



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GSE/23

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO -VIII

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO- GSE

**RECAPACITAÇÃO DO SETOR 230 kV PARA CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO
DE 63 kA NA SUBESTAÇÃO GRAVATAÍ 2**

**Luciano Hoffmann Paludo (*)
CEEE-GT**

**Piero Felipe Rolim Antunes
CEEE-GT**

**Eduardo Bortolin Argenton
CEEE-GT**

**Sirineu Elias Filipin
CEEE-GT**

RESUMO

Este informe técnico apresentará o desenvolvimento da solução técnica proposta de *uprating* para a capacidade corrente de curto-circuito de 63 kA do setor de 230 kV da Subestação Gravataí 2 em função da superação de todos os equipamentos dos vinte e sete módulos de manobra deste setor a partir da entrada em operação das instalações licitadas no Leilão de Transmissão ANEEL 004/2014. A proposta deste trabalho é contribuir para o estudo e a avaliação de alternativas para futuras subestações com equipamentos superados em função da elevação do nível da corrente de curto-circuito que necessitem este *uprating*.

PALAVRAS-CHAVE

Subestação; GIS; Superação; Uprating; Upgrading

1.0 - INTRODUÇÃO

A Subestação Gravataí 2 é a maior subestação da CEEE-GT (Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica), localizada em uma posição estratégica e de grande importância para o atendimento elétrico da Região Metropolitana de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul.

A entrada em operação das instalações licitadas no Leilão de Transmissão ANEEL 004/2014 provocará a superação de todos os equipamentos dos vinte e sete módulos de manobra do setor 230 kV da SE Gravataí 2 em função do aumento do nível da corrente de curto circuito para o patamar de 63 kA.

Serão apresentadas a situação existente, as alternativas técnicas de projeto e construção disponíveis para a recapacitação do setor 230 kV e detalhamento da solução técnica definida na fase de planejamento.

2.0 - SITUAÇÃO EXISTENTE

A Subestação Gravataí 2 é composta por setores de 230 kV, 69 kV, 23 kV e 13,8 kV. O esquema de manobra do Setor 230 kV é do tipo barra dupla 5 chaves, operado por 4 semi-barras (A1, A2, B1 e B2), composto por 27 módulos de manobra, incluindo 3 conexões de autotransformadores 525/230 kV, 2 conexões de transformadores 230/69 kV, 1 conexão de transformador 230/23 kV, 13 entradas de linhas de transmissão, 4 conexões de banco de capacitores e 4 módulos interligadores de barras, com capacidade própria de transformação total de 380 MVA. Está situada imediatamente ao lado da Subestação Gravataí 525 kV, integrante da concessão da Eletrobrás-Eletrosul, composta por 3 banco de autotransformadores 525/230 kV com capacidade total de 2.016 MVA conectados

diretamente ao barramento de 230 kV da Subestação Gravataí 2 através dos seus respectivos módulos de manobra.

Na Figura 1 é apresentada uma foto aérea desta Subestação, tendo como destaque o setor 230 kV. A planta atual do arranjo geral eletromecânico deste setor está representada na Figura 2 e na Figura 3 temos o desenho de um corte típico de um módulo de manobra existente.



FIGURA 1 – Foto Aérea da Subestação Gravataí 2

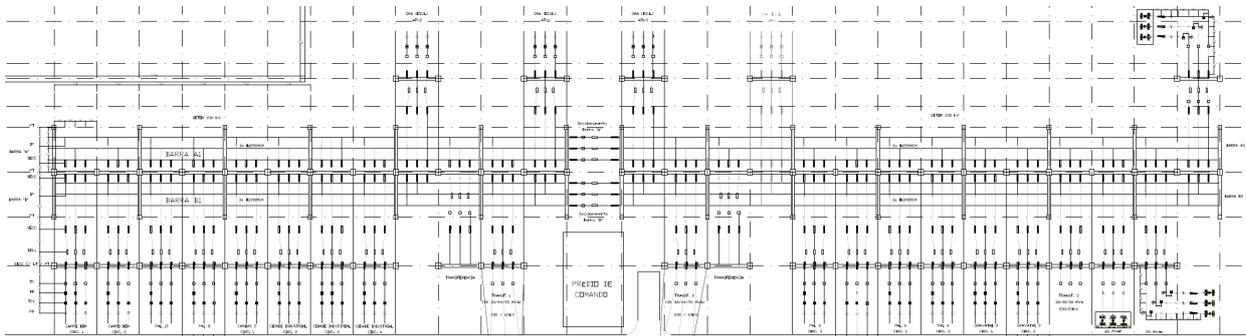


FIGURA 2 – Planta do Setor 230 kV existente

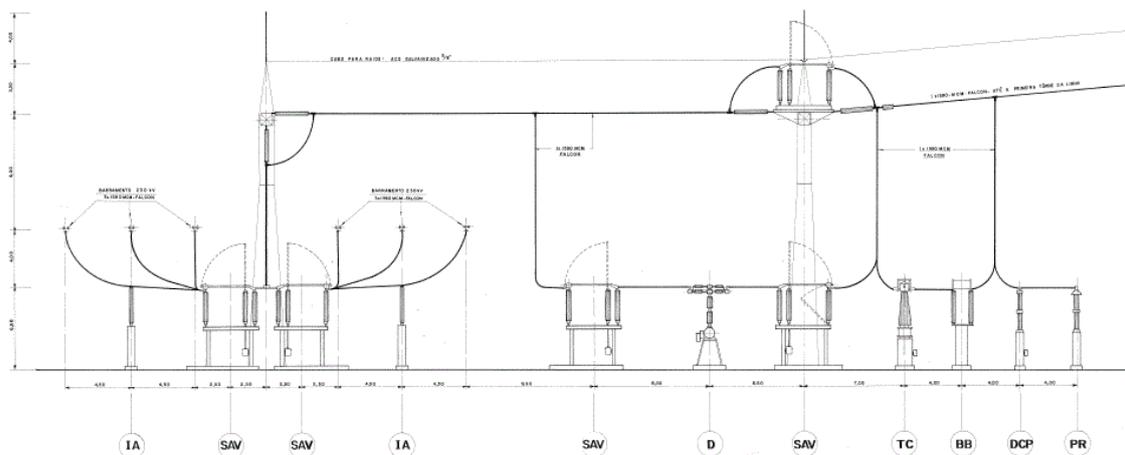


FIGURA 3 – Corte Típico do Módulo de Entrada de Linha 230 kV existente

3.0 - ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA A RECAPACITAÇÃO

Os estudos para avaliar a substituição de subestações convencionais por subestações compactas, híbridas ou isoladas a gás estão se tornando cada vez mais comuns. A definição da tecnologia de implantação na renovação de subestações deve ser composta por diversas questões técnicas através de uma análise criteriosa.

Inicialmente na etapa de planejamento foram avaliadas três alternativas técnicas para recapacitação do setor 230 kV para a corrente de curto-circuito de 63 kA: a alternativa convencional em AIS (*Air Insulated Substation*); a alternativa em GIS (*Gas Insulated Switchgear*); e a alternativa híbrida em MTS (*Mixed Technology Substation*).

A alternativa convencional em AIS consiste na substituição dos equipamentos superados no mesmo padrão existente. Para a substituição dos equipamentos de um módulo de manobra, o mesmo deve ser totalmente desenergizado, exigindo a utilização de instalações provisórias, como módulos de manobra móveis e barramentos auxiliares, para atender a função transmissão durante o período prolongado de indisponibilidade do módulo.

Os barramentos existentes necessitariam de adequações para suportar o elevado nível de curto-circuito, impondo restrições adicionais ao empreendimento, como a desenergização destes barramentos e adesabilitação da proteção diferencial de barra. Considerando que a substituição destes vinte e sete módulos é complexa, com riscos operacionais, esta alternativa exigirá um maior número de desligamentos, além da indisponibilização temporária de diversos equipamentos. Assim sendo, esta alternativa impõe as maiores restrições operativas apesar de possuir o menor custo global.

A alternativa GIS considera a construção de todo o barramento 230 kV e seus equipamentos na tecnologia GIS. Devido ao elevado comprimento do barramento, a ideia inicial seria construir duas semi-barras, minimizando os comprimentos de cabos isolados necessários para conectar cada módulo às respectivas funções transmissão.

Toda a construção poderia ser totalmente desenvolvida sem interferir nas instalações existentes. Quando todos os módulos estiverem concluídos, é possível iniciar a transição da função transmissão para o novo módulo. Esta solução apresenta as menores restrições operativas apesar de um maior custo global. Também apresenta menor risco de atraso, pois todo o barramento pode ser executado com imunidade às condições climáticas, à exceção das etapas de transição, que requerem desligamentos programados.

A alternativa híbrida é baseada na oportunidade de se aproveitar o espaço físico disponível em área adjacente ao setor 230 kV existente que, apesar de ser reduzido, permite a construção de novos módulos compactos isolados a gás conectados em barramentos aéreos convencionais isolados a ar, desativando os módulos existentes ao término da migração. Com esta solução tecnológica, o novo módulo pode ser construído sem interferir no módulo existente e, assim que concluído, migrado de forma rápida. Devido ao total encapsulamento em gás, a manutenção é simples e com intervalos maiores em comparação com os equipamentos convencionais.

Na Tabela 1, podemos observar um comparativo das alternativas de recapacitação para a Subestação Gravataí 2.

Tabela 1 – Comparativo de Alternativas para Recapacitação da Subestação Gravataí 2

	Alternativa Convencional	Alternativa Híbrida (Barra Aéreo + GIS)	Alternativa GIS
Custo Referencial	53%	100%	134%
Prazo Execução	65 meses	36 meses	26 meses
Confiabilidade	Baixa	Alta	Muito Alta
Manutenção	Alta	Baixa	Muito Baixa
Restrições Operativas para Implantação	Alta	Baixa	Muito Baixa

4.0 - SOLUÇÃO PROPOSTA

Considerando o menor tempo de execução da obra, com um número reduzido de desligamentos, menor tempo de indisponibilidades no sistema elétrico interligado e a relação de custo/benefício a alternativa definida foi a solução híbrida em MTS.

Desta forma, o *uprating* desta Subestação utilizará disjuntor, seccionadores e transformador de corrente integrados em um único módulo encapsulado e isolados a gás (módulos GIS), conforme Figura 4 e Figura 5, e inseridos em novos barramentos convencionais 230 kV isolados a ar. O novo esquema de manobra do setor 230 kV será barra dupla 4 chaves. Por razões de custo e manutenção, os transformadores de potencial capacitivos e para-raios não

serão integrados e permanecem no padrão convencional isolado a ar.

O novo barramento de 230 kV será construído em área reduzida imediatamente ao lado dos barramentos existentes de forma a não interferir na parte atualmente energizada. Também serão instalados novo sistema de medição, proteção, comando, controle e supervisão, novo sistema de serviços auxiliares e nova casa de relés.

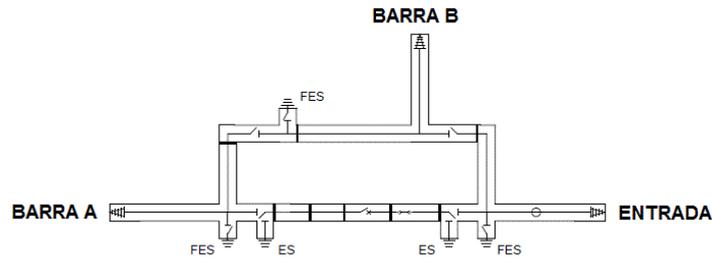


FIGURA 4 – Diagrama Unifilar do Módulo GIS para Barramento Aéreo

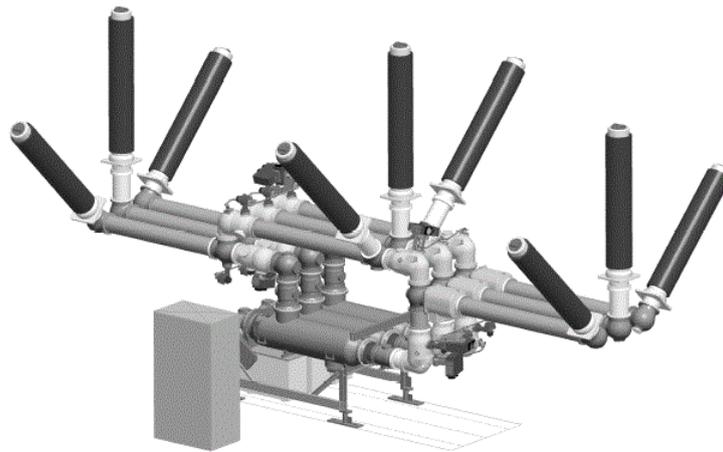


FIGURA 5 – Módulo GIS para Barramento Aéreo proposto pela GE Grid Solutions

Com esta solução tecnológica, o novo módulo pode ser construído sem interferir no módulo existente, e quando concluído, haverá apenas um pequeno desligamento para atividades de migração. Todas as estruturas existentes e novas devem ser dimensionadas e reforçadas para suportar o nível de corrente de curto-circuito de 63 kA, incluindo o sistema de aterramento, barramentos e pórticos de ancoragem das Linhas de Transmissão.

Os módulos GIS devem ser montados abaixo do novo barramento energizado, porém devido a sua altura maior quando comparado aos equipamentos convencionais, a altura do barramento foi ajustada para 14 metros para garantir a distância mínima de segurança dos pontos energizados durante o processo de montagem dos módulos.

Nas Figura 6, Figura 7 e Figura 8, observamos a aplicação dos módulos GIS no arranjo eletromecânico da Subestação em suas principais funções de transmissão.

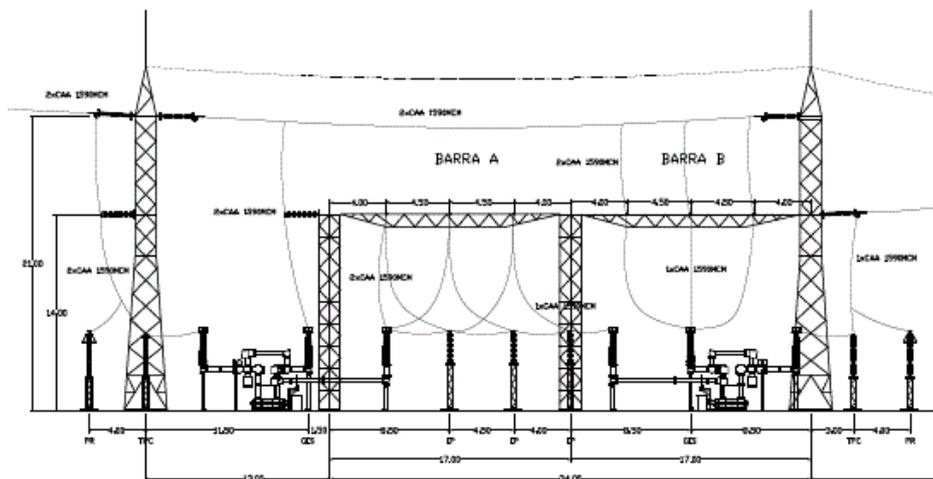


FIGURA 6 – Corte dos Módulos Híbridos de Conexão de Autotransformador e Entrada de Linha

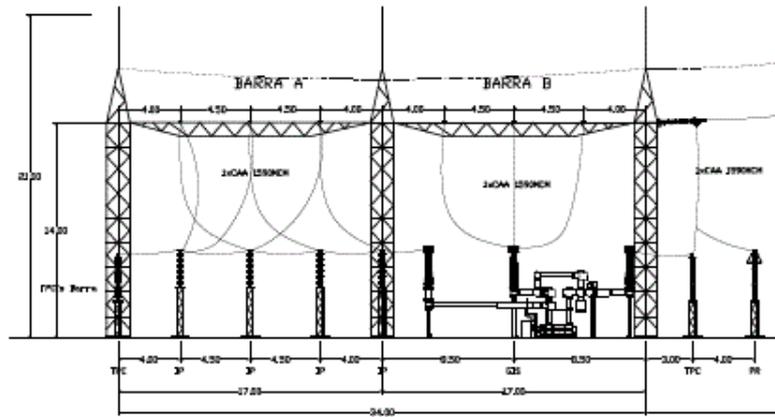


FIGURA 7 – Corte do Módulo Híbrido de Entrada de Linha

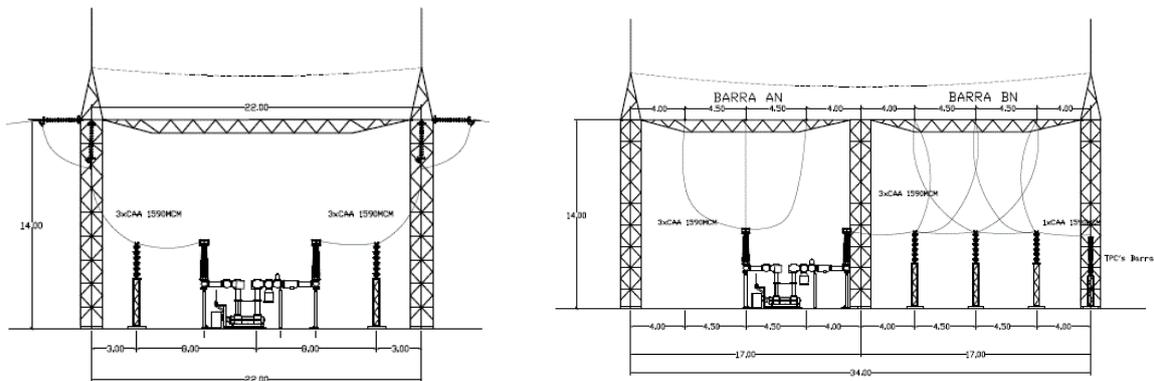


FIGURA 8 – Corte dos Módulos Interligadores de Barras e Semi-barras

Na Tabela 2, podemos observar um comparativo entre as dimensões ocupadas no pátio pelos módulos de manobra convencionais existentes e pelos futuros módulos híbridos. A largura do vão da configuração híbrida poderia ter sido reduzida para 13,5 m, no entanto foi mantida a dimensão de 17 m para compatibilização com as ancoragens existentes das Linhas de Transmissão.

Tabela 2 – Comparativo Dimensões no Pátio

Módulo de Manobra	Convencional Existente	Híbrido (Barra Aéreo + GIS)
Largura Vão	17 m	17 m (*)
Comprimento Vão	74 m	40 m
Altura Barramento	11 m	14 m
Módulos de Manobra por vão	1	2

(*) Poderia ter sido reduzida para 13,5 m. Foi mantida 17 m para compatibilização com a ancoragem existente.

Na Figura 9 temos a planta do setor 230 kV com os novos módulos de manobra na configuração final híbrida.

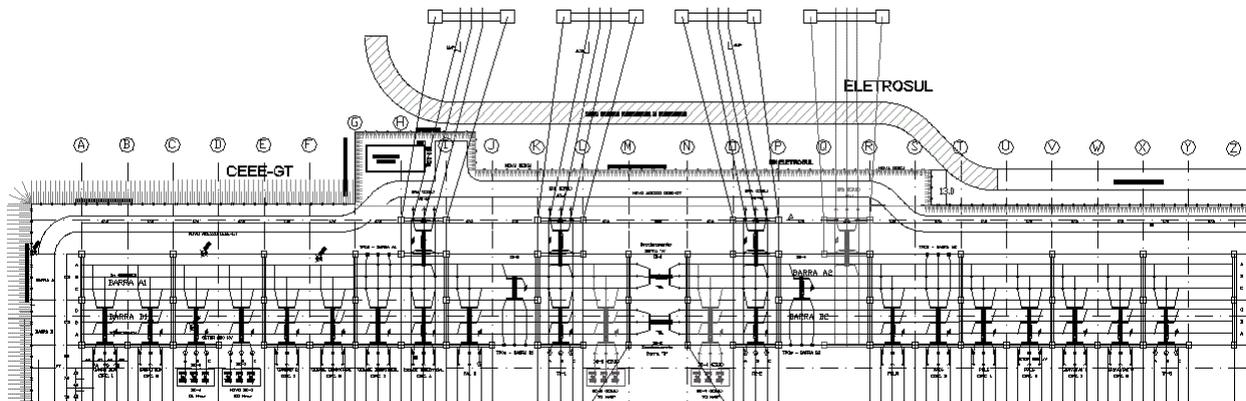


FIGURA 9 – Planta do Setor 230 kV com Módulos Híbridos

4.1 Etapas de Obras

Esta obra será planejada em diversas etapas executivas para minimizar os impactos na operação do sistema elétrico interligado, sem implicar em indisponibilidades inadmissíveis. Com a solução híbrida a ser adotada, poderemos recapacitar o setor 230 kV da Subestação Gravataí 2 para a capacidade de corrente de curto-circuito de 63 kA através de uma obra com duração estimada de 36 meses com um número reduzido de desligamentos e menor tempo de indisponibilidades.

Na primeira etapa, serão construídos os novos barramentos 230 kV na área livre da Subestação, o novo prédio de relés, novo sistema de serviços auxiliares e os três módulos de conexão de autotransformadores 525/230 kV. Estes novos módulos serão alocados nos vãos imediatamente adjacentes aos seus respectivos módulos atuais, permitindo, após a desenergização dos módulos convencionais existentes, fazer a desmontagem das instalações para liberar a área para conclusão dos novos barramentos 230 kV.

Os demais módulos GIS serão montados e comissionados, tendo como prioridade os módulos necessários para as etapas imediatamente posteriores, a serem planejadas.

4.2 Estudos Elétricos

Para coexistência e compatibilidade adequada dos novos módulos isolados a gás com o restante da subestação convencional existente será necessário avaliar uma série de aspectos técnicos que podem resultar em necessidade de adequações adicionais nas instalações existentes. Esta avaliação será realizada a partir de elaboração da modelagem elétrica do sistema a ser implantado e modelagem dos sistemas existentes para verificações do tipo ferro-ressonância, transitórios muito rápidos – VFT (*very fast transients*), coordenação de isolamento, tensão de reestabelecimento transitório, entre outros.

Com base nas modelagens, devem ser elaborados estudos e serviços, visando avaliar curva, energia e posicionamento de para-raios e demais equipamentos, determinação e verificação de suportabilidade a sobretensões de todos os equipamentos impactados na própria Subestação e em todas as instalações existentes no entorno elétrico desta, assim como verificação de todas as demais características elétricas dos equipamentos abrangidos no que diz respeito à adequação, harmonia e suportabilidade a todo tipo de solicitação imposta.

5.0 - CONCLUSÃO

A expansão do sistema elétrico brasileiro tem proporcionado a elevação dos níveis das correntes de curto-circuito nas instalações existentes, especialmente próximas aos grandes centros consumidores de energia elétrica. Esta elevação dos níveis das correntes acaba provocando a superação das atuais instalações, requerendo soluções técnicas não convencionais de projeto e construção, além de estudos especiais, considerando o elevado nível de curto-circuito e as limitações operacionais para as funções de transmissão que devem permanecer energizadas durante a implantação.

A utilização de tecnologia híbrida em MTS se mostrou a mais adequada para a recapacitação da Subestação Gravataí 2, considerando o menor tempo de execução da obra, com um número reduzido de desligamentos, menor tempo de indisponibilidades no sistema elétrico interligado e a relação de custo/benefício quando comparada com a solução totalmente em GIS.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Fraga, F. N.; Rodrigues, W. J.; Braz, H. D. M.; Melo, G. H. S. V. "Desafios para o Projeto de uma Subestação de 4.800 MVA de Potência Instalada e 63 kA de Corrente de Curto-Circuito no Setor 230 kV", XXI SNPTEE, Florianópolis, SC, 2011;
- (2) Albuquerque, L.M.; Fraga, F.N.; Godoy, A.V.; Arcon, A.B. - Análise comparativa para tomada de decisão na escolha da tecnologia para implantação de novas subestações, XXII SNPTEE – Brasília, Outubro 2013;
- (3) International Electrotechnical Commission. IEC 60865-1: Short-circuit currents - Calculation of effects - Part 1 - Definitions and calculation methods, 1993;
- (4) International Electrotechnical Commission. IEC 60865-1: Short-circuit currents - Calculation of effects - Part 2 - Examples of calculation, 1994;
- (5) International Electrotechnical Commission. IEC 62271-203: High-voltage switchgear and controlgear – Part 203: GIS rated voltages above 52 kV, 2011.
- (6) CIGRÉ, Working Group 23-11, Brochure 105, The Mechanical Effects of Short-circuit currents in open air substations (Rigid and Flexible Bus-bars), Volume 1: An updated revision of the CIGRÉ Brochure of 1987, Volume 2: Data base of reference Tests, April 1996;
- (7) CIGRÉ, Working Group 23.03, Brochure 214, The Mechanical Effects of Short-circuit currents in open air substations (Part II), October 2002;
- (8) CIGRÉ, Working Group B3.17, Brochure 381, GIS State of the Art 2008, June 2009;
- (9) CIGRÉ, Working Group B3.20, Brochure 390, Evaluation of Different Switchgear Technologies (AIS, MTS, GIS) for Rated Voltages of 52 kV and above, August 2009;
- (10) CIGRÉ, Working Group B3.23, Brochure 532, The Substation Upgrading and Upgrading, April 2013;
- (11) ONS, Procedimentos de Rede - Submódulo 2.3 – Requisitos mínimos para transformadores e para subestações e seus equipamentos, Revisão 2016.12, 2016;

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Luciano Hoffmann Paludo, nascido em Caxias do Sul/RS no ano de 1980. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 2002. Especializado em MBA Executivo de Gestão Corporativa do Negócio de Energia pela ESPM em 2011. Desde 2009, desenvolve atividades profissionais na Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CEEE-GT) na Engenharia de Subestações da Área de Expansão da Transmissão.



Piero Felipe Rolim Antunes, nascido em Santo Ângelo/RS no ano de 1984. Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 2008. Desde 2009, desenvolve atividades profissionais na Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CEEE-GT), na Engenharia de Avaliações e na de Subestações da Área de Expansão da Transmissão.



Eduardo Bortolin Argenton, nascido em Porto Alegre/RS no ano de 1985. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e pelo Grenoble INP, France em 2009. Desde 2011, desenvolve atividades profissionais na Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CEEE-GT) na Engenharia de Subestações da Área de Expansão da Transmissão.



Sirineu Elias Filipin, nascido em Alegria/RS no ano de 1981. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em 2006. Especialização com MBA em Gestão Empresarial pela Uniasselvi em 2015. Desde 2011, desenvolve atividades profissionais na Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CEEE-GT) na Engenharia de Linhas de Transmissão e na Engenharia de Subestações da Área de Expansão da Transmissão.