

INTERCONNECTION BETWEEN CO-GENERATORS AND ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM

Evaldo Flausino Senne ¹
(flausino@cpfl.com.br)

Carlos Alberto Mohallem
Guimarães ²
(mohallem@iee.efei.br)
Evaldo Baldin Dias ¹
(baldin@cpfl.com.br)

Paulo Cesar Scarassati ¹
(pcsca@cpfl.com.br)

(1) Companhia Paulista de Força e Luz
(2) Universidade Federal de Itajubá

1 RESUMO

O artigo tem como objetivo mostrar os métodos utilizados para conexão de autoprodutores (com vendas de excedentes ou não) e produtores independentes em paralelo com o sistema de distribuição da CPFL, sob os aspectos de proteção da interconexão, qualidade de fornecimento, operação e a utilização de religadores em redes rurais de distribuição para sistemas de geração distribuída - 15/25 kV, podendo ser utilizado o procedimento para outras concessionárias, dependendo da configuração.

A operação de usinas de um modo geral e principalmente no sistema de distribuição, apresenta particularidades que podem vir a ser problemas de grandes proporções para produtores que pretendem operar com geração própria em paralelo com o sistema elétrico.

Serão abordadas soluções adotadas, quando da conexão de geradores em paralelo com o sistema.

Palavras Chave: Geração Distribuída; Religadores; Distribuição e Proteção.

2 INTRODUÇÃO

O atendimento de cargas de forma radial e isolada não se torna atrativa, devido à baixa confiabilidade dessa configuração operativa, quando comparada a um sistema interligado.

Os requisitos para operação em paralelo de uma maneira geral, são definidos segundo o nível de tensão em que se dará o paralelismo: na distribuição, onde as tensões nominais de operação das redes podem ser de 15 / 25 kV, ou no nível de subtransmissão, onde as tensões nominais de operação das linhas podem ser 138 / 88 / 69 kV. A definição do nível de tensão se fará no ponto de interligação entre os sistemas da concessionária e do autoprodutor, em função da demanda de exportação e também do menor custo global do empreendimento.

Os requisitos técnicos de proteção visam garantir a integridade dos sistemas elétricos e equipamentos da concessionária e do autoprodutor na ocorrência de defeitos.

Embora superficialmente, dado o enfoque principal do presente trabalho, pode-se mencionar os principais aspectos abordados no estabelecimento daqueles requisitos:

- forma de ligação dos transformadores de acoplamento dos turbogeradores à rede elétrica;
- capacidade máxima de curto-circuito num ponto qualquer da rede de distribuição, estando os sistemas em paralelo;

- disponibilidade mínima para que os relés garantam as várias funções necessárias à supervisão dos sistemas operando em paralelo;
- periodicidade mínima para realização de manutenções preventivas, com rotina de emissão de relatório por parte do autoprodutor;
- obrigatoriedade de observância às instruções operativas específicas, que constam do contrato de compra de excedentes, onde são regulamentados os procedimentos de manobra em condições normais e de emergência, critérios de comunicação, etc..

3 PONTOS DE ATENÇÃO COM CONEXÃO DE GERADORES EM PARALELO

Existem algumas particularidades que deverão ser consideradas para a definição da proteção da interconexão de autoprodutores em paralelo no sistema de distribuição e subtransmissão da concessionária, conforme se mostra a seguir:

3.1 Autoprodutores

Os autoprodutores necessitam proteger os geradores não somente contra curtos-circuitos, mas também para outras condições de operação anormal, que são: superexcitação, sobretensão, correntes desbalanceadas, frequências anormais e stress no eixo do gerador, devido ao religamento automático dos disjuntores das concessionárias (caso o gerador ainda estiver no sistema). Quando sujeitas a estas condições, podem ocorrer em alguns segundos, perdas e/ou falhas no gerador, e estes danos devem ser a maior preocupação dos cogeneradores.

3.2 Concessionária

3.2.1 Religamentos

Quando ocorre atuação de seus equipamentos de proteção, a concessionária necessita restabelecer o fornecimento de energia, o mais rapidamente possível, e esse esforço é muito complicado, tendo geradores de cogeneradores ilhados atendendo cargas da concessionária. O Religamento automático, que é universalmente o primeiro método adotado para restabelecer o atendimento aos consumidores o mais rápido possível, torna-se delicado, pois havendo geradores no modo ilhado, há sérios riscos de se ter o fechamento sem sincronização entre os geradores com carga ilhada e a fonte da concessionária.

3.2.2 Qualidade da Energia Elétrica

Não há garantia da manutenção de níveis adequados de tensão e frequência pelos cogeneradores, quando operando em modo ilhado. Assim, podem ocorrer danos em equipamentos de consumidores da concessionária, que estejam sendo supridos nessa condição.

3.2.3 Segurança

Com o paralelismo, há riscos técnicos ou de segurança para outros consumidores, bem como ao próprio sistema elétrico e ao pessoal de operação e manutenção, quando não são tomadas as precauções necessárias.

4 RELIGADORES DE DISTRIBUIÇÃO AO LONGO DO ALIMENTADORES

A utilização de religadores automáticos convencionais ao longo da rede de distribuição melhora os indicadores de continuidade de fornecimento, em razão de sua característica de operação, cuja função é restabelecer automaticamente a alimentação, no caso de faltas momentâneas e em caso de faltas permanentes evita a interrupção do sistema urbano de distribuição.

Quando da conexão de um gerador em paralelo com o sistema de distribuição, torna-se arriscada a utilização do religador, pois poderia ocorrer um religamento sobre o gerador, caso o mesmo ainda não tivesse sido desconectado do sistema, em tempo hábil.

Uma solução utilizada no passado era a retirada de serviço do equipamento ou o bloqueio da função de religamento, o que refletia negativamente nos índices de qualidade, ou optava-se por soluções mais onerosas, como a construção de um alimentador expresso juntamente com um novo bay de saída da subestação.

A solução para este tipo de problema, é a utilização otimizada de funções de proteção do religador, que somente alguns equipamentos modernos possuem.

Sugere-se que o painel do religador seja provido de um controle microprocessado que disponha além das funções convencionais, proteções direcionais de fase e terra, sobrecorrente de sequência negativa e se possível, funções de verificação de tensão para religamento.

A fim de melhorar a qualidade, poderá também ser provido de outras funções (desejável) tais como: religamento com verificação de sincronismo, lógicas de teleproteção .

Dependendo da necessidade, o equipamento deverá possuir as seguintes funções:

- Utilização de proteções convencionais (50/51, 50/51N);
- Substituição ou aplicação de proteção adicional em função da análise de demanda de exportação e contribuição de curto-circuito (67, 67N, 50/51, 50/51N, 27, 59, 32 e 81);
- Necessidade da utilização de TP's para verificação de tensão nas 3 (três) fases e possibilidade de religamento através do uso de relé de verificação de sincronismo (25 e 79);
- Utilização da proteção de sobrecorrente de sequência negativa (46) em razão de baixos níveis de curto-circuito no ponto mais distante da rede, caso haja necessidade;
- Utilização das lógicas de teleproteção e protocolo de comunicação relé-a-relé em conjunto com rádios digitais para uma otimização da confiabilidade e segurança do esquema de proteção.

A operação e aplicação deste equipamento já foi testada e verificada em campo com sucesso. As medições mostraram que os resultados dos novos índices de qualidade, monitorados e controlados, geraram uma redução de custos e alta qualidade de fornecimento aos esquemas de geração distribuída.

5 CONEXÃO DE GERADORES EM PARALELO

Serão abordadas agora, soluções adotada, com o objetivo de manter o fornecimento de energia elétrica os consumidores dentro de níveis adequados de qualidade e determinados pela ANEEL, além de manter os indicadores de Qualidade para o atendimento dos consumidores, levando-se sempre em consideração que a topologia do sistema elétrico de distribuição foi inicialmente concebida para o atendimento exclusivamente a cargas, e que a conexão de pequenos geradores embutidos altera significativamente as configurações da região geo-elétrica considerada.

5.1 Proteção e religamentos

Como a filosofia de proteção do sistema foi desenvolvido, para a distribuição de energia elétrica, e necessita restabelecer rapidamente o sistema, visando garantir a qualidade do fornecimento de energia, utilizam-se religamentos automáticos nos disjuntores dos alimentadores, religadores instalados ao longo dos alimentadores e das linhas de subtransmissão.

Com a conexão em paralelo de geradores de autoprodutores no sistema de distribuição, existe a preocupação com as seguintes possibilidades:

- religamento dos disjuntores de distribuição e de subtransmissão, ou religadores instalados ao longo dos alimentadores da concessionária sobre o gerador do acessante, caso o mesmo não tenha ainda se desconectado do sistema. Este religamento poderá ocasionar stress ou mesmo

danificar o gerador permanentemente, dependendo da condição que se encontra o sistema no momento do religamento;

- manter níveis aceitáveis de confiabilidade, continuidade e qualidade de energia;
- segurança aos demais consumidores e ao pessoal de operação e manutenção da concessionária;
- quando ocorridos problemas nas instalações do acessante e equipamentos, não ocorra prejuízo nas condições de fornecimento de energia elétrica da concessionária para os demais consumidores;
- aumento dos níveis de curto-circuito no sistema elétrico;
- alteração do alcance de algumas proteções;
- alteração das condições de operação do sistema elétrico;
- defeitos ou falhas no sistema de subtransmissão;
- inversão do fluxo da energia de exportação para o sistema de subtransmissão.

Os relés a serem implementados nas dependências do autoprodutor não garantem a saída de paralelo, quando houver faltas ou defeitos na subestação de distribuição e também no sistema de subtransmissão, não garantindo assim, a segurança requerida.

Diante do exposto, são solicitadas as adaptações adequadas tanto nas subestações do autoprodutor como na concessionária, visando a continuidade de fornecimento e também proporcionando a segurança aos geradores a serem conectados e aos que irão operar os ativos da concessionária.

5.2 Requisitos para o Paralelismo

5.2.1 Condições Gerais

Com a conexão de geradores em paralelo com o sistema de distribuição, o autoprodutor deverá se preocupar com as proteções a serem instaladas no disjuntor de interligação e demais equipamentos que façam o paralelismo, de modo que o desfaza e o bloqueie prontamente sempre que ocorrer quaisquer distúrbios (curto-circuito, fase aberta, variação acentuada de tensão e/ou frequência, etc.) ao longo do alimentador até a subestação da concessionária (tronco e ramais), visando a preservação de suas próprias instalações.

O esquema de proteção do autoprodutor deverá ser suficientemente rápido, de forma a não prejudicar a operação do religamento automático de alta velocidade dos circuitos alimentadores do sistema elétrico. Esta medida tem a finalidade de evitar que o sistema feche o paralelo fora de sincronismo, podendo danificar o gerador do autoprodutor, assim como minimizar o tempo de interrupção para os demais consumidores.

A capacidade de geração do autoprodutor deve ser dimensionada para que, nas condições elétricas mais desfavoráveis, haja garantia de que tensões e correntes de curto-circuito no sentido dos geradores para o sistema da concessionária atinjam valores mínimos necessários, para que as proteções instaladas nos pontos de interligação possam operar com segurança.

Os geradores do autoprodutor devem ser removidos do paralelo através de disjuntores acionados por relés secundários, sempre que ocorrer uma anomalia (curto-circuito, queda de tensão anormal ou variação de frequência acentuada, falta de fases ou fase, etc.) no sistema elétrico da concessionária ou na própria instalação do autoprodutor, quando for impossível isolar o defeito por outros meios.

5.2.2 Requisitos Específicos

A seguir, são apresentados alguns requisitos específicos (conforme figura 1) adotados pela concessionária para a conexão de autoprodutores em paralelo com o seu sistema de distribuição:

- Existência de um disjuntor de interligação localizado entre a instalação do autoprodutor e a concessionária;

- Os disjuntores e/ou qualquer equipamento de manobra que permita o paralelismo sem supervisão do relé de sincronismo, deverão possuir intertravamento de forma a evitar o fechamento do paralelo por meio destes;
- A segurança do sistema dependerá das ações corretas de toda a estrutura organizacional do autoprodutor;
- O autoprodutor deverá dotar o seu sistema elétrico de um eficiente esquema de rejeição das cargas não prioritárias e de abertura do(s) disjuntor(es) de paralelismo, a fim de que distúrbios de tensão, frequência e oscilações provenientes do sistema elétrico não afetem as suas cargas prioritárias e os seus geradores;
- O paralelismo deverá ser feito com geradores trifásicos, 60 Hz;
- Todos os geradores do autoprodutor deverão estar ligados à rede primária através de transformador de acoplamento;
- Utilização de proteções convencionais (67, 50/51, 50/51N, 27, 59, 59N, 32, 81, 25) e ou substituição ou aplicação de proteção adicional em função da análise de demanda de exportação e contribuição de curto-circuito (67-51V ou 21), de tal maneira que, faltas, falhas, surtos atmosféricos, correntes de seqüência negativa excessivas ou outras perturbações na rede da concessionária não causem danos às suas instalações;

5.2.3 Esquemas de Proteção do Autoprodutor

Na figura 1, observamos o esquema de proteção usado pelo autoprodutor conectado na rede de distribuição (15/25 kV).

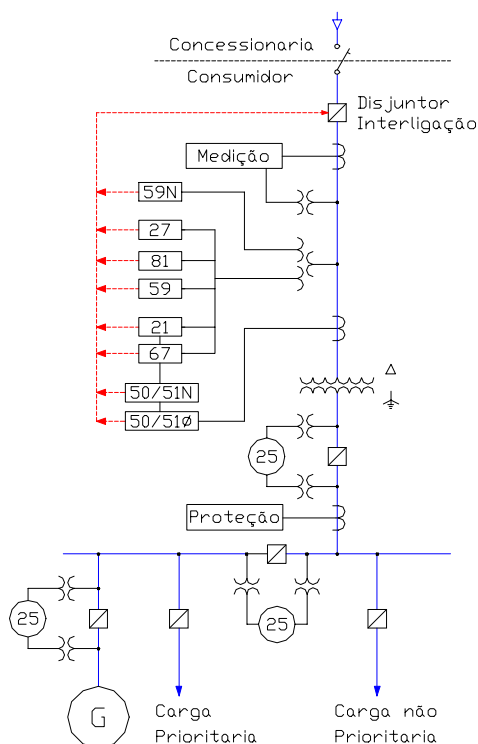


Figura 1 – Proteção do Autoprodutor para cogeração

5.3 Adaptações Necessárias na Subestação de Distribuição da CPFL

Certas adaptações nas subestações de distribuição são fundamentais (figura 2), pois as proteções do gerador em paralelo (disjuntor de interligação) não são sensibilizadas por curto-circuito na Linha de Subtransmissão. Assim, as adaptações necessárias na subestação da CPFL visam complementar a proteção do autoprodutor, com o seguinte objetivo:

- No caso de falta no sistema de subtransmissão, proteções adicionais para desconectar o disjuntor do alimentador onde seria conectado o autoprodutor em paralelo;
- Verificação de tensão na saída de alimentador (15/25 kV) onde seria conectado o autoprodutor em paralelo.

5.3.1 Proteções adicionais

- É implementado um esquema de proteção de modo que, para qualquer tipo de falta que possa ocorrer, seja na linha de subtransmissão ou no barramento que alimenta a subestação, seja na própria SE da concessionária, o disjuntor do alimentador, onde será conectado o autoprodutor em paralelo, seja desconectado. Dessa forma, tem-se condição de proceder o religamento normal no sistema de Subtransmissão e dar-se continuidade de fornecimento, nos casos de defeitos transitórios.
- Este esquema é constituído por relés direcionais – 67 (ou distância – 21, que pode ser aplicado como opção ou complemento ao relé 67, dependendo da análise de demanda de exportação e contribuição de curto circuito), por relés de sobretensão de sequência zero – 59N e por relés de tensão nula de corrente contínua - 27-0, que estão acondicionados em uma Cabine de Proteção de Autoprodutor (CPA), acoplada próximo à estrutura de 15/25kV. O relé de tensão nula de corrente contínua 27-0, atuará se houver falta de corrente contínua na CPA e também irá desligar automaticamente o disjuntor do alimentador que está em paralelo com o autoprodutor.

Para curto-circuito dentro da Subestação da CPFL, as proteções atuarão nas suas respectivas filosofias adotadas e também abrirá o disjuntor do alimentador que está em paralelo com o autoprodutor, assim como para anomalias ao longo do próprio alimentador.

5.3.2 Verificação de Tensão no Alimentador

- É implementado uma lógica de religamento, para que, quando da abertura do disjuntor do alimentador que estiver em paralelo com o cogerador, evitar o religamento do sistema sobre o gerador, caso este ainda estiver conectado.
- Para isso é solicitado o relé de subtensão 27CA, que estará conectado aos TP's instalados na saída do disjuntor do alimentador que estiver em paralelo com o autoprodutor, verificando constantemente a tensão no circuito. No caso de um curto circuito, havendo tensão no alimentador (fato que significa que o cogerador está no circuito sustentando cargas do alimentador), o disjuntor não religa, e não havendo tensão (cogerador está fora do circuito), o religamento é completado normalmente. Depois de normalidade o paralelo será feito pelo cogerador através do disjuntor de interligação do autoprodutor.

5.3.3 Esquemas de Proteção da Subestação de Distribuição da CPFL

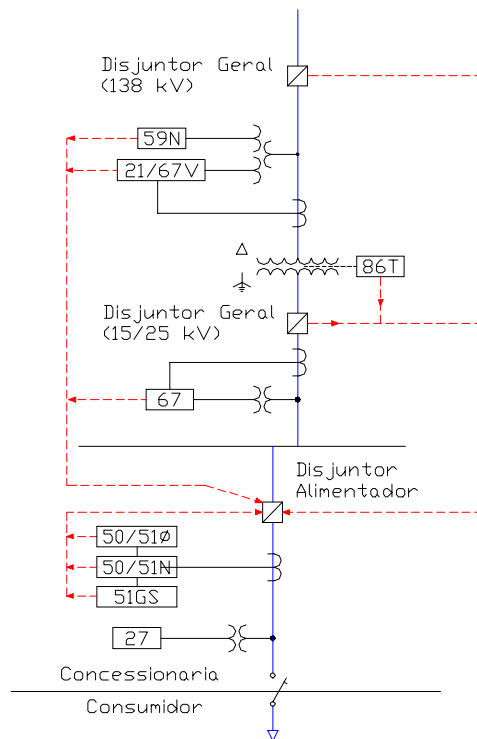


Figura 2 – Adequação da Proteção na SE para co-geração

5.4 Adaptações Necessárias no Sistema de Subtransmissão da CPFL

Para uma situação na qual a subestação de distribuição da CPFL esteja sendo alimentada por um ramal proveniente de uma Subestação de subtransmissão (radial), normalmente é necessária a implementação de um esquema de proteção para a verificação de tensão no ramal de subtransmissão, para que, quando da abertura do disjuntor em que o cogerador em paralelo estiver conectado, se evite o religamento sobre o gerador, caso este ainda estiver conectado.

Para isso, o relé de sincronismo é necessário. Ele estará conectado por TP (69 ou 88 ou 138 kV) e será instalado na saída do disjuntor do ramal, cuja função será verificar constantemente a tensão e o sincronismo no circuito. No caso de um curto-circuito, havendo tensão no ramal (fato que significa que o cogerador está no circuito sustentando as cargas) fora do sincronismo, o relé não permitirá o religamento do disjuntor. Por outro lado se não houver tensão (cogerador está fora do circuito), o religamento é completado normalmente, sem problemas para o autoprodutor, para o qual, posteriormente, o paralelo poderá ser feito pelo disjuntor de interligação do autoprodutor.

Dependendo da potência do gerador a ser conectado no sistema elétrico, o mesmo pode provocar um “in feed” grande no sistema (para sistema em anel), fazendo com que para um curto-circuito na linha de subtransmissão, os relés da CPA e ou mesmo os relés da LT não atuem corretamente para o defeito. Neste caso é necessário o uso da teleproteção. A mais comumente utilizada pela CPFL é a transferência de disparo direto (DTT) associada com a transferência de disparo permissivo por sobrealcance (POTT).

6 NOVOS RECURSOS NA ENGENHARIA DE DISTRIBUIÇÃO

6.1 Engenharia Dinâmica

Os esquemas de proteção estão sob constante modificação e aperfeiçoamento. As mudanças dos tradicionais esquemas de proteção muitas vezes requerem a aquisição e instalação de equipamentos adicionais.

A filosofia da proteção da distribuição muda com o passar do tempo e difere de uma concessionária para outra; algumas vezes, de uma área para outra dentro da mesma concessionária. Se um relé de distribuição atende aos requisitos de uma concessionária, pode não atender as exigências de outra. A introdução de modificações na fábrica para atender a diferentes concessionárias seria dispendiosa, demorada e resultaria em relés, que seriam um de cada tipo.

6.2 Sistema de Distribuição Dinâmico

Um sistema de distribuição de energia elétrica apresenta mudanças de características horárias e sazonais:

- Manobras programadas para projetos de construção ou ações de manutenção;
- Manobras de emergência para reparos;
- Disjuntores de interligação de barramentos substituindo disjuntores de alimentador de distribuição;
- Transferências de carga sazonais.

As reconfigurações resultantes do sistema duram desde algumas horas, até meses. Muitas reconfigurações são repetidas. Os seguintes problemas podem acontecer:

- Importantes mudanças na carga ou desequilíbrio;
- Grandes variações no regime de falta, devido a alterações na fonte e alimentador;
- Problemas de coordenação com diferentes equipamentos de proteção;
- Aumento do regime de falta no condutor, cabo ou equipamento.

O tradicional equipamento de proteção não se adapta facilmente às reconfigurações de sistemas de distribuição. Se novos ajustes forem necessários, eles têm de ser feitos manualmente; não há quaisquer ajustes em reserva. O tempo para efetuar ou inserir e testar novas configurações retarda as respostas a emergências e introduz riscos de erro humano. Algumas vezes, os ajustes em relés não são alterados para manobras de emergência ou anormais, porque são muito demorados ou muito difíceis. A proteção do sistema fica comprometida.

6.3 Múltiplos Grupos de Ajustes

Relés numéricos se adaptam às reconfigurações do sistema com múltiplos grupos de ajustes. Um grupo de ajustes específico pode ser habilitado por:

- Comando via porta de comunicação ou;
- Programação de uma lógica interna ao relé ou;
- Entradas binárias programadas para a seleção de grupo de ajustes.

Diferentes grupos de ajustes podem ser programados para cobrir muitas contingências diferentes. O esquema e configurações de proteção ideais são habilitados para proporcionar a maior confiabilidade de serviço.

Os custos operacionais são reduzidos por não se ter de efetuar ou inserir e testar novas configurações. Isso é feito convenientemente com antecipação. Por exemplo, em uma aplicação em um religador na rede onde está conectado um cogerador, os ajustes do relé podem ser alterados dependendo da quantidade de geradores em operação.

6.4 Proteção Contra Falta Fase-Fase Mais Rápida e Sensível

Elementos de sobrecorrente de sequência negativa foram adicionados aos relés numéricos. Os elementos de sobrecorrente de sequência negativa podem ser ajustados para responder com maior rapidez e sensibilidade às faltas fase-fase do que a tradicional proteção de sobrecorrente de fase, porque os elementos de sobrecorrente de sequência negativa não respondem a cargas de corrente balanceadas.

Da mesma forma como elementos de sobrecorrente de terra, os elementos de sobrecorrente de sequência negativa podem ser ajustados abaixo dos níveis de corrente de carga. Por outro lado, os relés de sobrecorrente de fase têm de ser ajustados acima dos níveis de corrente de carga, tornando-se insensíveis para a detecção de faltas bifásicas com baixo nível de curto-circuito.

Tabela 1 mostra que correntes de sequência negativa são geradas durante as faltas não balanceadas. Com a utilização de elementos de sobrecorrente de sequência negativa, os elementos de sobrecorrente de fase são necessários apenas para faltas trifásicas.

Tabela 1 – Comparação entre Cobertura da Proteção Tradicional e da Nova Proteção								
Condição do Sistema	Correntes Geradas			Cobertura da Proteção Tradicional		Cobertura da Nova Proteção		
	Corrente de Sequência Positiva (I_1)	Corrente Sequência Negativa (I_2)	Corrente Sequência Zero (I_0)	Elementos de Sobre-Corrente de Fase	Elementos de Sobre-corrente Residual/ Terra	Elementos de Sobre-Corrente de Fase	Elementos de Sobre-corrente de Sequência Negativa	Elementos de Sobre-corrente Residual/ Terra
Falta FT	X	X	X		X			X
Falta FFT	X	X	X	X	X		X	X
Falta FF	X	X		X			X	
Falta Trifásica	X			X		X		
Carga Balanceada	X							

Os elementos de sobrecorrente de sequência negativa também podem cobrir faltas fase-fase-terra, onde a resistência de falta à terra seja alta. Alta resistência de falta à terra faz a falta fase-fase-terra parecer como uma falta fase-fase para um relé.

O método de ajustes para elementos de sobrecorrente de sequência negativa requer um esforço mínimo de coordenação.

6.5 Religamento Seguro

Como mencionado anteriormente as concessionárias necessitam restabelecer o mais rapidamente possível o alimentador quando desconectado após a eliminação de uma falta. Para uma falta no ponto F (figura 3), os disjuntores A e B devem abrir para eliminar a falta, fazendo com que todos os consumidores atendidos por este alimentador sofram uma interrupção no fornecimento de energia.

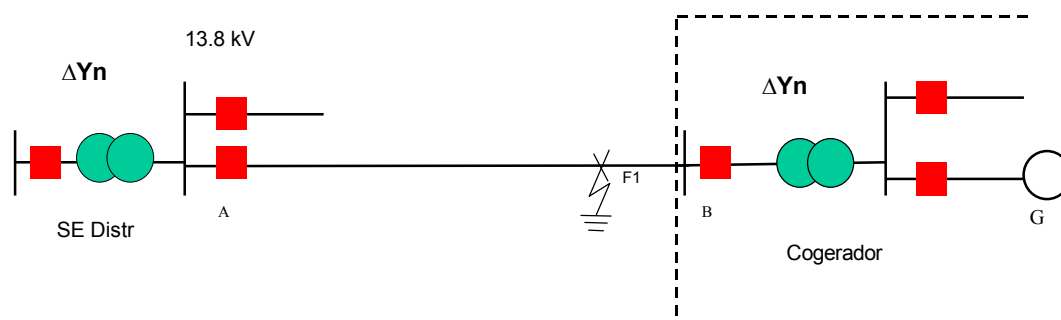


Figura 3 – Proteção Tradicional

Com a instalação de um religador, conforme mostrado na figura 4, a mesma falta no ponto F será eliminada pela abertura do religador e do disjuntor B, fazendo com que um menor número de consumidores sofra uma interrupção no fornecimento de energia. Porém para que o religamento seja feito com segurança, o relé do religador deverá ter facilidades que possibilitem a verificar a ausência de tensão no trecho de alimentador compreendido entre o religador e o cogerador, para que não haja o risco de ocorrer um religamento com o gerador ainda conectado.

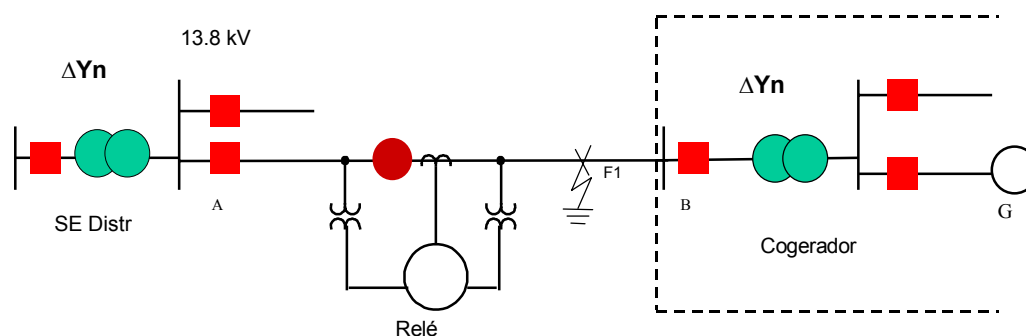


Figura 4 – Nova Cobertura de Proteção

Uma maior sensibilidade para detecção de faltas é outro benefício da instalação deste religador, uma vez que o pick-up dos elementos de sobrecorrente poderá ser ajustado em um valor menor.

6.6 Teleproteção na Distribuição

Engenheiros de proteção, em cooperação com fabricantes de relés de proteção e de equipamentos de comunicação, se empenharam em alcançar disparos rápidos para todas as faltas em linhas através do uso de esquemas de proteção auxiliados por comunicação. Esquemas de distância e de sobrecorrente direcionais, com interfaces de equipamentos de comunicação, enviam e recebem informações lógicas entre relés de todos os terminais da LT para determinar se a falta é externa ou interna à seção da linha protegida. Esquemas de relés tradicionais requerem equipamentos de comunicação externos com certos custos. A utilização de esquemas de teleproteção na distribuição não é uma prática usual devido aos custos envolvidos na implementação de tais esquemas, porém uma nova técnica de comunicação direta entre relés, a qual será detalhada mais adiante, tem tornado possível a utilização de esquemas de teleproteção em redes de distribuição, pois reduz sensivelmente os custos de implementação e manutenção.

6.6.1 Esquemas de Teleproteção

Diferentes tipos de esquemas de teleproteção estão em uso hoje, incluindo Transferência de Disparo Permissivo por Sobrealcance (Permissive Overreaching Transfer Trip - POTT), Transferência de Disparo Permissivo por Subalcance (Permissive Underreaching Transfer Trip - PUTT), Comparação Direcional por Bloqueio (Directional Comparison Blocking - DCB), Comparação Direcional por Desbloqueio (Directional Comparison Unblocking - DCUB), Transferência de Disparo Direto por Subalcance (Direct Underreaching Transfer Trip - DUTT), e Transferência de Disparo Direto (Direct Transfer Trip - DTT). Cada um desses esquemas requer que o relé em um terminal se comunique com o relé no outro terminal.

Efetivamente, todas as técnicas de esquemas de comunicação lógica em serviço hoje foram desenvolvidas durante as eras dos relés eletromecânicos e estáticos, algumas há mais de 50 anos. Os relés de proteção e os equipamentos de comunicação são dispositivos separados e discretos que servem cada um a objetivos únicos. Os dispositivos de proteção e de comunicação são tipicamente interfaceados com contatos eletromecânicos.

A maioria desses esquemas convertem uma saída de contato de relé para um sinal de comunicação seguro e confiável que é transmitido de um terminal para o outro. No terminal receptor, o sinal é convertido para uma saída de contato, que é conectado para ativar uma entrada de controle no esquema lógico do relé.

A Figura 5 é um exemplo de um esquema de ligação de um sistema de teleproteção.

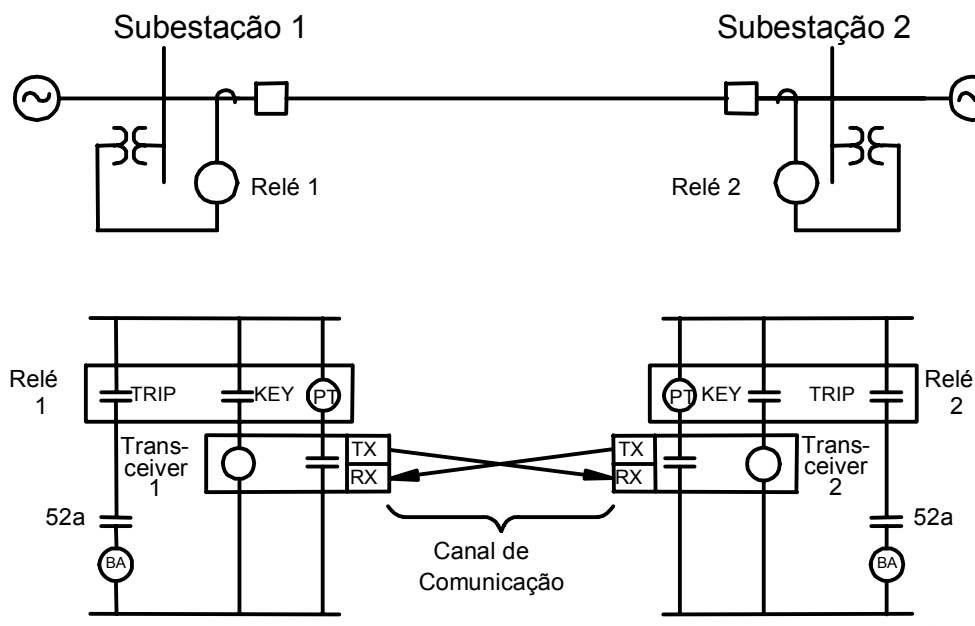


Figura 5 – Esquema de Teleproteção Tradicional

Hoje, na moderna era do relé microprocessado, essas técnicas de comunicação tradicionais são ainda amplamente utilizadas:

- Equipamento de comunicação permanece separado e distinto do relé de proteção;
- Contato eletromecânico permanece como interface mais comum entre o relé e o equipamento de comunicação;
- Um equipamento de comunicação adicional e espaço de canal são requeridos para cada bit de estado lógico de relé adicional a ser comunicado;

Todos esses atributos são mantidos desde a era dos relés eletromecânicos.

6.6.2 Comunicação Relé-a-Relé

Uma nova, inovadora abordagem tem sido desenvolvida para compartilhar estados lógicos entre relés (Figura 6). Esta nova abordagem usa a vantagem da capacidade de comunicação interna e da capacidade de processamento lógico-digital inerente do relé microprocessado. Efetivamente todo relé microprocessado tem uma porta de comunicação que é capaz de enviar e receber mensagens digitais. E este mesmo relé processa dados digitais representando o estado de elementos de medida do relé, entradas de controle e saídas de controle. É apenas natural que estas duas capacidades sejam combinadas para permitir comunicação lógico-digital relé-a-relé direta.

A nova técnica de comunicação lógica relé-a-relé envia repetidamente o estado de oito elementos programáveis internos do relé, os quais podem ser programados através de lógica booleana, codificados em uma mensagem digital, de um relé para outro através de uma porta de comunicação serial EIA-232.

Esta nova técnica de comunicação lógica relé-a-relé cria oito saídas adicionais “virtuais” em cada relé, “conectadas” através do canal de comunicação a oito entradas de controle “virtuais” no outro relé.

As oito entradas “virtuais”, RMB1 a RMB8, são elementos internos no relé receptor que seguem, ou “espelham” (mirrored), os respectivos estados das saídas “virtuais” TMB1 a TMB8 no relé transmissor, como apresentado na Figura 7.

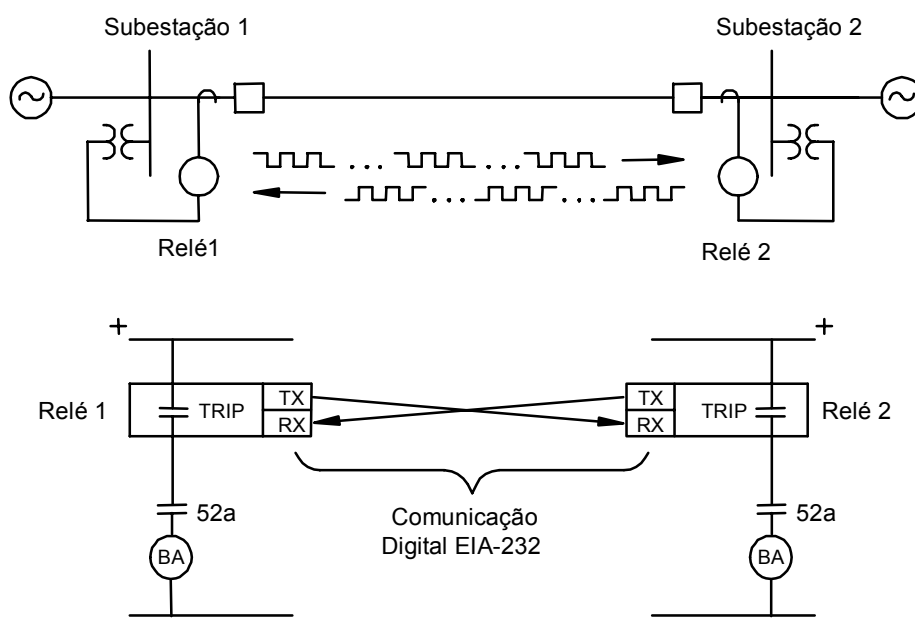


Figura 6 – Comunicação relé-a-relé

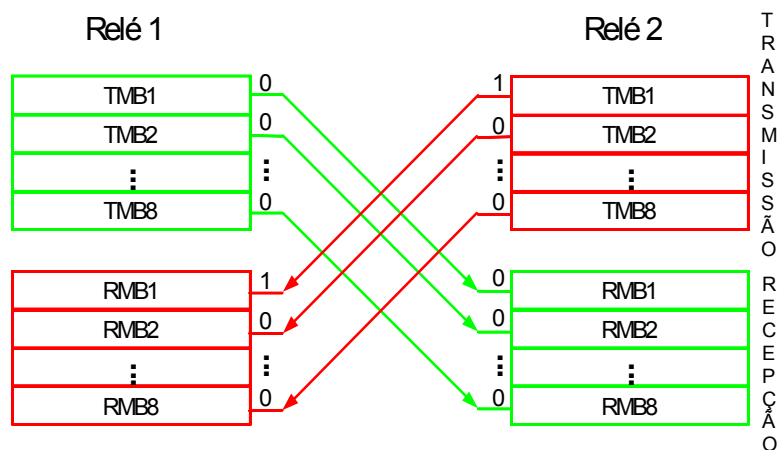


Figura 7 – Bits “espelhados”

6.6.3 Canais de Comunicação

Vários meios físicos de comunicação podem ser utilizados para estabelecer a comunicação relé-a-relé, dentre os quais citamos:

- Fibra óptica dedicada;
- Rede digital multiplexada, figura 8;
- Microondas analógico;
- Rádios digitais (Spread Spectrum), figura 9.

A Comunicação lógica digital direta relé-a-relé via fibra direta supera os problemas de aumento de potencial de terra e problemas de interferência encontrados com cabos metálicos. Um transdutor de fibra óptica é utilizado em cada terminal de relé para converter o sinal EIA-232 do relé em um sinal ótico que pode ser transmitido pelo cabo de fibra ótica. Cabos de fibra ótica e tecnologias de transdutores multimodo atuais suportam transmissão de sinal ótico até 15 km. Transmissão a distâncias mais longas, de até 150 km, é alcançada utilizando-se cabos e transdutores óticos monomodo.

Comunicação por fibra ótica direto é o mais simples e o mais claro meio de comunicação lógica relé-a-relé. É virtualmente imune à interferência elétrica e tipicamente tem uma taxa de erro de bit menor do que 10^{-9} .

O sistema de rádio digital ponto-a-ponto, da Figura 9 fornece um meio de comunicação único entre duas áreas. Os rádios são configurados para operar nas bandas de frequência de UHF e microondas; com potência nominal relativamente baixa não requerem licença especial para operação. Os rádios incluem um transdutor EIA-232 para interligar com a porta de comunicação serial EIA-232 do relé em taxas de transmissão de até 38400 bps.

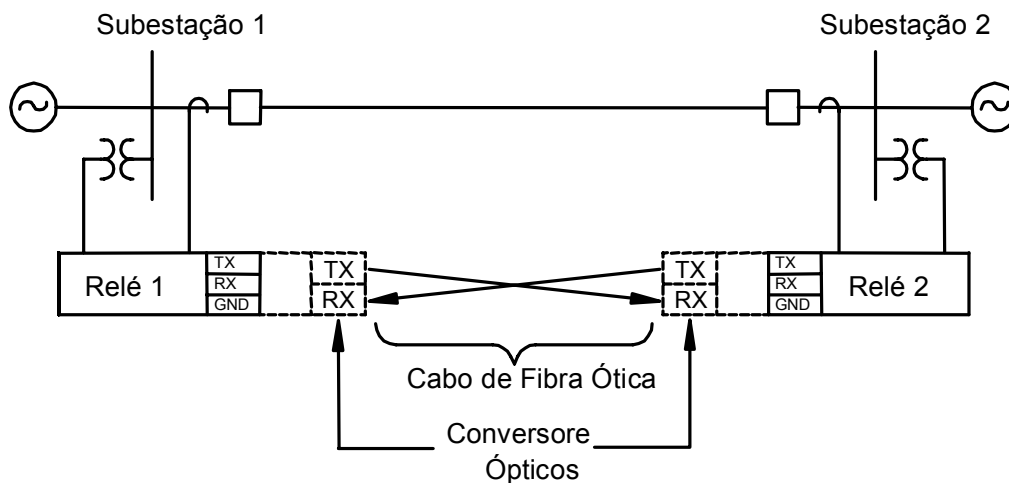


Figura 8 – Fibra Dedicada

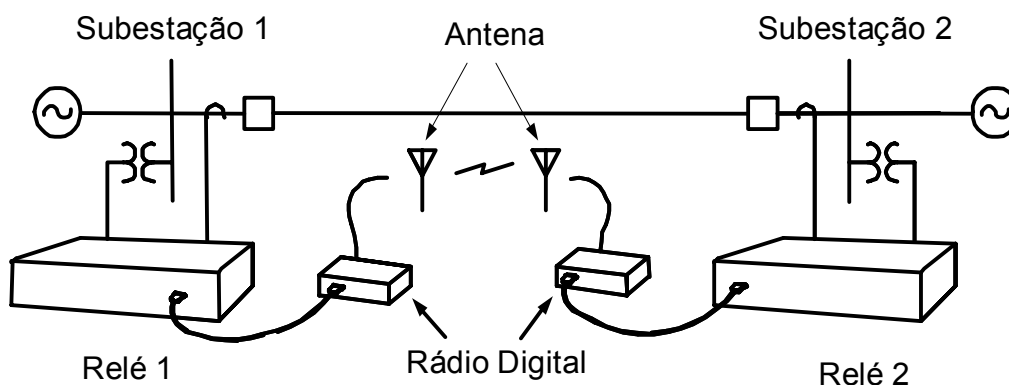


Figura 9 – Aplicação com rádio digital

6.6.4 Comunicação Relé-a-Relé e Cogeração

A comunicação direta relé-a-relé pode ser aplicada entre os relés do religador e do ponto de conexão do cogerador, trazendo grandes benefícios e segurança para o esquema de proteção, e o custo de implementação de tal esquema pode ser mantido a valores bem factíveis, uma vez que como solução para o canal de comunicação poderá ser utilizado rádio digital, desde que a distância e a topografia entre os relés permita tal aplicação.

Para que a desconexão e o religamento ocorram de maneira segura algumas informações precisam ser trocadas entre os relés, como por exemplo:

- Quando da detecção de uma falta pelo religador um sinal de transferência de disparo pode ser enviado para o relé do cogerador;
- O religamento pode ocorrer de maneira segura quando o gerador for desconectado, isto pode ser feito pela verificação de tensão na rede e também pela confirmação de que o disjuntor de interconexão esteja aberto, o que pode ser feito pela comunicação relé-a-relé;
- O grupo de ajustes ativo do relé do religador podem ser alterados remotamente, dependendo da quantidade de geradores conectados ou da ausência de geradores em operação.

A figura 10 mostra um exemplo da comunicação direta relé-a-relé aplicado na distribuição. Cada bit espelhado transmissor é programado, tal como você faria com um contato de saída, com uma equação lógica que representa o estado de um elemento interno do relé, entrada de controle, contato de saída, ou qualquer combinação desses. A cada bit espelhado receptor é atribuído uma função, assim como faríamos com uma entrada de controle convencional. Essas parametrizações incluem funções tais como transferência de disparo direto, bloqueio de disparo, estado do disjuntor 52A, etc.

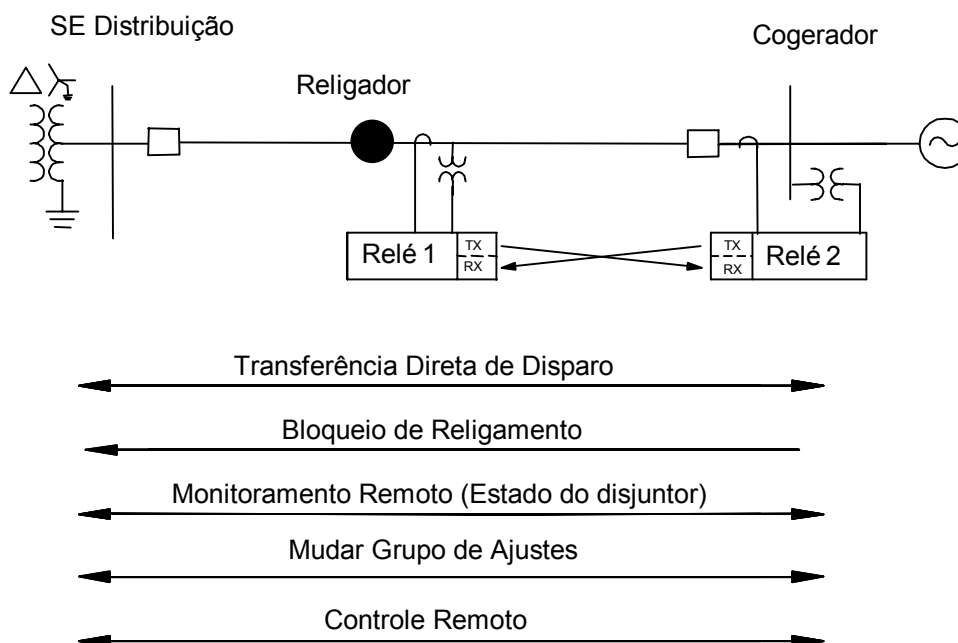


Figura 10 – Utilização da comunicação Relé-a-Relé

7 APLICAÇÕES PRÁTICAS

Até 2001, quando havia a conexão de um cogeração à rede de distribuição da CPFL, onde existia um religador instalado, optava-se pela retirada do equipamento de serviço ou bloqueio da função de religamento, já que o mesmo não apresentava as características discutidas nos itens anteriores.

Entretanto, com a implementação dos novos recursos disponibilizados pela engenharia de distribuição, foram verificados ganhos significativos na utilização dos religadores.

Serão apresentados três dos casos em que foram quantificados os benefícios obtidos.

No primeiro caso, foi instalado um religador automático de distribuição em um dos dois alimentadores que atendem uma cidade localizada na região nordeste do estado de São Paulo, com 7700 consumidores.

Nos segundo e terceiro casos, um religador existente foi substituído por outro, que foi adaptado com novas funções de proteção, mantendo os indicadores de continuidade praticamente estáveis. Um dos equipamentos está instalado em um dos dez alimentadores que atendem uma cidade localizada na região noroeste do estado de São Paulo, com 37800 consumidores; o outro está instalado em um dos três alimentadores que atendem uma cidade localizada na região central do estado de São Paulo, com 4550 consumidores. Nesses dois casos, fez-se uso de uma ferramenta de simulação, para estimativa dos indicadores de continuidade, na hipótese de que não se adaptassem os religadores com as novas funções.

Na Tabela 2 são apresentados os ganhos obtidos com as soluções adotadas.

Tabela 2 – Melhorias percentuais sobre valores anualizados

Caso	Região do Estado	Melhoria nos indicadores das cidades envolvidas		
		DEC	FEC	END
1	Nordeste	21,9%	23,3%	18,2%
2	Noroeste	6,4%	4,4%	11,5%
3	Central	21,5%	28,1%	25,1%

Onde:

DEC – duração equivalente de interrupção por consumidor

FEC – frequência equivalente de interrupção por consumidor

END – energia não distribuída

8 CONCLUSÕES

Com a adoção dos critérios apresentados, há condição de se manter a mesma qualidade de fornecimento de energia aos consumidores atendidos pelo mesmo alimentador em que estão conectados autoprodutores, com segurança ao próprio sistema elétrico e ao pessoal de operação e manutenção dos sistemas de distribuição.

Com relação às adaptações adicionais necessárias na proteção, nas subestações, no sistema de subtransmissão da concessionária, e também nos alimentadores de distribuição, verifica-se o aporte de benefícios ao próprio acessante, que consiste na garantia de desconexão o mais rapidamente possível, além de se evitar o religamento dos disjuntores nos geradores, caso os mesmos não tenham sido desconectados do sistema. Espera-se assim, que seja mantida também, a integridade dos sistemas elétricos e de equipamentos da Concessionária, em situações de defeitos.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. J. Mozina, - “Protección de Interconexiones de Generadores de IPP Usando Tecnología Digital” – Reunion de Verano de Potencia - Acapulco, Mexico -1999
- [2] E. F. Senne, P. C. Scarassati, M. Suzuki e H. Iwamoto - Critérios de Conexão em Paralelo com o Sistema de Distribuição da CPFL, XV SENDI 2002.
- [3] E. F. Senne, C. A. G. Mohallem, P. C. Scarassati, N. J. Salles, H. Iwamoto e M. Suzuki – Critérios de Proteção e Manobra Condicionada para a Conexão de Autoprodutores em Paralelo com o Sistema de Distribuição da CPFL, VII – STPC 2003
- [4] Norma Técnica (CPFL) - Ligação de Autoprodutores em Paralelo com o Sistema de Distribuição da CPFL.
- [5] Norma Técnica (CPFL) - Ligação de Autoprodutores em Paralelo com o Sistema de Transmissão da CPFL.
- [6] N. J. Salles, N. S. Júnior e R. L. Abboud – “Sistema de Teleproteção para Desconexão de Autoprodutores Usando Rádio Digital Spread Spectrum com Mirrored Bits” – XV SENDI 2002.
- [7] E. O. Schweitzer III, G. W. Scheer, M. W. Feltis – “A Fresh Look at Distribution Protection” – II International Symposium on Distribution, Automation and Demand Side Management, Florida 1992.
- [8] A. F. Elnewehi, E. O. Schweitzer, M. W. Feltis - “Negative-Sequence Overcurrent Element Application and Coordination in Distribution Protection” - IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 8, Number 3, July 1993, pp. 915-924.

- [9] A. F. Elneweihi - “Useful Applications for Negative-Sequence Overcurrent Relaying” - 22nd Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, October 24-26, 1995.
- [10] E. B. Dias – “Avaliação de Indicadores de Continuidade e seu Impacto no Planejamento de Sistemas de Distribuição”. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (SP), 2002.
- [11] E.F. Senne – “Interconexão de Autoprodutores com o Sistema de Distribuição: Uma Abordagem pela Ótica da Proteção”. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Sistemas de Potência – Universidade Federal de Itajubá, 2003.

10 INFORMAÇÃO BIOGRÁFICA DOS PALESTRANTES

Palestrante: EVALDO FLAUSINO SENNE

Cargo: Engenheiro da Área de Gestão da Proteção da Distribuição

Companhia: CPFL Energia

País: Brasil

Engenheiro Eletricista em Gestão da Proteção do Departamento de Gestão de Ativos da CPFL Energia.

Trabalha na concessionária desde 1994, na qual adquiriu experiência nas áreas de planejamento e proteção da distribuição.

É pós-graduado em Proteção de Sistemas Elétricos pela Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI-MG e em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade de Franca - UNIFRAN.

Palestrante: PAULO CESAR SCARASSATI

Cargo: Engenheiro de Sistemas de Proteção e Controle

Companhia: CPFL Energia

País: Brasil

Engenheiro Eletricista em Sistemas de Proteção e Controle do Departamento de Engenharia da CPFL Energia.

Coordenada pesquisa e desenvolvimento de soluções tecnológicas que minimizem o custo de implementação de sistemas de proteção e controle.

Membro do Grupo de Trabalho de Estatística, Análise e Desempenho da Proteção

do ONS. É pós-graduado em Proteção de Sistemas Elétricos pela Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI-MG.