



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

BR/GPC/02
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

IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA ESPECIAL DE PROTEÇÃO ACRE-RONDÔNIA PARA OPERAÇÃO DA USINA HIDRELÉTRICA (UHE) SANTO ANTÔNIO

Cesar Solé *
SCHNEIDER ELECTRIC

RESUMO

A Usina Hidrelétrica (UHE) Santo Antônio, situada no rio Madeira próximo a Porto Velho (RO), terá a sua energia gerada transmitida para o Sistema Interligado Nacional (SIN) pelos dois circuitos de Corrente Contínua de Alta Tensão (HVDC) ± 600 kV da Subestação Coletora de Porto Velho até a Subestação Araraquara em São Paulo. Mas devido a entrada da 1ª máquina da UHE antes do término do 1º bipolo, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) solicitou a implantação de um Sistema Especial de Proteção (SEP) para que a energia gerada pudesse ser transmitida pelo sistema de transmissão Acre-Rondônia, operado pela Eletrobras Eletronorte. Este trabalho apresenta a solução proposta e implantada pela Schneider Electric para atender a esta demanda.

PALAVRAS-CHAVE

SEP, Sistema Especial de Proteção, Rio Madeira, UHE Santo Antônio

1.0 - INTRODUÇÃO

A energia gerada pelo aproveitamento hidrelétrico do Rio Madeira, formada pelas usinas de Santo Antônio (3150 MW) e Jirau (3300 MW), será feito através de dois circuitos de Corrente Contínua em Alta Tensão (HVDC) ± 600 kV entre a SE Coletora Porto Velho e a SE Araraquara (SP), e um Back-to-Back com tecnologia CCC (Capacitor Commulated Converter) composto de 2 blocos de 400 MW; ± 51 kV conectado através de duas linhas de transmissão em 230 kV à SE Porto Velho, pertencente a Eletrobras Eletronorte, conforme figura 1.

O Sistema de Transmissão Acre – Rondônia é constituído de um circuito de 230 kV entre a SE Vilhena (RO) até a SE Rio Branco (AC), com subestações intermediárias pertencentes à Eletronorte. Com os bipolos em construção na época, o sistema da Eletronorte se tornou a única opção para que a energia gerada fosse transmitida e a UHE fosse integrada ao SIN e a necessidade de se implantar um Sistema Especial de Proteção (SEP) para ilhar os estados do Acre e Rondônia do Sistema Interligado Nacional em caso de perda de geração na UHE Santo Antônio.

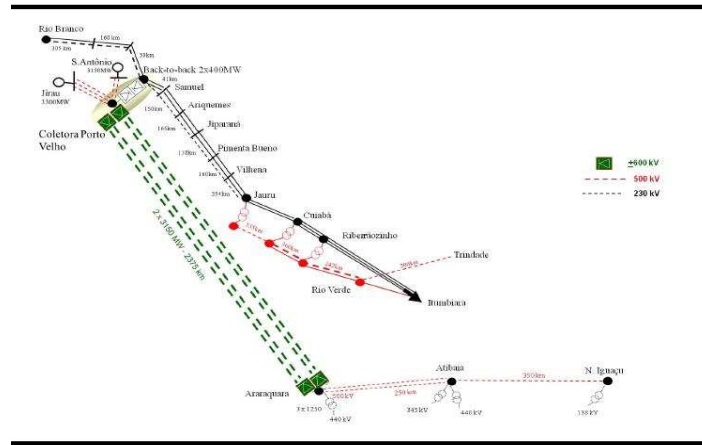


FIGURA 1 – Sistema de Transmissão para o aproveitamento hidrelétrico do Rio Madeira

2.0 - SISTEMA ESPECIAL DE PROTEÇÃO (SEP) ACRE-RONDÔNIA

2.1 Topologia do Sistema

O SEP Acre – Rondônia está presente nas seguintes subestações:

- SE Porto Velho.
- SE Samuel.
- SE Abunã.
- SE Vilhena.
- SE Pimenta Bueno.
- UHE Santo Antônio.

Nestas subestações foram previstos os seguintes dispositivos, também mostrado na figura 2:

- Unidade Digital de Controle (UCD): realiza a aquisição de dados, execução das lógicas e envio das medições analógicas para a UCD Master na SE Porto Velho, onde esta implantada os algoritmos que realizam a decisão de ilhamento do sistema em caso de perda de geração;
- Unidade de Teleproteção Digital (UTD): permite o envio do sinal de perda de geração na UHE e de abertura dos disjuntores na SE Abunã para a UCD Master e o envio de sinal de disparo da UCD Master para as SEs Samuel e Pimenta Bueno;
- Unidade de Proteção Digital (UPD): realiza a detecção da perda de geração da UHE e subtenção na SE Vilhena;
- Multimetro (MM): realiza a medição de potência gerada na UHE e nas Linhas de 230 kV das SEs envolvidas;
- Multiplexador (MUX): permite o envio de dados entre a UCD Master e as UCDs instaladas nas demais SEs;

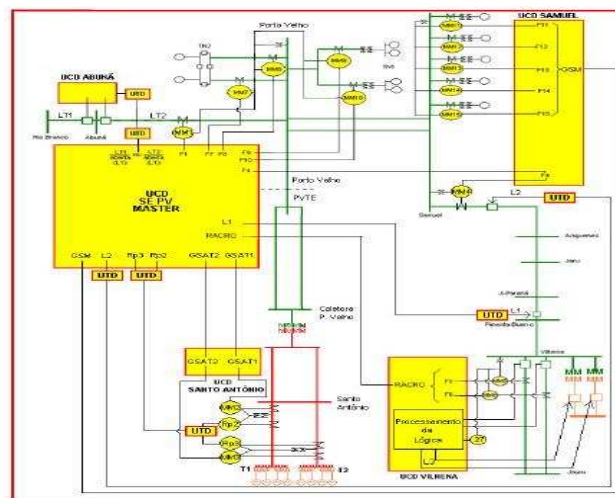


FIGURA 2 – Diagrama dos dispositivos do SEP

2.2 Lógicas do SEP

Foram prevista três lógicas para o SEP Acre – Rondônia:

- Lógica 1 – Perda de Circuito entre as SE Porto Velho 230 kV e SE Abunã 230 kV:** em caso de perda de qualquer circuito entre as SE Porto Velho e SE Abunã e se a somatória dos fluxos nas LT Samuel – Ariquemes 230 kV, medido na SE Saumel, e LT Porto Velho – Abunã C1, medido na SE Porto Velho, estiver em um valor superior a 210 MW, a UCD Master deverá enviar sinal para a abertura do disjuntor da LT Pimenta Bueno – Ji Paraná 230 kV na SE Pimenta Bueno.
- Lógica 2 – Perda de Elementos de Conexão da UHE Santo Antônio:** em caso de perda de elemento da conexão da UHE Santo Antônio, caracterizado pela redução a um valor inferior a 5 MW nos fluxos dos transformadores elevadores da usina, e estando o sistema em um ponto de operação fora da região segura do Sistema de transmissão 230 kV, a UCD Master enviará o sinal para abertura do disjuntor do LT Samuel – Ariquemes 230 kV na SE Samuel.
- Lógica 3 – Corte de Carga na SE Vilhena:** em caso de abertura dos circuitos C1 e C2 da LT Vilhena – Jauru 230 kV e dependendo do fluxo de potência no recebimento do Sistema Acre – Rondônia (RACRO), poderá ocorrer subtensão nas barras de 230 kV da SE Vilhena. Se ocorrer a perda dupla no trecho e as tensões nas barras permanecerem inferiores a 85 % do seu valor nominal por um tempo superior a 300 ms, a UCD da SE Vilhena enviará o sinal de abertura dos disjuntores de baixa dos transformadores abaixadores da SE Vilhena.

2.2.1. Região de pré-habilitação da lógica 2

A pré-habilitação da lógica 2 depende que a potência gerada pela UHE Santo Antônio e a geração da Sistema Acre – Rondônia, denominada Carga, esteja dentro das regiões delimitadas conforme mostra a figura 3:

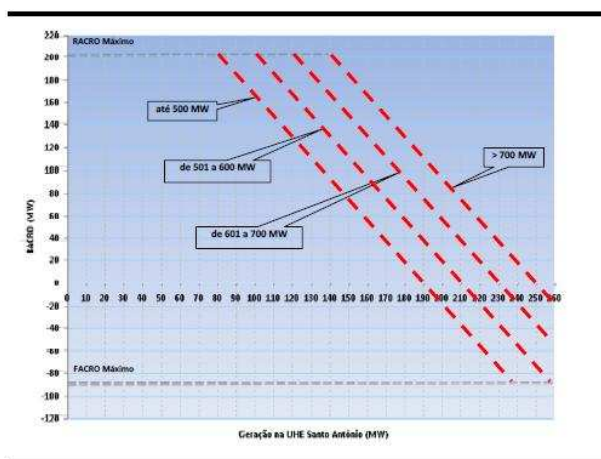


FIGURA 3 – Regiões de pré-habilitação da lógica 2

No gráfico formado pelo plano RACRO x Geração da UHE Santo Antônio, as quatro retas em vermelho define as regiões de pré-habilitação, que representam a Carga do Sistema Acre – Rondônia onde $Carga = Geração da UHE Santo Antônio (GSA) + Geração da UTE Termonorte (GTN) + Geração da UHE Samuel (GSM) + RACRO$. As quatro regiões são:

- Cargas inferiores a 500MW;
- Cargas compreendidas entre 501 e 600 MW;
- Cargas compreendidas entre 601 e 700 MW;
- Cargas superiores a 700 MW.

As quatro retas possuem o mesmo coeficiente angular, o que permite escrever as suas equações da seguinte forma:

$RACRO C = 20/11 (x - GSA)$, onde x representa o valor quando as quatro regiões cruzam o eixo da geração da UHE Santo Antônio (190, 210, 230 e 250)

2.2.2. Divisão da lógica 2

A lógica 2 foi sub-dividida em três sub-lógicas:

- Sub-lógica 2.1: ativada quando da perda do transformador elevador T1 da UHE Santo Antônio;
- Sub-lógica 2.2: ativada quando da perda do transformador elevador T2 da UHE Santo Antônio;
- Sub-lógica 2.3: ativada quando da perda dos dois transformadores elevadores.

2.2.3. Lógica de validação de medidas

Pelo fato das potências utilizadas nas lógicas do SEP serem provenientes de multimedidores que enviam para as UCDs através de protocolo de comunicação, foi solicitado a implementação de lógica de validação das medidas que consistem em caso de perda de comunicação com o multimetedor, o último valor lido será armazenado e disponibilizados para as lógicas do SEP, mantendo a operação do sistema mesmo com a perda de informação de uma potência ou mais.

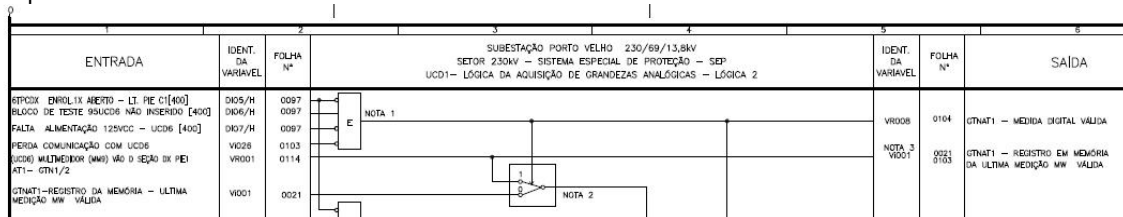


FIGURA 4 – Lógica de validação das medidas

2.3 Solução da Schneider Electric para o SEP

Para o SEP Acre – Rondônia, a Schneider Electric implantou a arquitetura de rede apresentada nas figuras 5, 6 e 7:

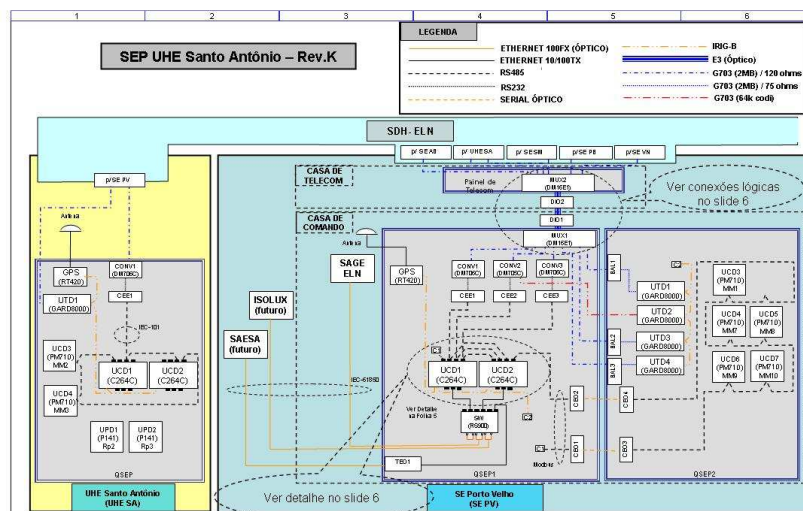


FIGURA 5 – Arquitetura de rede do SEP parte 1

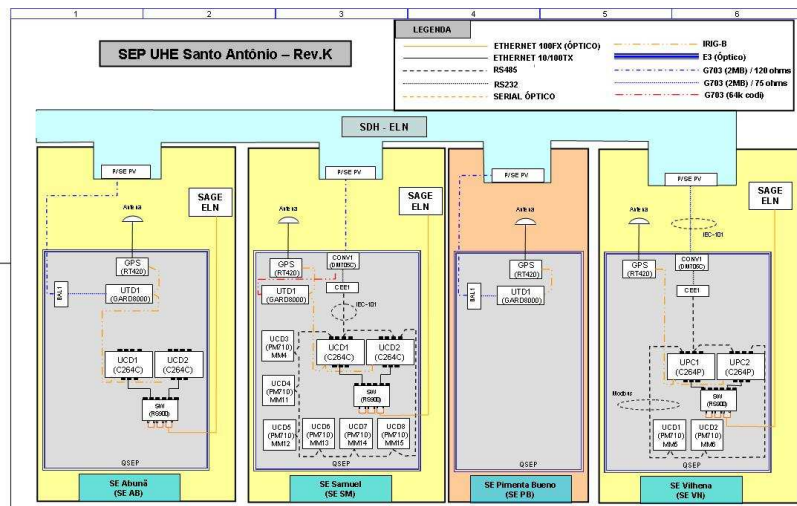


FIGURA 6 – Arquitetura de rede do SEP parte 2

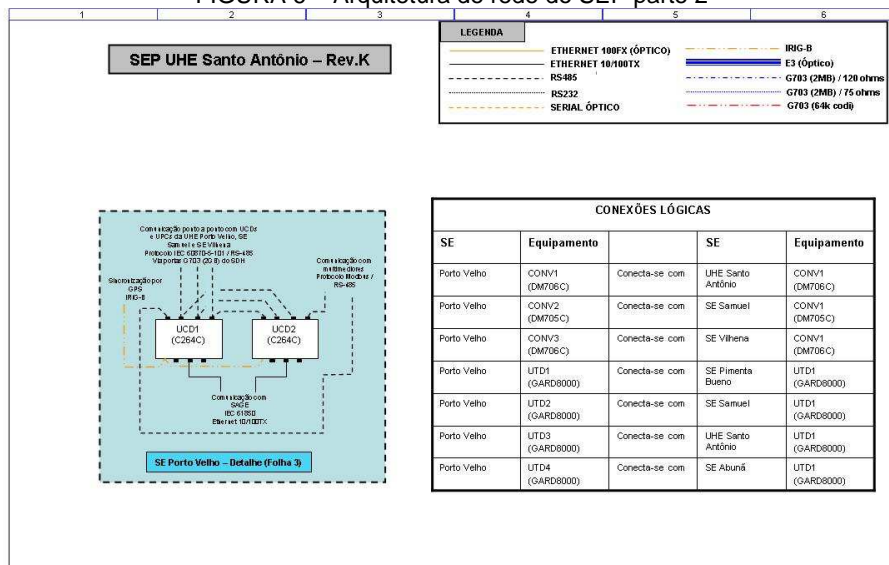


FIGURA 7 – Arquitetura de rede do SEP detalhe na ligação da UCD Master

Todas as informações do SEP, seja os dados enviados através dos MUXs tanto dos enviados pelas UTDs, são transmitidas através dos sistemas SDH da Eletronorte, Santo Antônio Energia e da Porto Velho Transmissora de Energia (SE Coletora Porto Velho) em 2 Mbps. Quanto aos dispositivos propostos, a Schneider Electric de equipamentos da sua própria linha de produtos e de fornecedores, no caso do MUX e UTD.

2.3.1. Unidade de Controle Digital (UCD)

Para a UCD a Schneider Electric disponibilizou a Unidade de Controle C264C, um produto consagrado e bastante utilizado em diversas concessionárias de energia no Brasil e na América do Sul.



FIGURA 8 – Unidade de Controle de Vão C264C

No SEP foi utilizado a função de redundância da C264C, onde uma permanece em modo ativo e a outra em modo Stand-by. As duas UCDs disponibilizam da mesma base de dados, mas somente uma mantém os canais de comunicação ativos, enquanto que a outra mantém os canais desabilitados. Em caso de falha da UCD Principal, é realizado a comutação da UCD Secundária, ativando os canais de comunicação e mantendo a operação do Sistema de Proteção.

Para as lógicas de validação de medição e os cálculos realizados nas lógicas 1 e 2, foi utilizado o aplicativo ISaGRAF, de propriedade da ICS Triplex ISaGRAF e integrado ao nosso pacote de soluções de automação de subestações PACiS.

2.3.2. Unidade de Proteção Digital (UPD)

Para a UPD foi utilizado o relé de proteção P141 da família MiCOM, também um produto consagrado e bastante utilizado para proteção de alimentadores.



FIGURA 9 – Relé de Proteção P141

O relé P141 é utilizado para detecção da perda dos elementos na UHE Santo Antônio, utilizando a função de proteção 32 (sub/sobrepotência) e para detecção de subtensão nas barras de 230 kV da SE Vilhena (função 27). O envio dos sinais de trip das proteções são enviados através das saídas físicas para a UTD, no caso da UHE Santo Antônio, e para a UCD, no caso da SE Vilhena.

2.3.3. Unidade de Teleproteção Digital (UTD)

Para a UTD foi utilizado o GARD 8000 da RFL Electronics Inc, uma unidade de teleproteção bastante utilizada para linhas de transmissão.



FIGURA 9 – Unidade de Teleproteção GARD 8000

A transmissão dos sinais de disparo enviado pela UDC Master na SE Porto Velho e da perda do circuito da LT Porto Velho – Abunã e da perda de geração na UHE Santo Antônio é feito através do canal G703 (2Mbps) disponibilizado pelas concessionárias envolvidas.

2.3.4. Multiplexadores (MUX)

Para o MUX foi utilizado três produtos da DataCom Telemática:

a. DM 705 C – Tem a vantagem de concentrar a transmissão de dados da UCD e da UTD em um único canal G703 do SDH.



FIGURA 10 – Multiplexador DM 705 C

Esse MUX foi utilizado na SE Samuel pois só existia um canal disponível. Nas outras, os dados das UCDs e das UTDs são transmitidos em canais distintos.

b. DM 706 – Tem a mesma função do DMC 705 C, mas só transmite os dados das UCDs para a UCD Máster.



FIGURA 11 – Multiplexador DM 706

c. DM16E1 – MUX que concentra as informações das UTDs e MUXs DMC 705C e DMC 706 e transmite através de um cabo óptico em E3.



FIGURA 11 – Multiplexador DM16E1

Este MUX foi utilizado na SE Porto Velho devido a sala de comando e a sala de telecomunicações estarem em lugares distintos e distantes.

2.3.5. Multimetro (MM)

Para o MM foi utilizado o multimetro PM 710 da Schneider Electric, que disponibiliza a medição das potências ativas de geração e das LTs envolvidas para as UCDs através do protocolo de comunicação Modbus.



FIGURA 12 – Multimetro PM 710

2.4 ISaGRAF

A implantação das lógicas do SEP foi feita em duas fases: pelo aplicativo FDB Automation e pelo aplicativo ISaGRAF.

O FDB Automation, aplicativo inserido no software de configuração da C264 PACiS SCE, possibilita a programação de lógicas através da linguagem FDB (Function Diagram Blocks). Nele foram programados das lógicas de detecção da perda dos circuitos da LT Porto Velho – Abunã, validação das medidas e dos disparos das lógicas 1, 2 e 3.

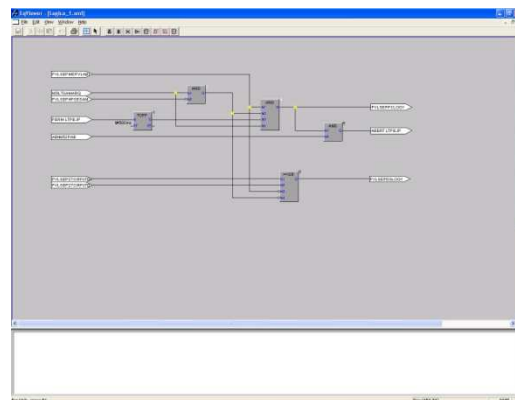


FIGURA 13 – Tela do FDB Automation

O ISaGRAF é um software de programação da ICS Triplex ISaGRAF, empresa não vinculada a Schneider Electric, que atende completamente as norma IEC 61131 para linguagens de programação industriais e totalmente integrado a solução PACiS. Nele foram desenvolvidas as lógicas de cálculo das regiões de pré-habilitação das lógicas 1 e 2 e a lógica que mantém o último valor de potência registrada pelo MM em caso de invalidação da medição.

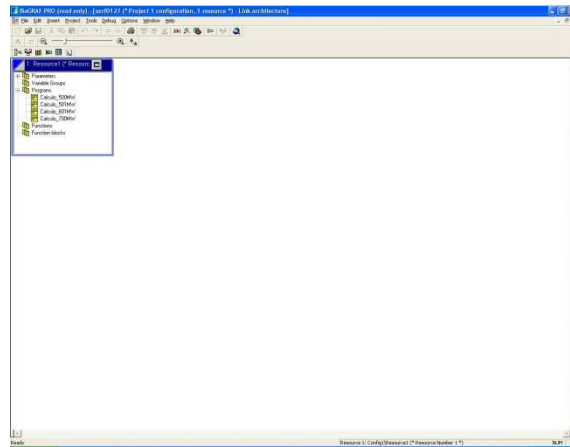


FIGURA 14 – Tela do ISaGRAF

2.5 Protocolos de Comunicação utilizados

Neste projeto foram utilizados os seguintes protocolos:

- IEC 60870 101: envio dos fluxos de potência e alarmes gerais das UCDs para a UCD Master através dos MUXs;
- Modbus: envio do fluxo de potência entre os MMs e as UCDs;
- IEC 61850: envio dos alarmes, atuações e potências do SEP para o SAGE local no caso das SEs da Eletrobras Eletronorte.

3.0 - RESULTADOS

Durante os Testes de Aceitação em Fábrica (TAF) realizados na plataforma de testes da Schneider Electric em São Paulo foram realizados testes de desempenho do sistema, que se mostraram resultado satisfatório e no comissionamento da Sistema em Rondônia o SEP desempenhou os seguintes resultados:

- Atuação da lógica 1 da perda dos circuitos da LT Porto Velho – Abunã até a chegada do sinal de abertura do disjuntor da LT Pimenta Bueno – Ji Paraná na SE Pimenta Bueno: entre 60 ms – 65 ms;
- Atuação da lógica 2 da detecção de perda dos elementos da UHE Santo Antônio até a chegada do sinal de abertura do disjuntor da LT Samuel – Ariquemes na SE Samuel: entre 60 ms – 65 ms.

Os testes no TAF e no comissionamento foram realizados sucessivas vezes e com diferentes valores de cargas para atestar o desempenho do SEP e os tempos medidos de abertura dos disjuntores no teste integrado em campo ficaram abaixo do especificado no relatório do ONS, de 150 ms.

4.0 - CONCLUSÃO

A demanda para a entrada do UHE Santo Antônio no SIN foi atendida, com um Sistema Especial de Proteção que se mostrou bastante desafiador devido a sua complexidade nas lógicas implantadas, na quantidade de dispositivos integrados e por atuar em diversas instalações de energia elétrica ao longo do estado de Rondônia. Foi uma grande satisfação trabalhar neste projeto e posso dizer que este SEP gerou uma ótima referência na Schneider Electric para outros Sistemas Especiais de Proteção que virão no futuro.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Estudos Operativos para Integração da UHE Santo Antônio até a Entrada em Operação do 1º Bipolo – Vol. 3 – Relatório de Implantação do SEP Associado à Integração da UHE Santo Antônio Revisão 3
- (2) Catalogo da Unidade de Teleproteção GARD 8000

(3) Catálogo dos Multiplexadores DM 705 C, DM 706 e DM16E1

(4) Catálogo dos produtos Schneider Electric: C264, relés família MiCOM e multimedidores PM700

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Cesar Solé, nasceu em São Bernardo do Campo (SP) em dezembro de 1982. Ingressou na Escola de Engenharia Mauá do Instituto Mauá de Tecnologia em janeiro de 2003. Graduiu-se em Engenharia de Controle e Automação em 2008. Trabalhou na Areva T&D do Brasil, na área de engenharia de sistemas de automação de subestações de 2009 a 2010. Em 2011, com a compra da área de automação de subestações pela Schneider Electric, foi integrado a nova empresa e desde esta data trabalha como engenheiro de sistemas na área de configuração e validação de sistemas de automação de subestações.