



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

GPC 01  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

## **GRUPO V**

### **GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E CONTROLE EM SISTEMAS DE POTÊNCIA – GPC**

#### **PROTEÇÃO DE BARRA DE 230kV POR COMPARAÇÃO DIRECIONAL ECONOMIZANDO 100 MILHÕES DE REAIS**

**Eliei Celestino da Silva \***

**CHESF**

## **RESUMO**

A proteção de barra tem sido vista como de grande importância para o sistema de potência porque faltas em barramentos podem provocar oscilações de potência indesejáveis quando não eliminadas com rapidez. Este artigo tem como objetivo apresentar uma proposta de aplicação de Proteção de Barra de 230kV por Comparação Direcional montada através do uso de elementos de funções e blocos lógicos dos relés numéricos existentes de cada circuito e interligados por meio de rede de comunicação.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Proteção de barra, comparação direcional, protocolo IEC61850.

## **1.0 – INTRODUÇÃO**

Com a expansão do sistema interligado nacional, as empresas do setor elétrico vêm incorporando às suas instalações uma grande quantidade de entradas de linhas, configurando uma tendência de interligações de sistemas em rede fortemente malhada e conseqüente interligação dos sistemas elétricos regionais, que ficam mais predispostos a apagões para faltas que precisam ser eliminadas com rapidez.

Nestes termos é desejável adicionar proteção de barra às subestações o que exige, na sua grande maioria, substituição de transformadores de corrente para que sejam atendidos os Procedimentos de Rede. Estes Procedimentos recomendam, para proteção diferencial de barra, que o tempo total para eliminação de defeito em barramentos de 230kV não seja superior a 150mseg. Recomenda ainda que o princípio diferencial seja por sobrecorrente percentual ou alta impedância ou comparação de fase e que sejam alimentados por secundários independentes dos transformadores de corrente<sup>(1)</sup>. A substituição destes transformadores de corrente exige um alto investimento, tempo longo de instalação e transtornos operacionais não desejáveis.

A solução rápida para implantação de proteção de barra dentro dos critérios de segurança, confiabilidade e seletividade, atendendo o tempo mínimo de eliminação de defeito de 150mseg, foi a utilização da Proteção de Barra por Comparação Direcional. Este princípio foi abandonado no passado devido ao longo tempo de atuação dos relés e à dificuldade de manutenção de contatos de relés auxiliares que eram utilizados para fazer as lógicas de disparo<sup>(2)</sup>.

Atualmente os relés numéricos disponibilizam funções de proteção de distância, sobrecorrente direcional, além de outras que, combinadas, podem garantir com precisão eliminação de faltas reversas. A composição destas funções, aliada à rapidez da determinação direcional da falta e aplicação de lógica programável, são suficientes para compor um sistema de proteção de barra. A lógica formada pelas informações de cada circuito deve mandar abrir e bloquear todos os disjuntores conectados à barra sobre defeito. A saturação dos transformadores de corrente não será problema quando se trata de determinar a direção da falta, diferente da proteção de barra por sobrecorrente diferencial percentual que bloqueia a função por mais de 100mseg.

(\*) Rua Delmiro Gouveia, 333 – sala A125 – Anexo II – CEP 50761-901 Recife, PE – Brasil  
Tel: (+55 81) 32294432 – Fax :(+55 81)32294194 - Email: eliel@chesf.gov.br

## 2.0 – CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO PARA PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE BARRA

A CHESF tem como princípio utilizar o padrão de Proteção de Barra por Sobrecorrente Diferencial Percentual porque é mais flexível e se aplica às diversas topologias de barras. Para aplicar os Procedimentos de Rede às instalações antigas de 230kV da CHESF dentro deste padrão, seriam necessários substituir todos os transformadores de corrente de dois enrolamentos por outros de três enrolamentos, além da necessidade de instalação de vários dispositivos de proteção, montando-se uma arquitetura distribuída composta de uma unidade central e várias unidades de vão, além de projeto executivo e instalação.

Os dados econômicos para a CHESF atender os Procedimentos de Rede para a instalação de Proteção de Barra por Sobrecorrente Diferencial Percentual, de forma aproximada, considerando os preços de Janeiro/2006 para 53 subestações de 230kV, serão;

Uma unidade de vão: R\$ 19.000,00 (U\$ 7.600,00)

Uma unidade central: R\$ 40.000,00 (U\$ 16.000,00)

Um transformador de corrente com 3 enrolamentos: R\$ 80.000,00 (U\$ 32.000,00)

Total Geral

53 unidades centrais:	R\$ 2.120.000,00	(U\$ 848.000,00)
53X7 unidades de vão:	R\$ 7.049.000,00	(U\$ 2.819.600,00)
53X7X3 TC's:	R\$ 89.040.000,00	(U\$ 35.616.000,00)
Projeto/Montagem/Cabos – 10%:	R\$ 9.920.903,00	(U\$ 3.968.361,00)
<b>Total</b>	<b>R\$ 108.129.903,00</b>	<b>(U\$ 43.251.961,00)</b>

## 3.0 – PROTEÇÃO DE BARRA POR COMPARAÇÃO DIRECIONAL

As proteções obsoletas de linha de 230kV e de transformadores estão sendo substituídas por dispositivos de proteção numéricos, duplicados e alimentados por enrolamentos de transformadores de corrente e de tensão separados, buscando maior confiabilidade e flexibilidade para intervenção e manutenção.

Estes dispositivos numéricos disponibilizam elementos de funções e lógicas flexíveis que dão condição de se montar esquemas confiáveis, precisos e rápidos que antes não eram disponibilizados nos relés eletromecânicos e estáticos, além de uma comunicação rápida entre eles através de rede local utilizando-se dos diversos protocolos existentes.

Utilizando-se da disponibilidade e da flexibilidade destes dispositivos numéricos nasce a possibilidade de aplicação de proteção de barra utilizando o princípio de Proteção por Comparação Direcional com o objetivo de atender de forma imediata uma exigência dos sistemas de potência malhados.

Podemos definir Proteção de Barra por Comparação Direcional como um conjunto de dispositivos de proteção interligados entre si através de rede de comunicação ou não, que disponibilizem funções que através de lógica programável atuem para faltas na direção desejada isolando do sistema de potência a barra sobre defeito.

### 3.1 Arquitetura de Proteção Diferencial de Barra Convencional

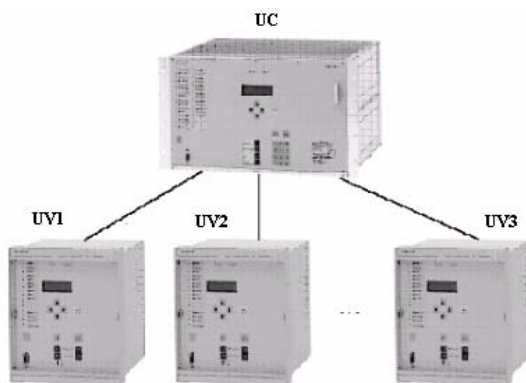


Figura 1 – Proteção diferencial de barra

A arquitetura para Proteção Diferencial de Barra, considerando a maioria dos fabricantes, é montada tendo várias **Unidades de Vão** que são alimentadas por transformadores de corrente de cada circuito, além de indicação de posição de seccionadoras e disjuntor, cujas informações são processadas e transmitidas como dados através de cabo de fibra ótica para uma **Unidade Central**, ver Figura 1.

Após a análise destes dados na **Unidade Central** e confirmada a condição de falta, a ordem de disparo é enviada às **Unidades de Vão**, que manda abrir e bloquear os disjuntores conectados à barra sobre defeito.

Esta arquitetura cobre diversos arranjos de barramentos e, de forma seletiva, desliga apenas aquele sobre defeito.

Para faltas externas, como o princípio de medição segue a lei dos nós de Kirchhoff, havendo saturação dos transformadores de corrente do vão sobre defeito, haverá detecção e bloqueio da proteção durante determinado tempo para que não haja atuação indevida.

### 3.2 Topologia de Proteção de Barra por Comparação Direcional

A arquitetura para a Proteção de Barra por Comparação Direcional é mostrada na figura 2 e, é composta de uma **Unidade de Lógica** que recebe o resultado lógico de confirmação de direcionalidade reversa das **Unidades de Vão**, além de informações de estado de seccionadoras e disjuntores de barra para definição da zona de defeito.

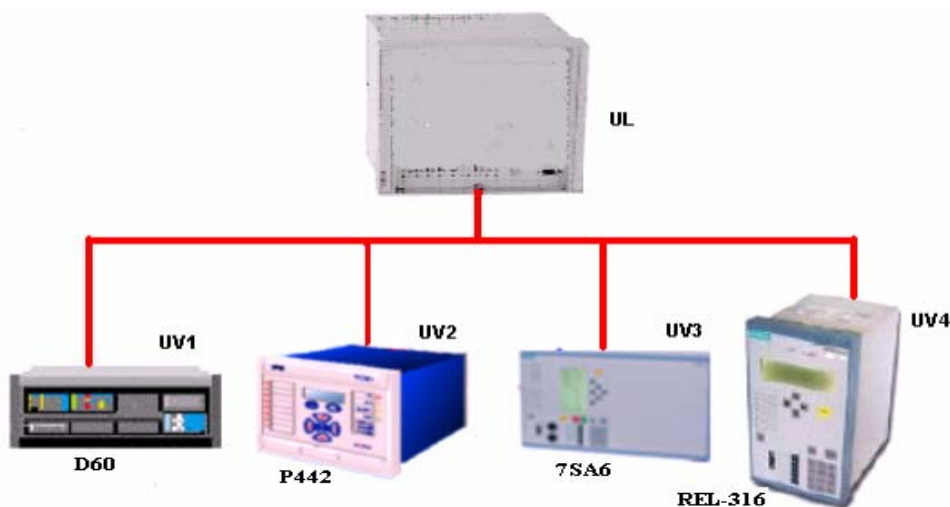


Figura 2 – Proteção de barra por comparação direcional

Na **Unidade de Lógica** são construídas as lógicas de disparo considerando as diversas configurações dos barramentos. Caso seja confirmado um defeito interno à barra a **Unidade de Lógica** envia para as **Unidades de Vão** ordem para abertura dos disjuntores conectados àquela seção de barra sob defeito.

A **Unidade de Lógica** deve ser flexível para poder se comunicar com dispositivos numéricos de qualquer fabricante através de rede local ou através de cabo de controle utilizando entradas e saídas binárias.

Nas subestações aonde os dispositivos numéricos são de mesmo fabricante, a **Unidade de Lógica** poderá ser um dos dispositivos que faça o papel de **Mestre**.

Outra arquitetura que poderia ser aplicada para o caso de barra simples seria aquela que os relés receberiam informação de cada **Unidade de Vão**, processaria uma lógica interna e enviaria disparo ao seu disjuntor.

Como este sistema de proteção utiliza as proteções que foram modernizadas e duplicadas, ele também poderá ser duplicado para que não seja desativado quando da manutenção de uma **Unidade de Vão**.

### 3.3 Funções e Lógicas nas Unidades Locais de Proteção

Os relés numéricos disponibilizam uma gama de funções de proteção que poderá ser utilizada para determinar com segurança se a falta ocorreu no barramento. Estes dispositivos garantem perfeita supervisão de suas condições de funcionamento com bloqueio e alarme. Para cobrir falta entre fases e fase-terra deverão ser utilizadas todas as possibilidades de funções de proteção disponíveis que, através de lógica flexível, garantam atuação correta. À condição de falta monofásica poderão ser utilizadas as partidas de zona reversa e direcional de terra das proteções de linha e proteção de sobrecorrente direcional dos transformadores polarizado pela corrente de neutro do trafo. Para faltas entre fases poderão ser utilizadas as partidas de zona reversa e direcional de fase de linha e uma lógica que garanta a atuação correta quando os circuitos envolvidos no esquema não tiverem fonte geradora.

Em face da necessidade de atuação para faltas reversas é necessário que as funções tenham a direcionalidade por polarização cruzada e memória de tensão para cobrir falta trifásica franca.

### 3.4 Lógica para Barra Simples

A lógica mostrada na figura 3 indica que para falta monofásica na barra atuarão as partidas das funções reversas das linhas e a partida da função de sobrecorrente direcional de terra das proteções do trafo. Confirmado o defeito na barra, a **Unidade de Lógica** enviará a ordem de disparo para todas as unidades de vão envolvidas para que seja processada como disparo externo, partindo o esquema de falha de disjuntor, relatório de eventos, oscilografia e indicação de atuação no LED do dispositivo de proteção, abrindo e bloqueando o fechamento do disjuntor local. Na condição barra simples a lógica montada na **Unidade de Lógica** não exige informação das seccionadoras e disjuntor para seleção de barra.

Uma lógica para falta entre fases poderá ser montada de forma semelhante utilizando as funções adequadas para este tipo de defeito.

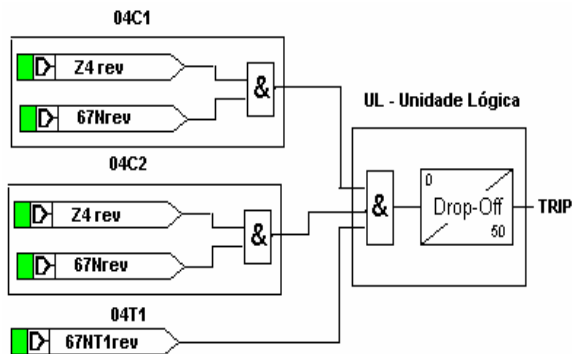


Figura 3 – Lógica para barra simples

### 3.5 Lógica para Barra Segregada

A lógica mostrada na figura 4 indica que para falta monofásica na barra atuarão as partidas das funções reversas das proteções das linhas e a partida da função de sobrecorrente direcional de terra das proteções do trafo.

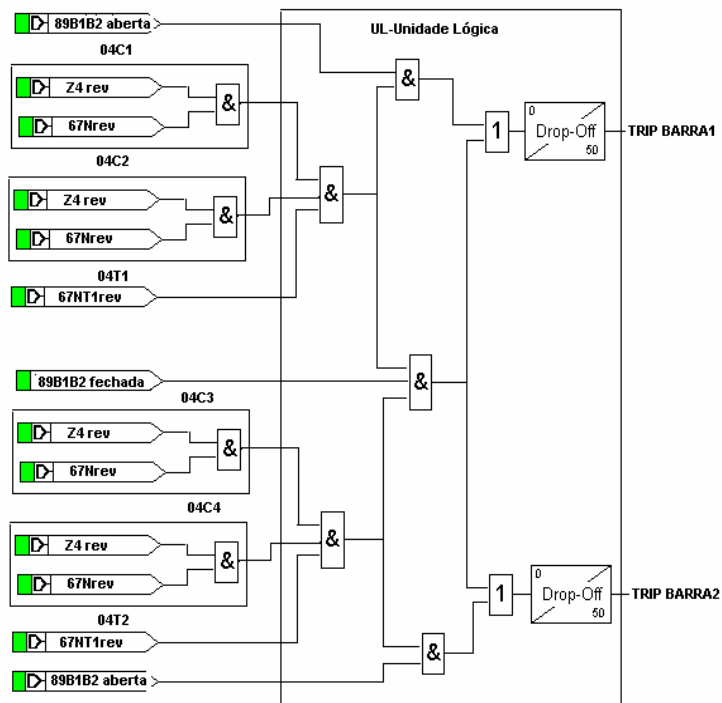


Figura 4 – Lógica para barra segregada

Confirmado o defeito na barra, a **Unidade de Lógica** enviará a ordem de disparo para todas as unidades de vão envolvidas para que seja processada como disparo externo, partindo o esquema de falha de disjuntor, relatório de eventos, oscilografia e indicação de atuação no LED do dispositivo de proteção, abrindo e bloqueando o fechamento do disjuntor local. O esquema atua sobre todos os disjuntores quando a chave seccionadora 89B1B2 estiver fechada e, apenas na barra sobre defeito, quando a chave seccionadora 89B1B2 estiver aberta. A quantidade de informação para se montar cada lógica dependerá da topologia e possibilidade de configuração da subestação.

A ordem de disparo será dada por secção de barra na mesma velocidade como se estivesse utilizando um sistema com barra simples.

Uma lógica para falta entre fases poderá ser montada de forma semelhante utilizando as funções adequadas para este tipo de defeito.

### 3.6 Simulação

Para que simulações fossem realizadas aplicando-se o princípio de comparação direcional foi considerada a configuração da subestação mostrada na figura 5, cujas linhas de transmissão 04C1 e 04C2 são fontes que alimentam as cargas do transformador 04T1, ligado em estrela-aterrado/delta.

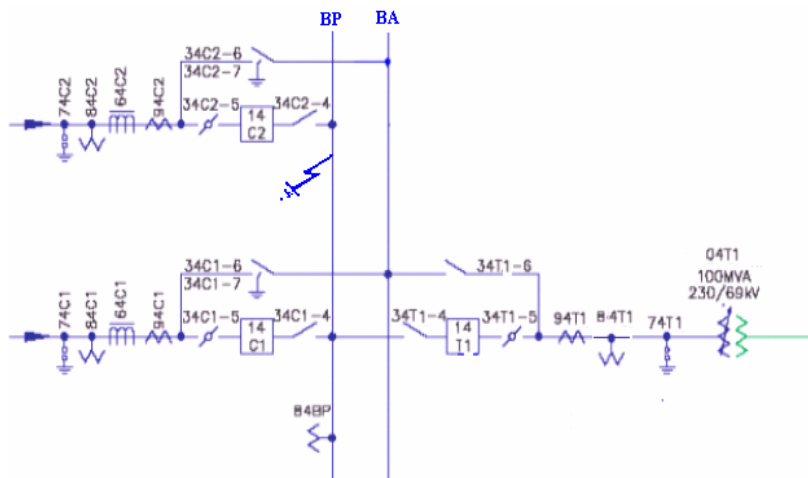


Figura 5 – Subestação usada na simulação

As lógicas que determinam a ordem de disparo foram construídas na **Unidade de Lógica** com as informações das **Unidades de Vão**.

No primeiro caso, as simulações foram realizadas em bancada de testes simulando-se uma falta monofásica na barra de 230kV, utilizando relés numéricos de versão mais antiga, interligados através de cabo de controle, entradas e saídas binárias, fazendo de um deles **Unidade de Lógica**. Este caso representa as subestações que sofreram modernização de substituição das proteções obsoletas por outras numéricas sem o protocolo IEC61850.

No segundo caso não foram realizados os testes mas analisada uma proposta de projeto utilizando relés numéricos interligados através de cabo ótico, com rede local, chaveada, aplicando o protocolo IEC51850/GOOSE, tendo como **Unidade de Lógica** um dispositivo numérico de controle.

O objetivo destas simulações foi de verificar o tempo total de processamento levando em conta a comunicação entre dispositivos, a atuação da proteção, resposta das lógicas e tempo de abertura do disjuntor, tendo como limite o valor de 150mseg sugerido pelos Procedimentos de Rede.

#### 3.6.1 Arquitetura Convencional com Cabo de Controle

Foram realizadas simulações interligando por fio de cobre, ponto-a-ponto as **Unidades de Vão** e **Unidade de Lógica**. Um dos dispositivos de um circuito foi escolhido como **Mestre**, por ter maior quantidade de entradas e saídas binárias disponíveis para atender a topologia de barra simples, ver Figura 6.

Nesta arquitetura é importante aterrar a blindagem do cabo de controle em dois pontos para se evitar interferência eletromagnética e atuação indevida do esquema. Seria possível supervisionar perda de conexão entre os dispositivos, mas exigiria uma maior quantidade de binárias de entrada e saída para distinguir as condições de falha.

Foi utilizada uma caixa de testes para simular uma falta monofásica e reversa para três dispositivos numéricos de proteção e o tempo total até a abertura dos disjuntores foi de 80mseg.

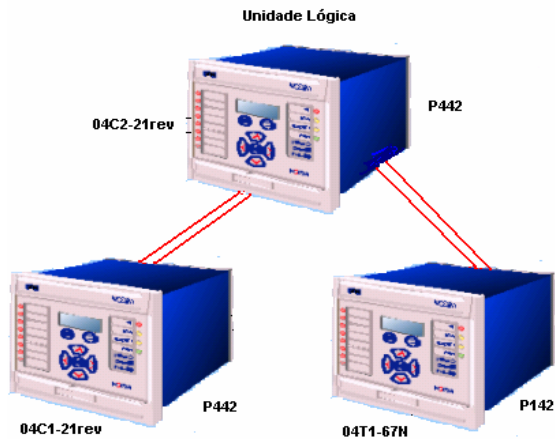


Figura 6 – Arquitetura com cabos de controle

### 3.6.2 Arquitetura com Rede Local e Protocolo IEC61850/GOOSE

Esta arquitetura não foi testada por indisponibilidade dos relés, no entanto, foi considerada como proposta para futura modernização. Como mostrado na Figura 7, serão interligados os dispositivos de proteção através de cabo de fibra ótica, com rede local, com velocidade de comunicação de 100Mbps, chaveada através de um dispositivo **Ethernet Switch**. O protocolo utilizado foi o **IEC61850**<sup>(3)</sup>, que através da rede local trocam informações de posição de estado entre entradas e saídas remotas, ponto-a-ponto, usando o protocolo **GOOSE**.

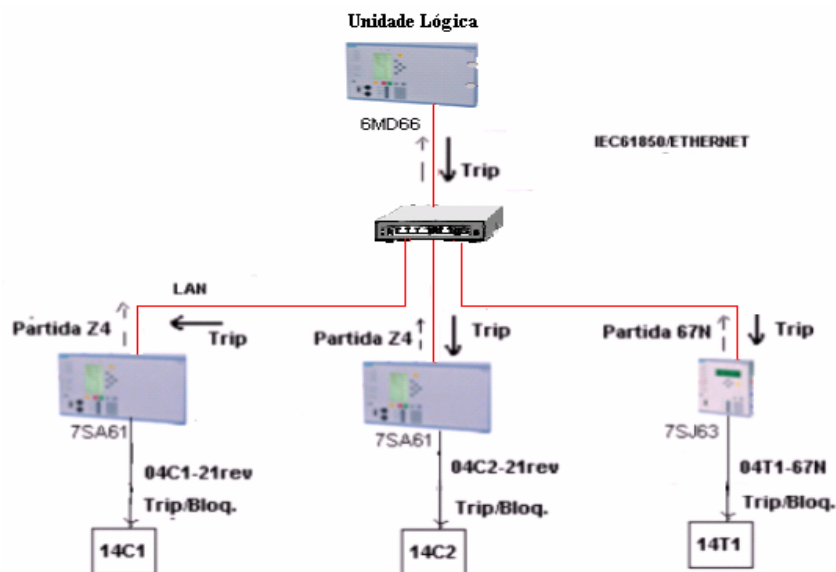


Figura 7 – Arquitetura com o protocolo IEC61850

Nesta arquitetura não há influência da interferência eletromagnética porque a interligação é realizada através de cabo de fibra ótica, existe supervisão de perda de comunicação entre unidades e detecção de colisão de mensagem na rede. Caso haja perda de comunicação entre dispositivos durante a falta, a proteção não opera. Esta arquitetura é mais flexível devido à possibilidade de interoperabilidade entre dispositivos numéricos de vários fabricantes que terão o protocolo IEC61850. Com os relés universais que apresentam possibilidades diversas de formação de esquemas lógicos associado ao uso de um protocolo padrão de comunicação como o IEC61850, poder-se-ão montar inimagináveis esquemas com a possibilidade de troca de informações de dados entre **Unidades de Vão**, através de rede local, garantindo precisão, segurança e confiabilidade à Proteção de Barra por Comparação Direcional.

Para a topologia de barra simples, utilizando esta arquitetura, considerando o tempo de comunicação de ida e volta do sinal em torno de 8mseg<sup>(3)</sup>, tempo de atuação da proteção mais processamento da lógica de 15mseg e abertura do disjuntor com 50mseg, o tempo total para eliminação de defeito seria em torno de 73mseg.

#### **4 - Conclusão**

A Proteção de Barra por Comparação Direcional

- garante um tempo médio de eliminação de defeito de 80mseg
- não atua e nem bloqueia por saturação de transformadores de corrente
- cobre pontos cegos para faltas entre os transformadores de corrente e o disjuntor de interligação de barras
- é flexível para manutenção preventiva e corretiva por ser duplicada
- permite rapidez na implantação
- gera grande economia por não ser necessário substituir os transformadores de corrente e instalar novas cadeias de Proteção de Barra.

A aplicação da Proteção de Barra por Comparação Direcional é viável desde que sejam realizadas substituições dos relés obsoletos por dispositivos numéricos de proteção. A comunicação entre dispositivos através de rede local utilizando o protocolo IEC61850/GOOSE possibilita uma arquitetura livre de interferências eletromagnéticas, com supervisão de falha de comunicação e a possibilidade de interoperabilidade entre fabricantes diferentes na construção do sistema de Proteção por Comparação Direcional.

#### **5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

(1) Submódulo 2.5 dos Procedimentos de Rede – Requisitos Mínimos dos Sistemas de Proteção, Supervisão e de Telecomunicações – ONS

(2) S.H. Horowitz/A.G. Phadke, Power System Relaying-second edition

(3) Guidelines for Implementation Substation Automation Using IEC61650 - EPRI

#### **6 – DADOS BIOGRÁFICOS**

ElieI Celestino da Silva

Nascido em Caruaru, PE em 01 de agosto de 1956.

Especialização em Sistemas de Proteção(1999) e Graduação em 1986 em Engenharia Elétrica: UPE-Recife

Empresa: Companhia Hidroelétrica do São Francisco, desde 1980

Engenheiro da Divisão de Estudos de Proteção da Transmissão