



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

FI/GSE/06  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO – VIII**

**GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTO DE ALTA TENSÃO - GSE**

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE DISJUNTORES NA ITAIPU BINACIONAL –  
SUBESTAÇÃO ISOLADA A GÁS SF6**

**José Guilherme R. Filho(\*)**  
**ITAIPU**

**Eleceu Barz**  
**ITAIPU**

**André da Silva Barbosa**  
**ITAI**

**Anderson Rodrigo Davi**  
**ITAI**

**RESUMO**

Com a introdução de novas tecnologias de sensores para detecção de grandezas eletromecânicas, a manutenção preditiva torna-se economicamente viável e demonstra ser uma prática a ser implantada nos equipamentos que compõem o sistema elétrico de potência. No caso específico de disjuntores, grandezas que só poderiam ser verificadas com equipamento desenergizado, como tempo de operação, desgaste do contato dentre outras, ficaram viáveis de serem monitoradas de forma online, permitindo a área de manutenção um melhor planejamento e até mesmo se antecipar na correção de anormalidades ainda em sua fase inicial e que poderiam evoluir, causando problemas de interrupção e indisponibilidade no sistema elétrico.

**PALAVRAS-CHAVE**

Monitoramento de disjuntores, manutenção preditiva, auxílio a diagnóstico em tempo real.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Motivada por exigências cada vez maiores por eficiência, qualidade e redução de custos, é contínua e crescente a busca pela melhora nos processos de monitoramento on-line em equipamentos críticos no sistema elétrico, a fim de disponibilizar um ambiente em que seja possível identificar previamente condições anormais de operação e funcionamento, disparando ações de verificação e manutenção dos ativos da empresa, reduzindo custos e aumentando a disponibilidade do sistema.

Neste ambiente, os disjuntores constituem uma parte importante do sistema, pois são responsáveis pela conexão e desconexão de circuitos de alta tensão, onde estão localizados outros equipamentos como transformadores e geradores.

Em ITAIPU, existe uma Subestação de 500kV Blindada a Gás SF6, onde estão em operação 54 disjuntores que cumprem a função de interligar as 20 unidades geradoras a dois barramentos duplos em 50 e 60Hz (chegada de energia) e destes à 8 linhas de transmissão (saída de energia). Por esse sistema passam aproximadamente 16% da energia elétrica consumida no Brasil e 79% no Paraguai.

Até então, para a obtenção de informações destes equipamentos e condições de operação, por questões físicas e de segurança, o disjuntor deve estar indisponível para operação, de forma a permitir que ensaios possam ser realizados pela manutenção e obtidos dados sobre seu funcionamento. Nesse sentido, a implantação de um sistema de monitoramento online traz melhorias no processo de acompanhamento das condições de uso dos disjuntores, coletando automaticamente informações das operações realizadas e de outras variáveis observadas continuamente.

Após consulta a prováveis fornecedores de unidades remotas de monitoramento para disjuntores que viabilizassem a aquisição das principais grandezas de interesse como:

- Tempos de abertura e fechamento do disjuntor;
- Tempos de operação dos contatos auxiliares;
- Percurso dos contatos móveis;

- Correntes de fase;
- Número de partidas e tempo de operação por cada ciclo da motobomba do sistema hidráulico;
- Supervisão do sistema de aquecimento do cubículo.

E que a partir da correlação destas grandezas permitisse obter informações adicionais como:

- Desgaste dos contatos por fase ( $\sum i^2t$ );
- Desempenho do conjunto mecânico, tempo de reação, velocidade máxima, percurso total, perdas no circuito hidráulico e desgaste da motobomba;
- Discrepância entre polos quanto aos tempos de reação e de operação.

ITAIPU, através de licitação, adquiriu 54 unidades remotas de monitoramento do modelo CBS (*Circuit Breaker Sentinel* – ABB USA). Como os 54 disjuntores utilizados em ITAIPU são idênticos sob o ponto de vista de fabricação (Marca/Tipo/Modelo), foi desenvolvida uma aplicação para aquisição das informações armazenadas nos 54 CBSs em uma base de dados centralizada, possibilitando disponibilizar ao usuário meios para rápido acesso a estas informações, inicialmente descentralizadas, e permitindo realizar comparações e correlações entre os disjuntores monitorados. Esta aplicação permite também a geração de alarmes, configurados pelo usuário de manutenção, de forma a detectar anormalidades com maior sensibilidade e de forma antecipada aos alarmes e proteções convencionais.

Estas correlações auxiliam a identificar possíveis diferenças na operação com base nas variáveis monitoradas e são apresentadas após a realização de um tratamento estatístico que destaca os disjuntores que estão operando fora do comportamento normal do sistema geral. A partir desta identificação, os responsáveis pela manutenção destes equipamentos podem realizar ações corretivas, caso necessário, ou alterações de configuração do equipamento, buscando trazer as próximas operações para a faixa normal estabelecida.

## 2.0 - IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

### 2.1 Instalação das unidades remotas (CBS)

As unidades remotas CBS foram instaladas acompanhando o cronograma de parada de unidades geradoras e manutenções preventivas dos demais equipamentos como saídas de linha e acoplamentos de barra. Isto demandou aproximadamente 2 anos. Cada uma das unidades remotas foi instalada próximo ao disjuntor monitorado para facilitar a conexão aos sensores, como pode ser visto na Figura 1.



FIGURA 1 – Local de instalação das remotas CBS

As unidades remotas adquirem informações provenientes dos seguintes sensores:

- Encoder instalado no eixo de acionamento do disjuntor para obtenção de percurso dos contatos móveis, sendo que esta informação, em conjunto com a posição de fechamento dos contatos fixos, permite obter os tempos de abertura e fechamento do disjuntor, além da velocidade, *overtravel*, *rebound*, tempo de reação e outras informações derivadas.
- CT Clamper (Transformadores de corrente bipartidos) instalados nos secundários dos TCs do disjuntor sem intrusão no sistema de proteção e controle, permitindo o registro das correntes durante as operações de abertura e fechamento dos disjuntores. Associado ao movimento dos contatos é possível determinar a corrente de arco e consequentemente o desgaste dos contatos através de aplicação de ( $\sum i^2t$ ).
- Tensão das bobinas de *trip* e *close* no tempo, permitindo inferências de ajuste em função do deslocamento dos contatos.
- Uma referência dos contatos auxiliares NA e NF, permitindo da mesma forma a inferência em função do deslocamento dos contatos e identificação da necessidade de ajustes para refletir a correta posição dos contatos móveis.

- Tensão da motobomba do circuito hidráulico, permitindo obter o número de partidas e tempo de operação por cada ciclo do sistema hidráulico.
- Sensor de temperatura tipo Pt100 para obter informações de temperatura do compartimento de gás.

Dos sensores instalados, dois particularmente requereram uma adaptação as condições de campo do modelo de disjuntor da ITAIPU (ELK SH 3141 – 63kA – 500kV): o sensor de corrente (CT *Clamper*) e o sensor de movimento (*Encoder*).

O CT *Clamper* instalado no secundário dos TCs teve de ser compatibilizado dimensionalmente com a caixa de terminais do TC, uma vez que teria que ser instalado internamente sem necessidade de modificação da estrutura original, como pode ser visto na Figura 2.



FIGURA 2 – CT *Clamper* instalado na caixa de terminais

O *encoder* para capturar o movimento rotacional do eixo de acionamento também teve que ser compatibilizado com a estrutura mecânica do acionamento hidráulico, principalmente com a flexibilidade do acoplamento sem a perda de sensibilidade, uma vez que durante a manobra do disjuntor a estrutura metálica sofre esforços que levam a um deslocamento relativo do mecanismo de acionamento com o restante da estrutura onde o *encoder* é fixado. Esta adaptação pode ser visualizada na Figura 3.



FIGURA 3 – Adaptação da instalação do *encoder*

## 2.2 Infraestrutura de comunicação

A comunicação com as remotas CBS é realizada através de uma conexão TCP/IP. Para atender este cenário, foi realizada uma instalação de rede dedicada para o monitoramento de disjuntores. Como a maior distância entre um CBS e o servidor é de aproximadamente 500 metros, foi utilizado o cabeamento de fibra ótica, uma vez que o CBS suporta sua conexão sem necessidade de conversor de mídia. Ao chegar à sala de monitoramento da GIS, o tipo de canal físico é convertido para cabo de par trançado, através de um conversor de mídia, para então ser interligado aos *switches* do sistema. Foram utilizados quatro *switches*, sendo dois para os disjuntores localizados no setor de 50 Hz e dois para o setor de 60 Hz da GIS.

A comunicação com o servidor central é realizada através de um *switch* de rede UTP, que possibilita também a conexão com o usuário da sala de monitoramento da GIS, que acessa a aplicação do sistema através de um navegador *web*. Esta configuração física pode ser visualizada na Figura 4.

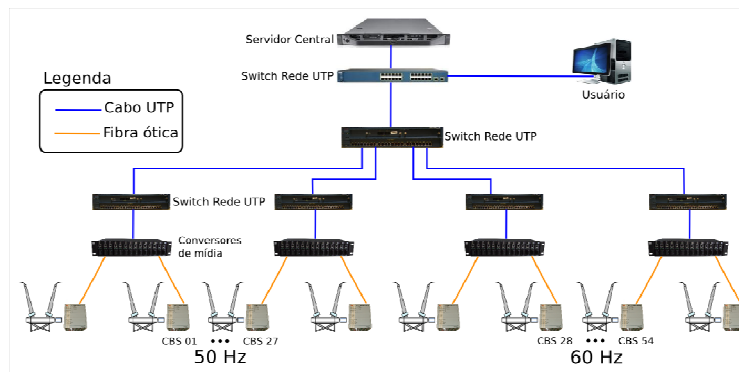


FIGURA 4 – Arquitetura física de comunicação.

### 2.3 Centralização e armazenamento das informações dos CBS

O processo de centralização das informações adquiridas pelo CBS envolve realizar a configuração do sistema com relação à realização de coleta automática. A rotina atual foi configurada para realizar a leitura das informações a cada 4 horas, sendo então armazenadas em um banco de dados localizado no servidor central. A partir deste banco de dados são obtidas todas as informações necessárias para a área de manutenção com relação às manobras dos disjuntores.

O banco de dados é organizado de forma a conter para cada disjuntor as informações de manobras, as configurações realizadas e, caso ocorram, os alarmes gerados durante sua operação.

### 2.4 Aplicação para visualização e análise

Além da implantação física dos equipamentos de monitoramento, foi realizado o desenvolvimento de uma interface para a visualização das informações adquiridas das manobras dos disjuntores. Através desta interface é possível analisar os alarmes ocorridos durante as manobras dos disjuntores (Figura 5), visualizar gráficos com as informações das manobras (Figura 6) e gráficos estatísticos (Figura 7), para análise do comportamento de uma família de disjuntores e a identificação de unidades que excedam os limites esperados.

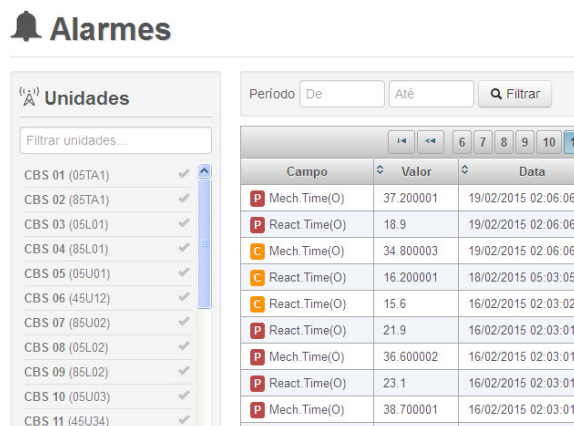


FIGURA 5 – Visualização dos alarmes ocorridos.

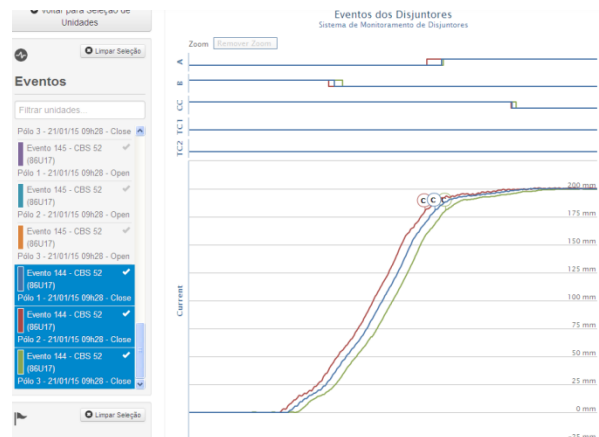


FIGURA 6 – Visualização do gráfico de manobra do disjuntor.

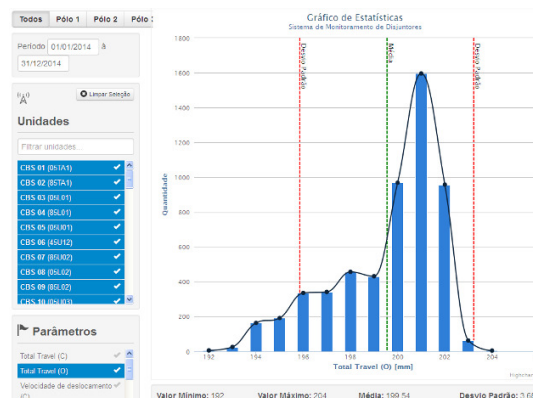


FIGURA 7 – Visualização estatística das manobras ocorridas.

### 3.0 - CASOS DE ANORMALIDADES JÁ IDENTIFICADOS

Com a utilização do sistema apresentado, foi possível identificar diversos casos de anormalidades ocorridas durante as manobras dos disjuntores e também do acompanhamento *online* das demais variáveis monitoradas, como as operações das motobombas do circuito hidráulico. A seguir são apresentados 3 casos em que foi possível realizar ações corretivas e preventivas, com base nas informações apresentadas pelo sistema. Estas informações auxiliaram na tomada de decisão da área de manutenção com relação aos procedimentos adotados.

#### 3.1 Discrepância de tempo de operação entre pólos (Abertura)

A partir do gráfico de operações do disjuntor, foi observada uma diferença no tempo de reação superior ao limite de 3 ms. Neste caso, a causa raiz foi um atraso na atuação da eletroválvula (engastamento do êmbulo), conforme pode ser observado nas Figuras 8 e 9.

Observando os tempos, verifica-se a diferença entre a fase A (27,3 ms) e a Fase C (32,7 ms) de 5,4 ms.

Este comportamento pode causar o bloqueio do disjuntor pelo relé de discrepância de polos, além de inclusão de efeitos transitórios indesejados no sistema.

A ação tomada para a resolução deste problema foi a limpeza da eletroválvula, de sorte que a discrepância entre fases voltou a assumir valores inferiores a 3ms

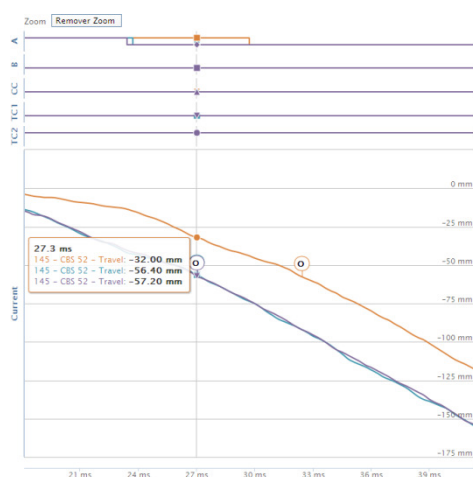


FIGURA 8 – Tempo para abertura a fase A.

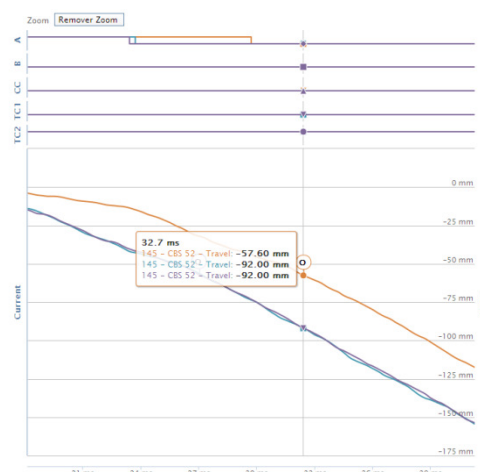


FIGURA 9 – Tempo para abertura a fase C

#### 3.2 Discrepância de tempo de operação entre pólos (Fechamento)

Neste caso, foi identificada uma diferença no tempo de fechamento entre os polos superior ao limite de 5 ms, conforme pode ser observado nas Figuras 10 e 11.

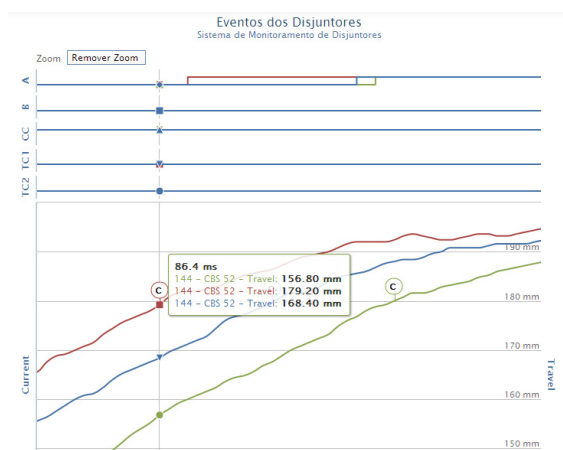


FIGURA 10 – Tempo para abertura a fase B.

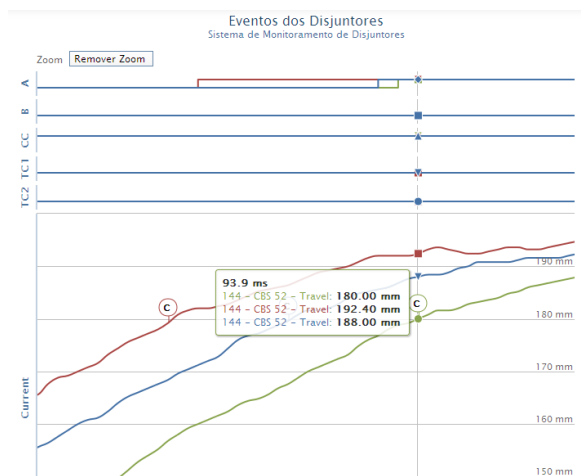


FIGURA 11 – Tempo para abertura a fase C.

Observando os tempos de operação, verifica-se a diferença entre a fase B (86,4 ms) e a Fase C (93,9 ms) de 7,5 ms. Este comportamento pode causar o bloqueio do disjuntor pelo relé de discrepância de polos, além de inclusão de efeitos transitórios indesejados no sistema.

A ação tomada para a resolução desta anormalidade foi realizar a purga do circuito hidráulico até a correção dos tempos de operação.

### 3.3 Atuação excessiva da motobomba do circuito hidráulico

Além das informações referentes às manobras realizadas, é possível observar outras variáveis relacionadas aos demais componentes dos disjuntores. Uma dessas variáveis é a quantidade diária de operações da motobomba do circuito hidráulico.

Com isso, identificou-se tendência de crescimento nas operações diárias para um disjuntor, chegando a um pico de 15 operações diárias em 25/05/2014, conforme pode ser observado no ponto 1 da Figura 12.

Este comportamento ocorre devido a perdas no circuito de alta pressão, que demandam o funcionamento excessivo da motobomba, que acaba realizando mais de três ciclos diários de reposição, o que é anormal para um disjuntor que não manobrou.

Buscando a resolução deste comportamento, primeiramente foi realizada uma tentativa de troca de vedações da base do bloco de eletroválvulas, com resultado temporariamente satisfatório. Porém, como observa-se no ponto 2 da Figura 12, houve um retorno na operação excessiva da motobomba, chegando ao pico de 25 operações diárias em 30/07/2014.

Neste caso, foi realizada a troca completa do bloco de eletroválvulas e o funcionamento da motobomba retornou aos limites esperados.

Este funcionamento anormal ocasiona o desgaste do conjunto motobomba, chegando ao caso extremo de falha da motobomba ou de aumento progressivo da perda de pressão do circuito hidráulico, podendo causar o bloqueio do disjuntor.



FIGURA 12 – Número de operações diárias da motobomba do circuito hidráulico.

### 4.0 - BENEFÍCIOS OBTIDOS COM A IMPLANTAÇÃO DO MONITORAMENTO CENTRALIZADO *ONLINE* DOS DISJUNTORES DA GIS 500KV DE ITAIPU

Um sistema centralizado para monitoramento, armazenamento e análise de informações de equipamentos proporciona benefícios à área de manutenção, fornecendo o conhecimento das diversas variáveis que são necessárias para avaliar seu funcionamento. Dentre estes benefícios pode-se destacar:

- Monitoramento contínuo: com uma base centralizada e com grande capacidade de armazenamento, é possível realizar o monitoramento contínuo das informações geradas pelos sensores e coletadas pelo CBS.
- Criação de base histórica: as informações de manobras de disjuntores são armazenadas e constituem uma base histórica de operação destes equipamentos. Esta base permite conhecer melhor o comportamento de operação dos equipamentos, proporcionando uma análise mais eficaz com relação ao diagnóstico de anormalidades e nos ajustes de configuração de alarmes.
- Ferramentas de visualização: as ferramentas de visualização implantadas nesta solução utilizam as informações do banco de dados central e permitem à área de manutenção analisar simultaneamente informações referentes às operações de vários disjuntores, auxiliando no diagnóstico de problemas e no estudo destas informações.
- Auxílio na configuração: com um banco de dados central é possível unificar a configuração dos equipamentos CBS, uma vez que são utilizados disjuntores de uma mesma família. Esta característica proporciona agilidade na hora de realizar ajustes, como por exemplo limites para detecção de alarmes.
- Geração de relatórios: a geração de relatórios é também facilitada, pois é possível coletar do banco de dados central as informações de manobras de todos os disjuntores e inseri-las em relatórios automatizados, facilitando a apresentação das variáveis monitoradas em formato gráfico ou textual.



## 5.0 - CONCLUSÃO

O sistema já em operação se tornou uma ferramenta de uso direto pelas equipes de manutenção. Além das anormalidades detectadas de forma preditiva, antes das manutenções preventivas, as equipes realizam uma análise prévia das informações do disjuntor, permitindo o direcionamento das ações corretivas e possibilitando um ganho de tempo na realização das atividades. Adicionalmente também existe o ganho de aproximadamente 2 horas (25% do tempo previsto) pela não necessidade da conexão de instrumentação para realização das medições dos tempos de operações, uma vez que este acompanhamento é realizado pelo sistema de forma online.

Além desta função, um sistema de monitoramento centralizado possibilita um acesso histórico a todas as operações realizadas desde sua implantação. Estas informações podem ser utilizadas em estudos para identificação de comportamentos ou tendências destes disjuntores.

As atividades futuras para este sistema de monitoramento incluem a geração de um índice dinâmico de desempenho dos disjuntores, a partir da ponderação de pesos para valores distintos das variáveis monitoradas. Este índice indicará a situação de uso do disjuntor avaliado e sua tendência auxiliará na programação de manutenções preventivas, otimizando a utilização do equipamento e aumentando sua disponibilidade no sistema.

Também serão inseridas informações sobre o estado do disjuntor no sistema SCADA de ITAIPU e elaborado um sistema de relatório automatizado para a manutenção, contendo índices de desempenho, classificando os disjuntores e elegendo as manutenções preventivas por ordem de desempenho individual de cada equipamento.

Todas estas funcionalidades existentes possibilitam à equipe de manutenção acompanhar, de forma contínua, todos os acontecimentos ocorridos na operação dos equipamentos e demais variáveis observadas, fazendo com que as ações de intervenção necessárias sejam pontualmente calculadas, a fim de manter uma maior disponibilidade do sistema como um todo e aumentando a eficiência das atividades da área com relação à manutenção dos disjuntores da subestação.

## 6.0 - REFERÊNCIAS

(1) Kezunovic G., Zhifang R., Latisko G., Sevcik D.R., Lucey J.S., Cook W.E., Koch E.A., "Automated monitoring and analysis of circuit breaker operation". *Power Delivery, IEEE Transactions on*. Vol.20, nº 3, pp.1910-1918. July 2005.

(2) Knezev M., Djekic Z., Kezunovic M., "Automated circuit breaker monitoring". *IEEE power Eng. Soc. Gen. Meeting*. pp. 1-6. June 2007.

(3) CBS *Customer Training Material* – ABB – 2010

(4) CBS (*Circuit Breaker Sentinel*) – Disponível em <http://new.abb.com/high-voltage/monitoring/cbs>

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

José Guilherme Rodrigues Filho.

Nascido em Santos Dumont, MG, em 27 de outubro de 1958. Engenheiro eletricista pela Universidade Federal de Minas Gerais – 1981. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá – 2002. Atua na ITAIPU Binacional na Divisão de Engenharia de Manutenção de Equipamentos de Alta Tensão e como professor do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.