



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

BR/GPC/22
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - V

GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC

**SISTEMA COMPUTACIONAL PARA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA
DOS REGISTROS OSCILOGRÁFICOS**

**Weber Melo de Sousa
CEMIG GT**

**Carlos Alberto B. Costa (*)
CEMIG GT**

**Clever S. P. Filho
PROTLab/UFMG**

**Marcos Baeta de Miranda
CEMIG GT**

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema computacional para classificação automática dos registros oscilográficos provenientes dos Registradores Digitais de Perturbação – RDPs instalados nas subestações – SEs da Cemig GT, propiciando rapidez, economia e efetividade na análise, em razão do grande volume de registros gerados pelas mais diferentes causas. A identificação automática do distúrbio que originou os registros, a verificação da presença ou não de perturbação e o descarte de registros espúrios agiliza, de forma impactante, o processo de análise de cada um dos registros economizando tempo e trabalho dos analistas. Além disso, alguns fenômenos que passavam despercebidos durante o processo de análise de ocorrências podem ser verificados, analisados e inclusive melhorados com a utilização do sistema computacional proposto. O trabalho mostra ainda que o sistema desenvolvido pode ser utilizado para agregar novas funções importantes, tais como a indicação de vida útil de contatos de disjuntor e localização automática de faltas em linhas de transmissão, reduzindo drasticamente a necessidade de manutenção preventiva em disjuntores e o tempo de reparo de curtos-circuitos permanentes em linhas de transmissão.

PALAVRAS-CHAVE

Análise, Perturbações, Classificação, Registros, Oscilografia, Manutenção, Preditiva

1.0 - INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do sistema é parte integrante de um Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento – P&D, aprovado pela Aneel e em execução pelo PROTLab/UFMG – Laboratório de Proteção Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, em parceria e sob supervisão direta da Cemig GT.

As principais motivações para desenvolvimento desse projeto foram:

- Demanda crescente de supervisão de equipamentos do Sistema Elétrico de Potência – SEP da transmissão através de RDPs;
- Larga utilização de Registros Oscilográficos na Análise de Perturbações no SEP integrados à SAPNET® (Sistema de Análise de Perturbações - Rede de Oscilografia) na Cemig GT;
- Enorme quantidade de registros gerados pelas mais variadas causas destacando-se: curtos-circuitos, variação de tensão de curta duração, variação de tensão rápida e lenta, ruídos (flicker e cintilações), variações de frequências, alguns disparos indevidos da oscilografia, sem causa de natureza elétrica, por equipamentos de proteção ou até disparo do registrador sem perturbação naquele registro (partida por outro RDP na mesma SE). A figura 1 ilustra esse fato através da tela de abertura do sistema existente para uma determinada SE;

- Necessidade de análise cada vez mais eficiente de perturbações e por consequência da classificação do distúrbio (causa, erros nas grandezas, presença ou não de perturbação) e o descarte de registros;
- Necessidade de agilidade, aliada à segurança e confiabilidade, na análise de perturbações que envolvam equipamentos sujeitos à cobrança da parcela variável – PV Parcela Variável (Resolução Normativa nº 270, de 26/06/2007) inclusive para ativos já em operação a partir de Jun/08.

De uma forma geral, todo o processo de detecção e classificação automática tem início com a chegada de um novo registro oscilográfico ao servidor de oscilografias da Cemig GT. O sistema detecta a chegada deste novo registro que é automaticamente analisado, gerando-se um relatório, armazenado em um banco de dados. A análise é feita inicialmente pela determinação de períodos classificados como: pré-evento, evento, pós-evento e outros.

Em seguida, há a classificação do evento, de acordo com filtros especialistas pré-determinados, implementados na SAPNET, visando agilidade e confiabilidade no atendimento em tempo real de perturbações pelo Centro de Operação e na análise pelos especialistas de proteção.

Se durante a classificação do evento, chega-se a conclusão da existência de falta em uma linha de transmissão – LT, o módulo de localização de faltas é automaticamente acionado, utilizando dados de 01 ou 02 terminais, de acordo com a disponibilidade. Na versão atual, há o acionamento de outro módulo que calcula a corrente de curto-circuito interrompida e acumula por fase e também por disjuntor, segundo metodologia pré-estabelecida. Ressalta-se que essas informações finalmente comporão um banco de dados com diversas opções de pesquisa o qual subsidia estudos dos especialistas das áreas de proteção e do Centro de Operação.

2.0 - PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO DOS REGISTROS

2.1 DETERMINAÇÃO DOS PERÍODOS DE EVENTOS

A primeira etapa realizada pelo sistema consiste na determinação dos períodos existentes no registro oscilográfico, e baseia-se principalmente na análise das grandezas analógicas (módulo, ângulo e frequência) de tensão e corrente do registro.

A partir da definição dos valores de pré-falta, que podem calculados pelo sistema (opção padrão) ou pré-estabelecidos e alteráveis pelo usuário, são verificadas as condições de variação de cada canal para cada amostra registrada. Estas condições englobam basicamente se as seguintes opções são verdadeiras ou não, ou seja, se existem ou não tais variações em cada canal:

- Sobrecorrente;
- Subtensão;
- Direcionalidade;
- Ângulo de falta (diferença entre a falta e a pré-falta);
- Alta impedância;
- Sobretenção;
- Frequência normal;

Em caso de existência de condições anormais em mais de uma falta são feitas também as verificações de direcionalidade e ângulo de falta para as fases envolvidas.

Como as transições que ocorrem durante o instante de incidência de perturbações podem afetar a determinação real dos períodos, o sistema aplica um filtro nos resultados considerando como válidos somente os resultados que perdurem acima de um período pré-estabelecido de tempo.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PERÍODOS DE EVENTOS

Nesta etapa procede-se a classificação do evento, de acordo com filtros especialistas pré-determinados implementados na SAPNET e experiência dos especialistas de proteção da Cemig GT.

Basicamente são utilizados critérios clássicos baseados em mudanças das correntes, tensões, impedâncias vistas da barra e alguns critérios específicos decorrentes da experiência do pessoal da Cemig GT na análise de eventos.

A classificação do período pré-evento é feita pela verificação da existência de correntes e tensões equilibradas nas 03 fases, ausência de tensão e corrente de sequência zero e de sequência negativa, dentre outros.

A classificação do tipo de falta, caso exista, baseia-se na existência de sobrecorrentes, subtensões, correntes e tensões de desequilíbrio (V0, 3I0, V2 e I2) quando detectadas.

O período de religamento automático da LT pode ser detectado através do surgimento das grandezas tensão e corrente dependendo se o terminal é "Líder" ou "Seguidor".

Destaca-se também métodos aplicados no sistema que são utilizados pelos equipamentos de proteção [01] de LTs para determinação de direcionalidade do vão sob falta em LTs em uma determinada barra. Para tanto utilizou-se a o idéia da polarização em quadratura, ver Figura 1.

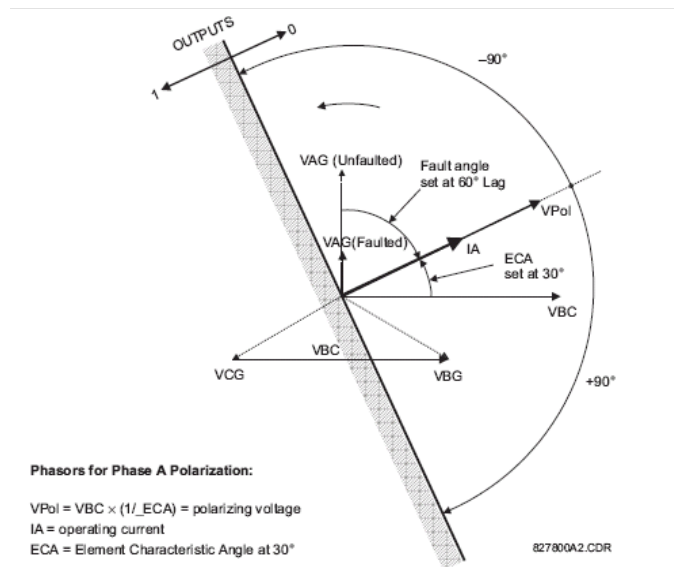


Figura 1 – Exemplo de filosofia de polarização em quadratura [01]

Atualmente o sistema possui a capacidade de verificar e caracterizar os seguintes tipos de perturbações:

- Condição normal do sistema (perturbação não determinada);
- Curto monofásico com terra (com discretização da fase envolvida);
- Curto bifásico com terra e sem envolvimento do terra (com discretização das fases envolvidas);
- Curto trifásico com terra e sem envolvimento do terra;
- Rompimento ou abertura remota de uma ou mais fases (com discretização das fases envolvidas);
- Abertura monopolar do disjuntor (com discretização das fases envolvidas);
- Abertura tripolar do disjuntor;
- Abertura de somente 2 fases do disjuntor – falha de um polo (com discretização das fases envolvidas);
- Energização da LT pelo terminal remoto;
- Religamento da LT;
- Perturbação fora dos limites da LT (forward e backward)
- Subtensão momentânea - sag
- Sobreensão momentânea - swell
- Desequilíbrio de tensão;
- Falta de fase de tensão;
- Religamento monopolar (com discretização da fase envolvida);
- Religamento monopolar no terminal remoto (com discretização da fase envolvida);
- Religamento não satisfatório do terminal remoto;
- LT desligada (início de registro);

O sistema exibe na tela do software de análise os períodos caracterizados através de uma barra na parte inferior dos gráficos dos canais analógicos indicando através de cores as diferentes classificações. São também inseridas linhas fixas na área dos canais indicando os limites dos períodos. A identificação dos períodos é feita através de "tool-tips" e de mensagem na barra de status do sistema dependendo da posição do cursor de navegação. Ver Figura 2.

Um relatório também é gerado, ver Figura 3, detalhando as informações coletadas nos períodos caracterizados. Neste relatório constam as seguintes informações:

- Vão analisado
- Identificação do período
- Tipo de perturbação verificada
- Amostra de início do período
- Amostra final do período
- Duração do período em ms
- Corrente máxima no período com a identificação da fase na qual ocorreu;
- Tensão máxima no período com a identificação da fase na qual ocorreu;
- Tensão mínima no período com a identificação da fase na qual ocorreu;
- Se o período precede uma abertura de disjuntor é também indicado o valor da corrente interrompida em cada fase aberta.

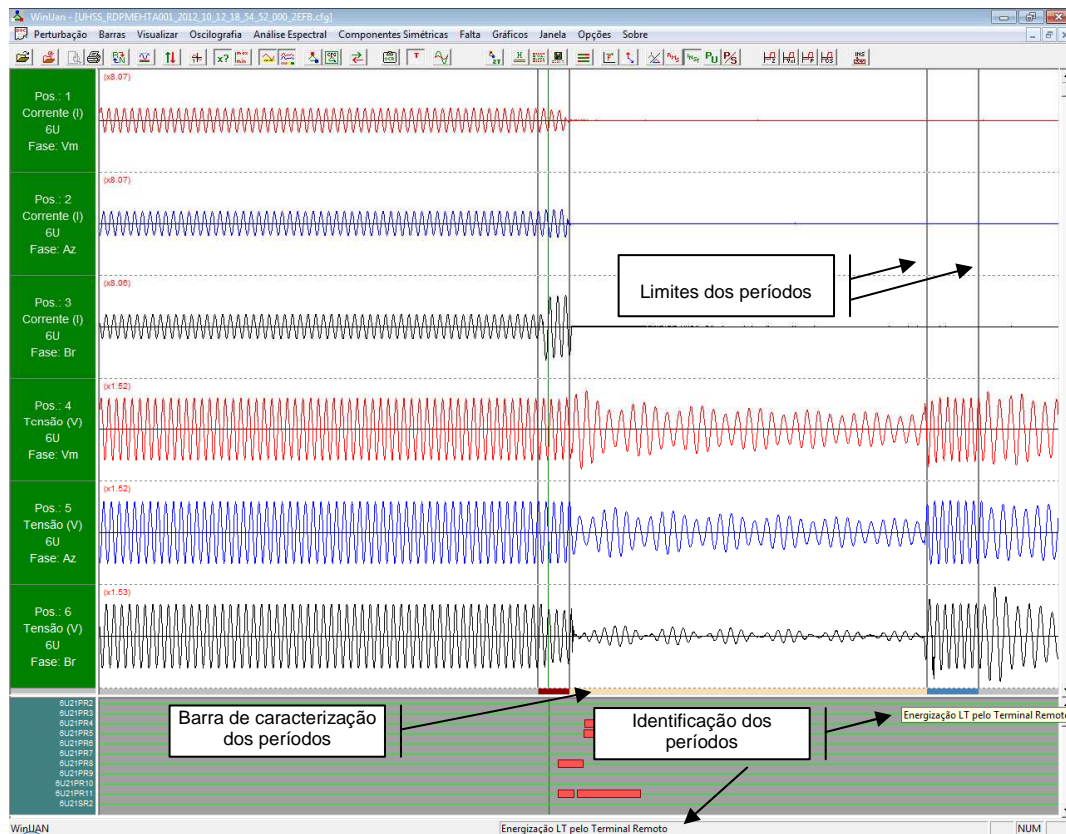


Figura 2 – Exibição dos períodos classificados na tela de oscilografia

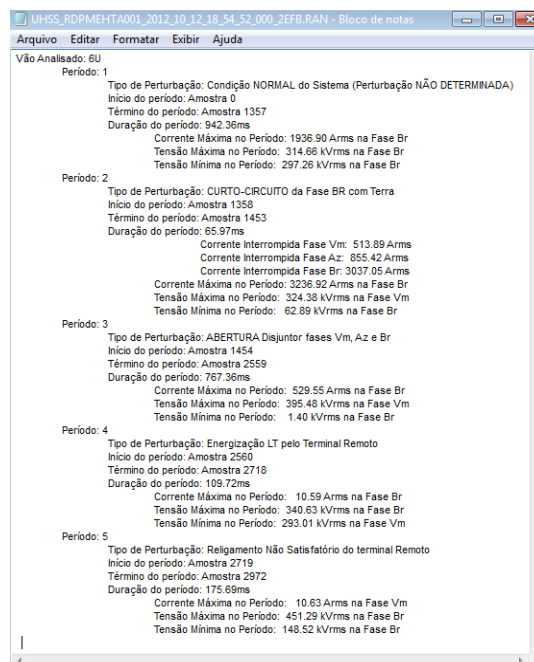


Figura 3 – Relatório com resultados da Classificação da Perturbação

2.3 CÁLCULO E ACOMPANHAMENTO DE CORRENTE INTERROMPIDA EM DISJUNTORES

De forma a aproveitar e agregar valor às informações coletadas do sistema via oscilografias dos eventos, foi idealizado uma metodologia para o cálculo e acompanhamento de corrente interrompida em disjuntores, com o intuito de maximizar o tempo entre intervenções em câmaras de interrupção dos disjuntores.

Após a detecção e classificação do evento com abertura de disjuntor, os valores eficazes das correntes interrompidas são reportados à Central de Monitoramento de Equipamentos, CME, que possui sistema especialista

ao qual foi agregada a função de cálculo do desgaste acumulado dos disjuntores e consequentemente o tempo de “vida útil” restante do equipamento.

A metodologia adotada foi desenvolvida dentro do P&D em questão. O conceito inicial era que todo o módulo fosse inserido como uma nova função do sistema SapNet, porém como a metodologia necessita de informações externas ao sistema e que seriam agregadas no CME, optou-se por implantar a metodologia de cálculo neste último sistema com o SapNet apenas reportando os valores de corrente interrompida em cada fase.

A metodologia de controle de operações automáticas da CEMIG GT é consagrada e utilizada mundialmente [03] pelas concessionárias e baseia-se nos seguintes aspectos:

- As características do disjuntor relativas à capacidade de interrupção, meio de extinção e corrente de curto-circuito do barramento onde o disjuntor está inserido;
- O valor da corrente de curto-circuito interrompida é ponderado e os valores individuais não são levados em consideração na metodologia. As ferramentas disponíveis à manutenção até o passado recente não permitiam levantar os valores individuais da corrente de curto-circuito;
- O levantamento e registro do número de operações interrompidas é realizada por fase. Quando esta informação não está disponível, a cada ocorrência é registrada uma interrupção para cada fase.

O novo sistema adota metodologia recomendada pelos fabricantes dos disjuntores para revisão das câmaras de interrupção do disjuntor [04] e baseia-se na somatória do quadrado das correntes de curto-circuito - I_{cc} interrompidas pelo disjuntor. Quando esta somatória atinge um valor limite, a câmara deve ser revisada. A informação deste valor limite é normalizada. No modelo é representada pela expressão (1) a seguir (ver figura 4):

$$\sum N \times I_{cc}^2 \leq 20.000 \text{ kA}^2 \quad (1)$$

onde

N : o número de curtos-circuitos interrompidos pelo disjuntor;
 I_{cc} : corrente de curto-circuito em kA (RMS).

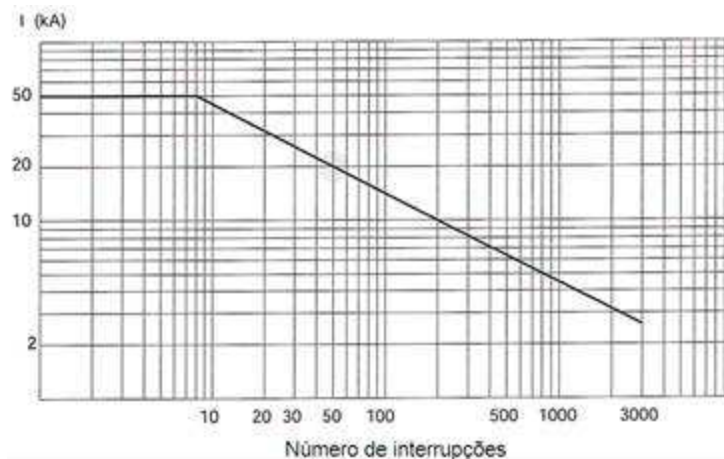


Figura 4 – Curva de limite de desgaste elétrico de disjuntor

O fabricante do equipamento preconiza pela equação (1) anterior que a câmara deve ser aberta e revisada quando o quadrado das correntes interrompidas atingir o limite de $20.000 \text{ kA}^2 \text{ rms}$.

Nesta expressão, todos os níveis das correntes de curto-circuito podem ser incluídos no total de número de curtos-circuitos x corrente de curtos-circuitos ao quadrado. Assim, se um determinado disjuntor interrompeu por 10 vezes uma corrente de 30 kA, por 20 vezes uma corrente de 20 kA e por 20 vezes uma corrente de 10 kA, o quadrado das correntes interrompidas vai valer:

$$10 \times (30)^2 + 20 \times (20)^2 + 20 \times (10)^2 = 19.000 \text{ kA}^2 \leq 20.000 \text{ kA}^2 \quad (2)$$

Logo, para um determinado disjuntor e período, foi aplicada a metodologia atual, baseada no número de operações automáticas, bem como a nova proposta, baseada no cálculo real da corrente interrompida, medida na oscilografia e estimada pelo programa.

Como exemplo de aplicação, pode ser citado um caso real de disjuntor de 138 kV recentemente analisado. Após a classificação das interrupções efetuadas por esse disjuntor, conforme a metodologia atual, o total do intervalo de

tempo cumprido para execução da revisão de câmara, que inicialmente era de 90% para as três fases, passou para 50%, 69% e 53% para as fases VM, AZ e BR respectivamente. Esse fato, gerado a partir da disponibilização da identificação da fase interrompida, bem como do tipo de falta e corrente efetivamente interrompida, prorrogou a revisão no disjuntor que, por extrapolação, deverá ocorrer em aproximadamente 6 anos. Utilizando-se a metodologia sem a supervisão do sistema de gerenciamento automático de registros oscilográficos, a revisão deveria ocorrer em no máximo um ano. Para este mesmo período de análise, tratando as interrupções automáticas sob a ótica da metodologia do fabricante, verifica-se que o disjuntor atingiu 1% do intervalo para revisão das câmaras. Nesta condição, mantidas as atuais condições de trabalho do disjuntor, não será necessário revisar estas câmaras, devido ao número de interrupções automáticas durante a vida útil esperada do disjuntor.

3.0 - CONCLUSÃO

A aplicação de um sistema de gerenciamento automático de registros oscilográficos sem dúvida proporciona às companhias concessionárias de energia elétrica ganhos em diversos setores. Na área de engenharia de manutenção, uma vez que possibilita otimização e melhorias nos respectivos processos de intervenção em disjuntores e redução de esforços e tempo no reparo linha de transmissão com a utilização de localizadores de faltas. Ganha também a área de planejamento, uma vez que os registros oscilográficos, quando devidamente analisados e armazenados, podem produzir dados estatísticos sobre o comportamento do parque elétrico da companhia. Ganha o pessoal da operação, uma vez que terão certeza sobre o estado atual de diversos equipamentos do sistema elétrico. Sistemas como este promovem a utilização adequada de toda uma estrutura de supervisão e monitoramento instalada nas redes, justificando os investimentos. Sem mencionar a possibilidade de se supervisionar e analisar as medições executadas dentro de subestações da companhia, através de critérios simples podem ser detectados rapidamente erros grosseiros ou não nestas medições, com a pronta interveniência do pessoal de manutenção, evitando-se erros de operação dos equipamentos de proteção e controle durante eventos na rede elétrica.

Todas essas informações passam então a compor um banco de dados, que vão promover futuros estudos das Áreas de Proteção, Manutenção, Planejamento e do Centro de Operação. As funcionalidades desenvolvidas até o momento para o sistema de gerenciamento automático de registros oscilográficos agregam agilidade e confiabilidade no atendimento em tempo real de perturbações pelo Centro de Operação e na análise pelos especialistas de proteção.

Além disso, no caso específico da função da corrente quadrada de disjuntor, pode ser apontado como ganho adicional o fato de que o conhecimento do valor da corrente de falta interrompida pelo disjuntor de forma automática propicia ao pessoal da manutenção utilizar metodologias para revisão nas câmaras que prevêm o momento ótimo para intervenção, com ganhos significativos, uma vez que através do desenvolvimento e implementação dessa funcionalidade é possível controlar e determinar de forma otimizada o momento de intervenção nos disjuntores.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] F60 Feeder Management Relay, UR Series Instruction Manual, F60 Rev: 3.1x, Manual P/N: 1601-0093-C2 (GEK-106329), Copyright © 2002 GE Multilin, GE Industrial Systems.
- [02] Weber Melo de Sousa, Carlos Alberto B. Costa, Izonel H. Pereira Junior, Clever Pereira – Sistema de Localização Automática de Faltas em Linhas de Transmissão Utilizando Dados de Dois Terminais – Experiência da Cemig, XVIII SNPTEE, Curitiba, 2005.
- [03] CIGRE – Working Group 13.8 – Life Management of Circuit-Breaker – Part 1: Residual life, end life, life extension – Part 3: Maintenance management – Paris – Agosto/2000.
- [04] ABB – 1HSB425416-1 pt ver 2 – Manual do produto disjuntor LTB 72,5-170D1/B - capítulo 2.1.1 vida útil em serviço do disjuntor – São Paulo – 08/05/2000.
- [05] Jorge Carlos da Silva, Rômulo Miranda Teixeira, 02.111-PN/MT-672 - Revisão de Metodologia para Manutenção Preventiva de Câmara de Extinção – Gerência de Engenharia de Manutenção da Transmissão – PN/MT – Janeiro – 2010.
- [06] Clever Pereira, Felipe C. Cruz, Silvério Visacro F. – Transmission Line Digital Protection using a Didactic PC Compatible Program. In BIENNIAL SESSION - I WORKSHOP LINKS UNIVERSITY CIGRÉ, 1998, PARIS CIGRÉ BIENNIAL SESSION - I WORKSHOP LINKS UNIVERSITY CIGRÉ. 1997-1-07-6
- [07] Clever Pereira et alli – OSCILO – Sistema de Gerenciamento Automático de Registros Oscilográficos – XX SNPTEE, Recife, 2009.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Carlos Alberto Boaventura Costa* é natural Belo Horizonte, MG. Nascido em janeiro de 1965. Experiência profissional: Engenharia Elétrica, com ênfase em Circuitos Elétricos, Magnéticos e Eletrônicos, atuando principalmente nos seguintes temas: perturbações, localização de faltas, análise e sincrofasores.
e-mail: cacosta@cemig.com.br

Clever Pereira é natural de Belo Horizonte, MG. Nascido em 25 de outubro de 1955, concluiu seu curso de graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais em dezembro de 1978. Em agosto de 1982 ele defendeu sua dissertação de mestrado pela Coppe – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação da UFRJ, tendo recebido o título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica. Defendeu sua tese de doutorado também pela Coppe-UFRJ em dezembro de 1998, tendo obtido o título de Doutor em Ciências em Engenharia Elétrica. Ingressou nos quadros da UFMG como professor auxiliar de ensino em julho de 1982, através de concurso público. Hoje ainda está na UFMG como professor Associado, onde ministra cursos na graduação, pós-graduação e especialização. Já redigiu mais de 80 artigos técnicos em congressos, seminários e periódicos, nacionais e internacionais em temas relacionados com Proteção e Transmissão de Energia em Sistemas Elétricos de Potência.
e-mail: clever@ufmg.br

Weber Melo de Sousa é natural de Divinópolis, MG. Nascido em 23 de julho de 1968, concluiu seu curso de graduação em Engenharia Elétrica pela PUC-MG em julho de 1994 e defendeu sua dissertação de mestrado pela UFMG em Dezembro de 2002, tendo recebido o título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica. Trabalha na Cemig GT há 24 anos tendo atuado nas áreas de operação e atualmente na área de Engenharia de Proteção da Transmissão da Cemig GT. Possui artigos redigidos e apresentados em congressos, seminários e periódicos, nacionais e internacionais em temas relacionados com Proteção e Transmissão de Energia em Sistemas Elétricos de Potência. e-mail: weber@cemig.com.br

Marcos Baeta Miranda é natural de Juiz de Fora, MG. Nascido em 10 de dezembro de 1962, concluiu seu curso de graduação em Engenharia Elétrica pela UFJF-MG em agosto de 1987 e concluiu a sua pós-graduação com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência pela UFMG em julho de 2010. Possui experiência na área de engenharia de transportes ferroviários e locomotivas diesel/elétricas, sistemas supervisórios e engenharia naval. Trabalha na Cemig GT há 8 anos na área engenharia de proteção da Transmissão da Cemig GT. e-mail: mbmir@cemig.com.br