



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

BR/GDS/19
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - X

GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GDS

ANÁLISE DE UMA CORRELAÇÃO DE ÍNDICES GEOMAGNÉTICOS COM EVENTOS TRANSITÓRIOS EM UMA LINHA DE TRANSMISSÃO DA REGIÃO SUL DO BRASIL

Thair I. A. H. Mustafa^{*}, Luiz. H. Meyer
FURB

Leandro H. B. Puchale, Marcius G. Fuchs, Luiz E. C. Lima
CEEE-GT

RESUMO

Este trabalho apresenta a análise de uma possível correlação entre a atividade geomagnética e eventos transitórios (desarmes) em uma linha de transmissão de 138 kV no sul do Brasil. A maioria dos desarmes são causados por defeitos aleatórios de causa desconhecida ao longo da linha transmissão. Como consequência disso, muitos estudos têm sido realizados para identificar a principal causa, incluindo agora a investigação do fenômeno das correntes geomagneticamente induzidas (GIC), como sendo a causa dos problemas que afetam a confiabilidade desse sistema de transmissão. Os resultados preliminares permitem identificar o grau de dependência entre a atividade geomagnética e a ocorrência de desarmes da proteção.

PALAVRAS-CHAVE

Linha de Transmissão, Proteção de Sistemas, GICs, Desarmes, Confiabilidade

1.0 - INTRODUÇÃO

As correntes geomagneticamente induzidas (Geomagnetically Induced Currents-GIC) aparecem na superfície da terra devido a mudanças no seu campo magnético e podem afetar sistemas elétricos de potência como também sistemas de telecomunicações (1,2). Para determinar como exatamente essas correntes influenciam na dinâmica desses sistemas é necessário estudar as relações entre as atividades geomagnéticas e as solares.

Durante tempestades geomagnéticas não somente a magnitude do campo magnético na superfície da terra é relativamente grande se comparado com dias normais, como também a sua taxa de variação.

Estas tempestades causam variações do campo magnético de 1000 a 2000 nT em latitudes aurorais, entretanto são muito menores, cerca de 200 a 300 nT em latitudes equatoriais e médias, como no Brasil.

A ocorrência de tempestades geomagnéticas produzem as GIC em diferentes sistemas, consistindo num caminho condutivo ao longo de dutos metálicos, linhas de transmissão de energia (LT) e linhas de transmissão de dados. Essas GIC são substancialmente ampliadas, quando a taxa de variação de campos geomagnéticos é mais intensa e quando a superfície da terra possui uma alta resistividade. No caso de linhas de transmissão, o campo elétrico induzido produz correntes que fluem através do sistema de aterramento dos transformadores nas subestações podendo causar diferentes tipos danos aos equipamentos.

Nesse contexto, as GIC podem afetar a operação de transformadores, produzindo ruídos mecânicos, aquecimento e um aumento de distorções harmônicas. Portanto, os transformadores podem ser danificados e eventualmente causar desligamentos nos sistemas de potência, já as distorções harmônicas podem afetar diretamente a operação do sistema de proteção de banco de capacitores, transformadores e geradores.

(*) Rua São Paulo, nº3250 – sala F-201 - FURB Campus II – CEP 89030-000, Blumenau, SC – Brasil
Tel: (+55 47) 3221-6020 – Fax: (+55 47) 3221-6001 – Email: tim@furb.br

Para avaliar esse fenômeno são usadas medições de campo magnético, as quais são obtidas através de magnetômetros instalados em diferentes pontos da terra. Assim, essas perturbações geomagnéticas podem ser quantificadas e caracterizadas por valores médios, bem como classificadas de acordo com sua intensidade. Esse tema das GIC tem sido estudado há muitos anos em regiões de altas latitudes no hemisfério norte, mas há evidências de ocorrências de GIC em linhas de transmissão e transformadores em regiões de baixas e médias latitudes, caso do Brasil, durante tempestades geomagnéticas. De acordo com alguns autores (3-5), o Brasil e uma grande parte da América do Sul estão sob uma anomalia de campo magnético, caracterizada pelas baixas intensidades do campo magnético total, chamada de Anomalia do Atlântico Sul (AAS) mostrada na Figura 1 (6). Assim, todos os estados do sul do Brasil fazem parte dessa área de anomalia, incluindo o estado do Rio Grande do Sul, onde engenheiros da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE-GT) tem suspeitado que alguns desligamentos por atuação da proteção e sem causa conhecida, de uma linha de transmissão específica poderiam estar relacionados as GIC.

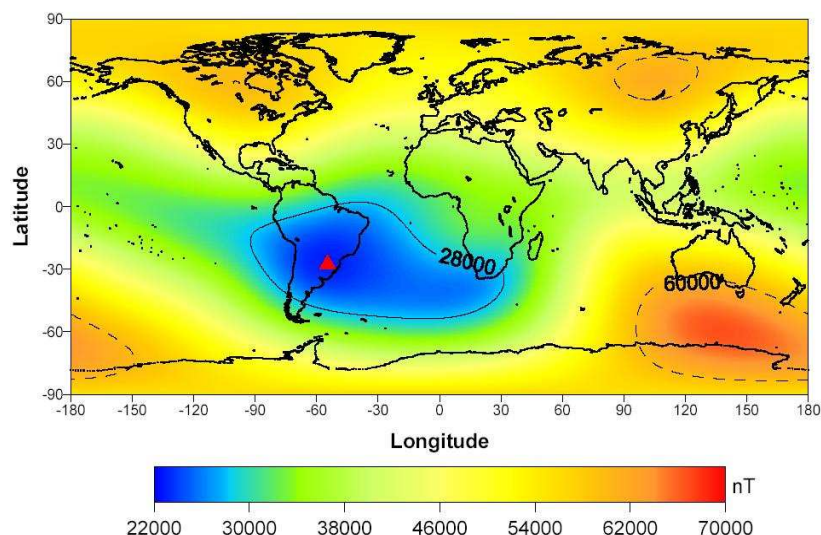


FIGURA 1- Anomalia do Atlântico Sul.

Com esse objetivo, na seção seguinte é apresentada uma breve discussão sobre os esquemas de proteção para a linha de transmissão em questão, bem como algumas informações sobre as condições climáticas na região onde a linha de transmissão esta situada.

Na sequência, uma análise da correlação entre as atividades geomagnéticas e os eventos de desarmes transitórios da proteção é realizada, para a discussão dos resultados apresentados.

2.0 - OS DESARMES DA PROTEÇÃO E AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

No que diz respeito ao sistema de proteção, a linha de transmissão objeto desse estudo (LT 138kV Santa Maria 1 / Alegrete) possui um esquema de teleproteção, em que as proteções primárias e secundárias com relés de sobrecorrente direcional de neutro (67N) e relés de distância (21) operam perfeitamente para os principais tipos de faltas. No entanto, um problema significativo é o número relativamente alto de desarmes transitórios, causados por faltas do tipo fase-terra, em que há a atuação do esquema de proteção primária seguido do religamento automático. Várias ações tem sido tomadas pelo corpo técnico da CEEE-GT ao longo dos últimos anos visando resolver o problema, as quais incluem a substituição e o aumento do número de peças de isoladores na cadeia, além de melhorias no sistema de aterramento das estruturas. Infelizmente nenhuma dessas ações implicaram em redução significativa do número de desarmes por falta do tipo fase-terra.

Com relação às condições climáticas, a caracterização das mesmas no Brasil é realizada com base na análise de uma grande quantidade de dados estabelecidos pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Por sua vez, o clima no Estado do Rio Grande do Sul é considerado subtropical, com um comportamento bem definido, com baixas temperaturas (12 ° C, em média) no inverno e quentes (32° C, em média) no verão, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (7). Assim, num projeto recente e que foi financiado pela CEEE-GT, os autores tem investigado vários dados relacionados com o comportamento desta linha de transmissão, o que deu origem a muitas razões possíveis para este problema, que vão desde os de natureza elétrica, como a ocorrência de sobretensões devido à ressonância harmônica, problemas de natureza meteorológica e também as GIC.

Inicialmente os autores começaram avaliar o problema, considerando a existência de outras razões para os desligamentos, as quais poderiam estar baseadas numa possível correlação entre os desarmes da proteção e condições climáticas adversas no momento das faltas. Uma análise baseada nas condições climáticas foi realizada em (8), especialmente levando em consideração, muitos dos parâmetros que são usualmente utilizados nos estudos de coordenação de isolamento e na investigação sobre a excepcionalidade de qualquer um desses nessa região do Brasil.

3.0 - OS ÍNDICES GEOMAGNÉTICOS APLICADOS NA ANÁLISE DE GIC

As atividades geomagnéticas são medidas com o propósito de fornecer informações do nível de atividade geomagnética. Entre os índices que são usados para a caracterização de perturbações geomagnéticas, o índice Dst- *Disturbance storm time* (tempo de distúrbio da tempestade) mede a intensidade da tempestade solar e é obtido a cada hora, a partir da média de dados de estações próximas da linha do equador. Outro índice que auxilia na caracterização do período de perturbações geomagnéticas é o índice planetário *Kp-planetarische Kennziffer*, que indica o grau de perturbação do campo geomagnético global, este índice é obtido usando dados obtidos em 13 observatórios distribuídos em torno da terra, tendo valores de 0 a 9, de acordo com a sua intensidade.

A Tabela 1 mostra a classificação e a faixa de magnitude do índice Dst (9). A Tabela 2 mostra os valores aplicados para o índice Kp (10).

Tabela 1 - Classificação do índice Dst

Índice Dst	
Tempestade Fraca	$-50 < Dst \leq -30$ nT
Tempestade Moderada	$-100 < Dst \leq -50$ nT
Tempestade Severa	$-150 < Dst \leq -100$ nT
Tempestade Muito Severa I	$-300 < Dst \leq -150$ nT
Tempestade Muito Severa II	$Dst \leq -300$ nT

Tabela 2 - Classificação do índice Kp

Índice Kp	
Extremo	$8 < Kp \leq 9$
Severo	$7 < Kp \leq 8$
Forte	$6 < Kp \leq 7$
Moderado	$5 < Kp \leq 6$
Fraco	$Kp \leq 5$

4.0 - AS GIC E A CORRELAÇÃO COM OS DESARMES TRANSITÓRIOS DA PROTEÇÃO

As GIC normalmente entram nas linhas de transmissão, através do aterramento de neutro de transformadores ligados em Y, como mostrado na Figura 2 (5).

Dependendo da amplitude dessas correntes, elas podem afetar o sistema de transmissão, causando vários tipos de danos e também podem afetar simultaneamente múltiplos sistemas de transmissão. Em transformadores, as GIC podem levar à saturação do núcleo, provocando um aquecimento indesejável e danificar o isolamento. Já a injeção de harmônicos no sistema, pode afetar o funcionamento do sistema de proteção convencional.

Assim, no que diz respeito à linha de transmissão 138 kV Santa Maria/ Alegrete, a Figura 3 e a Figura 4 mostram o número de atuações da proteção totalizados por mês e por ano, respectivamente, ocorridos no período de janeiro de 2001 até dezembro de 2011. Pode-se observar que nos meses de abril, maio e junho e, especialmente, nos últimos três anos, houve um significativo aumento do número de eventos.

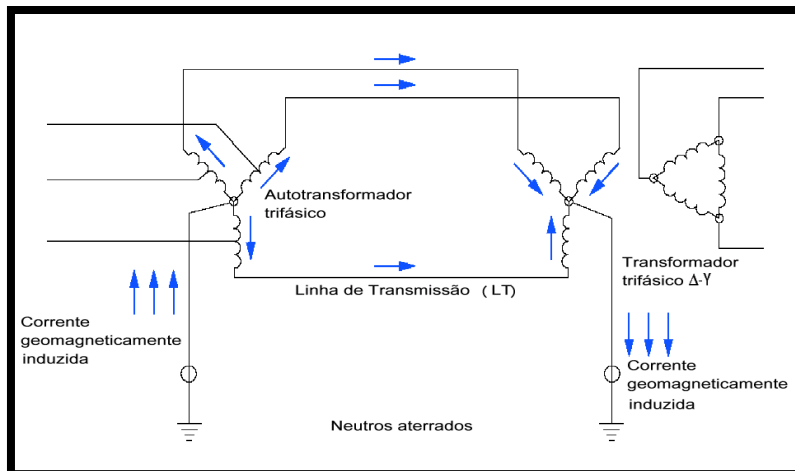


Figura 2 - Circuito esquemático mostrando as GIC através do sistema de transmissão

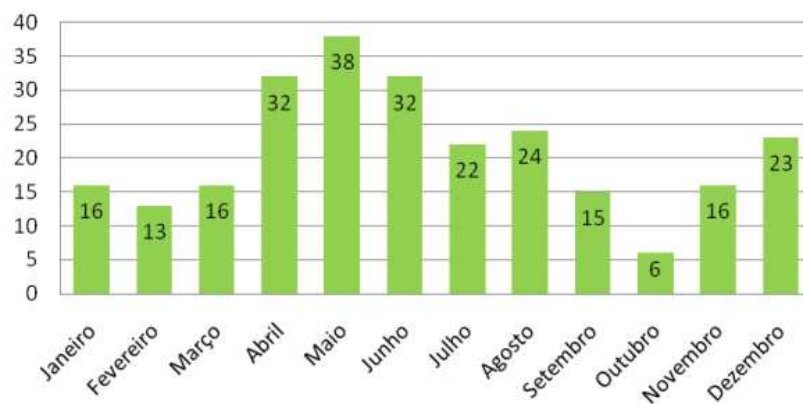


Figura 3 – Números de desarmes por mês (jan/2001 – dez/2011)

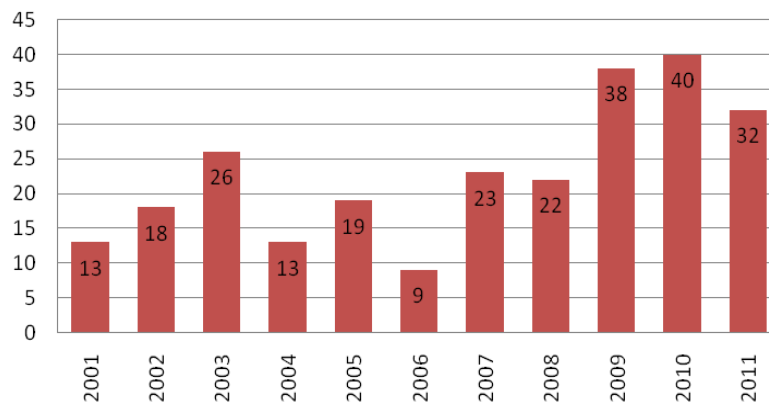


Figura 4 – Números de desarmes por ano (jan/2001 – dez/2011)

Portanto, com base nas informações obtidas a partir de relatórios técnicos da CEEE-GT (11), foi realizado um estudo de correlação desses eventos com a atividade geomagnética correspondente ao mesmo período.

5.0 - RESULTADOS PRELIMINARES

Para avaliar o grau de correlação entre o número de eventos e a atividade geomagnética, foram considerados os dados de desarmes transitórios por atuação da proteção desde 2001 até 2011 e dois índices geomagnéticos para o mesmo período, Dst e Kp, como apresentado e sugerido em (12). A Figura 5 mostra a frequência de ocorrência do índice Dst ao longo do período mencionado, por ano/mês e considerando os valores abaixo de -50 nT, típicos de período tempestade moderada, conforme mostrado na Tabela 1.

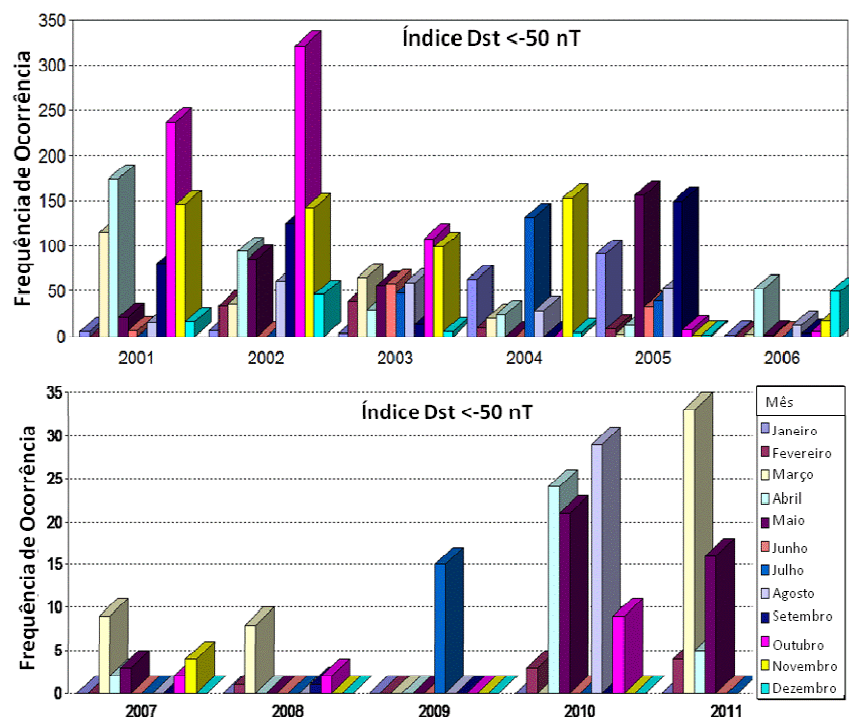


Figura 5 - Frequência de ocorrências de *Dst* entre 2001 e 2011

Nesta figura pode ser observado que, durante os primeiros cinco anos (2001-2005), o índice de *Dst* foi significativo, o que caracteriza uma atividade geomagnética intensa, ao contrário do que aconteceu nos últimos três anos (2009-2011), mostrando uma baixa atividade geomagnética.

Também foi analisado o outro índice geomagnético, *Kp*, para o período crítico em que houve muitos desarmes na linha de transmissão. Portanto, alguns dias foram classificados de acordo com o nível de distúrbios magnéticos causados pela atividade solar e o período durante o qual, houve a maioria das atuações da proteção. A Figura 6 mostra o comportamento dos índices geomagnéticos (*Kp* e *Dst*) entre os dias 13 e 18 de maio de 2010, quando houve um grande número de eventos transitórios de acordo com o relatório técnico da CEEE-GT (10).

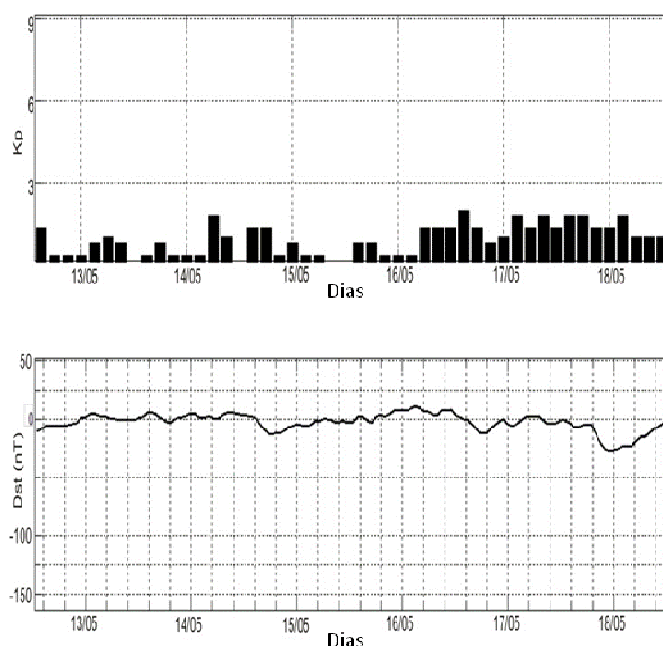


Figura 6 - Índices *Kp* e *Dst* entre 13 e 18 de Maio de 2010

Pode ser observado nos gráficos da Figura 6, que o índice máximo de Kp é inferior a 3, mostrando que as condições da ionosfera são muito calmas, pois somente com valores de Kp acima de 5 é que podem ocorrer tempestades geomagnéticas conforme visto na Tabela 2. Por outro lado, para o índice Dst, pode-se observar que os valores são bem abaixo de -50 nT e um valor em torno de -30 nT durante o dia 18 de maio de 2010, o que confirma a baixa atividade geomagnética para o período analisado.

6.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta elementos para avaliar uma possível correlação entre as GIC e desarmes transitório da proteção sem causa conhecida em uma linha de transmissão no Sul do Brasil. Ao contrário de regiões polares, onde a relação entre os eventos solares e GIC confirma a existência de perturbações em sistemas de transmissão, o mesmo não pode ser dito sobre o que ocorre no sul do Brasil.

As análises realizadas indicam que durante o período observado para o desempenho da linha de transmissão em 138 kV Santa Maria 1 / Alegrete, localizada na região da AAS, as atuações da proteção (desarmes) tem uma fraca correlação com os índices que caracterizam o fenômeno de correntes geomagneticamente induzidas.

Considerando, também, o histórico de manutenção e os eventos ocorridos, não foi encontrada uma intensa atividade geomagnética, o que não indica, portanto, um cenário crítico a estabilidade e a confiabilidade do sistema de transmissão.

Apesar do que é apresentado neste artigo, ainda é muito cedo para dar um parecer definitivo sobre o assunto, uma vez que apenas um curto período de alta atividade solar foi verificado e assim observado.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) R. Pirjola, "Geomagnetically Induced Currents During Magnetic Storms", IEEE Trans. on Plasma Science, vol. 28, 2000.
- (2) R. Pirjola, "Fundamentals about the flow of geomagnetically induced currents in a power system applicable to estimating space weather risks and design remedies", Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 64, 2002.
- (3) J. K. Kappenman, "Storm sudden commencement events and the associated geomagnetically induced current risks to ground-based systems at low-latitude and midlatitude locations", Space Weather, Vol. 1, No 3, 1016, 2003.
- (4) Thorberg, Rasmus. "Risk analysis of geomagnetically induced currents in power systems". Faculty of Engineering, LTH, Lund University, 2012.
- (5) Soares, A. P.; Luz, G. S.; Pinto, F. A.; Filho, S. M.; Trivedi, N.B.; Vitorello, I.; Padilha, A. L.; Dutra, S.; Barbosa, M. J. "Evaluation of Geomagnetically Induced Current (GIC) effects on Electrical Power System in the Southeastern Brazilian Region". X SEPOPE, Florianópolis, Maio 2006.
- (6) Pinto Jr. O., Gonzalez W.D., Pinto I.R.C.A., Gonzalez A.L.C. and Mendes Jr. O. 1992. "The South Atlantic Magnetic Anomaly: three decades of research". J Atmos SolarTerr Phys 54: 1129-1134, 1992.
- (7) O. A. Campbell[et al] "Wind Atlas: Rio Grande do Sul State" (in Portuguese), published by Department of Energy and Communications of Rio Grande do Sul State, Porto Alegre, Brazil, 2002, p. 70.
- (8) T.I.A.H. Mustafa, L.H. Meyer, S.H. L. Cabral, H.D. Almaguer and L. B. Puchale, " Study of correlation between weather conditions and protection trips in 230 kV transmission line in southern Brazil", in Proc. 2012 IEEE Power & Energy Society, Transmission and Distribution Conference and Exposition, Orlando, USA.
- (9) Gonzalez, W. D.; e Tsurutani, B. T. "Criteria of interplanetary parameters causing intense magnetic storms (Dst < -100 nT)". Planet. Space Sci., v.35, n.9, p.1101-1109, jul. 1987.
- (10) Bartels, J.; Heck, N. H.; Johnston, H. F. "The three-hour-range index measuring geomagnetic activity", Journal of Geophysical Research, 44, p. 411-, 1939.
- (11) Fuchs, Marcius G. "Análise dos desarmes ocorridos na LT 138kV SMA1 X ALE- com vistas às ações de manutenção". Relatório Técnico, CEEE-GT. August, 2011.
- (12) World Data Center for Geomagnetism, Kyoto, Japan. Available: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Thair Ibrahim Abdel Hamid Mustafa nasceu em Santa Maria-RS em 28 de setembro de 1967. Professor e Pesquisador do Departamento de Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Universidade Regional de Blumenau – FURB em SC. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM em 1990, Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina UFSC em 1994 e 2004, respectivamente. Ingressou no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Regional de Blumenau em 1994, onde desenvolve atividades em cursos de graduação e pós-graduação. Seus interesses em pesquisa são na área de proteção e simulação de sistemas de potência, qualidade de energia e compatibilidade eletromagnética.

Luiz Henrique Meyer nasceu em Blumenau-SC em 09 de abril de 1968. Professor e Pesquisador do Departamento de Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Universidade Regional de Blumenau-FURB em SC. Graduado e Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, em 1991 e 1994, respectivamente, Ph.D. em Engenharia Elétrica pela Universidade de Waterloo, no Canadá, em 2003. Ingressou no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Regional de Blumenau, Blumenau em 1993, onde desenvolve atividades nos cursos de graduação e pós-graduação. Sua área de pesquisa principal é o desempenho de materiais isolantes de alta tensão e sistemas aplicados a áreas costeiras.

Leandro Henrique Bona Puchale

- Nascido em Santa Maria – RS, em 1981;
- Especialista em Engenharia de Manutenção pela PUCRS em 2011 e graduado em Engenharia Elétrica pela UFSM em 2003;
- Trabalha na Divisão de Manutenção da Transmissão da CEEE-GT desde agosto de 2005.

Luiz Eduardo Corrêa de Lima:

- Nascido em Santa Maria – RS, em 1968;
- Mestre em Engenharia Elétrica - Sistemas de Energia em 2004 pela PURS e graduado em Engenharia Elétrica pela UFSM em 1989;
- Trabalha na Divisão de Manutenção da Transmissão da CEEE-GT desde janeiro de 2007.

Marcius Gressler Fuchs

- Nascido em Santa Maria – RS, em 1967;
- Mestre em Engenharia Elétrica - Sistemas de Potência em 1998 pela UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho em 1996 pela UFSM, e graduado em Engenharia Elétrica pela UFSM em 1993;
- Trabalha na CEEE-GT desde 2001, atuando até 2012 na área de manutenção de subestações e linhas de transmissão, atualmente atua na área de proteção e automação.