

GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GPL

APLICAÇÃO DE UMA TECNOLOGIA DE CARÁTER INOVADOR NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO EM TERMOS DE MODULARIDADE E MOBILIDADE: ESTUDOS DE CASOS REAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE EQUIPAMENTOS COM TECNOLOGIA FACTS NA REDE DIT DO ESTADO DE SÃO PAULO

**Liamara de Fatima Ferreira⁽¹⁾; Romulo Gustavo Eugenio dos Santos⁽¹⁾; Renato
Guimarães Ribeiro⁽¹⁾; Daniel José Tavares de Souza⁽²⁾; Vanessa Stephan Lopes⁽²⁾; Jorge
Mauricio Areiza Ortiz⁽⁴⁾; André Priolli⁽⁴⁾; Carlos Borda⁽⁴⁾
ISA ENERGIA BRASIL⁽¹⁾; EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA⁽²⁾; ISA
INTERCONEXION ELECTRICA S.A. E.S.P. ⁽³⁾; SMART WIRES⁽⁴⁾**

RESUMO

Este artigo apresenta a experiência da ISA ENERGIA BRASIL, em estudos de casos reais aplicado à ampla malha de linhas e subestações de 138 kV do estado de São Paulo, pertencente às Demais Instalações de Transmissão (DITs), através da incorporação de uma nova tecnologia caracterizada pela instalação de equipamentos modulares FACTS (Flexible AC Transmission Systems) baseados em conversores de tensão (VSC – Voltage-Sourced Converters) em série com os módulos de entrada de linha dos circuitos de interesse, conhecida como SSSC – Static Synchronous Series Compensator. A inovação apresentada possui a capacidade de simular tanto um reator série quanto um capacitor série, através da sua capacidade de injetar tensão em quadratura (ângulo de 90 graus) em relação à corrente da linha, o que permite controlar a reatância da linha de forma precisa.

Neste contexto, este trabalho apresenta o processo desenvolvido, desde o referenciamento da tecnologia, análises, identificação de propostas dos produtos, desenvolvimento de estudos técnicos econômicos para incorporação de soluções em sistemas existentes, coordenados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), até a implementação das soluções em um projeto real dividido em duas etapas: implantação conjuntural e provisória na subestação 138 kV Ribeirão Preto e implantação definitiva nas subestações 138 kV São José do Rio Preto e Votuporanga 2.

A abordagem técnica para implantação da nova tecnologia, se beneficia da aplicação e experiência do Grupo ISA no que tange desenvolvimento e projetos e aplicação de equipamentos do tipo SSSC, na rede de 220 kV da Colômbia. A metodologia técnico e econômico proposta, empregada na etapa de Planejamento, consiste na elaboração de um Relatório de Estudos Técnico - Econômicos (R1), compara 4 alternativas de expansão da transmissão, sendo estas: (I) Obras de reconstrução/recondutoramento da LT 138 kV de interesse; (II) Construção de um novo circuito duplo cabo 1x636 MCM LT 138 kV; (III) Instalação de dois transformadores defasadores 138/138 kV em série com os transformadores 440/138 kV existentes; e (IV) Implantação de equipamentos com tecnologia FACTS para controle de fluxo.

A análise técnica é composta por estudos de fluxo de potência e avaliação dos custos associados às perdas elétricas, sendo as referidas análises executadas através da ferramenta computacional ORGANON/ANAREDE, utilizando como base de dados os casos de médio prazo (PAR/PEL 2024-2028) e de longo prazo (PDE 2033). O principal objetivo dessa análise é dimensionar a quantidade de SSSCs a ser implantada.

Na sequência, são elencados alguns critérios específicos utilizados para abordagem técnica e metodológica deste artigo, no âmbito de planejamento e projeto:

- Comparação de tecnologias e fornecedores: Será apresentada uma análise comparativa considerando restrições tecnológicas, físicas e ambientais, entre diferentes soluções, de caráter inovador ou tradicionais aplicadas ao Sistema Elétrico Brasileiro. Tal comparação tem por objetivo identificar o índice de reaproveitamento das soluções candidatas e os benefícios das tecnologias para atender expansão futuras.
- Comparação técnica: Será apresentada uma análise de robustez das soluções, do ponto de vista dos carregamentos observados, em todas as condições operativas (N e N-1), ao longo de todo o horizonte de estudo;
- Otimização da Manutenção: Será apresentada uma análise do impacto da indisponibilidade e vida útil do equipamento que contempla a alternativa vencedora, a ser implantado na rede DIT de 138 kV, com base em estudos realizados de RAM.

Este trabalho apresenta o esforço da ISA ENERGIA BRASIL e do Planejamento Setorial Brasileiro, na procura de avanços e aplicação de soluções inovadoras para otimização da rede existente, visando o papel da transmissão como um agente ativo na transição energética, capaz de controlar a reatância do sistema, permitindo uma atuação direta sobre as restrições elétricas, elevando ou reduzindo a transmissão de energia. Neste sentido, a solução apresentada, atualmente em etapa de implantação, tem como principal benefício proporcionar a aquisição de experiência com a nova tecnologia SSSC aplicada à rede da ISA ENERGIA BRASIL, servindo como laboratório para abertura de um novo capítulo de soluções para o Sistema Elétrico Brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE

Planejamento Flexível – SSSC – D-FACTS – FACTS – Inovação – Otimização do SIN – Crescimento – Sustentabilidade.

1.0 INTRODUÇÃO

A partir do Plano de Ampliações e Reforços (PAR/PEL) 2021 - Ciclo 2022-2026 [1], o Operador Nacional do Sistema (ONS) identificou o risco imediato de sobrecarga em regime normal de operação (N) na LT 138 kV Ribeirão Preto – Porto Ferreira C1/C2, classificada como Demais Instalações de Transmissão – DIT. Os estudos do ONS no horizonte de médio prazo apresentaram carregamentos próximos à capacidade de emergência da linha para a contingência em um dos circuitos, bem como para contingências simples da LT 440 kV Ribeirão Preto – Santa Barbara ou LT 440 kV Araraquara – Araras, em cenários de elevado recebimento pelo Sul ou de geração reduzida nas usinas dos rios Pardo, Paranapanema e Tietê durante o período de verão e entressafra das usinas de cana-de-açúcar. Este contexto provocou a necessidade de adoção de medidas operativas que fragilizam o sistema e desotimizam o uso dos recursos de geração da região. Soma-se o fato de que na recontração anual do Montante de Uso do Sistema de Transmissão (MUST) desde 2021 (RECON 2022-2025) vem sendo reiteradamente, nos ciclos atuais de recontração, aplicadas uma série de limitações e ressalvas a diversos pontos de contratação das concessionárias de distribuição locais (CPFL Paulista e ELEKTRO).

Considerando a necessidade sistêmica urgente, a ISA ENERGIA BRASIL identificou uma alternativa para sanar as sobrecargas inadmissíveis identificadas em prazo muito inferior a reconstrução da LT

138 kV Ribeirão Preto – Porto Ferreira C1/C2 prevista para ser concluída não antes de agosto de 2026. Trata-se de uma tecnologia de caráter inovador no Brasil conhecida como SSSC – Static Synchronous Series Compensator. Tais equipamentos são classificados como uma classe de Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS) e são empregados para controlar ativamente o fluxo de potência passante por linhas de transmissão.

Em janeiro de 2023 a ISA ENERGIA BRASIL encaminhou ao Ministério de Minas e Energia (MME) uma correspondência acerca da equivalência técnica e econômica da alternativa SSSC, como proposta de substituição à obra de reconstrução da LT 138 kV Ribeirão Preto – Porto Ferreira C1/C2. Contudo, em maio de 2023, o Planejamento Setorial Brasileiro respondeu não corroborando com a proposta da ISA ENERGIA BRASIL, dado que, naquele momento, existiam aspectos específicos a serem explorados e discutidos acerca da pertinência de substituir a obra de reconstrução pela do uso dos FACTS. Todavia, sugeriram o endereçamento da avaliação da nova tecnologia no Estudo de Reforços no Sistema DIT do Estado de São Paulo, previsto para ser realizado no âmbito do GET-SP.

Dessa forma, a EPE desenvolveu com apoio da ISA ENERGIA BRASIL análise da inserção deste tipo de solução nos estudos de Planejamento Setoriais. Sendo a região de interesse a rede de 138 kV do Noroeste do Estado de São Paulo. O referido estudo foi oficializado na 21ª Reunião do Grupo de Atendimento ao Estado de São Paulo, em outubro de 2023, estudo este denominado “Reforços no Sistema DIT do Estado de SP - PARTE 1”. O Relatório de Estudos Técnico - Econômicos (R1), elaborado pela EPE (EPE-DEE-NT-033-2024-rev0- DIT Parte 1), emitido em 29 de maio de 2024 [2]. Este compara 4 alternativas de expansão da transmissão, sendo 3 alternativas tradicionais e uma alternativa com utilização de SSSC, de forma flexível e modular, com objetivo de aumentar a confiabilidade da rede de 138 kV da região Noroeste do Estado de São Paulo, assim como solucionar problemas elétricos em diferentes cenários associados às características sazonais das usinas de geração conectadas neste sistema. A avaliação econômica realizada pela EPE identificou a alternativa composta por SSSC modulares nas SE's São José do Rio Preto e Votuporanga 2 como vencedora no estudo de Mínimo Custo Global (MCG), mediante toda comparação técnico-econômica realizada entre as alternativas de expansão da transmissão. Utilizando da flexibilidade proporcionada pelos dispositivos em termos de modularidade e mobilidade a ISA ENERGIA BRASIL propôs a antecipação de 3 SSSC/ fase (totalizando em 9 SSSC) das etapas de implantação dos anos 2027 e 2029 nas subestações de 138 kV Votuporanga 2 e São José do Rio Preto para subestação 138 kV Ribeirão Preto.

2.0 OBJETIVO

Diante do exposto, os principais objetivos desse artigo técnico é apresentar a experiência da ISA ENERGIA BRASIL em âmbito de fornecedores, desempenho sistêmico e otimização da manutenção, de uma solução inovadora no Brasil: o SSSC.

3.0 SISTEMA DE INTERESSE

Os sistemas de interesse apresentados nas Fig. 1 (a) e 1 (b) está localizado no estado de São Paulo, contemplando duas etapas de aplicação distintos dos dispositivos SSSC, de caráter definitiva e conjuntural.

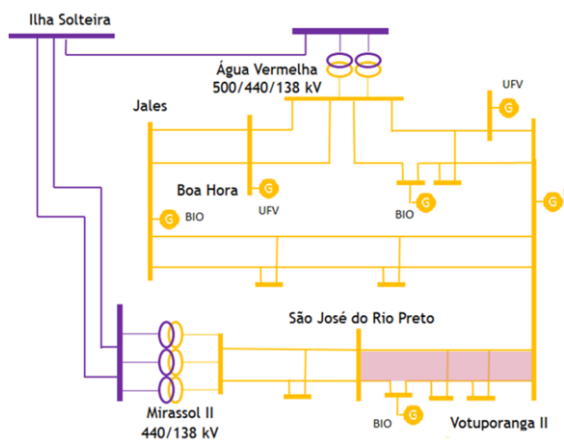
3.0.1 Sistema Noroeste Paulista - LT 138 kV Votuporanga 2 – São José do Rio Preto C1/C2

O sistema dessa região Noroeste do estado de São Paulo apresenta alguns problemas pontuais, com destaque para o cenário onde há a combinação de geração fotovoltaica com uma situação de elevada geração hidráulica nas usinas do sistema de 440 kV região, frente ao despacho reduzido das hidrelétricas dos rios Pardo, Paranapanema e Tietê. Adicionalmente, as condições de intercâmbio regional entre os subsistemas Sudeste e Sul contribuem fortemente no carregamento e desempenho da rede local. Em virtude do elevado recebimento pelo Sul durante o verão, são previstas sobrecargas da

capacidade de longa duração (2x138 MVA)., da LT 138 kV Votuporanga 2 – São José do Rio Preto a partir de 2027. A Fig. 1-(a) apresenta a sobrecarga identificada (retângulo rosa), referenciando a LT 138 kV Votuporanga I – São José do Rio Preto C1/C2.

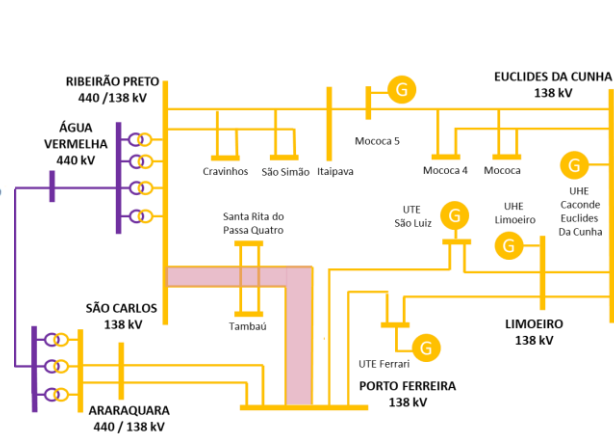
3.0.2 Sistema Nordeste Paulista - LT 138 kV Ribeirão Preto – Porto Ferreira C1/C2

A malha de transmissão em 138 kV nas vizinhanças da SE Ribeirão Preto apresenta carregamento diretamente influenciados pela geração das usinas hidrelétricas dos rios Pardo, Paranapanema e Tietê. A LT 138 kV Ribeirão Preto – Porto Ferreira C1/C2 âmbito principal deste estudo, destacada em rosa na Fig. 1-(b). Em cenários de N-1 com elevado recebimento pela região Sul, no patamar de carga média de verão, são observadas sobrecargas da ordem 30% em relação à capacidade de longa duração, que corresponde a um carregamento de 108% da capacidade de curta duração.



LT 138 kV Votuporanga II – São José do Rio Preto C1/C2.

Fig. 1-(a). Sistemas Interesse Noroeste Paulista.



LT 138 kV Ribeirão Preto – Porto Ferreira C1/C2.

Fig. 1-(b). Sistemas Interesse Nordeste Paulista.

4.0 CRITÉRIOS E PREMISSAS

Nessa seção são apresentadas todos os critérios e premissas técnico adotados para realização das análises.

4.0.1 Modelos Elétricos do SSSC – *Static Synchronous Series Compensator*

Os programas desenvolvidos pelo CEPTEL, e comumente adotados pelo setor elétrico nacional, ainda não contemplam um modelo elétrico para nas análises de regime permanente da tecnologia em tela, deste modo, para análise de desempenho foi utilizado o modelo elétrico do SSSC disponível no programa ORGANON [3][4].

4.0.2 Casos de Trabalho

Os casos base de fluxo de potência consistiram dos cenários alternativos do PAR/PEL 2024 – 2028 e do PDE - 2033.

4.0.3 Limites Operativos

Os limites de tensão considerados neste estudo foram aqueles descritos no item 2.2.4.2 do Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede [5], para avaliar o desempenho das redes de 500 kV, 440 kV, 345 kV e 138 kV da região de interesse.

5.0 ANÁLISE DE FABRICANTES

Durante a etapa de planejamento, foi realizada pela EPE consulta junto aos grandes fabricantes de equipamentos, no sentido de identificar o portfólio de soluções existentes e que sejam aplicáveis ao sistema em estudo. A consulta abordou aspectos tecnológicos e logísticos, inclusive quanto à possibilidade de fornecimento de equipamentos, com foco sobre as seguintes questões:

- Dispositivos conectados em série e/ou derivação para controle de fluxo de potência ativa;
- Flexibilidade para aumento do nível de compensação em série fornecida pelo dispositivo ou capacidade de controle de fluxo;
- Faixa de operação em polaridades, capacitiva e indutiva;
- Tecnologia: Conversores modulares multinível com IGBTs (VSC)/ Controle à tiristores;
- Flexibilidade de instalação, escalabilidade e possibilidade de reutilização mesmo em diferentes níveis de tensão.

De cinco Fabricantes consultados, quatro responderam. Dos quais será apresentado neste artigo as soluções dos Fabricantes denominados 1 e 2, que apresentaram propostas de características bastante similares e satisfatórias aos pré-requisitos da consulta.

TABELA I – COMPARAÇÃO DE FABRICANTES.

Solução	Fabricante 1	Fabricante 2
Potência Nominal [MVA]	3,321	10,188
Corrente Nominal [A]	1.800	1.800
Tensão Nominal [V]	1.845	5.660
Corrente de Curto-Circuito [kA]	50	63
Corrente de Curto-Circuito Pico [kAp]	126	164
Dimensão [m]	4,5 x 1,4 m x 1,0m	5,3 x 2,3 x 2,2 m
Massa [kg]	3.300	7.710
Orçamento por módulo SSSC/fase (US\$)	1.233.333,33	985.901,00

6.0 ALTERNATIVAS

Nessa seção são apresentadas as quatro alternativas analisadas no estudo de caráter definitivo, bem como, as duas alternativas avaliadas no estudo de caráter provisório.

6.0.1 Solução de caráter definitiva - LT 138 kV Votuporanga 2 – São José do Rio Preto C1/C2

- A **alternativa 1** considerada a reconstrução/recondutoramento da LT 138 kV Votuporanga – São José do Rio Preto, 75 km, para cabo 1x636 MCM, permitindo a elevação da capacidade para 206/242 MVA e substituição dos equipamentos terminais das subestações Votuporanga e S.J. Rio Preto.
- A **alternativa 2** considera a construção de um novo circuito duplo cabo 1x636 MCM LT 138 kV Votuporanga 2 – Mirassol II, 65 km, com capacidade para 206/242 MVA e substituição dos equipamentos terminais das subestações Votuporanga 2 e São José do Rio Preto.
- A **alternativa 3** considera a instalação de dois transformadores defasadores 138/138 kV em série com os transformadores 440/138 kV existentes na SE Água Vermelha, e um transformador defasador 138/138 kV em série com transformador 500/138 kV (em implantação) também na SE Água Vermelha.

- A **alternativa 4** é caracterizada pela implantação de equipamentos com tecnologia FACTS para controle de fluxo, composta por módulos de SSSC, a serem instalados nas subestações São José do Rio Preto e Votuporanga 2, em série com os circuitos da LT 138 kV Votuporanga 2 – São José do Rio Preto C1/C2, conforme etapas de implantação da Tabela II.

TABELA II – ETAPAS DE IMPLATAÇÃO DA ALTERNATIVA SSSC.

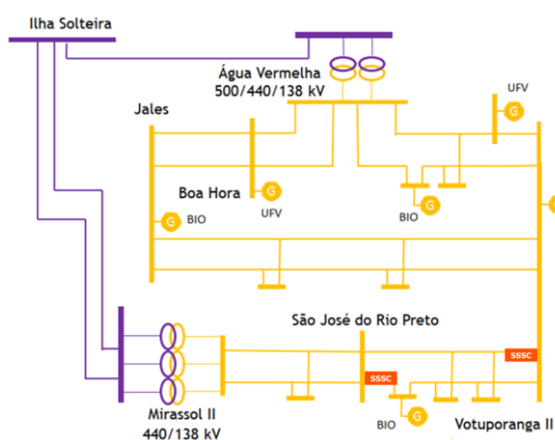
Ano	Linha de Transmissão	Terminal	Configuração	Quantidade	Quantidade Acumulada
2027	LT 138 kV Votuporanga 2 – São José do Rio Preto C2	São José do Rio Preto	1 SSSC/FASE C1	3	3
2027	LT 138 kV Votuporanga 2 – São José do Rio Preto C2	Votuporanga 2	1 SSSC /FASE C2	3	3
2029	LT 138 kV Votuporanga 2 – São José do Rio Preto C2	Votuporanga 2	+ 1 SSSC /FASE C2	3	6
2032	LT 138 kV Votuporanga 2 – São José do Rio Preto C2	Votuporanga 2	+ 1 SSSC /FASE C2	3	9
2038	LT 138 kV Votuporanga 2 – São José do Rio Preto C1	São José do Rio Preto	+ 1 SSSC /FASE C1	3	6

6.0.2 Solução de caráter conjuntural - LT 138 kV Ribeirão Preto – Porto Ferreira C1/C2

Dentre os benefícios adicionais proporcionados pela alternativa SSSC indicado pela EPE no relatório de Estudos Técnico - Econômicos (R1) da região Noroeste Paulista, a ISA ENERGIA BRASIL propôs a implantação de equipamentos SSSC na SE Ribeirão Preto, em caráter conjuntural e provisório, utilizando da flexibilidade proporcionada pelos dispositivos em termos de modularidade e mobilidade para antecipação de 3 SSSC/ fase (totalizando em 9 SSSC) das etapas de implantação dos anos 2027 e 2029 na subestações de 138 kV Votuporanga 2 e São José do Rio Preto, de modo que estes dispositivos sejam implementados em série com os módulos de entrada de linha dos circuitos C1 e C2 da LT 138 kV Ribeirão Preto – Porto Ferreira e do circuito C1 da LT 138 kV Ribeirão Preto – São Simão, conforme Tabela III.

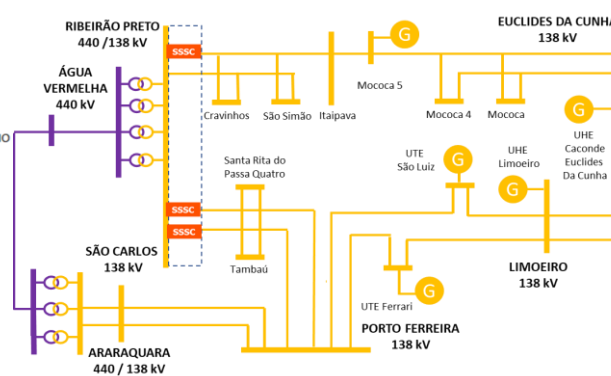
TABELA III – ESCALONAMENTO DAS ETAPAS CONJUNTURAL E DEFINITIVA DO SSSC.

Subestações	Bay	Instalação	Remanejamento	Remanejamento
		2025	2027	2029
Ribeirão Preto	São Simão	3 SSSC	---	---
Ribeirão Preto	Porto Ferreira C1	3 SSSC	---	---
Ribeirão Preto	Porto Ferreira C2	3 SSSC	---	---
São José do Rio Preto	Votuporanga 2 C1	---	3 SSSC	---
Votuporanga 2	São José do Rio Preto C2	---	3 SSSC	3 SSSC



LT 138 kV Votuporanga II – São José do Rio Preto C1/C2.

Fig. 2–(a). Alternativas SSSC – Solução definitiva.



LT 138 kV Ribeirão Preto – Porto Ferreira C1/C2.

Fig. 2–(b). Alternativas SSSC – Solução provisória.

7.0 DESEMPENHO DA ALTERNATIVA VENCEDORA

Nessa seção, são apresentados os principais resultados dos estudos de fluxo de potência executados para as alternativas contendo dispositivos SSSC, caracterizada pela implantação de SSSC nas SE Votuporanga 2 e São José Rio Preto (caráter definitivo) e Ribeirão Preto (caráter conjuntural).

7.0.1 Solução de caráter definitiva - LT 138 kV Votuporanga 2 – São José do Rio Preto C1/C2

A Fig. 3 apresenta os máximos carregamentos observados na Votuporanga 2 – São José do Rio Preto C1/C2 para os casos de trabalho do PDE 2033 sem e com a aplicação de dispositivos SSSC. A referida LT apresenta as capacidades operativas de longa e curta duração de 139/163 MVA. Para o cenário de contingência, é apresentado o desempenho dos circuitos mediante a contingência identificada como mais severa para o sistema da região, a perda simples de um dos circuitos da LT 138 kV Votuporanga 2 – São José do Rio Preto.

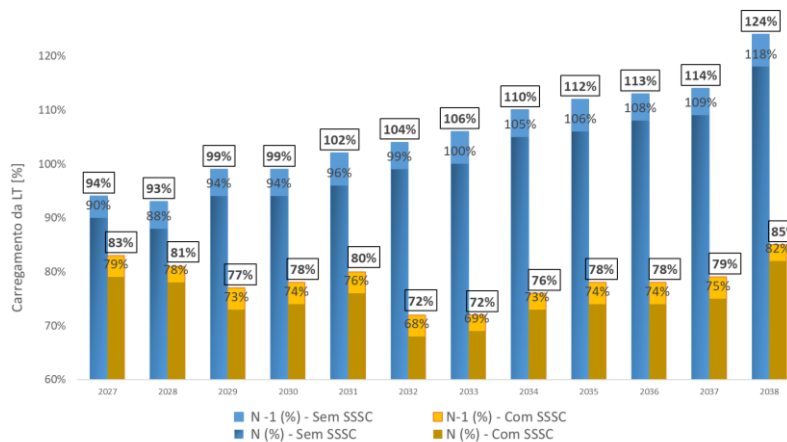


Fig. 3 – Carregamentos da LT 138 kV Votuporanga II – São José do Rio Preto (N/N-1).

7.0.2 Solução de caráter conjuntural - LT 138 kV Ribeirão Preto – Porto Ferreira C1/C2

A Fig. 4 apresenta os máximos carregamentos com SSSC observados na LT 138 kV Ribeirão Preto – Porto Ferreira C1/C2 para os casos de trabalho do PAR/PEL 24-28. A referida LT apresenta as capacidades operativas de longa e curta duração de 2x108 MVA e 1x130 MVA, respectivamente. Para o cenário de contingência, é apresentado o desempenho dos circuitos mediante a contingência identificada como mais severa para o sistema da região, a perda simples da LT 440 kV Ribeirão Preto – Santa Barbara do Oeste.

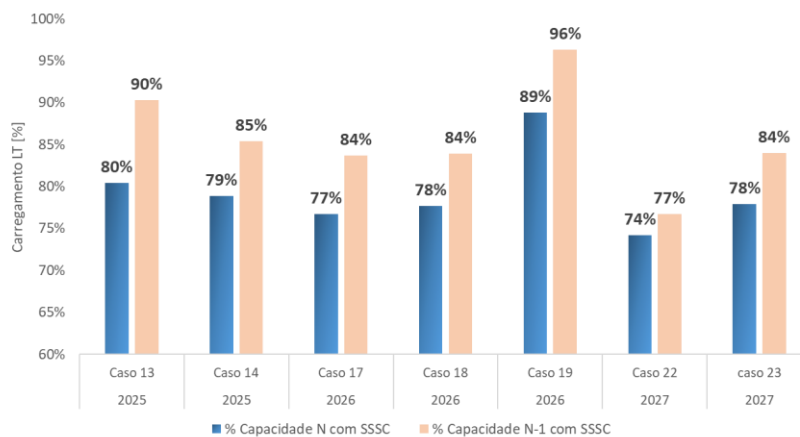


Fig. 4 – Carregamentos da LT 138 kV Ribeirão Preto – Porto Ferreira.

Nota-se que o desempenho das soluções de caráter definitivo e conjuntural é satisfatório ao longo de todo o horizonte de análise, uma vez que não são observadas sobrecargas nas LT's 138 kV Votuporanga 2 – São José do Rio Preto C1/C2 e LT 138 kV Ribeirão Preto – Porto Ferreira C1/C2, tanto para a condição N quanto N-1.

Os resultados da Fig. 3 refletem o escalonamento da solução de caráter definitiva exposto na Tabela II. Ou seja, desde o início do horizonte de análise até 2038, a implantação de apenas 1 SSSC/fase na LT 138 kV Votuporanga 2 – São José do Rio Preto C1/C2 não é o suficiente para eliminar todas as sobrecargas verificadas na referida LT sendo necessário o incremento de mais 3 SSSC/fase, nos anos de 2029, 2032 e 2038. Já a solução de caráter provisório permanece com 1 SSSC/fase na LT 138 kV Ribeirão Preto – Porto Ferreira C1/C2 apresentando desempenho satisfatório até o ano de 2027.

8 ANÁLISE DISPONIBILIDADE

Nessa seção é apresentado o resultado simplificado das análises de disponibilidade, referente a estudos da etapa de implantação dos dispositivos SSSC na SE Ribeirão Preto 138 kV, frente ao atendimento dos requisitos de disponibilidade estabelecidos na norma técnica documento de especificação dos Procedimentos de Rede ONS [6], bem como, procedimentos internos da ISA ENERGIA BRASIL baseados em padrões nacionais e internacionais. Dentre diferentes condições sistêmicas avaliadas será apresentado a análise de sensibilidade de dois cenários distintos em horizonte de 25 anos:

- **Condição Operativa 1:** Este caso de sensibilidade requer capacidade total de injeção do SSSC (10 de 10 conversores) com um ciclo de trabalho de 50%. A segunda sensibilidade solicitada corresponde a uma capacidade total de injeção da SSSC (10 de 10 conversores) com ciclo de trabalho de 100% no modo de injeção 6 meses por ano.
- **Condição Operativa 2:** Neste caso de sensibilidade, o Sistema SSSC assume uma definição de disponibilidade de 10 em 10 conversores trabalhando em modo 100% de injeção 12 meses por ano. A Tabela IV mostra os parâmetros para este caso de sensibilidade.

TABELA IV – CONDIÇÕES OPERATIVAS PARA CASOS DE DISPONIBILIDADE.

Parâmetros	Condição Operativa 1	Condição Operativa 2
Número de Conversores Injetando	10 de 10	10 de 10
Ciclo de Trabalho	50%	100%
Tensão Injetada	5.660 V	5.660 V
Tempo total de inatividade	249,57 h	250,85 h

Para a análise de sensibilidade das condições operativas apresentadas, a maior disponibilidade é de 99,93% e a menor disponibilidade de 99,89% por circuito e está em conformidade com a disponibilidade anual de interrupções forçadas exigida pela ISA ENERGIA BRASIL para o SSSC de pelo menos 99,70%.

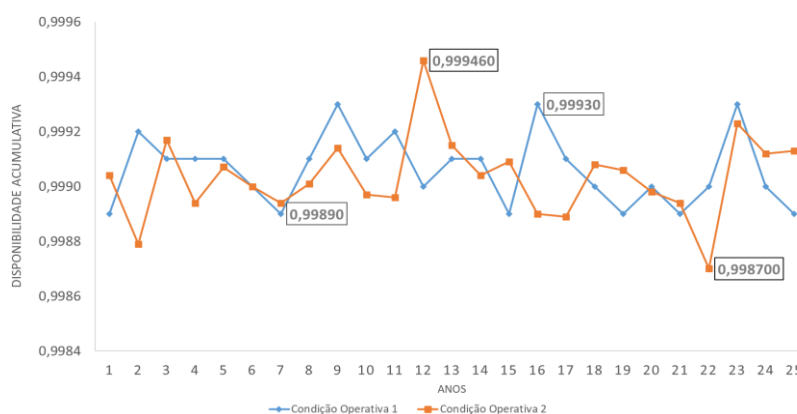


Fig. 5 – Carregamentos da LT 138 kV Ribeirão Preto – Porto Ferreira.

9 CONCLUSÕES

Conforme contextualizado, este artigo apresenta à experiência da ISA ENERGIA BRASIL, em estudos de casos reais aplicado à Rede DIT de 138 kV do estado de São Paulo. Desse modo, a ISA ENERGIA BRASIL conduziu em conjunto com a EPE estudos de fluxo de potência para analisar o desempenho de uma solução inovadora, composta por SSSC, em caráter definitivo e provisório. Os estudos consideraram a alocação de SSSC nas SEs Votuporanga 2, São José do Rio Preto e Ribeirão Preto, em série com os módulos de entrada de linha. A redistribuição controlada de fluxos no sistema elétrico da região possibilita que os carregamentos dos sistemas de interesse sejam mantidos em valores inferiores às capacidades operativas atuais, seja em regime normal ou na contingência de um desses circuitos, ao longo de todo o período analisado, demonstrando a equivalência técnica das opções avaliadas frente a soluções tradicionais.

O benefício da implantação escalonada apresentado para alternativa composta por SSSC, proporciona menor custo para a sociedade em relação as demais alternativas tradicionais conforme apresentado pela EPE no R1 EPE-DEE-NT-033-2024-rev0- DIT Parte 1 [2]. Além de necessitar de um menor prazo de implantação, essa alternativa também apresenta menor impacto ambiental, maior mobilidade e modularidade podendo ser relocada no sistema elétrico de forma agnóstica ao nível de tensão. Salienta-se que esta solução atende com eficiência, robustez e confiabilidade a necessidade de otimização do sistema de transmissão, permitindo um melhor aproveitamento dos ativos existentes, uma vez que proporciona a redistribuição do fluxo nas instalações sem a necessidade de aumento de capacidade. Com efeito, é possível dizer que as alternativas SSSC apresentam equivalência técnica, mercado de fornecedores explorado e disponibilidade satisfatória. De modo a endossar a aplicação da tecnologia de caráter inovador em tela e proporcionar experiências com a nova tecnologia SSSC na rede da ISA ENERGIA BRASIL, abrindo um novo caminho de alternativas aplicáveis ao Sistema Elétrico Nacional.

10 BIBLIOGRAFIA

- [1] Operador Nacional do Sistema. *Plano da Operação Elétrica de Médio Prazo do SIN – Ciclo 2022-2026, Volume I, Tomo I – Classificação das Obras do SIN*. Rio de Janeiro, RJ: ONS, 2021.
- [2] Empresa de Pesquisa Energética. “EPE-DEE-RE-033/2024-r0 Reforços no Sistema DIT do Estado de SP – Parte I”. Rio de Janeiro, maio, 2024.
- [3] HPPA, “<https://www.hppa.com.br>,” 2025. [Online].
- [4] J. Jardim, et. al., “Desempenho em regime permanente e transitório eletromecânico de sssc no organon e suas vantagens para operadores de sistemas”, in *XIX Encontro Regional Ibero-Americano do Cigré*, Foz do Iguaçu, maio. 2023.
- [5] Operador Nacional do Sistema. *Procedimentos de Rede – Submódulo 2.3: Premissas, Critérios e Metodologia para Estudos Elétricos*. Rio de Janeiro, RJ: ONS, 2022.
- [6] Operador Nacional do Sistema. *Procedimentos de Rede – Submódulo 2.6: Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos*. Rio de Janeiro, RJ: ONS, 2022.

DADOS BIOGRÁFICOS



LIAMARA DE FATIMA FERREIRA: Engenheira Eletricista com ênfase em Sistema de Potência, Graduada (2013) e Mestre (2016) pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), possui também MBA em Gestão de Projetos (2021) pela Fundação Getúlio Vargas. Com experiência superior a 11 anos de setor elétrico, Liamara atuou como Engenheira de Planejamento da Operação na CPFL ENERGIA e atualmente é Engenheira de Planejamento da Expansão e Estudos na ISA ENERGIA BRASIL.

ROMULO GUSTAVO EUGENIO DOS ANJOS: Engenheiro Eletricista, graduado em 2017 pela Universidade de Campinas. Experiência de mais de 8 anos no setor elétrico, atualmente como Engenheiro de Equipamentos na ISA ENERGIA BRASIL com foco em equipamentos indutivos, compensadores síncronos e FACTS.

RENATO GUIMARÃES RIBEIRO: Engenheiro Eletricista com ênfase em Sistema de Potência formado na Universidade Federal de Itajubá e especialista em Sistemas de Energia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina, trabalha há 18 anos na ISA ENERGIA BRASIL. Atualmente também é vice coordenador do GT Armazenamento da ABSOLAR e coordenador do Comitê de Expansão da ABRATE.

DANIEL JOSÉ TAVARES DE SOUZA: Graduou-se Engenheiro Eletricista pelo CEFET/RJ em 2005, é mestre em Sistemas de Potência pela COPPE/UF RJ (2011) e possui MBA em Gestão Pública pela ENAP (2023). Trabalhou em empresas como Eletrobrás, Furnas e ONS. Atualmente, exerce a função de Consultor Técnico na Empresa de Pesquisa Energética – EPE, onde coordena os grupos de estudos de expansão da transmissão dos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, além do grupo de engenharia e de estudos especiais. Integra a equipe da superintendência de transmissão de energia da EPE desde 2007.

VANESSA STEPHAN LOPES: Engenheira Eletricista formada pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 2008, com mestrado em Sistemas de Potência pela mesma instituição. Atua desde o início da carreira com Planejamento Energético da Transmissão na EPE, com análise e proposição de soluções para a expansão do sistema elétrico. Nos últimos 5 anos sua atuação se concentrou na avaliação de novas soluções para o atendimento ao estado de São Paulo, contribuindo para a segurança e eficiência do suprimento elétrico na região.

JORGE MAURICIO AREIZA ORTIZ: Engenheiro eletricista pela "Universidad Pontificia Bolivariana", Medellín, Colômbia, em 1992, com mestrado em Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina. Brasil em 1997. Vinculado à INTERCONEXION ELECTRICA S.A. E.S.P. desde 1993, com formação na área de planejamento, análise de sistemas elétricos de potência e desenvolvimento de ferramentas e metodologias utilizando técnicas de programação. Atualmente trabalha como Especialista em Planejamento de Infraestrutura Elétrica apoiando o desenvolvimento de análises e integração de tecnologias de transmissão em colaboração com as equipes de planejamento das empresas ISA.

ANDRÉ PRIOLLI DE ARAUJO: Gerente Comercial para América do Sul na Smart Wires, liderando o desenvolvimento de mercados novos e existentes para a empresa. Em colaboração com clientes da região, ele e seu time trabalham com clientes em formas de otimizar a rede existente através da aplicação de soluções inovadoras com FACTS modulares, avaliando cada projeto individualmente, sempre de forma colaborativa com as equipes e experiência do cliente em seu sistema. Antes de unir-se à Smart Wires, André trabalhou por 10 anos na Siemens Energy, sendo sua última posição como gerente de vendas para FACTS para América Latina.

CARLOS BORDA: Engenheiro Eletricista e Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Nacional de Colômbia. Atua como especialista em planejamento da transmissão na Smart Wires Inc., com foco em estudos de integração de tecnologias flexíveis e dispositivos FACTS em sistemas de potência. Possui experiência anterior na XM S.A. E.S.P., operador do sistema elétrico colombiano, onde participou de estudos de expansão da transmissão e avaliação de novas tecnologias. Tem artigos apresentados em eventos internacionais como o CIGRÉ ERIAC e experiência em estudos de estabilidade e flexibilidade operativa.