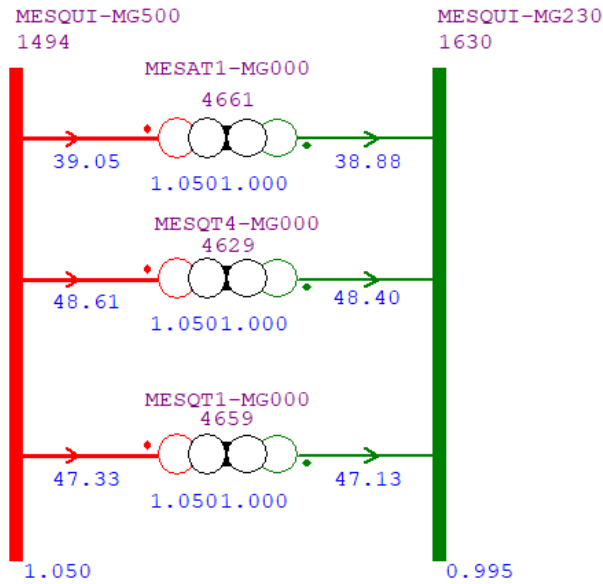


Figura 43 - Alternativa 3 - Ano 2038 - Regime de Operação Normal

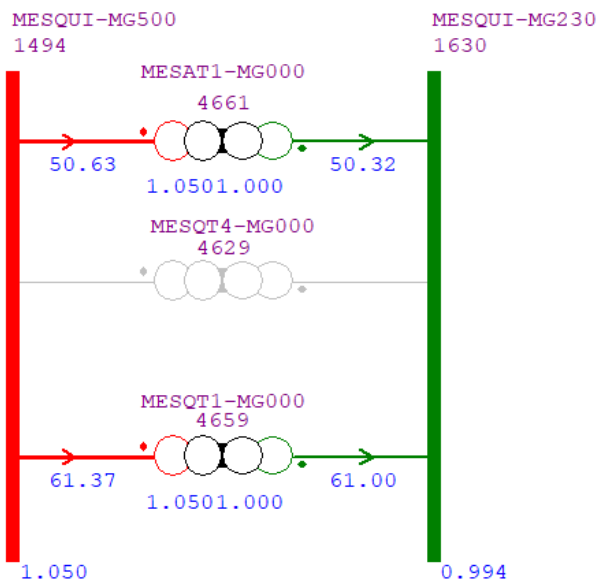


Figura 44 - Alternativa 3 - Ano 2037 - Operação em Contingência – Perda T4

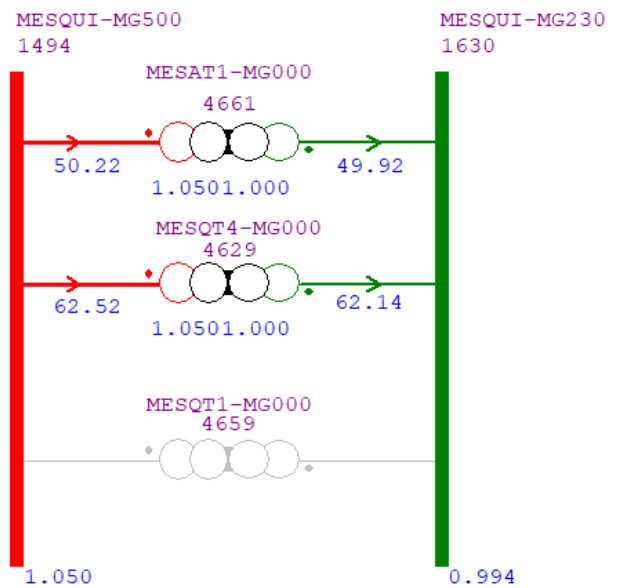


Figura 45 - Alternativa 3 - Ano 2037 - Operação em Contingência – Perda T1

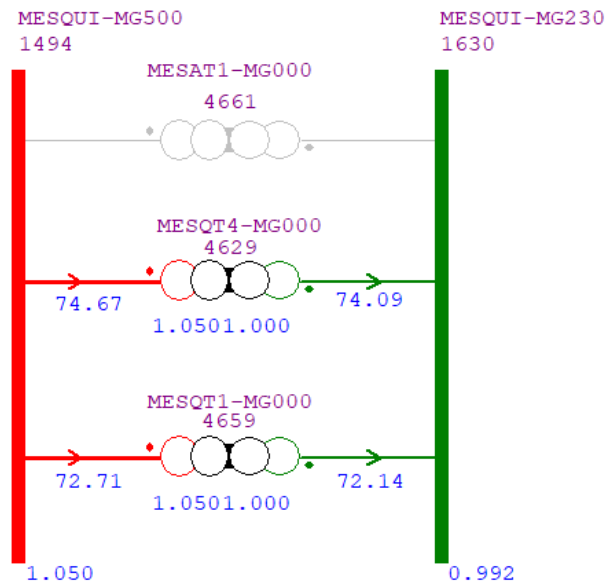


Figura 46 - Alternativa 3 - Ano 2037 - Operação em Contingência – Perda Novo Banco AT1

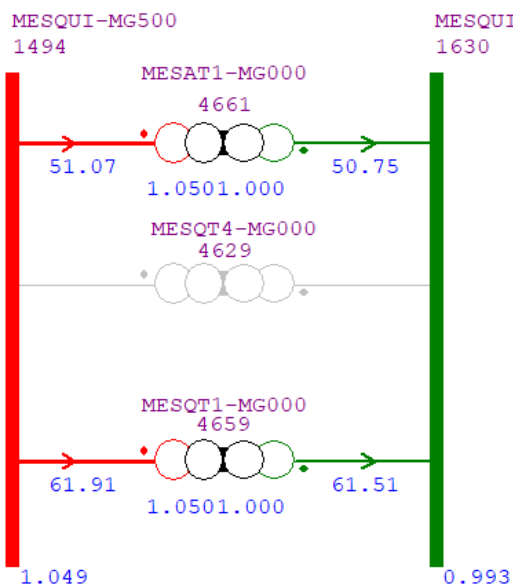


Figura 47 - Alternativa 3 - Ano 2038 - Operação em Contingência – Perda T4

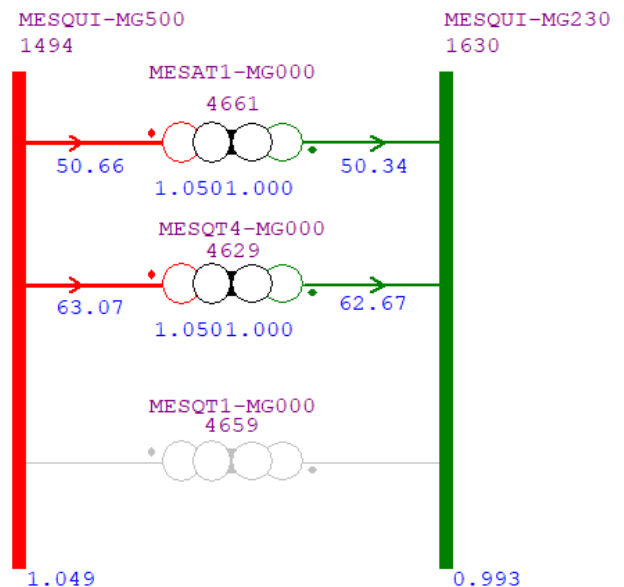


Figura 48 - Alternativa 3 - Ano 2038 - Operação em Contingência – Perda T1

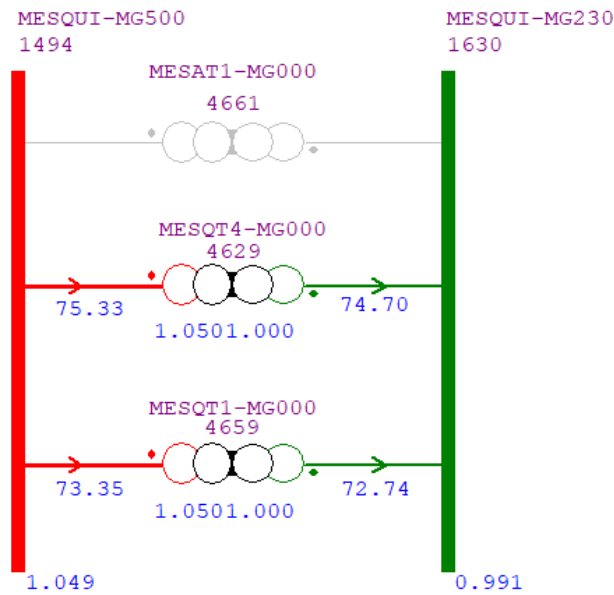


Figura 49 - Alternativa 3 - Ano 2038 - Operação em Contingência – Perda Novo Banco AT1

Assim como nas alternativas anteriores, verificou-se nas simulações o carregamento das transformações nas SEs Governador Valadares 6 (carga pesada) e Itabira 5 (carga média), cujo resultado é apresentado abaixo.

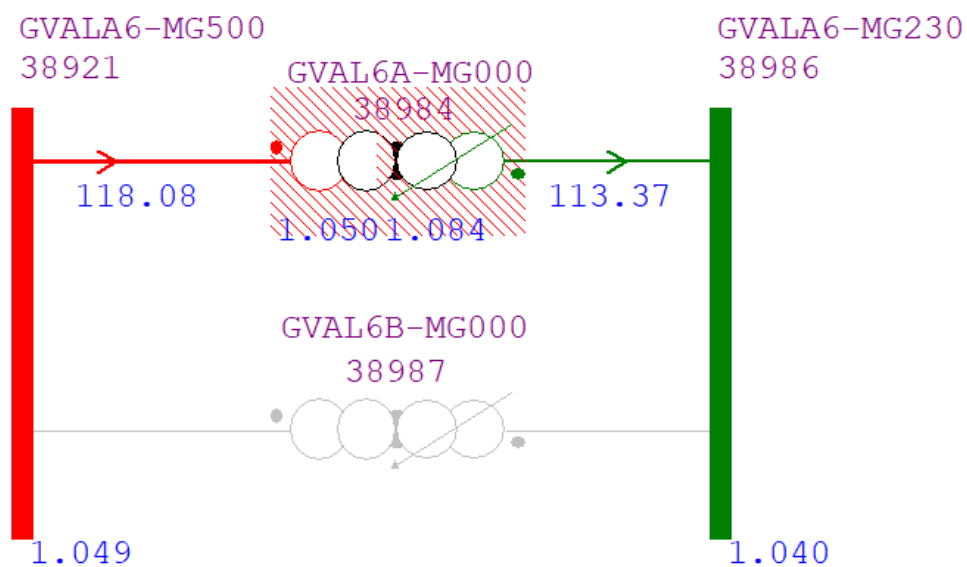


Figura 50 - Alternativa 3 - Ano 2037 - Regime de Contingência Transformação SE Governador Valadares 6

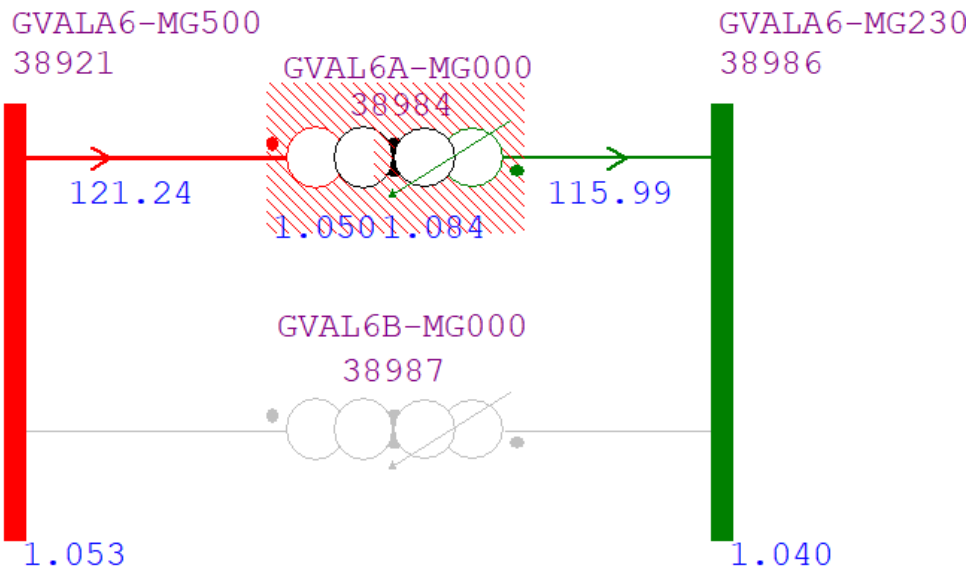


Figura 51 - Alternativa 3 - Ano 2038 - Regime de Contingência Transformação SE Governador Valadares 6

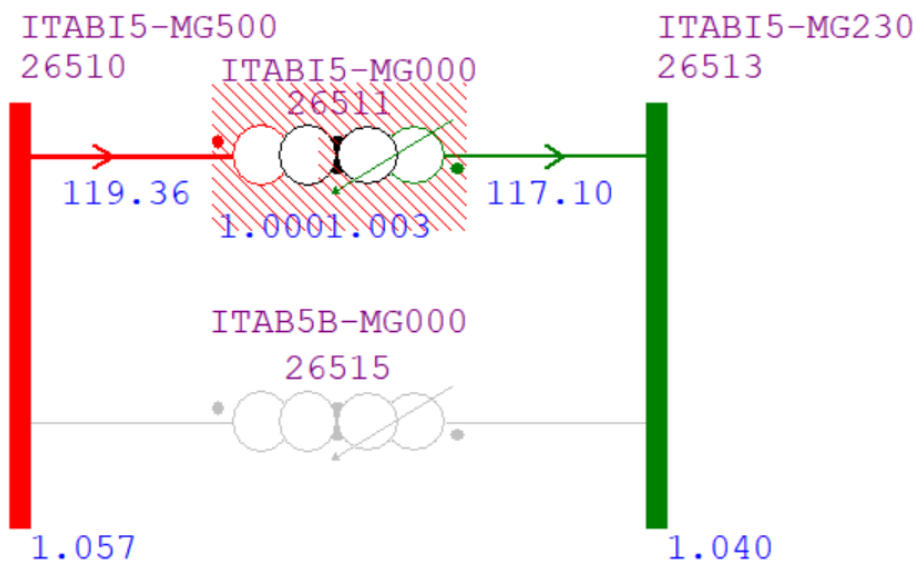


Figura 52 - Alternativa 3 - Ano 2037 - Regime de Contingência Transformação SE Itabira 5

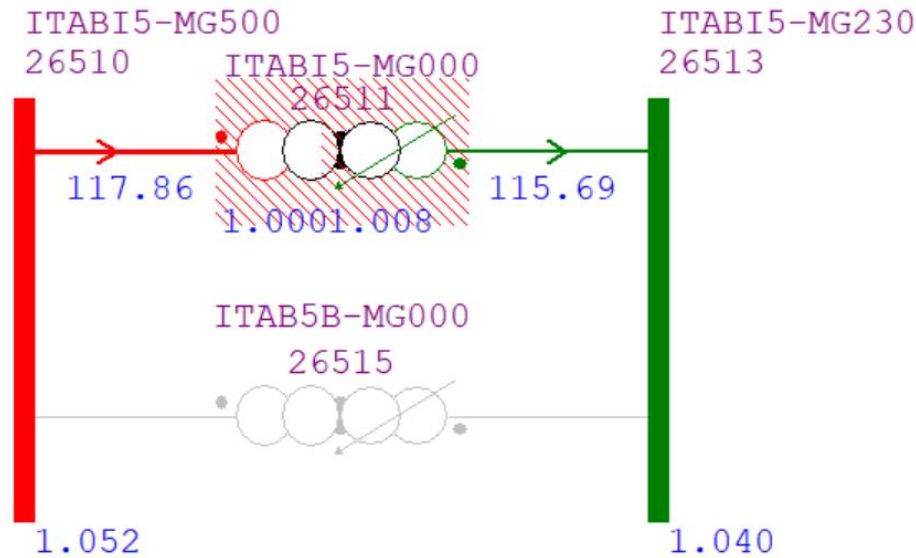


Figura 53 - Alternativa 3 - Ano 2038 - Regime de Contingência Transformação SE Itabira 5

Verifica-se carregamentos adequados nas transformações de ambas as subestações no ano de 2037 embora muito próximos do limite máximo de 120%. Porém, no ano de 2038 ocorre violação no carregamento da SE Governador Valadares 6 (121,24%). Assim é necessário estudo específico para estas subestações para alívio do carregamento.

### 8.3.2 Alternativa 3 – Período entre os anos 2038 e 2047

Para o período entre os anos de 2038 e 2047, as tabelas abaixo apresentam os resultados da extrapolação do carregamento das transformações das Subestações em estudo. Destaca-se que os carregamentos superiores a 85% foram destacados em vermelho como ponto de atenção.

Tabela 31 - Alternativa 3 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Pesada – 2038 a 2047

SE	Ano	2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047	
		Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	T1	189	47,3%	192	48,1%	196	48,9%	199	49,7%	202	50,5%	206	51,4%	209	52,2%	212	53,1%	215,9	54,0%	220	54,9%
	T4	194	48,6%	198	49,4%	201	50,2%	204	51,1%	208	51,9%	211	52,8%	215	53,6%	218	54,5%	221,8	55,4%	225	56,4%
	ATF1	293	39,1%	298	39,7%	303	40,4%	308	41,0%	313	41,7%	318	42,4%	323	43,1%	329	43,8%	334,1	44,6%	340	45,3%
Governador Valadares 6	T1	417	69,5%	430	71,7%	443	73,9%	457	76,2%	471	78,6%	486	81,0%	501	83,5%	517	<b>86,1%</b>	532,9	<b>88,8%</b>	549	<b>91,6%</b>
	T2	417	69,5%	430	71,7%	443	73,9%	457	76,2%	471	78,6%	486	81,0%	501	83,5%	517	<b>86,1%</b>	532,9	<b>88,8%</b>	549	<b>91,6%</b>
Itabira 5	T1	462	61,5%	471	62,7%	480	64,0%	489	65,2%	499	66,5%	509	67,8%	519	69,1%	529	70,5%	539	71,9%	550	73,3%
	T2	462	61,5%	471	62,7%	480	64,0%	489	65,2%	499	66,5%	509	67,8%	519	69,1%	529	70,5%	539	71,9%	550	73,3%

Tabela 32 - Alternativa 3 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Média – 2038 a 2047

SE	Ano	2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047	
		Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	T1	132	32,9%	132	33,0%	132	33,1%	133	33,2%	133	33,2%	133	33,3%	134	33,4%	134	33,5%	134,4	33,6%	135	33,7%
	T4	135	33,8%	135	33,9%	136	34,0%	136	34,0%	137	34,1%	137	34,2%	137	34,3%	138	34,4%	137,9	34,5%	138	34,6%
	ATF1	204	27,1%	204	27,2%	205	27,3%	205	27,3%	206	27,4%	206	27,5%	207	27,6%	207	27,6%	207,8	27,7%	208	27,8%
Governador Valadares 6	T1	255	42,5%	264	44,0%	273	45,5%	283	47,1%	292	48,7%	302	50,4%	313	52,1%	324	53,9%	334,9	55,8%	346	57,7%
	T2	255	42,5%	264	44,0%	273	45,5%	283	47,1%	292	48,7%	302	50,4%	313	52,1%	324	53,9%	334,9	55,8%	346	57,7%
Itabira 5	T1	511	68,1%	519	69,1%	526	70,2%	534	71,2%	542	72,3%	550	73,3%	558	74,4%	566	75,5%	574,7	76,6%	583	77,8%
	T2	511	68,1%	519	69,1%	526	70,2%	534	71,2%	542	72,3%	550	73,3%	558	74,4%	566	75,5%	574,7	76,6%	583	77,8%

Tabela 33 - Alternativa 3 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Pesada em contingência N-1 – 2038 a 2047

SE	Contingência	Ano	2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047	
			Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	Perda ATF1	T1	293	73,4%	298	74,6%	303	75,8%	308	77,1%	313	78,3%	319	79,6%	324	81,0%	329	82,3%	334,7	83,7%	340	<b>85,1%</b>
		T4	301	75,3%	306	76,6%	311	77,8%	317	79,1%	322	80,5%	327	81,8%	333	83,1%	338	84,5%	343,7	<b>85,9%</b>	349	<b>87,4%</b>
		ATF1	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Governador Valadares 6	Perda T2	T1	727	<b>121,2%</b>	750	<b>125,0%</b>	773	<b>128,9%</b>	797	<b>132,9%</b>	822	<b>137,0%</b>	848	<b>141,3%</b>	874	<b>145,7%</b>	901	<b>150,2%</b>	929,4	<b>154,9%</b>	958	<b>159,7%</b>
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Itabira 5	Perda T2	T1	819	<b>109,2%</b>	835	<b>111,4%</b>	852	<b>113,6%</b>	868	<b>115,8%</b>	885	<b>118,0%</b>	903	<b>120,4%</b>	920	<b>122,7%</b>	938	<b>125,1%</b>	956,8	<b>127,6%</b>	976	<b>130,1%</b>
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

Tabela 34 - Alternativa 3 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Média em contingência N-1 – 2038 a 2047

SE	Contingência	Ano	2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047	
			Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	Perda ATF1	T1	203	50,9%	204	51,0%	204	51,1%	205	51,2%	206	51,4%	206	51,5%	207	51,6%	207	51,8%	207,7	51,9%	208	52,1%
		T4	209	52,2%	209	52,4%	210	52,5%	211	52,6%	211	52,8%	212	52,9%	212	53,0%	213	53,2%	213,3	53,3%	214	53,5%
		ATF1	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Governador Valadares 6	Perda T2	T1	427	71,1%	441	73,5%	457	76,1%	472	78,7%	489	81,4%	506	84,3%	523	<b>87,2%</b>	541	<b>90,2%</b>	559,9	<b>93,3%</b>	579	<b>96,5%</b>
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Itabira 5	Perda T2	T1	884	<b>117,9%</b>	897	<b>119,6%</b>	910	<b>121,4%</b>	924	<b>123,2%</b>	938	<b>125,0%</b>	951	<b>126,9%</b>	965	<b>128,7%</b>	980	<b>130,6%</b>	994,3	<b>132,6%</b>	1009	<b>134,5%</b>
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

Para esta alternativa, em regime de operação normal, não se observaram violações de carregamento dos transformadores. Contudo, assim como visto nas alternativas anteriores, para operação em contingência N-1 verificou-se sobrecargas inadmissíveis na SE Governador Valadares 6 desde o ano de 2038, chegando a 159% no ano de 2047, e na SE Itabira 5 desde o ano de 2040, alcançando 134% em 2047. Permanece a recomendação de estudo específico para apresentação de soluções estruturais para o problema em questão.

### 8.3.3 Alternativa 3 – Período entre os anos de 2047 e 2050

Entre os anos em questão, os resultados são apresentados nas tabelas abaixo, as quais foram obtidas conforme metodologia de extrapolação do carregamento proposta.

Tabela 35 - Alternativa 3 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Pesada – 2047 a 2050

SE	Ano Trafo	2047		2048		2049		2050	
		MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA	%
Mesquita	ATF1	412	55,0%	419	55,9%	426	56,8%	433	57,7%
	ATF2	412	55,0%	419	55,9%	426	56,8%	433	57,7%
Governador Valadares 6	T1	538	89,6%	554	92,4%	572	95,3%	589	98,2%
	T2	538	89,6%	554	92,4%	572	95,3%	589	98,2%
Itabira 5	T1	532	71,0%	543	72,4%	553	73,8%	564	75,2%
	T2	532	71,0%	543	72,4%	553	73,8%	564	75,2%

Tabela 36 - Alternativa 3 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Média – 2047 a 2050

SE	Ano	2047		2048		2049		2050	
		Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	ATF1	247	33,0%	248	33,0%	248	33,1%	249	33,2%
	ATF2	247	33,0%	248	33,0%	248	33,1%	249	33,2%
Governador Valadares 6	T1	341	56,9%	353	58,9%	365	60,9%	378	63,0%
	T2	341	56,9%	353	58,9%	365	60,9%	378	63,0%
Itabira 5	T1	578	77,0%	586	78,2%	595	79,3%	604	80,5%
	T2	578	77,0%	586	78,2%	595	79,3%	604	80,5%

Tabela 37 - Alternativa 3 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Pesada em contingência N-1 – 2047 a 2050

SE	Contingência	Ano	2047		2048		2049		2050	
			Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	Perda ATF2	ATF1	704	93,9%	716	95,5%	728	97,0%	740	98,7%
		ATF2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Governador Valadares 6	Perda T2	T1	925	154,2%	954	159,0%	984	164,0%	1014	169,1%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Itabira 5	Perda T2	T1	933	124,4%	951	126,8%	970	129,3%	989	131,8%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

Tabela 38 - Alternativa 3 - Evolução Carregamento da Transformação - Carga Média em contingência N-1 – 2047 a 2050

SE	Contingência	Ano	2047		2048		2049		2050	
			Trafo	MVA	%	MVA	%	MVA	%	MVA
Mesquita	Perda ATF2	ATF1	422	56,2%	423	56,4%	424	56,5%	425	56,7%
		ATF2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Governador Valadares 6	Perda T2	T1	573	95,5%	593	98,9%	614	102,3%	635	105,8%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Itabira 5	Perda T2	T1	992	132,3%	1007	134,2%	1022	136,2%	1037	138,2%
		T2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

Os resultados demonstraram carregamento dentro dos limites permitidos para os anos em questão, em regime normal de operação, mantendo-se o ponto de atenção para a SE Governador Valadares 6, cujo percentual está próximo de 100%. Em contingência, observa-se violações de carregamento em Governador Valadares 6 (próximos a 170% em 2050) e Itabira 5 (138% em 2050), e deverá ser objeto de estudo específico.

## 9.0 ANÁLISE ECONÔMICA

A comparação dos custos entre as alternativas considerou os parâmetros indicados no item 5.7 deste relatório. Para o cálculo dos custos das perdas foram considerados os casos mais atuais disponibilizados pela EPE referentes ao Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2034.

### 9.1 Comparação Econômica

As Tabelas abaixo apresentam os custos referentes às alternativas avaliadas.

Tabela 39 - Comparação dos Rendimentos Necessários das Alternativas

Alter.	Valor Presente (VP) (milhões R\$)		%	
	Investimento (milhões R\$)	Investimento (milhões R\$) - VP 2037*	Total	Truncado
<b>Alternativa 1 - 2 x 650 MVA</b>	156,37	112,02	100,0%	100,0%
<b>Alternativa 2 - 2 x 700 MVA</b>	162,10	116,13	103,7%	103,7%
<b>Alternativa 3 - 2 x 750 MVA</b>	167,64	120,09	107,2%	107,2%

\*Anos 2037 a 2076, considerando todo o período de vida útil dos novos equipamentos

Tabela 40 - Custo Diferencial de Perdas

Custos de Perdas				
Alternativa		Custos (Milhões R\$)	Diferencial (R\$ x 1000)	Ordem
<b>1</b>	Dois Bancos Autotransformadores 3 + 1R 500/230 kV, 650 MVA, cada	- R\$ 2,838	R\$ 0,32	3°
<b>2</b>	Dois Bancos Autotransformadores 3 + 1R 500/230 kV, 700 MVA, cada	- R\$ 3,154	R\$ 0,00	1°
<b>3</b>	Dois Bancos Autotransformadores 3 + 1R 500/230 kV, 750 MVA, cada	- R\$ 3,047	R\$ 0,11	2°

Tabela 41 - Comparação Econômica

<b>Rendimentos Necessários + Custos de Perdas</b>						
<b>Alternativa</b>		<b>Custos Perdas (Milhões R\$)</b>	<b>Investimento (milhões R\$) - VP 2037*</b>	<b>Custos (Milhões R\$)</b>	<b>(%)</b>	<b>Ordem</b>
<b>1</b>	2 (Dois) Bancos Autotransformadores 3 + 1R 500/230 kV, 650 MVA, cada	- R\$ 2,838	19,18	R\$ 16,34	100%	1°
<b>2</b>	2 (Dois) Bancos Autotransformadores 3 + 1R 500/230 kV, 700 MVA, cada	- R\$ 3,154	19,88	R\$ 16,73	102%	2°
<b>3</b>	2 (Dois) Bancos Autotransformadores 3 + 1R 500/230 kV, 750 MVA, cada	- R\$ 3,047	20,56	R\$ 17,51	107%	3°

\*Anos 2037 e 2038 utilizados para subsidiar a correta comparação com o cálculo das perdas, possíveis de serem calculados nestes anos

Somados os custos das perdas e dos investimentos necessários para a implantação das obras de cada alternativa, a Alternativa 1 foi a que apresentou a solução de menor custo global. Entretanto, como houve uma diferença menor que 5% entre as alternativas 1 e 2, cabe-se uma análise mais aprofundada sobre os benefícios diferenciais de cada uma das alternativas.

## 9.2 Discussão dos Resultados

A Alternativa 2, que contempla a instalação de 2 (dois) bancos autotransformadores de 700 MVA, cada, provoca uma redução do fluxo nas transformações das SEs Governador Valadares 6 e Itabira 5 com a utilização de transformadores com potências maiores, contribuindo para o alívio no carregamento destes e conseqüente postergação nos investimentos em reforços nestas subestações, sendo, portanto, mais eficaz que a Alternativa 1 neste quesito.

Adicionalmente, a SE Mesquita, conforme informado nos itens anteriores, é responsável pelo suprimento energético de importantes consumidores industriais acessantes da Rede Básica. Está em discussão, com Parecer de Acesso viável já emitido (ONS N°

DTA-2024-PA-0095-R0-ra), a ampliação da demanda contratada do acessante APERAM, com um incremento de 50 MW adicionais em Jan/2030, fato que impactará no carregamento da SE Mesquita e nas demais SEs da região. Existe ainda a possibilidade de um incremento maior da demanda contratada do acessante APERAM, o que ensejará em maior fluxo na transformação da SE Mesquita, reforçando a necessidade de um transformador de potência instalada maior.

Ademais, outros acessantes consumidores da Rede Básica podem em algum momento vir a solicitar ampliação da demanda contratada, exigindo ainda mais da transformação da SE Mesquita e de outras SEs da região em análise.

De tudo exposto, considerando os valores obtidos da análise de Mínimo Custo Global, bem como a análise acima explicitada, indica-se a implantação da **Alternativa 2**, como a melhor para o sistema elétrico.

## 10.0 ANÁLISE DE DESEMPENHO DINÂMICO – ESTABILIDADE ELETROMECAÂNICA

Foram realizadas análises referentes ao desempenho dinâmico do compensador síncrono CS1. Os resultados constam no relatório OP/PL-1166-SE Mesquita-R1 – Planejamento dos Recursos de Controle de Tensão da SE Mesquita – R1 e no item 13.0.

## 11.0 ANÁLISE DE SUPERAÇÃO DE BARRAMENTOS E EQUIPAMENTOS

A análise de superação de equipamentos tem como foco principal a SE Mesquita. Os atuais barramentos de 230 kV da referida SE possuem capacidade máxima de 3.491 A em regime permanente e a capacidade de curta duração é de 4.084 A, considerando ciclo diário de 30 minutos.

Entretando a configuração dos barramentos possui interligações entre equipamentos com 2 (dois) condutores Ruddy por fase. Sendo assim, a capacidade máxima do barramento é de 2146 A para operação em regime permanente e a capacidade de curta duração é de 2510 A, para ciclos diários de 30 min.

As simulações indicaram que após a execução da obra, em cenário mais crítico, a corrente dos barramentos pode chegar a 2145 A, muito próxima do limite atual. Recomenda-se, então adequações nos barramentos, mais especificamente a substituição dos cabos Ruddy por condutores de maior capacidade, de modo a possibilitar a utilização da capacidade total de corrente do barramento, que é de 3.491 A, muito superior ao valor previsto. Alternativamente, pode-se avaliar a adição de mais condutores por fase, de modo a permitir a utilização máxima do barramento de 230 kV da SE Mesquita.

Os barramentos de 500 kV da SE Mesquita e os barramentos dos demais níveis de tensão das SEs da região estudada não tiveram sua capacidade superada.

## 12.0 ANÁLISE DE CURTO-CIRCUITO

As análises de curto-circuito foram realizadas utilizando-se a base de dados da EPE, atualizada em dezembro/2024.

A Tabela 42 apresenta os valores de curto-circuito máximo das barras mais relevantes da região do estudo, considerando os cenários sem e com a implantação das obras indicadas na Alternativa 2, nos anos de 2037 e 2038.

Tabela 42 - Níveis de Curto-circuito Máximo (kA) na Alternativa 2

Barra	Variação CC Trifásico					Variação CC Monofásico					Variação CC Bifásico				
	2036 CC (kA)	2036/2037 %	2037 CC (kA)	2036/2038 %	2038 CC (kA)	2036 CC (kA)	2036/2037 %	2037 CC (kA)	2036/2038 %	2038 CC (kA)	2036 CC (kA)	2036/2037 %	2037 CC (kA)	2036/2038 %	2038 CC (kA)
MESQUI-MG230	23,57	5,940%	24,97	5,982%	24,98	26,61	4,961%	27,93	4,998%	27,94	26,02	5,265%	27,39	5,304%	27,40
MESQUI-MG500	17,69	1,413%	17,94	1,470%	17,95	15,68	2,360%	16,05	2,423%	16,06	17,27	1,679%	17,56	1,737%	17,57
IPATI1-MG230	21,43	5,226%	22,55	5,273%	22,56	22,5	4,044%	23,41	4,089%	23,42	22,72	4,621%	23,77	4,665%	23,78
TIMOT2-MG230	12,39	2,906%	12,75	2,986%	12,76	9,26	1,404%	9,39	1,512%	9,40	12,08	2,566%	12,39	2,566%	12,39
TIMOTE-MG230	11,83	2,790%	12,16	2,790%	12,16	8,9	1,461%	9,03	1,461%	9,03	11,48	2,439%	11,76	2,526%	11,77
ITABIS-MG500	22,53	1,065%	22,77	1,154%	22,79	18,84	0,902%	19,01	1,008%	19,03	21,73	1,058%	21,96	1,150%	21,98
ITABIS-MG230	26,48	0,944%	26,73	1,020%	26,75	26,27	0,761%	26,47	0,914%	26,51	26,88	0,893%	27,12	1,004%	27,15
ITAB2-MG230	21,69	1,060%	21,92	1,107%	21,93	20,19	0,842%	20,36	1,238%	20,44	21,58	1,112%	21,82	1,251%	21,85
ITAB4-MG230	22,57	0,930%	22,78	0,975%	22,79	19,64	0,560%	19,75	0,662%	19,77	22,21	0,720%	22,37	0,810%	22,39
GVALA6-MG500	23,89	0,795%	24,08	0,837%	24,09	18,99	0,527%	19,09	0,474%	19,08	22,68	0,750%	22,85	0,750%	22,85
GVALA6-MG230	23,41	0,897%	23,62	0,897%	23,62	24,83	0,725%	25,01	0,725%	25,01	24,41	0,819%	24,61	0,778%	24,60
GVALA2-MG230	16,54	0,786%	16,67	0,786%	16,67	16,71	0,718%	16,83	0,658%	16,82	16,95	0,767%	17,08	0,767%	17,08
TAQUAR-MG345	20,59	0,583%	20,71	0,631%	20,72	19,11	0,314%	19,17	0,366%	19,18	20,41	0,490%	20,51	0,539%	20,52
TAQUAR-MG230	15,91	0,314%	15,96	0,377%	15,97	14,96	0,267%	15,00	0,267%	15,00	15,62	0,320%	15,67	0,320%	15,67

Não foram encontrados problemas de superação de equipamentos e nem níveis proibitivos de curto-circuito. Não foi identificada variação do nível de curto-circuito superior a 10% nas barras da região de objeto do estudo.

## 13.0 ANÁLISES COMPLEMENTARES

### 13.1.1 Reator de Derivação Variável (RDV)

O escopo deste estudo também contemplou para uma avaliação da necessidade do Compensador Síncrono CS 1, bem como dos bancos de capacitores C1, C2, C3 e C4 instalados na SE Mesquita. O detalhamento das análises consta no documento [10] OP/PL-1166-SE Mesquita-R1 – Planejamento dos Recursos de Controle de Tensão da SE Mesquita – R1, anexo.

As análises foram realizadas por meio de simulações no software ANATEM, as quais verificaram o comportamento do sistema elétrico, do ponto de vista dinâmico e estático, com e sem a presença do Compensador Síncrono e dos Bancos de Capacitores.

Foram incorporados ao relatório diagnósticos obtidos por meio de verificação das medições nas barras de 500 kV da Subestação Mesquita. Tal verificação foi fundamental para a confirmação das conclusões e recomendações contidas em [10].

Abaixo as conclusões e recomendações constantes no anexo:

- Não se verificou problemas de violação do limite inferior de tensão na ausência dos bancos de capacitores da SE Mesquita;
- A presença do Compensador Síncrono CS1 da SE Mesquita apresentou pouca contribuição dinâmica para a região Leste de Minas Gerais;
- **Na análise estática (regime), na condição atual de operação verificou-se violações do limite superior de tensão na barra de 500 kV da SE Mesquita, e, portanto, insuficiência de recursos de controle de tensão para contribuir com absorção de potência reativa e redução da tensão.** A tendência do comportamento da tensão é de se manter ou elevar no futuro, resultando na necessidade de equipamentos de controle de tensão na região avaliada;
- Dada a necessidade de equipamentos de controle de tensão na região avaliada (atual e futura), o planejamento de Longo Prazo em curso para a SE Mesquita, e o fato dessa subestação ser a única a não possuir reator (tornando vulnerável seu controle de tensão em regime), recomenda-se a indicação de um reator 500 kV para SE Mesquita;
- Para melhorar a qualidade da tensão e reduzir chaveamentos de equipamentos de controle de reativo no SIN, a utilização de um reator de derivação variável na SE Mesquita é uma alternativa adequada do ponto de vista técnico;

- Recomenda-se para SE Mesquita o uso de um **banco de reatores monofásicos de derivação variável, com capacidade total de 180 Mvar (3+1 x 60 Mvar) ou 200 Mvar (3+1 x 66,7 Mvar) com regulação linear e faixa ajustável do reativo de 50 a 100%** de sua capacidade nominal.

### 13.1.2 Compensador Síncrono CS1

O documento do ONS PAR/PEL-2024, Plano de Operação de Médio Prazo do SIN, capítulo 9 [11], demonstra a criticidade da elevada penetração das fontes baseadas em inversores (IBRs) no sistema elétrico, contribuindo para a redução da potência de curto-circuito, inércia e margens de estabilidade. Os índices MISCR (Multi-Infeed Short Circuit Ratio) e MIIF (Multi-Infeed Interaction Factor) indicados neste documento podem ser úteis na estimativa do grau de influência dos inversores em uma determinada barra do sistema, bem como na escolha da melhor localização para a instalação de um determinado compensador síncrono em um determinado ponto do sistema, que possa responder de forma eficaz para o aumento da estabilidade dinâmica. Os resultados apresentados naquele estudo ressaltam a importância de uma abordagem sistemática para identificar os pontos mais vulneráveis da rede e determinar soluções eficientes para garantir o desempenho seguro do SIN diante das transformações em curso no Setor Elétrico Brasileiro.

No documento ONS PAR/PEL-2024 [11], é demonstrado que a presença do compensador síncrono fortalece o suporte dinâmico em áreas com alta presença de recursos baseados em inversores (IBRs), contribuindo para a segurança e resiliência do SIN diante dos desafios e incertezas em curso no setor, bem como para a redução dos cortes de geração renovável variável (“curtailment”), objeto de um outro estudo relevante elaborado pelo ONS (Relatório Técnico ONS DGL 0189 / 2025, GT CORTES DE GERAÇÃO) [12].

A substituição do sistema de excitação existente do compensador síncrono CS1 da SE Mesquita por um sistema com recursos de excitação negativa, aliado a melhorias no projeto do compensador e substituição de componentes, podem proporcionar um

incremento na capacidade de absorção de potência reativa do CS1, passando o mesmo a ter uma capacidade de -100/+100 Mvar, frente aos atuais -60/+100 Mvar, bem como a extensão de sua vida útil. Este reforço não impacta necessariamente em um aumento da área ocupada no arranjo existente, podendo ser mantida a mesma configuração atual, visto que não há acréscimo na potência máxima do equipamento, sem necessidade de alteração da estrutura civil / expansão da SE. Importante frisar também que, em uma primeira avaliação, é possível manter o transformador T1 existente como um transformador exclusivo para o CS1, isolando o enrolamento que não seria utilizado (no caso, o enrolamento de 230 kV). A vida útil deste transformador vai até dez/2047.

Importante enfatizar que é possível a manutenção do compensador síncrono e seu transformador T1, associado a reforços, melhorias e alterações no projeto do equipamento, sem que haja interferências ou alterações significativas no arranjo proposto para a nova modularização da SE, a qual contempla a substituição dos transformadores existentes por dois novos bancos de autotransformadores monofásicos de 700 MVA cada e suas respectivas fases reservas, conforme detalhado ao longo deste relatório.

A questão da estabilidade pode se tornar crítica, no horizonte de médio e longo prazos, na medida em que fontes intermitentes associadas a IBRs estão cada vez mais frequentes na região leste do estado de MG, onde já existe uma presença maciça de aproximadamente 515 MW de empreendimentos a base de IBRs, incluindo MMGD, GD e GC, em operação e com contratos assinados, conforme dados informados pela CEMIG Distribuição, e sumarizados na Tabela 41 abaixo.

Tabela 41 – Situação atual de GD e GC (contratos assinados) na região leste do estado de MG – Fonte: Cemig D

Região	Subestação	MicroGD (Todas - MW)*	MiniGD (UFV - MW)	Total (MW)
Ipatinga	Ipatinga 1	25,485	3,96	29,445
	Ipatinga 2	26,146	0,74	26,886
	Ipatinga 3	27,157	4,36	31,517
Coronel Fabriciano	Coronel Fabriciano	20,787	1,5	22,287
Timóteo	Timóteo	18,057	5,13	23,187
Nova Era	Nova Era	7,3	2,37	9,67
João Monlevade	João Monlevade 3	12,966	1,807	14,773
Itabira 2	Itabira 2	9,351	7,37	16,721
Itabira 6	Itabira 6	3,12	13,48	16,6
Itabira 3	Itabira 3	2,752	12,24	14,992
Gov. Valadares 1	Governador Valadares 1	18,93	0,9	19,83
Gov. Valadares 2	Gov. Valadares 2	39,53	6,15	45,68
Gov. Valadares 3	Gov. Valadares 3	7,93	1,4	9,33
Gov. Valadares 5	Gov. Valadares 5	7,8	6	13,8
Conselheiro Pena	Conselheiro Pena	12,67	15,67	28,34
Resplendor	Resplendor	8,26	4,8	13,06
Naque 1	Naque 1	7,71	3,87	11,58
Engenheiro Caldas	Engenheiro Caldas	10,6	6,4	17
PCH Peti	PCH Peti	7	1,5	8,5
Barão de Cocais 1	Barão de Cocais 1	1,38	0,1	1,48
Barão de Cocais 4	Barão de Cocais 4	3,8	2,44	6,24
Caratinga	Caratinga	20,84	11,26	32,1
Inhapim	Inhapim 2	22,28	7,4	29,68
Pipoca	Pipoca	0	0	0
Ipanema	Ipanema	13	0,9	13,9
Coroaci 1	Coroaci 1	2,27	0	2,27
Coroaci 3	Coroaci 3	1,17	5	6,17
São João Evangelista	São João Evangelista	2,5	9	11,5
Peçanha 2	Peçanha 2	1,17	0	1,17
Central de Minas	Central de Minas	8,3	2,5	10,8
Mantena	Mantena	6,7	1	7,7
Frei Inocência	Frei Inocência	3,75	9,85	13,6
Campanário	Campanário	4,8	0,77	5,57
				515,378

Neste contexto, sugere-se uma avaliação mais detalhada do real impacto das fontes intermitentes na estabilidade de médio e longo prazos, com o cálculo dos índices MISCR

e MIIF na SE Mesquita e região, de forma a se identificar uma eventual viabilidade de manutenção do CS1 na SE Mesquita sob o ponto de vista da estabilidade dinâmica, aliado ao seu potencial suporte de tensão e fluxo de reativos nos dois quadrantes. É inegável que o sistema precisará cada vez mais de fontes de inércia natural para aumentar o índice MISCR e as margens de estabilidade das subestações do estado de MG e das regiões brasileiras com alta penetração de fontes renováveis, preocupação que está em evidência pelo setor elétrico frente ao cenário de transição energética e fortes desafios operacionais do sistema. Pode-se afirmar que a presença dos compensadores síncronos distribuídos tem se mostrado uma solução eficaz do ponto de vista técnico para manutenção da estabilidade sistêmica, visto que os IBRs, mesmo que sejam do tipo formadores de rede, não possuem a mesma capacidade de agregar inércia rotacional (MW.s) e níveis de curto-circuito das máquinas síncronas.

Além da questão dinâmica, a conversão do compensador CS1 de -60/100 para -100/100 Mvar da SE Mesquita pode se mostrar útil para auxiliar a manter os níveis de tensão dentro dos níveis admissíveis preconizados pelos Procedimentos de Rede. O uso do CS1 associado a um reator variável pode se mostrar uma ótima solução e suficiente para manter os níveis de tensão dentro dos limites no horizonte de médio e longo prazos, visto ao forte incremento de potência reativa capacitiva previsto no item 6.2.2 do relatório 02.111-OP/PL-1166 [10], onde se constata que o saldo de potência reativa que será agregado na região é fortemente capacitivo, de aproximadamente 480 Mvar, impactando em tendência no aumento do nível de tensão para a SE Mesquita no médio e longo prazos. O relatório indica ainda, no item 6.2.1, que o CS1 é utilizado quase que diariamente para absorção de potência reativa do sistema em regime, deixando evidenciada a sua relevância dentro do controle de tensão desta SE.

### 13.1.3 Análise Ambiental – Ampliação Setor 500 kV - SE Mesquita

Foi realizada uma análise ambiental preliminar para possível ampliação do setor de 500 kV da SE Mesquita para a instalação do Reator de Derivação Variável. A análise apresentou as seguintes conclusões:

- Conforme art. 10 da Deliberação Normativa estadual 217/2017, as subestações de energia são dispensadas de licenciamento ambiental no âmbito estadual por não constarem no anexo único da referida Deliberação;
- A Deliberação 213/2017, que estabelece as tipologias de empreendimentos e atividades cujo licenciamento ambiental é atribuição dos Municípios, não traz em seu anexo único a atividade de subestação de energia elétrica, portanto de acordo com a legislação ambiental estadual, esta atividade também não é licenciada em âmbito municipal;
- Em se tratando de área urbana do município de Santana do Paraíso, a competência para as intervenções ambientais é municipal, conforme art. 4º do Decreto 47.749/2019:

Art. 4º – Compete aos órgãos ambientais estaduais autorizar as intervenções ambientais elencadas neste decreto.

§ 1º – Compete aos órgãos ambientais municipais autorizar as intervenções ambientais previstas neste decreto, respeitadas as competências dos demais entes federativos, nas seguintes situações:

I – em área urbana, quando não vinculada ao licenciamento ambiental de competência dos demais entes federativos;

II – quando vinculada ao licenciamento ambiental municipal, excetuadas as previsões da legislação especial;

III – no Bioma Mata Atlântica, em área urbana, a vegetação secundária em estágio médio de regeneração, nos casos de utilidade pública e interesse social, mediante anuência do órgão estadual competente.

- Assim sendo, deverá ser solicitado a este município as autorizações para a supressão vegetal, intervenção em APP (se houver) e autorização para terraplanagem. Como a área está inserida na Área de Preservação Ambiental - APA Santana do Paraíso, estas autorizações passarão por aprovação do Conselho Municipal de Desenvolvimento Ambiental – CODEMA;
- A depender do estágio da vegetação, ponto que será levantado durante o inventário florestal a ser realizado, poderá haver a necessidade de anuência do órgão estadual, bem como a emissão de Decreto Utilidade Pública - DUP da Mata Atlântica por parte da Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SEDE) de Minas Gerais.

## 14.0 REFERÊNCIAS

- [1]. Critérios e Procedimentos para o Planejamento da Expansão dos Sistemas de Transmissão – Volume II;
- [2]. Procedimentos de Rede do ONS;
- [3]. Procedimentos de Distribuição – PRODIST;
- [4]. EPE-DEE-NT-012/2018-rev1 - Definição de Parâmetros Iniciais Para o Planejamento de Linhas de Transmissão Aéreas;
- [5]. EPE-DEE-DEA-NT-004/2020rev0 - Diretrizes para a Elaboração dos Relatórios Técnicos para a Licitação de Novas Instalações da Rede Básica;
- [6]. EPE-DEE-NT-034/2022 - Custo Marginal de Expansão - Metodologia de cálculo 2020”, julho de 2022;
- [7]. Base de Referência de Preços ANEEL – abril/2025;
- [8]. EPE-DEE-IT-030/2025 - Informe Técnico - Atualização dos Parâmetros Econômicos de Referência para os Estudos de Expansão da Transmissão do Ciclo de Planejamento 2025;
- [9]. ABNT NBR 5356-7 – Transformadores de Potência Parte 7: Guia de carregamento para transformadores imersos em líquido isolante;
- [10]. OP/PL-1166-SE Mesquita-R1 – Planejamento dos Recursos de Controle de Tensão da SE Mesquita – R1;
- [11]. PAR/PEL-2024, Plano de Operação de Médio Prazo do SIN – Operador Nacional do Sistema – ONS;
- [12]. Relatório Técnico ONS DGL 0189/2025, Grupo de Trabalho Cortes de Geração.

## 15.0 EQUIPE TÉCNICA

Lucas Simões de Oliveira – EPE/STE

Armando Leite Fernandes – EPE/STE

Davi José Alvarez Magalhães – EPE/STE

Iago Stanciolle Alves da Silva – EPE/STE

Everson José Corradi de Matos – CEMIG GT - (EI/ET)

Álvaro Batista Cançado – CEMIG GT - (EI/ET)

Valter Alves Moreira – CEMIG GT - (EI/ET)

Lucas Amaro dos Santos – CEMIG GT - (EI/ET)

Adinilton Magalhães – CEMIG GT - (EI/ET)

Francisco Tavares Silveira – CEMIG GT - (EI/ET)

Rodnei Dias dos Anjos – CEMIG GT - (OP/PL)

Rafael Montes Fontoura – CEMIG GT - (OP/PL)

Felipe de Oliveira Silva Zanon – CEMIG GT - (OP/PL)

## 16.0 ANEXOS

### 16.1 Ficha PET/PELP

#### INSTALAÇÕES DE TRANSMISSÃO DE REDE BÁSICA

##### Sistema Interligado da Região SUDESTE

<b>Empreendimento:</b> <b>SE 500/230 kV MESQUITA (Ampliação/Adequação)</b>	<b>UF: MG</b>
	<b>DATA DE NECESSIDADE: Jan/2027</b>
	<b>PRAZO DE EXECUÇÃO: 60 meses</b>

##### Justificativa:

Final de vida útil física de ativos

##### Obras e Investimentos Previstos: (R\$ x 1.000)

Desativação dos Bancos de Capacitores C1, C2, C3 e C4	1.569,00
Desativação do Transformador T3	747,00

**Total de Investimentos Previstos: 2.316,00**

##### Situação atual:

##### Observações:

Não desempenha mais papel sistêmico relevante e pode ser desativado ao final da sua vida útil física.

##### Documentos de referência:

[1] Custos Modulares da ANEEL – Janeiro de 2025.

**INSTALAÇÕES DE TRANSMISSÃO DE REDE BÁSICA**

**Sistema Interligado da Região SUDESTE**

<b>Empreendimento:</b>  <b>SE 500/230 kV MESQUITA (Ampliação/Adequação)</b>	<b>UF: MG</b>
	<b>DATA DE NECESSIDADE: Jan/2029</b>
	<b>PRAZO DE EXECUÇÃO: 60 meses</b>

**Justificativa:**

Controle de tensão

**Obras e Investimentos Previstos: (R\$ x 1.000)**

1º Reator de Barra Variável 500 kV, (3+1R) x 66,7 Mvar 1Φ <sup>(1)</sup>	27.637,10
1 IB (Interligação de Barras) 500 kV, Arranjo DJM	15.210,65
1 CRB (Conexão de Reator de Barra) 500 kV, Arranjo DJM	12.562,37
Desativação do compensador síncrono CS1 +100/-60 Mvar, conectado ao terciário do autotransformador T1 (CS1) <sup>(2)</sup>	1.208,29
MIM - 500 kV	4.617,52

**Total de Investimentos Previstos: 61.235,93**

**Situação atual:**

**Observações:**

<sup>(1)</sup> Foi considerado um sobrecusto referencial de 20% para o custeio do equipamento.

<sup>(2)</sup> O CS1 não desempenha mais papel sistêmico relevante e pode ser desativado ao final da sua vida útil física

**Documentos de referência:**

[1] Custos Modulares da ANEEL – Janeiro de 2025.

---

## INSTALAÇÕES DE TRANSMISSÃO DE REDE BÁSICA

### Sistema Interligado da Região SUDESTE

<b>Empreendimento:</b>	UF: <b>MG</b>
<b>SE 500/230 kV MESQUITA (Ampliação/Adequação)</b>	DATA DE NECESSIDADE: <b>Jan/2037</b>
	PRAZO DE EXECUÇÃO: <b>60 meses</b>

#### Justificativa:

Atendimento ao critério N-1. Final de vida útil física de ativos

---

#### Obras e Investimentos Previstos: (R\$ x 1.000)

1º ATF 500/230 kV, (3+1R) x 233,33 MVA 1Φ	62.956,64
Desativação do Transformador T2	747,00

---

**Total de Investimentos Previstos: 63.703,64**

---

#### Situação atual:

---

#### Observações:

Para a conexão do novo transformador serão utilizadas as conexões aos barramentos da subestação já existentes.

O transformador T2 não desempenha mais papel sistêmico relevante e pode ser desativado ao final da sua vida útil física.

---

#### Documentos de referência:

[1] Custos Modulares da ANEEL – Janeiro de 2025.

## INSTALAÇÕES DE TRANSMISSÃO DE REDE BÁSICA

### Sistema Interligado da Região SUDESTE

<b>Empreendimento:</b>	UF: <b>MG</b>
<b>SE 500/230 kV MESQUITA (Ampliação/Adequação)</b>	DATA DE NECESSIDADE: <b>Jan/2047</b>
	PRAZO DE EXECUÇÃO: <b>60 meses</b>

#### Justificativa:

Final de vida útil física de ativos. Final de vida útil física de ativos. Atendimento ao critério N-1

#### Obras e Investimentos Previstos: (R\$ x 1.000)

Remanejamento do Transformador T4 para reserva fria	1.449,08
Desativação do Transformador T1	747,00
2º ATF 500/230 kV, (3+1R) x 233,33 MVA 1Φ	62.956,64

**Total de Investimentos Previstos: 65.152,72**

#### Situação atual:

#### Observações:

#### Documentos de referência:

[1] Custos Modulares da ANEEL – Janeiro de 2025.

---

**INSTALAÇÕES DE TRANSMISSÃO DE REDE BÁSICA**

**Sistema Interligado da Região SUDESTE**

<b>Empreendimento:</b>	<b>UF: MG</b>
<b>SE 500/230 kV MESQUITA (Ampliação/Adequação)</b>	<b>DATA DE NECESSIDADE: Jan/2050</b>
	<b>PRAZO DE EXECUÇÃO: 60 meses</b>

**Justificativa:**

Final de vida útil física de ativos

---

**Obras e Investimentos Previstos: (R\$ x 1.000)**

Desativação do Transformador T4 747,00

**Total de Investimentos Previstos: 747,00**

---

**Situação atual:**

---

**Observações:**

---

**Documentos de referência:**

[1] Custos Modulares da ANEEL – Janeiro de 2025.

16.2 Projeções de Mercado (Cargas Pesada, Média e Leve)

Numero	Nome	Area	2027		2028		2029		2030		2031		2032		2033		2034		2035		2036		2037		2038		
			Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)
1611	ABRUCIA-M0138	26	17,23	-3,99	17,18	-3,83	16,95	-3,68	16,65	-3,49	16,45	-3,31	16,08	-3,1	16,71	-2,89	17,26	-2,68	17,97	-2,46	17,63	-2,27	18,33	-2,04	19,05	-1,81	
1614	CAMPINA-M0138	26	6,92	4,18	6,7	4,13	6,67	4,08	7,09	4,03	7,22	3,97	7,55	3,91	7,79	3,85	8,03	3,79	8,26	3,73	8,51	3,67	8,77	3,6	9,04	3,53	
1615	CARATI-M0138	26	96,4	2,65	91,75	2,15	93,05	1,69	94,75	1,03	96,64	0,37	98,24	0,29	69,06	0,19	61,91	1,85	63,67	2,34	65,35	3,04	67,54	3,8	69,59	4,56	
1616	CEPINA-M0230	24	23,91	7,21	24,57	7,44	25,2	7,66	26	7,95	26,84	8,24	27,69	8,54	28,58	8,85	29,46	9,17	30,31	9,46	31,21	9,76	32,18	10,17	33,17	10,47	
1617	FINOCE-M0138	26	7,59	2,7	7,72	2,78	7,89	2,88	8,17	2,94	8,43	3,03	8,7	3,13	8,98	3,23	9,25	3,32	9,51	3,42	9,78	3,52	10,1	3,62	10,41	3,74	
1618	GVALAO-M0230	24	31,85	0,17	32,73	0,15	33,58	0,47	34,7	0,88	35,87	1,32	37,09	1,77	38,33	2,23	39,63	2,72	40,89	3,18	42,21	3,66	43,52	4,15	44,85	4,65	
1621	INAMP-M0138	26	22,41	12,08	22,96	12,29	23,56	12,69	24,27	13,08	25,02	13,49	25,78	13,9	26,57	14,32	27,27	14,75	28,12	15,16	29,33	15,59	29,79	16,06	30,68	16,54	
1624	NAQUET-M0138	26	11,35	3,8	11,67	3,91	11,97	4,01	12,27	4,14	12,78	4,29	13,21	4,42	13,64	4,57	14,09	4,72	14,52	4,87	14,98	5,02	15,45	5,17	15,92	5,33	
1627	INAOB-M0138	26	9,43	1,33	9,69	1,26	9,94	1,38	10,25	1,54	10,59	1,71	10,93	1,88	11,28	2,05	11,63	2,23	11,96	2,4	12,32	2,56	12,7	2,77	13,09	2,96	
1628	JEQUET-M0138	26	44,81	7,51	46,07	7,91	47,29	8,29	48,24	8,78	50,46	9,29	52,11	9,81	53,81	10,34	55,33	10,89	57,18	11,41	58,95	11,96	60,77	12,54	62,64	13,13	
1629	MANHUA-M0138	26	4,75	1,91	4,88	1,96	5,01	2,01	5,17	2,07	5,34	2,14	5,51	2,21	5,68	2,28	5,85	2,35	6,03	2,42	6,21	2,49	6,4	2,57	6,5	2,65	
1632	PECAN-M0138	26	19,46	1,5	19,98	1,63	20,49	1,77	21,14	1,94	21,82	2,12	22,51	2,3	23,22	2,48	23,94	2,67	24,62	2,85	25,35	3,04	26,14	3,25	26,94	3,46	
1633	PPRVAL-M0138	26	17,04	1,36	18,33	1,18	18,8	1,01	19,41	0,8	20,04	0,57	20,68	0,34	21,34	0,1	22	0,14	22,64	0,37	23,32	0,61	24,04	0,87	24,78	1,14	
1634	GVAL2-M0069	26	16,87	3,08	17,26	3,24	17,74	3,4	18,32	3,59	18,91	3,8	19,52	4,01	20,15	4,27	20,79	4,44	21,29	4,65	22,04	4,87	22,73	5,11	23,42	5,35	
1636	TOICNI-M0138	26	46,47	11,76	47,26	12,25	48,04	11,8	48,79	12,59	49,59	13,33	52,24	13,95	53,92	14,59	55,66	15,25	57,41	15,92	59,09	16,55	60,88	17,23	62,77	17,95	
1639	GUANDE-M0138	26	38,01	30,98	39,04	31,29	40,04	31,8	41,22	31,99	42,65	32,89	44,01	33,8	45,34	34,79	46,62	35,66	48,16	36,07	49,59	36,9	51,12	37,9	52,69	39,46	
1641	IPATD-M0138	26	41,59	0,21	42,54	0,42	43,45	0,61	44,62	0,85	45,83	1,13	47,07	1,39	48,34	1,67	49,63	1,94	50,87	2,21	52,15	2,5	53,56	2,79	54,97	3,09	
1642	SERRAD-M0138	26	3,57	1,88	3,67	1,94	3,76	1,99	3,88	2,05	4,01	2,12	4,13	2,18	4,27	2,25	4,4	2,32	4,52	2,39	4,66	2,46	4,8	2,54	4,95	2,61	
1643	CHINUS-M0138	26	42,77	14,58	43,95	14,98	45,09	15,37	46,56	15,87	48,1	16,39	49,67	16,93	51,78	17,49	53,33	18,04	54,51	18,58	56,2	19,15	57,94	19,75	59,72	20,35	
1647	MCLAO-M0138	24	52,54	11,98	54,02	12,5	55,46	13,01	57,3	13,66	59,2	14,33	61,15	15,02	63,19	15,79	65,19	16,45	67,14	17,14	69,23	17,88	71,37	18,64	73,57	19,41	
26477	IPAT11-M0013	26	22,13	1,53	22,74	1,74	23,33	1,94	24,11	2,2	24,92	2,48	25,77	2,77	26,63	3,06	27,53	3,37	28,4	3,67	29,33	3,96	30,23	4,29	31,15	4,61	
26481	THOET-M0012	26	17,08	1,85	17,52	1,69	17,97	1,54	18,35	1,34	18,9	1,14	19,86	0,92	20,52	0,7	21,22	0,47	21,89	0,25	22,6	0,01	23,3	0,22	24,01	0,46	
26642	CCHMO1-M0138	26	9,87	2,54	10,14	2,65	10,4	2,76	10,73	2,9	11,08	3,04	11,43	3,18	11,8	3,33	12,16	3,48	12,51	3,63	12,89	3,78	13,29	3,94	13,69	4,11	
26841	NANUQU-M0138	26	9,7	0,77	9,97	0,84	10,24	0,9	10,58	0,98	10,83	1,06	11,3	1,15	11,67	1,24	12,04	1,33	12,41	1,41	12,79	1,5	13,19	1,59	13,6	1,65	
26844	THMO1-M0138	26	3,37	6,02	3,37	6,02	3,37	6,02	3,37	6,02	3,37	6,02	3,37	6,02	3,37	6,02	3,37	6,02	3,37	6,02	3,37	6,02	3,37	6,02	3,37	6,02	3,37
26847	FERRUS-M0138	26	4,55	1,52	4,67	1,56	4,79	1,6	4,94	1,65	5,1	1,71	5,26	1,76	5,43	1,82	5,6	1,88	5,76	1,93	5,93	1,99	6,11	2,05	6,2	2,11	
26916	MONLEZ-M0069	26	23,41	2,96	24,05	3,24	24,69	3,51	25,5	3,26	26,33	3,98	27,15	4,69	28,06	5,4	28,95	6,1	29,8	7,06	30,71	8,01	31,66	9,19	32,63	10,13	
26919	INAE-M0013	26	11,96	4,01	12,29	4,17	12,61	4,22	13,01	4,35	13,44	4,5	13,87	4,65	14,31	4,79	14,76	4,94	15,18	5,09	15,64	5,24	16,12	5,4	16,62	5,57	
26920	INAE-M0013	26	38,03	1,64	38,07	1,97	40,07	2,3	41,25	2,72	42,68	3,15	44,04	3,6	46,44	4,05	48,56	4,52	48,21	4,96	49,66	5,43	51,18	5,93	52,72	6,43	
26928	GVAL1-M0138	26	7,31	2,45	7,51	2,52	7,71	2,72	7,96	2,67	8,27	2,75	8,48	2,84	8,76	2,91	9,04	3,03	9,3	3,12	9,58	3,21	9,88	3,31	10,18	3,41	
26929	GVAL1-M0138	26	20,26	1,33	20,94	1,54	21,39	1,74	22,1	1,99	22,83	2,25	23,58	2,53	24,35	2,81	25,14	3,09	25,89	3,36	26,7	3,61	27,52	3,92	28,27	4,25	
26929	CORFAR-M0069	26	19,79	-1,77	20,34	-1,58	20,88	-1,4	21,57	-1,17	22,29	-0,93	23,02	-0,69	23,78	-0,43	24,54	-0,18	25,28	0,07	26,06	0,33	26,87	0,6	27,69	0,88	
26972	CAJANG-M0138	26	22,22	5,28	22,83	5,03	23,41	4,89	24,25	4,49	24,93	4,49	25,72	3,84	26,54	3,51	27,26	3,17	28,14	2,85	28,97	2,51	29,87	2,24	30,79	1,76	
27005	DIVINO-M0138	26	7,29	2,44	7,48	2,51	7,68	2,59	7,88	2,65	8,17	2,74	8,43	2,83	8,7	2,89	8,97	3,01	9,22	3,09	9,5	3,18	9,79	3,28	10,09	3,38	
27032	CARLE-M0138	26	26,19	5,17	26,9	5,41	27,59	5,64	28,48	5,94	29,4	6,25	30,33	6,56	31,3	6,91	32,28	7,21	33,2	7,52	34,2	7,86	35,26	8,21	36,34	8,58	
27203	EQUR-M0138	26	10,22	2,55	10,49	2,69	10,76	2,88	11,11	2,77	11,47	2,96	11,84	3,16	12,21	3,04	12,6	3,14	12,96	3,23	13,36	3,33	13,76	3,43	14,17	3,53	

Número	Nome	Área	2027		2028		2029		2030		2031		2032		2033		2034		2035		2036		2037		2038	
			Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)
1511	AVACUA-MO138	26	21,46	4,1	22,73	-3,96	23,29	-3,78	25,34	-3,61	26,06	-3,39	26,76	-3,16	27,46	-2,91	28,21	-2,65	28,89	-2,43	29,61	-2,18	30,37	-1,9	31,15	-1,62
1514	CAMPAN-MO138	26	11,62	-4,24	11,96	-4,18	12,32	-4,12	12,67	-4,06	13,02	-3,97	13,35	-3,88	13,67	-3,79	14,01	-3,7	14,32	-3,61	14,62	-3,52	14,92	-3,43	15,22	-3,34
1515	CARATI-MO138	26	49,1	3,63	51,28	4,17	52,81	4,61	54,59	5,24	56,86	5,91	58,8	6,58	60,76	7,26	62,77	7,96	64,65	8,63	66,65	9,36	68,76	10,1	70,89	10,87
1516	CERNA-MO230	24	31,43	1,02	33,73	1,17	34,83	1,34	36,98	1,56	38,12	1,79	39,24	2,06	40,36	2,34	41,56	2,64	42,64	2,93	43,8	3,23	45	3,53	46,24	3,89
1517	FINDOE-MO138	26	9,49	2,01	9,69	2,09	9,91	2,16	10,16	2,26	10,43	2,36	10,7	2,46	10,96	2,57	11,25	2,67	11,52	2,77	11,79	2,88	12,08	3	12,39	3,11
1518	GUVAL2-MO138	26	9,69	-1,7	9,93	-1,66	10,22	-1,64	11,26	-1,6	11,6	-1,57	11,95	-1,52	12,29	-1,47	12,64	-1,43	12,98	-1,38	13,32	-1,32	13,68	-1,26	14,06	-1,2
1519	GUVAL2-MO230	24	34,98	8,54	36,93	8,26	38,23	7,97	40,06	7,58	42,07	7,17	43,69	6,72	45,34	6,26	47,04	5,78	48,65	5,34	50,26	4,84	52,06	4,36	53,78	3,86
1521	INAMP2-MO138	26	21,95	0,75	24,12	0,93	25,33	1,14	26,83	1,39	27,7	1,68	28,55	1,99	29,42	2,32	30,3	2,65	31,12	2,94	32	3,28	32,93	3,64	33,86	4,01
1522	IPAL11-MO138	26	30,74	-3,53	31,63	-3,33	33	-3,13	35,09	-2,89	36,44	-2,63	37,81	-2,38	39,2	-2,07	40,61	-1,78	41,94	-1,5	43,26	-1,19	44,62	-0,87	46,31	-0,53
1524	NAQUE1-MO138	26	8,66	3,17	11,46	3,12	11,69	3,22	12,01	3,36	12,33	3,5	12,67	3,65	13,07	3,79	13,37	3,95	13,7	4,09	14,06	4,25	14,43	4,4	14,8	4,57
1527	IPAD01-MO138	26	12,12	0,88	12,42	0,79	13,42	0,67	13,78	0,52	14,17	0,37	14,55	0,21	14,93	0,04	15,33	0,12	15,69	0,27	16,08	0,44	16,48	0,56	16,92	0,66
1528	JEQU11-MO138	26	36,51	5,87	37,69	6,23	38,96	6,61	40,22	7,1	41,61	7,62	43	8,15	44,44	8,7	45,9	9,27	47,25	9,79	48,72	10,35	50,24	10,94	51,8	11,54
1529	MANHUA-MO138	26	7,63	0,43	8,04	0,5	8,24	0,56	9,16	0,6	9,42	0,68	9,66	0,76	9,92	0,85	10,17	0,95	10,42	1,03	10,68	1,13	10,95	1,23	11,23	1,33
1532	PECANG-MO138	26	16,09	2,46	16,78	2,6	17,24	2,76	18,26	2,94	18,96	3,16	19,46	3,38	20,08	3,6	20,7	3,83	21,28	4,04	21,9	4,27	22,56	4,53	23,24	4,79
1533	PEVAL-MO138	26	15,67	-0,42	16,04	-0,25	17,8	-0,1	19,59	0,11	20,08	0,34	20,57	0,48	21,07	0,63	21,56	0,79	22,05	0,93	22,56	1,11	23,1	1,3	23,65	1,49
1534	GUVAL2-MO069	26	14,77	2,04	15,27	2,18	15,78	2,32	17,1	2,49	17,74	2,66	18,39	2,86	19,04	3,05	19,71	3,25	20,34	3,44	21	3,65	21,7	3,86	22,42	4,09
1536	TOTON1-MO138	26	36,57	6,75	37,69	7,16	38,82	7,56	41,17	8,07	42,7	8,61	44,16	9,16	45,67	9,74	47,19	10,32	48,61	10,86	50,14	11,44	51,74	12,06	53,37	12,69
1539	IPAL12-MO138	26	29,79	3,28	30,62	3,55	31,45	3,82	33,64	4,14	34,72	4,5	35,79	4,88	36,91	5,26	38,02	5,64	38,06	6	40,18	6,4	41,36	6,81	42,57	7,23
1532	SEGRAND-MO161	26	4,22	0,96	4,32	1	4,5	1,03	5,15	1,01	5,28	1,06	5,4	1,1	5,53	1,15	5,67	1,21	5,79	1,26	5,92	1,3	6,05	1,37	6,19	1,43
1533	MCLAND-MO138	24	73,84	11,65	75,67	12,25	78,32	12,83	80,55	13,59	82,91	14,38	85,29	15,2	87,69	16,03	90,15	16,89	92,45	17,67	94,92	18,53	97,45	19,42	100	20,33
26477	IPAL11-MO013	26	21,86	5,72	23,28	5,54	24,06	5,34	25,09	5,07	26,13	4,79	27,11	4,47	28,09	4,16	29,13	3,81	30,1	3,5	31,13	3,16	32,16	2,81	33,2	2,46
26481	THOIE-MO013	26	16,77	1,06	18,78	1,2	19,51	1,36	20,25	1,56	21,01	1,78	21,76	2,01	22,55	2,25	23,37	2,5	24,14	2,74	24,96	3	25,76	3,25	26,59	3,52
26942	CCHMO1-MO138	26	9,67	2,23	9,95	2,35	10,23	2,46	10,57	2,61	11,08	2,77	11,44	2,92	11,82	3,08	12,2	3,25	12,55	3,4	12,93	3,57	13,34	3,74	13,75	3,93
26943	NANQU-MO138	26	10,08	0,99	10,38	1,07	10,69	1,16	11,05	1,28	11,59	1,38	11,98	1,47	12,38	1,56	12,8	1,7	13,18	1,81	13,6	1,93	14,03	2,05	14,46	2,17
26944	FINOG1-MO138	26	10,04	-5,69	10,27	-5,72	10,48	-5,74	10,63	-5,75	10,73	-5,76	10,83	-5,76	10,92	-5,77	11,02	-5,77	11,11	-5,77	11,11	-5,77	11,21	-5,77	11,4	-5,77
26947	FIBOZ-MO138	26	3,08	1,3	3,18	1,34	3,27	1,37	3,39	1,43	3,52	1,48	3,65	1,53	3,78	1,59	3,91	1,65	4,04	1,7	4,17	1,75	4,32	1,83	4,46	1,88
26984	MNOVAZ-MO138	26	15,22	-0,19	16,42	-0,15	16,73	-0,06	18,95	-0,04	19,33	0,07	19,71	0,21	20,09	0,34	20,47	0,48	20,83	0,61	21,22	0,75	21,62	0,92	22,02	1,08
26916	MONL3-MO069	26	17,71	-0,55	18,29	-0,33	19,04	-0,11	20,59	0,14	21,34	0,4	22,11	0,68	22,9	0,95	23,69	1,25	24,43	1,51	25,23	1,81	26,07	2,12	26,92	2,44
26917	NEB1-MO069	26	9,62	3,32	9,92	3,42	10,21	3,52	11,68	3,59	12,08	3,74	12,47	3,88	12,87	4,03	13,26	4,16	13,65	4,32	14,05	4,48	14,48	4,64	14,92	4,8
26919	IBAZ2-MO013	26	30,28	-0,81	31,88	-0,55	34,12	-0,3	36,75	0	37,93	0,42	39,11	0,85	40,32	1,3	41,56	1,77	42,71	2,19	43,94	2,65	45,23	3,13	46,54	3,63
26920	IBAB3-MO069	26	7,57	-1,27	7,75	-1,64	8,47	-1,61	8,74	-1,51	8,96	-1,42	9,21	-1,32	9,45	-1,21	9,69	-1,1	9,91	-1	10,15	-0,9	10,41	-0,78	10,67	-0,66
26928	GUVAL1-MO138	26	32,37	-1,58	33,49	-1,24	34,61	-0,91	36,98	-0,48	37,4	-0,05	38,85	0,41	40,32	0,88	41,82	1,35	43,22	1,8	44,73	2,29	46,28	2,78	47,85	3,29
26939	COFRA3-MO069	26	19,41	-2,9	21,24	-2,76	21,97	-2,58	22,83	-2,36	23,71	-2,13	24,61	-1,87	25,5	-1,62	26,42	-1,37	27,29	-1,13	28,21	-0,87	29,15	-0,6	30,11	-0,32
26972	CARAN3-MO138	26	21,65	1,33	22,27	1,58	23,6	1,82	25,24	2,11	26,54	2,46	27,43	2,81	28,25	3,16	29,07	3,56	29,85	3,91	30,67	4,29	31,54	4,69	32,43	5,11
27005	DWNO-MO138	26	7,55	1,85	7,7	1,91	7,86	1,97	8,05	2,06	8,26	2,15	8,46	2,24	8,68	2,34	8,89	2,44	9,09	2,52	9,3	2,62	9,54	2,72	9,77	2,83
27032	CARL2-MO138	26	21,59	4,9	22,38	5,13	23,01	5,38	24,26	5,69	25,09	5,96	25,92	6,28	26,77	6,61	27,64	6,96	28,44	7,27	29,31	7,61	30,24	7,97	31,19	8,35
27203	EQER1-MO138	26	6,82	2,27	7,03	2,34	7,24	2,41	7,51	2,5	7,79	2,6	8,08	2,69	8,37	2,79	8,67	2,89	8,95	2,98	9,25	3,08	9,57	3,19	9,89	3,29

Número	Nome	Área	2027		2028		2029		2030		2031		2032		2033		2034		2035		2036		2037		2038		
			Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)	Carga Reativa (MVar)	Carga Ativa (MW)
1611	ABRUCMA-MG138	26	9,44	-1,07	9,71	0,94	9,97	0,82	9,97	0,82	10,67	0,5	11,03	0,34	11,4	0,17	11,77	0,01	12,13	0,17	12,51	0,38	12,92	0,52	13,34	0,73	
1614	CAMPAN-MG138	26	3,97	-1,89	4,09	-1,85	4,2	-1,8	4,2	-1,8	4,49	-1,69	4,64	-1,63	4,8	-1,57	4,95	-1,51	5,1	-1,45	5,26	-1,39	5,43	-1,32	5,61	-1,25	
1615	CARALI-MG138	26	17,96	7,04	18,46	7,3	18,96	7,56	18,96	7,56	20,26	8,26	20,94	8,6	21,63	8,97	22,34	9,34	23,01	9,69	23,72	10,07	24,49	10,47	25,27	10,88	
1616	CEPNA-MG230	24	13,59	5,02	13,97	5,2	14,35	5,37	14,35	5,37	15,35	5,83	15,87	6,07	16,4	6,31	16,94	6,56	17,45	6,79	18	7,04	18,59	7,31	19,19	7,59	
1617	FINOC-MG138	26	5,4	2,15	5,55	2,21	5,7	2,27	5,7	2,27	6,1	2,43	6,3	2,51	6,51	2,59	6,72	2,68	6,92	2,76	7,14	2,84	7,37	2,94	7,61	3,03	
1618	GWALQ-MG138	26	3,55	0,21	3,65	0,25	3,75	0,29	3,75	0,29	4,01	0,4	4,15	0,45	4,28	0,5	4,43	0,56	4,56	0,61	4,7	0,67	4,85	0,73	5,01	0,79	
1619	GWALQ-MG230	24	22,53	-2,26	23,17	-1,98	23,81	-1,71	23,81	-1,71	25,54	-0,96	26,46	-0,56	27,38	-0,16	28,36	0,26	29,31	0,67	30,31	1,1	31,29	1,53	32,3	1,97	
1621	INHAQ2-MG138	26	10,37	4,94	10,69	5,07	10,92	5,2	10,92	5,2	11,65	5,55	12,03	5,73	12,42	5,91	12,81	6,1	13,19	6,28	13,59	6,47	14,02	6,67	14,46	6,88	
1622	IPATI-MG138	26	16,29	4,29	16,76	4,5	17,23	4,71	17,23	4,71	18,46	5,26	19,1	5,55	19,76	5,84	20,43	6,14	21,07	6,43	21,76	6,74	22,46	7,05	23,19	7,38	
1624	NAQUEI-MG138	26	5,6	2,52	5,76	2,6	5,92	2,67	5,92	2,67	6,34	2,86	6,57	2,96	6,8	3,06	7,03	3,17	7,26	3,27	7,5	3,38	7,74	3,49	8	3,61	
1627	TAOBI-MG138	26	5,88	3,04	6,05	3,13	6,21	3,22	6,21	3,22	6,65	3,44	6,87	3,56	7,1	3,68	7,34	3,8	7,56	3,91	7,8	4,03	8,05	4,17	8,31	4,3	
1628	JEQUÍ-MG138	26	23,93	4,84	24,62	5,08	25,31	5,33	25,31	5,33	27,12	5,96	28,06	6,29	29,03	6,63	30,01	6,98	30,95	7,31	31,95	7,66	33	8,03	34,06	8,41	
1629	MANHA-MG138	26	2,52	1,36	2,6	1,4	2,67	1,43	2,67	1,43	2,85	1,51	2,95	1,59	3,05	1,64	3,15	1,69	3,24	1,74	3,35	1,8	3,45	1,86	3,57	1,92	
1632	PECANQ-MG138	26	7,23	1,87	7,43	1,9	7,63	1,99	7,63	1,99	8,16	2,21	8,44	2,32	8,72	2,44	9	2,56	9,27	2,67	9,56	2,79	9,88	2,92	10,19	3,06	
1633	PRABA-MG138	26	6,79	0,85	6,99	0,95	7,38	1,04	7,38	1,04	7,68	1,28	7,94	1,4	8,21	1,53	8,46	1,66	8,74	1,78	9,01	1,92	9,31	2,06	9,61	2,2	
1634	GWAL2-MG069	26	9,05	2,43	9,31	2,53	9,57	2,64	9,57	2,64	10,24	2,91	10,59	3,05	10,95	3,19	11,32	3,34	11,67	3,48	12,04	3,63	12,43	3,78	12,84	3,94	
1636	TONDA-MG138	26	19,05	4,96	19,59	5,2	20,14	5,44	20,14	5,44	21,55	6,06	22,29	6,27	23,05	6,52	23,82	7,06	24,55	7,38	25,33	7,73	26,16	8,09	27	8,46	
1649	GUANQ2-MG138	26	14,51	5,8	14,92	5,98	15,32	6,15	15,32	6,15	16,39	6,82	16,94	7,15	17,51	7,42	18,09	7,27	18,63	7,61	19,22	7,87	19,84	8,15	20,48	8,43	
1651	IPATQ-MG138	26	24,2	2,42	24,79	2,71	25,37	2,99	25,37	2,99	26,9	3,73	27,7	4,12	28,51	4,51	29,36	4,91	30,14	5,3	30,99	5,71	31,87	6,14	32,78	6,57	
1652	SERAND-MG161	26	1,26	0,81	1,3	0,83	1,32	0,85	1,32	0,85	1,43	0,91	1,47	0,94	1,52	0,98	1,57	1,01	1,62	1,04	1,67	1,07	1,72	1,1	1,78	1,14	
1661	CHINAS-MG138	26	21,5	9,98	22,11	10,26	22,72	10,54	22,72	10,54	24,33	11,29	25,18	11,88	25,04	12,08	25,92	12,49	27,77	12,88	28,67	13,3	29,6	13,74	30,56	14,18	
1817	MALQ2-MG138	24	41,73	11,17	42,95	11,69	44,36	12,21	44,36	12,21	47,33	13,55	48,98	14,26	50,67	14,98	52,4	15,71	54,05	16,42	55,82	17,17	57,64	17,94	59,5	18,74	
26477	IPATI-MG013	26	12,89	0,75	13,25	0,94	13,62	1,13	13,62	1,13	14,61	1,65	15,13	1,92	15,67	2,2	16,22	2,49	16,76	2,78	17,34	3,08	17,9	3,37	18,48	3,67	
26481	TRQTE-MG013	26	10,73	0,31	11,04	0,44	11,34	0,58	11,34	0,58	12,16	0,95	12,6	1,14	13,04	1,34	13,51	1,55	13,96	1,75	14,44	1,97	14,91	2,18	15,39	2,39	
26842	CCHMOI-MG138	26	6	2,77	6,17	2,85	6,34	2,92	6,34	2,92	6,78	3,13	7,01	3,23	7,25	3,34	7,48	3,45	7,71	3,56	7,95	3,67	8,21	3,79	8,48	3,91	
26843	NANOUQ-MG138	26	6,04	1,59	6,22	1,64	6,4	1,68	6,4	1,68	6,86	1,81	7,1	1,87	7,34	1,93	7,6	2	7,84	2,06	8,09	2,13	8,36	2,2	8,63	2,27	
26844	INHOI-MG138	26	1,68	-3,17	1,68	-3,17	1,68	-3,17	1,68	-3,17	1,68	-3,17	1,68	-3,17	1,68	-3,17	1,68	-3,17	1,68	-3,17	1,68	-3,17	1,68	-3,17	1,68	-3,17	1,68
26847	FERROS-MG138	26	2,24	1,01	2,31	1,04	2,37	1,07	2,37	1,07	2,53	1,14	2,62	1,18	2,7	1,22	2,79	1,26	2,88	1,3	2,97	1,34	3,07	1,38	3,16	1,43	
26894	MANVOZ-MG138	26	4,87	1	5	1,06	5,14	1,12	5,14	1,12	5,5	1,28	5,69	1,37	5,88	1,45	6,08	1,54	6,26	1,63	6,46	1,72	6,67	1,81	6,89	1,91	
26916	MONEL3-MG069	26	11,55	1,61	11,88	1,76	12,21	1,9	12,21	1,9	13,07	2,29	13,52	2,5	13,98	2,7	14,45	2,92	14,9	3,12	15,37	3,33	15,87	3,56	16,39	3,79	
26919	NEA1-MG013	26	5,9	2,66	6,07	2,74	6,23	2,81	6,23	2,81	6,67	3,01	6,9	3,11	7,13	3,21	7,38	3,32	7,59	3,42	7,83	3,53	8,08	3,64	8,34	3,76	
26920	IPABQ-MG069	26	3,6	1,63	3,71	1,67	3,81	1,72	3,81	1,72	4,08	1,84	4,27	1,9	4,36	1,97	4,51	2,03	4,65	2,1	4,8	2,16	4,95	2,23	5,11	2,31	
26928	GWALQ-MG138	26	17,39	0,46	17,9	0,66	18,4	0,88	18,4	0,88	19,72	1,34	20,41	1,6	21,11	1,86	21,83	2,13	22,52	2,38	23,26	2,66	24,01	2,94	24,79	3,23	
26939	CONFAL-MG069	26	9,76	4	10,04	3,87	10,33	3,74	10,33	3,74	11,06	4,11	11,45	4,34	11,85	4,58	12,25	4,88	12,63	5,17	13,05	5,52	13,47	5,83	13,91	6,13	
26972	CORANO-MG138	26	8,13	4,84	8,26	4,97	8,38	5,11	8,38	5,11	9,17	5,47	9,48	5,65	9,8	5,84	10,12	6,03	10,43	6,23	10,75	6,41	11,1	6,61	11,46	6,83	
27005	DIVANO-MG138	26	3,59	1,62	3,69	1,67	3,79	1,71	3,79	1,71	4,06	1,83	4,19	1,89	4,33	1,95	4,48	2,02	4,61	2,08	4,76	2,14	4,91	2,21	5,07	2,29	
27032	CARLI-MG138	26	12,91	4,62	13,28	4,79	13,64	4,95	13,64	4,95	14,59	5,38	15,09	5,6	15,59	5,83	16,11	6,06	16,6	6,28	17,12	6,52	17,68	6,77	18,25	7,03	
27203	JEQUÍ-MG138	26	4,07	1,64	4,19	1,68	4,31	1,73	4,31	1,73	4,6	1,85	4,76	1,91	4,92	1,98	5,08	2,04	5,24	2,11	5,4	2,17	5,58	2,24	5,75	2,31	





Superintendência de Operação de Ativos de Geração e Transmissão – OP  
Gerência de Planejamento Elétrico – OP/PL

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	3
2.	OBJETIVO .....	3
3.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	4
4.	EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE TENSÃO DA SE MESQUITA .....	5
5.	BANCOS DE CAPACITORES C1, C2, C3 E C4 .....	5
6.	COMPENSADOR SÍNCRONO CS1 .....	5
6.1.	ANÁLISE DINÂMICA.....	6
6.2.	ANÁLISE ESTÁTICA.....	11
7.	CARACTERÍSTICAS DE REATOR PARA SE MESQUITA .....	15
8.	REFERÊNCIAS .....	19
9.	CRÉDITOS .....	20

Classificação: Direcionado

## 1. INTRODUÇÃO

A SE Mesquita está localizada na área Leste de Minas Gerais, se conecta ao sistema de transmissão da área Minas Gerais através de linhas de transmissão e transformadores, possuindo setores de 500 kV e 230 kV.

O sistema de transmissão da área Minas Gerais, apresentado na Figura 1, é composto por malhas de 500 kV e de 345 kV, que interligam os centros de carga às UHE dos rios Paranaíba e Grande, além de interligações com os estados de Goiás, São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo. Existe ainda uma rede em 230 kV na região Leste que atende às cargas do Vale do Aço, estendendo-se até a divisa com o Espírito Santo. Por fim, há outra importante interligação, através de uma malha em 500 kV, entre a região Norte de Minas Gerais e o estado da Bahia, constituindo-se como um importante caminho para escoamento da energia excedente do subsistema Nordeste.

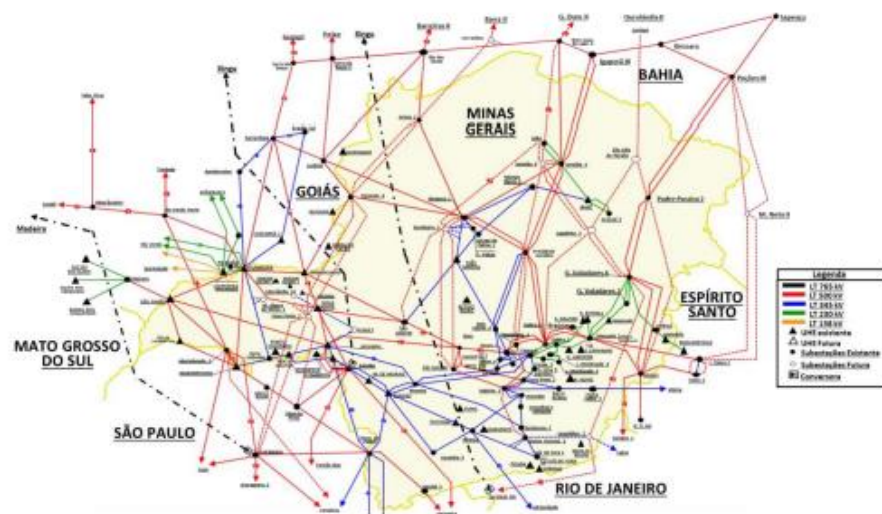


Figura 1 – Diagrama eletrogeográfico do sistema da área Minas Gerais

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo é avaliar o desempenho dos recursos de controle de tensão da SE Mesquita, e apresentar alternativas de reforço no sistema que permitam a evolução topológica da SE Mesquita dentro de um planejamento de longo prazo.

Esta avaliação é necessária, tendo em vista que diversos equipamentos da SE Mesquita encontram-se em final de vida útil regulatória.

Serão abordados neste trabalho aspectos estáticos e dinâmicos para o controle de tensão.

### 3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Não se verificou problemas de violação do limite inferior de tensão na ausência dos bancos de capacitores da SE Mesquita;
- A presença do Compensador Síncrono CS1 da SE Mesquita apresentou pouca contribuição dinâmica para a região Leste de Minas Gerais;
- Na análise estática (regime), na condição atual de operação verificou-se violações do limite superior de tensão na barra de 500 kV da SE Mesquita, e, portanto, insuficiência de recursos de controle de tensão para contribuir com absorção de potência reativa e redução da tensão. A tendência do comportamento da tensão é de se manter ou elevar no futuro, resultando na necessidade de equipamentos de controle de tensão na região avaliada;
- Dada a necessidade de equipamentos de controle de tensão na região avaliada (atual e futura), o planejamento de Longo Prazo em curso para a SE Mesquita, e o fato dessa subestação ser a única a não possuir reator (tomando vulnerável seu controle de tensão em regime), recomenda-se a indicação de um reator 500 kV para SE Mesquita;
- Para melhorar a qualidade da tensão e reduzir chaveamentos de equipamentos de controle de reativo no SIN, a utilização de um reator de derivação variável na SE Mesquita é uma alternativa adequada do ponto de vista técnico;
- Recomenda-se para SE Mesquita o uso de um banco de reatores monofásicos de derivação variável, com capacidade total de 180 Mvar (3+1 x 60 Mvar) ou 200 Mvar (3+1 x 66,7 Mvar) com regulação linear e faixa ajustável do reativo de 50 a 100% de sua capacidade nominal.

Esta avaliação é necessária, tendo em vista que diversos equipamentos da SE Mesquita encontram-se em final de vida útil regulatória.

Serão abordados neste trabalho aspectos estáticos e dinâmicos para o controle de tensão.

### 3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Não se verificou problemas de violação do limite inferior de tensão na ausência dos bancos de capacitores da SE Mesquita;
- A presença do Compensador Síncrono CS1 da SE Mesquita apresentou pouca contribuição dinâmica para a região Leste de Minas Gerais;
- Na análise estática (regime), na condição atual de operação verificou-se violações do limite superior de tensão na barra de 500 kV da SE Mesquita, e, portanto, insuficiência de recursos de controle de tensão para contribuir com absorção de potência reativa e redução da tensão. A tendência do comportamento da tensão é de se manter ou elevar no futuro, resultando na necessidade de equipamentos de controle de tensão na região avaliada;
- Dada a necessidade de equipamentos de controle de tensão na região avaliada (atual e futura), o planejamento de Longo Prazo em curso para a SE Mesquita, e o fato dessa subestação ser a única a não possuir reator (tornando vulnerável seu controle de tensão em regime), recomenda-se a indicação de um reator 500 kV para SE Mesquita;
- Para melhorar a qualidade da tensão e reduzir chaveamentos de equipamentos de controle de reativo no SIN, a utilização de um reator de derivação variável na SE Mesquita é uma alternativa adequada do ponto de vista técnico;
- Recomenda-se para SE Mesquita o uso de um banco de reatores monofásicos de derivação variável, com capacidade total de 180 Mvar (3+1 x 60 Mvar) ou 200 Mvar (3+1 x 66,7 Mvar) com regulação linear e faixa ajustável do reativo de 50 a 100% de sua capacidade nominal.

#### 4. EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE TENSÃO DA SE MESQUITA

Tabela 1 – Equipamentos de controle de tensão da SE Mesquita atualmente disponíveis na subestação.

EQUIPAMENTO	CONDIÇÃO ATUAL
Bancos de Capacitores C1, C2, C3 e C4 (25 Mvar cada) conectados ao terciário do T3	Vida útil regulatória esgotada
Compensador Síncrono CS1 (-60, +100 Mvar)	Vida útil regulatória esgotada

#### 5. BANCOS DE CAPACITORES C1, C2, C3 E C4

Os bancos de capacitores C1, C2, C3 e C4 encontram-se conectados ao terciário do Autotransformador T3 500/230-13,8 kV.

Os novos autotransformadores 500/230 kV previstos para SE Mesquita possuirão comutador sob carga, permitindo que a tensão do setor de 230 kV seja controlada.

##### Conclusão parcial C1:

Considerando este recurso, não se verificou problemas de violação do limite inferior de tensão na ausência dos bancos de capacitores.

#### 6. COMPENSADOR SÍNCRONO CS1

O Compensador Síncrono CS1 encontra-se atualmente conectado ao terciário do Autotransformador T1 500/230-13,8 kV. Esta topologia foi mantida nas análises apresentadas.

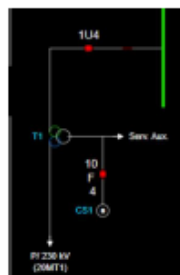


Figura 2 – Ponto de conexão CS1 da SE Mesquita

Este equipamento contribui para o controle de tensão através do fornecimento e absorção de potência reativa, em caráter estático (regime) e dinâmico.

Para desenvolvimento deste trabalho, adotou-se como premissa utilizar inicialmente as condições operativas do sistema atual (de curto prazo), e a partir da identificação de condições operativas mais relevantes, foi dada abrangência com análises específicas abordando os cenários futuros, a fim de garantir a robustez de eventuais soluções.

#### 6.1. ANÁLISE DINÂMICA

Nesta seção, será apresentada a análise dinâmica a fim de se obter a contribuição do Compensador Síncrono da SE Mesquita sob este aspecto para o sistema, onde foi utilizada a base de dados Anatem BD2411R2, disponibilizada pelo ONS em nov/2024.

Para avaliar a contribuição do CS1 com relação a inércia, tomando-se como referência o sistema atual, foi utilizado o caso 1Q2025\_Rev1 da base Anatem. Neste caso, buscou-se uma simulação severa para o sistema, que é a perda de 2 polos do elo Xingu-Estreito (polos 1 e 2), ou seja, a perda de um bipolo deste sistema de corrente contínua, operando previamente em potência nominal (4.000 MW). Nesta contingência, a participação das máquinas síncronas de forma imediata através da inércia é importante para minimizar a queda de frequência inicial, permitindo que nos instantes subsequentes haja atuação adequada da regulação primária e secundária de potência.

A Figura 3 apresenta a resposta de um dos polos que permaneceram em operação (polo 3), promovendo ação de run-up, e aumentando sua potência transmitida para fazer frente a perda dos 2 polos que foram desligados (polos 1 e 2) no instante 0,2s.

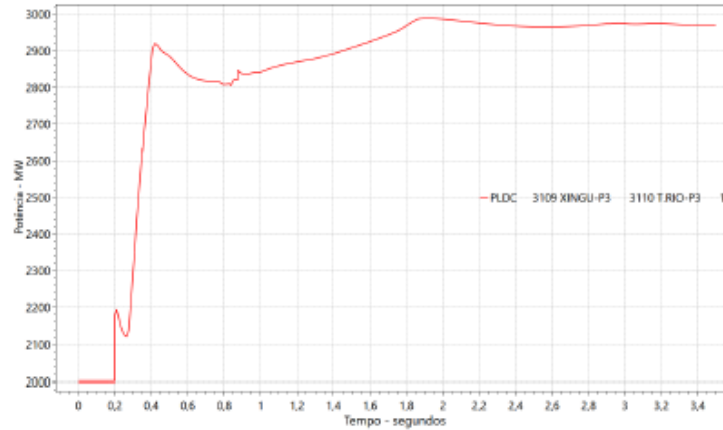


Figura 3 – Potência ativa no polo 3 do elo Xingu-Estreito no evento de perda dos polos 1 e 2

A Figura 4 apresenta a resposta de potência ativa do CS1 da SE Mesquita, dada por sua inércia, frente a esta perturbação. A contribuição imediata do síncrono foi de 13,5 MW de geração (13,5%).

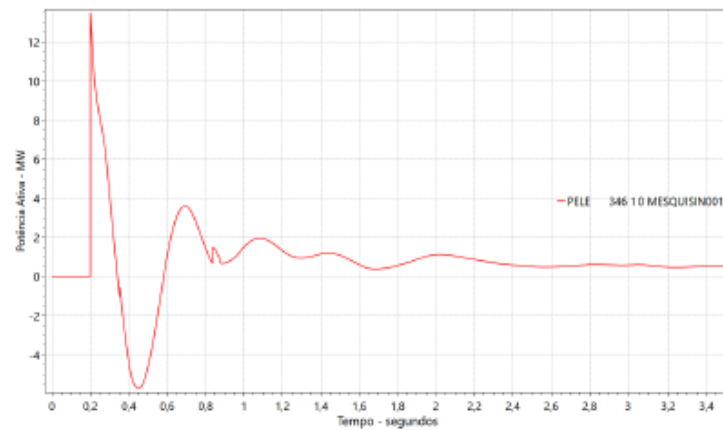


Figura 4 – Potência ativa do CS1 de Mesquita no evento de perda dos polos 1 e 2 do elo Xingu-Estreito

A Figura 5 apresenta a resposta de potência reativa do CS1 da SE Mesquita, frente a esta perturbação. A contribuição adicional atingiu cerca de 20 Mvar de geração (no instante 1s).

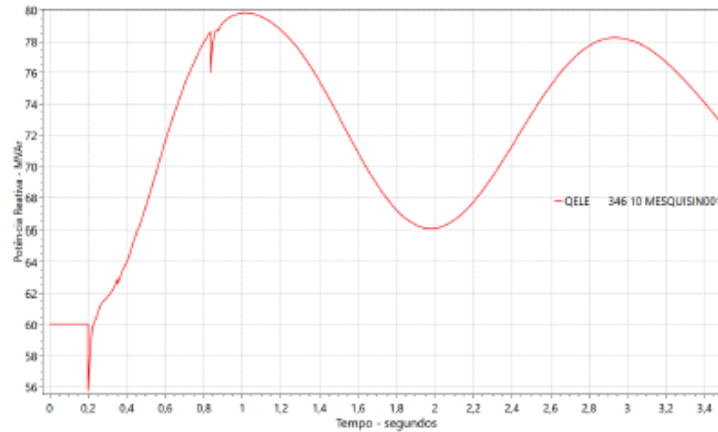


Figura 5 – Potência reativa do CS1 de Mesquita no evento de perda dos polos 1 e 2 do elo Xingu-Estreito.

A fim de avaliar as contribuições do CS1 frente a perturbações regionais, simulou-se eventos de curto-circuito próximos a SE Mesquita, sendo capturado o comportamento dinâmico do sistema com e sem o CS1. Para permitir a comparação fiel destas respostas, no caso com o CS1 ligado a potência reativa deste equipamento foi ajustada em valor próximo a zero em regime. O evento de curto-circuito monofásico foi simulado utilizando-se o método do reator equivalente, ajustado para uma tensão em falta sem o CS1 em tomo de 0,7 pu.

Os eventos simulados foram curto-circuito monofásico em linhas de transmissão de 500 kV e 230 kV, com localização próxima a SE Mesquita.

O tempo de eliminação da falta segue premissa do Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede do ONS [1], conforme abaixo:

- Barramento de 500 kV: 100 ms;
- Barramento de 230 kV: 150 ms.

A Figura 6 apresenta a tensão no barramento de 500 kV da SE Mesquita com o CS1 e sem o CS1, para o evento de curto-circuito na LT1 e LT2 500 kV Itabira 5 – Mesquita localizado próximo a SE Mesquita seguido de abertura destes circuitos.

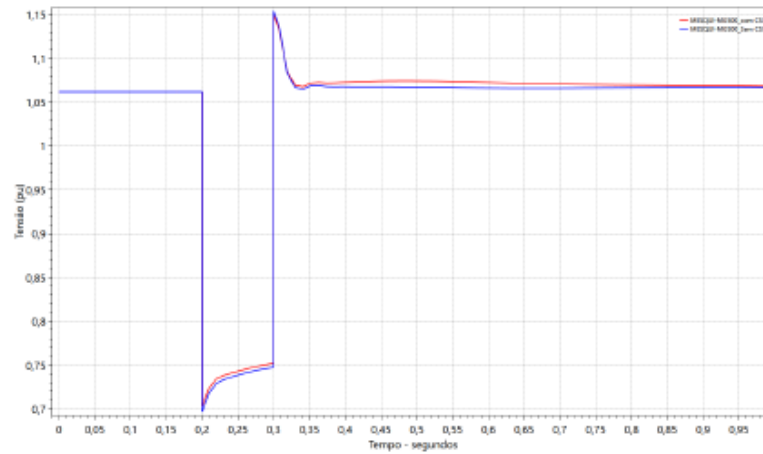


Figura 6 – Tensão no setor de 500 kV da SE Mesquita no evento de curto-circuito monofásico na LT1 e LT2 500 kV Itabira 5 – Mesquita seguido de abertura destes circuitos.

A contribuição de potência reativa gerada pelo Compensador Síncrono CS1 neste evento é apresentada na Figura 7.

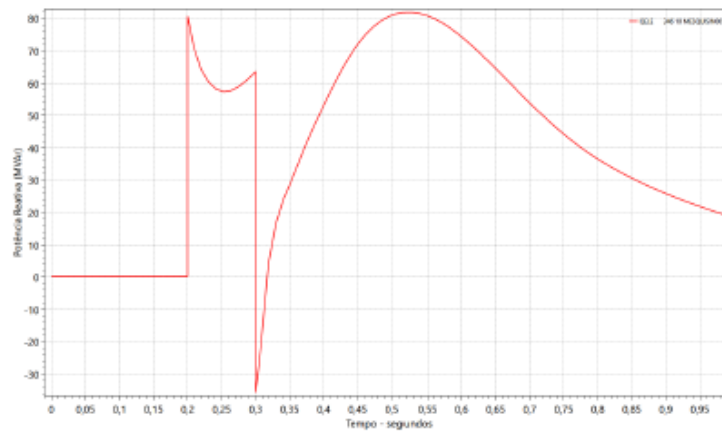


Figura 7 – Potência reativa do CS1 no evento de curto-circuito monofásico na LT1 e LT2 500 kV Itabira 5 – Mesquita seguido de abertura destes circuitos.

A Figura 8 apresenta a tensão no barramento de 230 kV da SE Mesquita com o CS1 e sem o CS1, para o evento de curto-circuito na LT 230 kV Mesquita – Governador Valadares 6 localizado próximo a SE Mesquita seguido de abertura deste circuito.

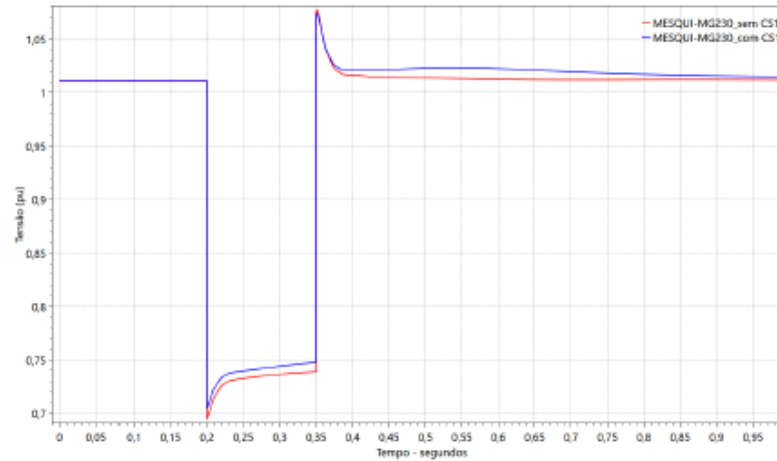


Figura 8 – Tensão no setor de 230 kV da SE Mesquita no evento de curto-circuito monofásico na LT 230 kV Mesquita – Governador Valadares 6 seguido de abertura deste circuito.

A contribuição de potência reativa gerada pelo Compensador Síncrono CS1 neste evento é apresentada na Figura 9.

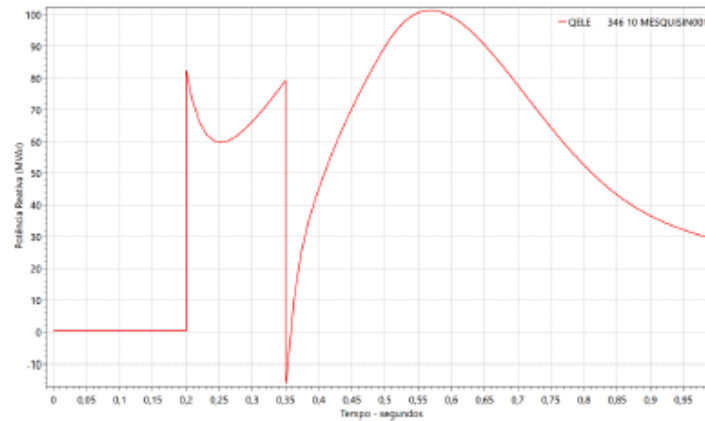


Figura 9 – Potência reativa do CS1 no evento de curto-circuito monofásico na LT 230 kV Mesquita – Governador Valadares 6 seguido de abertura deste circuito.

Outros eventos de curtos-circuitos próximos a SE Mesquita foram realizados e apresentaram resultados similares, não sendo incluídos neste relatório.

As simulações apresentadas referentes a análise dinâmica envolvendo o Compensador Síncrono CS1 da SE Mesquita demonstraram a contribuição deste equipamento nos eventos apresentados.

Nas simulações de curtos-circuitos próximos a SE Mesquita (de caráter regional), embora a contribuição de potência reativa do CS1 seja significativa com relação a sua potência nominal observa-se efeito pequeno de melhora no perfil de tensão da subestação (variando em torno de 1%).

Na simulação sistêmica severa de perda de um bipolo do elo CC Xingu-Estreito, a contribuição com inércia verificada é em cerca de 13,5 MW (13,5%), também considerada singela para o SIN. Cabe ressaltar que a forte entrada de geração fotovoltaica e eólica tem reduzido a participação percentual de fontes que possuem inércia no SIN, onde independentemente desta análise pontual associada ao CS1 da SE Mesquita, o tema continua sendo relevante e amplo no contexto do SIN.

#### Conclusão parcial 2:

Os resultados das simulações realizadas indicam que a presença do Compensador Síncrono CS1 da SE Mesquita apresenta pouca contribuição dinâmica para a região Leste de Minas Gerais.

## **6.2. ANÁLISE ESTÁTICA**

### **6.2.1. Configuração atual do SIN**

Nesta seção, busca-se avaliar o perfil de tensão em regime medido na SE Mesquita.

Para essa avaliação, foram observadas as tensões medidas no barramento de 500 kV da SE Mesquita e a utilização do CS1 durante o período de 07/04/2024 a 07/04/2025. Destaca-se que no período de 14/08/2024 a 10/10/2024 o Compensador Síncrono CS1 esteve fora de operação. Este fato agregou informações na análise.

Para efeitos de medição de tensão no barramento de 500 kV da SE Mesquita, foi considerada a medição de tensão do TP (Transformador de Potencial) da entrada da LT

500 kV Itabira 5 – Mesquita C2, em se tratando do mesmo ponto elétrico. Evitou-se, com isso, a descontinuidade observada na medição do TP da barra de 500 kV (devido alteração de nome da tag de medição).

A Figura 10 abaixo apresenta a medição de tensão no setor de 500 kV (LT2 500 kV Itabira 2 – Mesquita) e a potência reativa do CS1 na SE Mesquita no período avaliado. Pode-se observar que o síncrono é utilizado quase diariamente para absorção de potência reativa do sistema em regime (exceto no período em que ele se encontrava fora de operação).



Figura 10 – Perfil de tensão na SE Mesquita 500 kV e uso do CS1 em regime, no período de 07/04/2024 a 07/04/2025.

Para um maior detalhamento, foi aplicado um zoom destacando o período de 14/08/2024 a 10/10/2024. Observa-se que nesse período, onde o Compensador Síncrono da SE Mesquita estava fora de operação, ocorreram maiores violações do limite superior de tensão no setor de 500 kV.

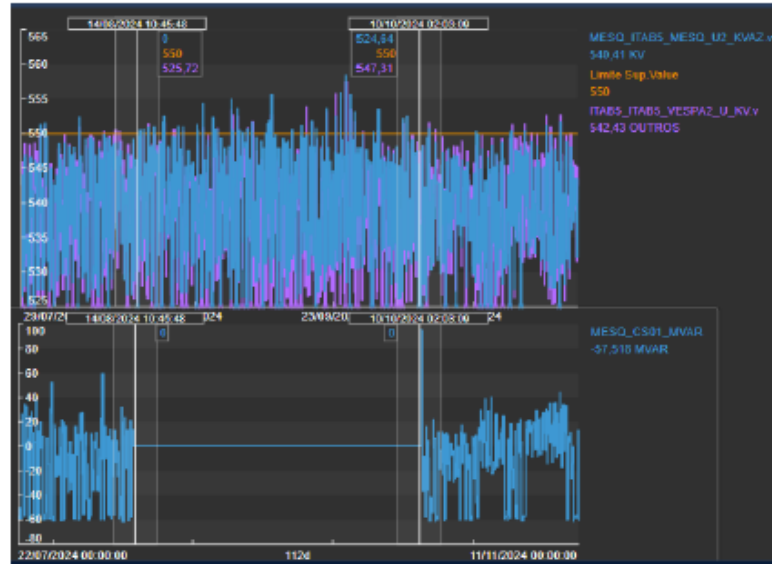


Figura 11 – Violações de tensão no setor de 500 kV da SE Mesquita no período em que o Compensador Síncrono CS1 se encontrava fora de operação.

Vale mencionar, que foi registrado em 18/08/2024 o desligamento da LT2 500 kV Bom Despacho 3 – Neves 1 para controle de tensão. A ausência do síncrono pode ter contribuído para esta necessidade.

LT2 Bom Despacho 3 - Neves 1 500 KV		Início	Faixa Definida
LT2 Bom Despacho 3 - Neves 1 500 KV		18/08/2024 - 02:03	18/08/2024 - 07:53
<b>Sequência de Eventos</b> 18/08/2024 - 02:03 - Desligada a LT2 Bom Despacho 3 - Neves 1 500 KV para controle de tensão. 18/08/2024 - 07:53 - Ligada LT2 Bom Despacho 3 - Neves 1 500 KV para controle de tensão.			

Figura 12 – Registro de abertura de linha para controle de tensão no dia 18/08/2024.

### Conclusão parcial 3:

- Na condição atual de operação verifica-se em diversos momentos violações de do limite superior de tensão na barra de 500 kV da SE Mesquita, e, portanto, insuficiência de recursos de controle de tensão para contribuir com absorção de potência reativa e redução da tensão em regime.

### 6.2.2. Configuração futura do SIN

Embora se observe a necessidade atual de recursos de controle para reduzir a tensão em regime na SE Mesquita, é importante avaliar se esta necessidade será mantida em um horizonte de médio e longo prazo.

Para isso, foram avaliadas as obras autorizadas que terão influência na tensão da região da SE Mesquita.

Visando avaliar o efeito das obras na região de Mesquita, o critério adotado tem o objetivo de capturar o acréscimo ou decréscimo de reativo decorrente destas obras nas subestações de interface com a SE Mesquita. Considerando que fatalmente haverá períodos em que o fluxo de potência ativo nas novas linhas de transmissão será baixo assim como a carga do SIN, nesta situação o balanço de potência reativa é determinante com relação a tendência para o comportamento da tensão.

Para as obras previstas, segue abaixo o montante de reativo visto de forma concentrada nas subestações de Governador Valadares 6, Mutum, Vespasiano 2, Itabira 5, João Neiva 2, Viana 2, e Itabira 5:

Tabela 2 – Equipamentos previstos para a região Leste (MG)

Ato Legal	Equipamento	Susceptância/2 (Mvar)	Reator de LT ou de Barra (Mvar)	Refletido na SE	Data Prevista
CC 008/2022	LT 500 kV Capelinha 3 – Governador Valadares 6 C1	153,05	-73,5	GV6	30/09/2027
CC 008/2022	LT 500 kV Capelinha 3 – Governador Valadares 6 C2	153,05	-73,5	GV6	30/09/2027
CC 012/2023	LT 500 kV Governador Valadares 6 – Leopoldina 2 C1	226	-136	GV6	29/03/2029
CC 012/2023	LT 500 kV Governador Valadares 6 – Leopoldina 2 C2	226	-136	GV6	29/03/2029
CC 018/2024	Reator Mutum	0	-100	Mutum	30/12/2029
CC 006/2022	LT 500 kV Presidente Juscelino – Vespasiano 2 C1	99,65	-	Vespasiano 2	30/09/2027
CC 006/2022	LT 500 kV Presidente Juscelino – Vespasiano 2 C2	99,65	-	Vespasiano 2	30/09/2027
REA 15413/2024	Reator Itabira 5	0	-100	Itabira 5	Julho/2026
CC 001/2021	LT 500 kV João Neiva 2 – Medeiros Neto 2 C1	299,4	-215	João Neiva 2	31/03/2026
CC 010/2023	LT 500 kV João Neiva 2 – Medeiros Neto 2 C2	302,4	-215	João Neiva 2	29/03/2029
CC 010/2023	LT 500 kV João Neiva 2 – Viana 2 C2	83,9	-	João Neiva 2	24/07/2026
CC 010/2023	Reator	0	-200	João Neiva 2	29/03/2029
CC 010/2023	LT 500 kV João Neiva 2 – Viana 2 C2	83,9	-	Viana 2	29/03/2029
<b>TOTAL</b>		<b>1727</b>	<b>-1249</b>		

Portanto, com base na análise da Tabela 2, verifica-se que o saldo adicional de potência reativa que será agregado na região é capacitivo, resultando em tendência de aumento do nível de tensão para SE Mesquita.

A Tabela 3 apresenta os reatores existentes atualmente nestas subestações.

Tabela 3 – Reatores existentes nas subestações de interface com a SE Mesquita [2]

SE	Dispositivo	Manobrável	Unidades	Valor (MVA)	Tensão do barramento
Mutum	Reator	Sim	2	-100	500 kV
João Nelva 2	Reator	Sim	1	-100	500 kV
Itabira 5	Reator	Sim	1	-100	500 kV
Governador Valadares 6	Reator	Sim	2	-150	500 kV
Viana 2	Reator	Sim	1	-136	500 kV
Mesquita	<b>Não há reator</b>	N/A	N/A	N/A	500 kV
<b>TOTAL</b>				<b>-836</b>	

Dessa forma, considerando o conjunto de reatores existentes apresentado na Tabela 3 e previstos nas obras da Tabela 2, a SE Mesquita será a única a não possuir reator ao final de 2029.

#### Conclusão parcial 4:

- A tendência para o comportamento da tensão do barramento de 500 kV da SE Mesquita no horizonte futuro é de elevação da tensão, resultando na necessidade de equipamentos de controle de tensão na região avaliada. Considerando a topologia existente e as obras previstas, ao final de 2029 a SE Mesquita é a única na região avaliada a não possuir reator para controle de tensão em regime.

#### Recomendação 1:

- Dada a necessidade de equipamentos de controle de tensão na região avaliada (atual e futura), o planejamento de Longo Prazo em curso para a SE Mesquita, e o fato dessa subestação ser a única a não possuir reator (tornando vulnerável seu controle de tensão em regime), recomenda-se a indicação de um reator 500 kV para SE Mesquita.

## 7. CARACTERÍSTICAS DE REATOR PARA SE MESQUITA

No sistema elétrico brasileiro, é comum o uso de reatores de derivação manobráveis (chaveados), aqui denominados convencionais, para controle de tensão. No entanto, observa-se que algumas localidades da Europa está se empregando um uso extensivo

cada vez maior de reatores de derivação *variáveis*. O principal motivo é a entrada significativa de plantas de energia renovável e intermitente [3].

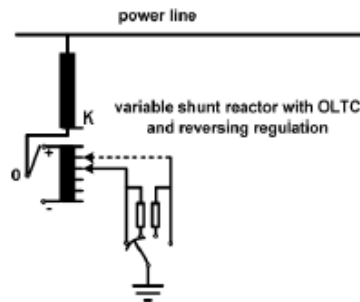


Figura 13 – Reator de derivação variável [3]

No reator de derivação variável, com o uso de um comutador de derivação em carga, a reatância indutiva pode ser alterada passo a passo em uma determinada faixa. Dependendo do perfil de carga, a estabilidade da tensão pode ser melhorada, a potência reativa pode ser ajustada e as perdas de transmissão podem ser reduzidas. Todas essas medidas levam a uma maior estabilidade da rede [3].

Assim como na Europa, o Brasil tem experimentado um crescimento vertiginoso da participação das fontes renováveis em sua matriz energética. Estas fontes possuem característica de intermitência, e tem exigido esforços do Operador Nacional do Sistema (ONS) para manter um controle adequado frente a variações abruptas nas transferências de potência. Tem-se observado, inclusive, aumento do número de Sistemas Especiais de Proteção (SEP) [6] e expansão de SEPs existentes, envolvendo abertura de LT, corte de geração e inserção automática de reatores de derivação como em [4].

O uso de um reator de derivação variável pode ser uma importante oportunidade, e está alinhada a um quesito que muito se busca atualmente no planejamento do SIN: "Flexibilidade".

A Figura 14 abaixo mostra o perfil diário de tensão do barramento de 500 kV da SE Mesquita no mês de setembro/2024, período horário das 03:20h às 13:09h, onde o Compensador Síncrono CS1 se encontrava fora de operação.

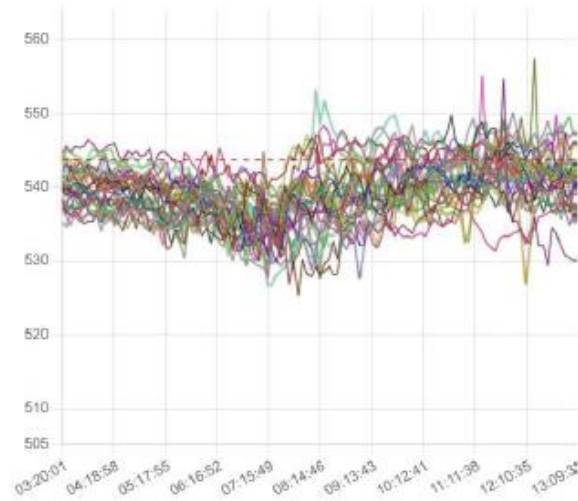


Figura 14 – Perfil diário de tensão 500 kV da SE Mesquita das 03:20h às 13:09h em setembro/2024. Pode-se observar da Figura 14 um comportamento típico diário de queda de tensão por volta das 07:15h, em regime, provavelmente associado a mudança de perfil de carga/geração neste horário.

O chaveamento de reatores de derivação (desligamento) é observado neste período. Como exemplo, a Figura 15 mostra o desligamento diário do reator S12 da SE Neves 1 (-91 Mvar em 500 kV) neste período.

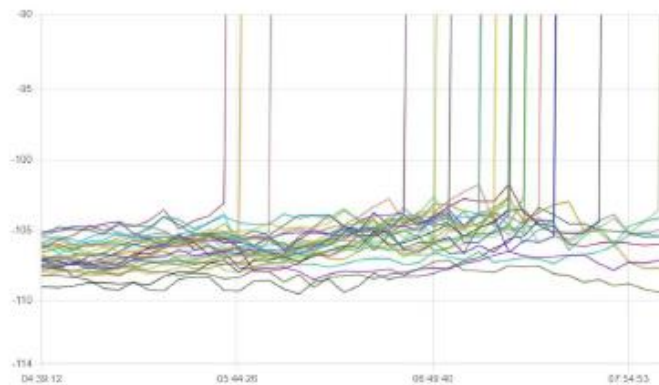


Figura 15 – Variação de reativo (Mvar) mostrando chaveamento diário (desligamento) do reator S12 da SE Neves 1.

Outro ponto que se observa na Figura 14 é que o comportamento da variação da tensão ao longo do dia ocorre de forma lenta, característica das variações em regime, permitindo, assim como ocorre em transformadores que possuem comutador sob carga, que a tensão/reactivo seja adequadamente controlada.

Reatores de derivação variável fornecem uma maneira de controlar flutuações na potência reativa que exigem muitas ações de comutação para um reator ou capacitor, e as possibilidades avançadas de controle de um SVC (Static Voltage Compensator) não são necessárias. Em tais aplicações, um VSR (Variable Shunt Reactor) é capaz de manter a tensão ou a troca de potência reativa [5].

Conclusão parcial 5:

Para melhorar a qualidade da tensão e reduzir chaveamentos de equipamentos de controle de reativo no SIN, a utilização de um reator de derivação variável na SE Mesquita é uma alternativa adequada do ponto de vista técnico.

Quanto ao dimensionamento do reator de derivação variável, este deve proporcionar no mínimo a eliminação dos pontos de sobretensão observados atualmente na SE Mesquita, onde a tensão atinge cerca de 558,6 kV. Considerando que a sensibilidade atual da tensão do barramento da SE Mesquita em relação a absorção de potência reativa é de -0,04 kV/Mvar obtida do caso mensal Anarede (maio/2025), a redução da tensão em cerca de 8,7 kV pode ser obtida com o uso de um reator de 180 Mvar – 500 kV. Este reator, estando a tensão no limite superior da faixa (550 kV), contribui com absorção de 217,8 Mvar.

A Figura 16 mostra o perfil de tensão previsto caso um reator de 180 Mvar – 500 kV com tap ajustado continuamente em sua potência máxima estivesse conectado ao barramento de 500 kV da SE Mesquita (curva laranja), em comparação com as medições reais registradas na SE Mesquita (curva azul).

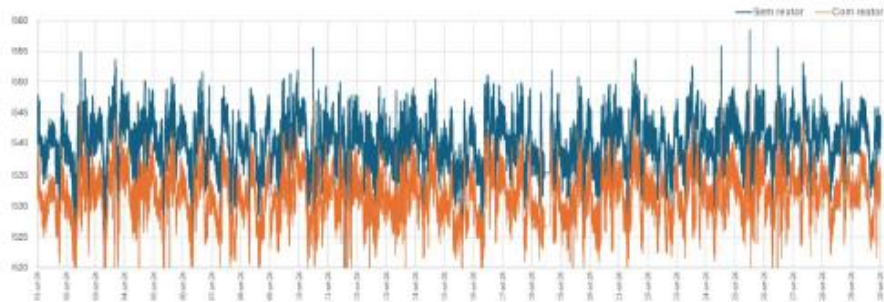


Figura 16 – Perfil de tensão no barramento de 500 kV (500-550 kV) com o uso de um reator variável 180 Mvar ajustado nesta potência.

Embora a Figura 16 se refira ao período de amostragem capturado, o objetivo se restringe a avaliar apenas os pontos de sobretensão, que passaram a ficar dentro da faixa operativa. Para os pontos de menor tensão, naturalmente o reator variável seria ajustado para valores inferiores de potência reativa.

Para projeto do reator de derivação variável, cabe destacar que a estabilização do sistema com redução de chaveamentos de equipamentos de controle de tensão somente deverá alcançar níveis observáveis quando um número significativo de reatores de derivação variáveis forem instalados. Com isso, projetos com faixas ampliadas de regulação, que poderiam implicar maiores custos, podem ser evitados neste momento. Recomenda-se o uso de regulação linear [7], com faixa ajustável do reativo de 50 a 100% ou maior.

#### Recomendação 2:

- Recomenda-se para SE Mesquita o uso de um banco de reatores monofásicos de derivação variável, com capacidade total de 180 Mvar (3+1 x 60 Mvar) ou 200 Mvar (3+1 x 66,7 Mvar) com regulação linear e faixa ajustável do reativo de 50 a 100% de sua capacidade nominal.

## 8. REFERÊNCIAS

- [1] ONS. "Procedimentos de Rede" Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>
- [2] ONS. Caso Mensal Anarede Maio/2025. Disponível em: <https://sintegre.ons.org.br/>

- [3] KIRCHNER, L.; DOHNAL, D.; KRÄMER, A.; SPÄTH, M. Variable Shunt Reactors with On-Load Tap-Changers for the Efficient Compensation of Over-Voltages Caused by Capacitive Loads. Pilsen: International Symposium on High Voltage Engineering, 2015. Disponível em: <http://www.cigre.org>.
- [4] PENNA, L. D.; ROSA, B. P.; CUNHA, G. H. B.; FERREIRA, R. A. SEP para Inserção Automática de Reatores nas SE Pirapora 2, Paracatu 4 e Presidente Juscelino. Rio de Janeiro: ONS, 2025. Disponível em: <http://www.ons.org.br>.
- [5] BENGTTSSON, C.; RYEN, K.; RUI, O. A.; OLSSON, T. Variable Shunt Reactors: Applications and System Aspects. Paris: CIGRE, 2014. Disponível em: <http://www.cigre.org>.
- [6] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Testes de Desempenho dos Sistemas Especiais de Proteção Ano 2024. Rio de Janeiro: ONS, 2025.
- [7] Kirchner, L., Dohnal, D., Krämer, A., Koczula, C., Späth, M., & Sundermann, U. (2016). Advanced designs of variable shunt reactors with on-load tap-changers for wider regulation range. CIGRÉ.

## 9. CRÉDITOS

Preparado por: Felipe de Oliveira Silva Zanon

Verificado por: Rafael Montes Fontoura

Aprovado por: Rodnei Dias dos Anjos