

Digital relays applied at transmissions lines protection

Júlio César Xavier Chiaradia<sup>1</sup> | Karla Cynira Carvalho Barbosa Chiaradia<sup>2</sup>

Resumo: O transporte de energia elétrica, desde a geração até os consumidores finais é realizado através de um sistema, no qual se denomina Sistema Elétrico de Potência (SEP). Atualmente a evolução de equipamentos eletrônicos, o desenvolvimento e a crescente demanda por uma energia elétrica de qualidade, respaldada por leis regulatórias, caracterizam o atual cenário energético vigente. Um sistema elétrico de qualidade caracteriza-se por apresentar um baixo número de interrupções, curta duração do tempo sem energia e um bom tempo de atendimento aos seus fornecidos. Em função disso as concessionárias de energia elétrica estão sendo cada vez mais cobradas em eficiência pela estrutura regulatória atual e pelos seus consumidores, que desejam a melhoria contínua dos serviços prestados. Assim, o sistema de potência deve ser provido de proteções, de forma a eliminar a anormalidade o mais rápido possível [2], tendo, como equipamento fundamental, o relé de proteção definido como um dispositivo cujo papel é atuar de forma confiável, seletiva, veloz e sensível para defeitos no sistema elétrico, que será objeto deste trabalho.

Palavras-chave: Relés digitais; Automação; Digital; Proteção; Sistema Elétrico de Potência; Vantagens.

Abstract: The transport of electric energy, from generation to the final consumers is accomplished through Power Electrical System (SEP). With the evolution of electronic equipments, the development and the growing demand for an electric energy of quality, backed by laws regulatory, they characterize the current effective energy scenery. An electric system of quality is characterized by presenting a low number of interruptions, tan duration of the time without energy and a good time of attendance to yours supplied. In function of that, the concessionary of electric energy are being collected more and more in efficiency by the structure current regulatory and for its consumers that want the continuous improvement of the rendered services. Thus, the power system should be provided of protections, to eliminate the abnormality the fastest possible [3], the protection relay, fundamental equipment, as a device whose paper is to act in a reliable, selective, fast and sensitive way for defects in the electric system that will be

<sup>1</sup> Engenheiro Eletricista pela UNIFEI – M.G. Matemático pela FEPI – M.G. Pós-Graduado em Gestão de Empresas de Energia Elétrica pela EAESP-FGV. Reside na Rua Flamengo, 10/103C, Itapuã – Salvador – BA. Fone: (75) 99987-3661 e (71) 99985-3661 e-mail: jchiaradia18@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheira Eletricista pela UNIFACS. Pós-Graduanda em Sistemas Potência pela Faculdade Área 1. Graduada em Negócios Imobiliários pela UNIFACS. Reside na Rua Flamengo, 10/103C, Itapuã – Salvador – BA. Fone: (71) 99601-5803 e-mail: karlacy@hotmail.com.br

object of this work.

Word-key: Digital Relay; Automation; Digital; Protection; Electric system of Potency; Advantages

### **Introdução**

O relé é um dispositivo com inúmeras aplicações possíveis em comutação (acionamento/desligamento) de contatos elétricos [1]. Esse equipamento, quando eletromecânico, assemelha-se a uma chave elétrica, pois é responsável pelo fechamento/abertura de um circuito elétrico, a partir da alimentação de sua bobina, atraindo um núcleo, no qual estão presos os contatos móveis, de encontro aos fixos. Os relés estáticos, no entanto, têm como tecnologia voltada para os semicondutores, que operam por pulsos de tensão.

Com a evolução da eletrônica e da tecnologia de microprocessadores, os relés adquiriram uma nova filosofia de funcionamento, deixando de lado as bobinas e núcleos de atuação, surgindo da década de 70 os primeiros relés de proteção numéricos, com algoritmos, processadores, memórias e outros componentes eletrônicos. Com isso os relés, deixaram de ser apenas elementos de proteção do sistema elétrico. O poder obtido com o processamento digital possibilitou a coleta de dados e controle [2].

Dentre as inúmeras vantagens trazidas pela proteção digital, frente à convencional, podemos destacar a multifunção dos relés digitais, análise do comportamento da qualidade de energia do sistema, registro de oscilografias, possibilidade da criação de lógicas pelo usuário, comunicação com outras unidades, por meio de protocolos, como por exemplo, o DNP 3.0 e outras que serão mostrados neste trabalho.

### **Objetivo**

Esse trabalho possui como objetivo o estudo do relé digital de proteção, a sua filosofia de funcionamento, as novas funções que o incorporam, as vantagens em sua utilização frente à tecnologia convencional eletromecânica e estática e quais os seus impactos causados nas concessionárias de energia que utilizam dessa nova tecnologia [3].

Será mostrado o sistema elétrico de potência e o sistema de proteção, pois destes, fazem parte os relés de proteção.



## Contextualização

Serão abordados aspectos relevantes de um Sistema de Potência.

## O Sistema Interligado Brasileiro

Com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial, o sistema elétrico do Brasil era até recentemente formado por dois grandes sistemas interligados, o Sistema Norte, responsável pelas cargas das regiões Norte e Nordeste e o Sistema Sul, contemplando as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. No final de fevereiro de 1999, esses dois sistemas foram unificados por uma linha de transmissão, interligando as subestações de Samambaia (Distrito Federal) e Imperatriz (Maranhão), viabilizando o SIN (Sistema Interligado Brasileiro).

Na Figura 2.1 são mostradas as linhas de transmissão que interligam os sistemas das regiões Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste, caracterizando o SIN, com seu horizonte definido para 2012.

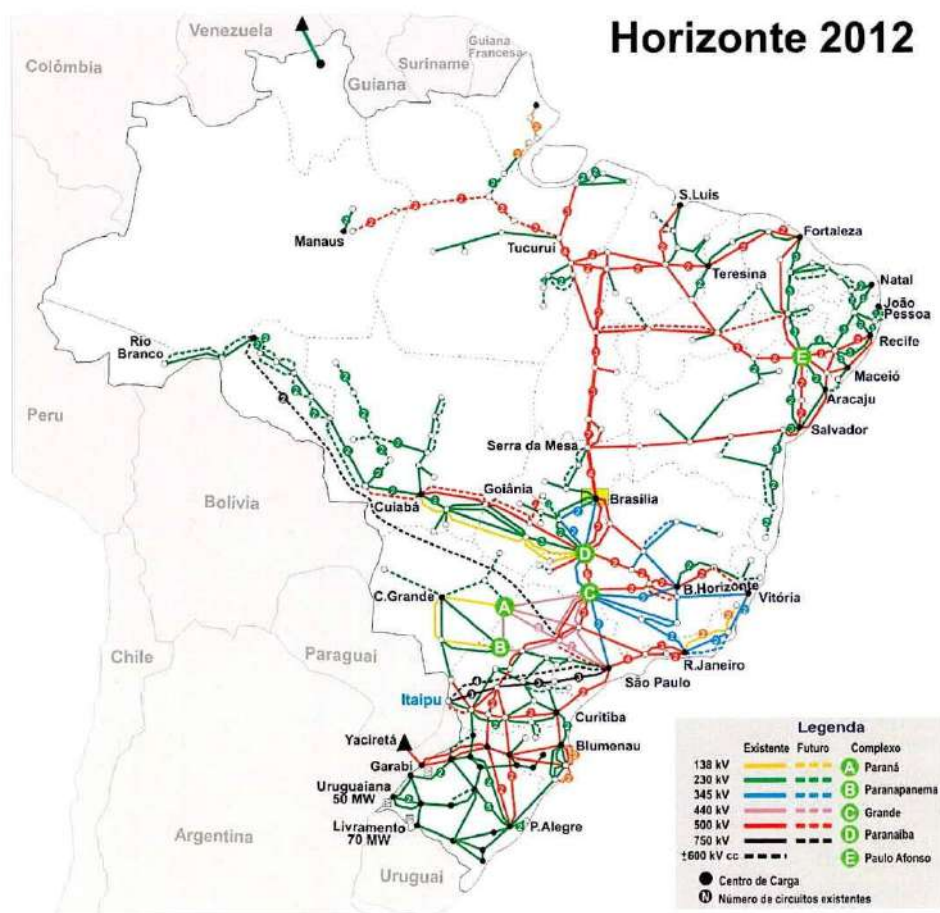


Figura 1: Mapa básico do Sistema Interligado Nacional [6].

## Tensão do Sistema e Energia Reativa

Em corrente alternada, o fenômeno da indução eletromagnética é aproveitado em motores, geradores e transformadores. Isto é, tais máquinas elétricas necessitam de campo magnético (representado matematicamente por uma indutância) para funcionar.

A energia associada a um campo magnético chama-se energia reativa. Assim cada motor ou transformador, que são os equipamentos mais representativos do universo de cargas, consome potência reativa (Var).

Essa energia reativa é em parte fornecida pelos geradores síncronos do sistema de geração.

A característica de um campo elétrico é fornecer potência reativa (Var), no mesmo instante que um campo magnético consome potência reativa. Isto é, tanto o campo magnético (indutância) como o campo elétrico (capacitância) se relacionam a um mesmo tipo de energia, que é a reativa.

Assim, outra parte da potência reativa que os motores e transformadores necessitam vem da capacitância das linhas de transmissão. No caso de ser insuficiente a potência reativa possível de ser fornecida pelos geradores e pelas capacitâncias das linhas, são utilizados bancos de capacitores, seja em subestações ou nas redes de distribuição para suprir a potência reativa necessária à carga. No sistema de transmissão são também utilizados os compensadores estáticos e os compensadores síncronos que tem a flexibilidade de absorver ou suprir potência reativa, conforme a necessidade.

E a cada instante, deve haver um equilíbrio entre as potências reativas consumidas (motores e transformadores) e as supridas (geradores, linhas de transmissão, banco capacitores, compensadores estáticos e síncronos). Caso haja excesso de energia reativa capacitiva em uma área do sistema, há possibilidade de SOBRETENSÃO nesse sistema. Caso haja grande quantidade de reativo indutivo, há possibilidade de SUBTENSÃO. O equilíbrio é mantido pelos reguladores de tensão, que atuam sobre geradores, compensadores estáticos e síncronos (ou mesmo sobre bancos de capacitores) para a devida compensação.

### **Tipos de proteção**

Os tipos de Proteção definirão as diversas funções dos relés.



## Número ASA das Funções das Proteções

As proteções são identificadas através de uma numeração padronizada e estabelecida pela American Standard Association (ASA). Dessa forma, notam-se na Tabela 3.1 algumas das principais proteções e sua respectiva nomenclatura ASA.

Tabela 1. Códigos ASA de algumas proteções do sistema elétrico.

NÚMERO	DESCRIÇÃO
12	Elemento de Sobrevivência
21	Elemento de Distância
24	Elemento Volts / Hertz
25	Elemento de Verificação de Sincronismo
27	Subtensão
32	Elemento Direcional de Potencia
37	Subcorrente
38	Elemento de Sobretemperatura nos Mancais
39	Elemento de Vibração nos Mancais
40	Perda de Excitação
46	Desbalanço de Corrente (ou sobrecorrente de Sequência Negativa)
47	Desbalanço de Tensão (ou sobretensão de Sequência Negativa)
48	Rotor Bloqueado
49	Elemento de Sobretemperatura no Estator
50	Sobrecorrente Instantâneo de Fase
51	Sobrecorrente Temporizado de Fase
51V	Sobrecorrente de Fase com Restrição por Tensão
50G / 50N	Sobrecorrente Instantâneo de Terra / Neutro
51G / 51N	Sobrecorrente Temporizador de Terra / Neutro
50BF	Elemento de Falha do Disjuntor
59	Sobretensão
59N	Sobretensão de Neutro

Fonte: [3]

## Proteção de Distância (21)

A proteção de distância tem como princípio a medição da tensão e corrente do circuito a ser protegido, e a partir dela, calcular o valor da impedância do circuito.

Toda linha de transmissão possui um valor de impedância que está relacionada ao seu comprimento. Para esse tipo de proteção funcionar, deve-se informar ao equipamento de proteção o comprimento total da linha. Portanto, num defeito, ele irá comparar a valor da impedância calculada com o valor previamente ajustado. Se o calculado for inferior ao ajustado, haverá atuação de sua unidade instantânea ou temporizada, considerando ser um defeito dentro de sua zona de atuação. Caso o valor calculado seja superior, não haverá atuação, por entender ser um defeito fora da zona de atuação.

Essa proteção é utilizada em linhas de transmissão, sendo instalados dois relés, um em cada extremidade da linha, localizado em SE's distintas. Esses dois relés podem estar, nos sistemas mais novos, em constante comunicação através de ondas portadoras de comunicação, na faixa de frequência de 20kHz a 400kHz, trocando informações e permissões de atuação, para defeitos externos a linha ou não, por meio do sistema conhecido como Power Line Carrier [12].

## Relés de Proteção

Quando se fala em Sistema de Proteção, usualmente se entende tal Sistema como "Relé de Proteção", que é um dispositivo pelo qual um equipamento elétrico é operado quando se produzem variações nas condições deste equipamento ou do circuito em que ele está ligado, ou em outro equipamento ou circuito associado.

## Relé Digital

O relé digital, também chamado de relé micro processado, devido à utilização de microprocessadores, possui a característica de reunir num único equipamento mais de uma função de proteção. Ou seja, um único relé digital pode, por exemplo, realizar as proteções de sobrecorrente, direcional e de distância de uma linha, das três fases simultaneamente. Ao contrário da tecnologia eletromecânica, onde cada relé tinha uma função específica por fase. Dessa forma para se realizar uma proteção de sobrecorrente de uma a



linha, utilizando relés eletromecânicos, são necessários três relés de sobrecorrente, cada um protegendo uma fase do sistema, utilizando a tecnologia digital. O resultado é a redução do número de equipamentos de proteção para se realizar uma determinada proteção. Na figura 3.1 pode-se observar as funções das proteções contidas no relé digital de sobrecorrente 351-A da SEL

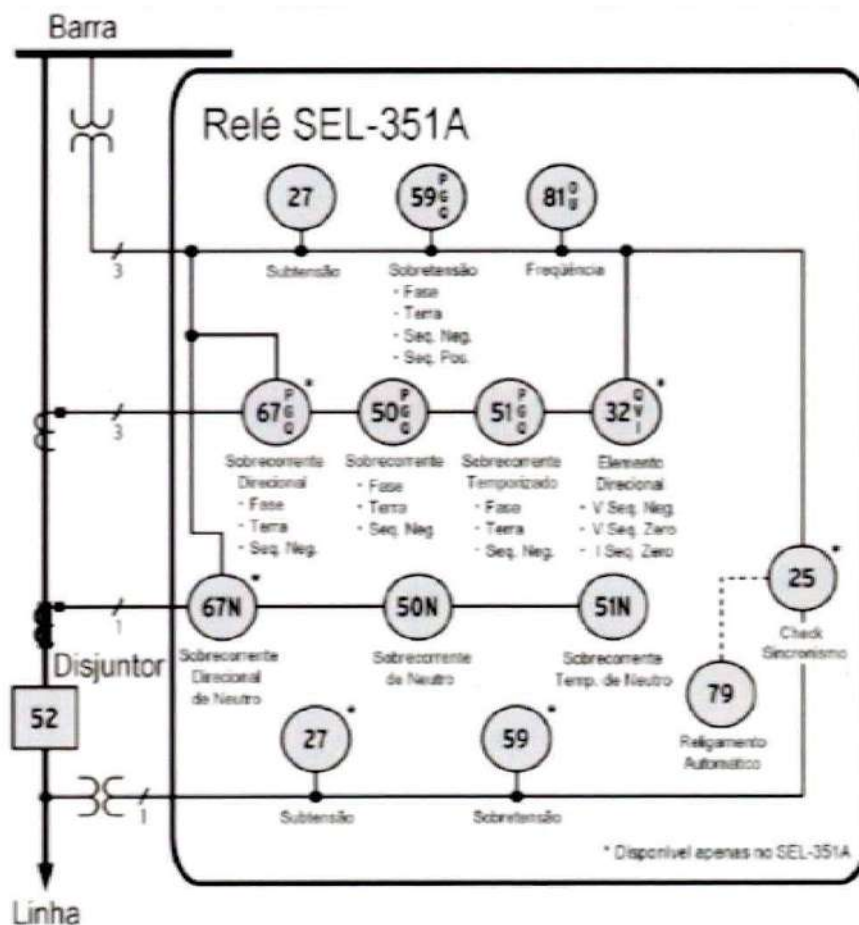


Figura 2. Funções de proteção contidas no relé digital, modelo 351-A - fabricante Schweitzer Engineering Laboratories (SEL). Fonte: [22]

Portanto, a mudança trazida pela proteção digital, vai além das alterações físicas e funcionais. Essa nova tecnologia provocou, nas concessionárias e geradoras, mudanças em suas rotinas de manutenção do sistema de proteção, nos perfis dos engenheiros de proteção, que tiveram que se adaptar à essa nova tendência, tendo, por exemplo, que assimilar e conhecer redes de comunicação, gerência de banco de dados, algoritmos de proteção, processamento digital de sinais e protocolos de comunicação.

## Estudos de caso

Seja ilustrar Estudos de Caso para comprovar, na prática, o que foi desenvolvido na teoria.

### **Implantação da Localização da Distância da Falta (COELBA) [26]**

O sistema elétrico de potência está sujeito a anormalidades, que poderão ser caracterizadas por faltas, desequilíbrios das grandezas elétricas, transitórios, em que podem sensibilizar a proteção, resultando na operação ou não da mesma, interrompendo o fornecimento e provocando variações nos níveis de tensão, podendo danificar equipamentos que não suportam tais variações.

A demanda dos consumidores, por qualidade de fornecimento de energia, está cada vez mais fundamentada pelo código de defesa do consumidor e pelas determinações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Visando atender a estas demandas, satisfazendo as necessidades dos clientes e evitando penalidades. As empresas de energia elétrica se veem na obrigação de realizar investimentos em equipamentos e tecnologias, cujos valores não ultrapassem suas limitações, diante de seu cenário energético vigente.

O algoritmo de localização de falta pode ser baseado em grandezas elétricas (fasores de corrente e tensão) medidas no terminal local e/ou remoto da linha, sendo este último com mais precisão que o primeiro. Além disso, estão sendo desenvolvidos projetos para o desenvolvimento de algoritmos baseados em ondas viajantes, que são as ondas refletidas na linha, causadas pela descontinuidade de uma falta, em que é medido o tempo que essa onda leva para “alcançar” o relé, desde o ponto da falta.

Será analisada, neste trabalho, a experiência obtida pela COELBA com a utilização dessa função em seus relés digitais tanto em sistemas de 34,5 kV quanto em sistemas de 13,8kV, apresentando o histórico da utilização, a metodologia empregada para colher a informação de distância e o posterior acionamento do pessoal de manutenção para correção do problema e um exemplo de ocorrência no sistema.

Antes da implantação do sistema de localização de falta, via relés de proteção, a localização do defeito, numa determinada rede de transmissão, era realizada por meio do deslocamento de pessoal para a rede, mais precisamente, para o equipamento sensibilizado que gerou a interrupção do



circuito. A partir daí, eram realizadas várias tentativas de normalização (fechamento do disjuntor) em combinação com o fechamento/abertura de chaves seccionadoras, religadores e/ou fusíveis instalados pela rede, até se conseguir obter a trajetória aproximada da corrente de defeito.

Com isso a turma realizava a inspeção da rede, percorrendo a mesma, superando dificuldades como, terrenos arenosos, com risco de atolamento dos veículos, campos com animais, matagal e outros obstáculos que tornavam essa tarefa árdua.

Com o novo sistema, a informação da distância do defeito, juntamente com o conhecimento prévio do circuito, facilitou e diminuiu o tempo necessário para se chegar exatamente ao ponto defeituoso.

A ideia é a mesma que o sistema antigo, porém realizada por informações e ferramentas disponíveis pela nova tecnologia, facilitando a atividade do pessoal de campo, reduzindo custos e tempo na normalização. Os relés são capazes de registrar e informar, tanto a atuação da proteção, quanto a sua partida, auxiliando a distinguir um defeito permanente de um defeito transitório.

### Exemplo de aplicação

Foi analisada uma ocorrência do alimentador, de código operacional, 09Z1, da SE JAGUAQUARA-COELBA, localizada no sudoeste do estado da Bahia, com 109Km de extensão e tensão de 34,5kV, possuindo trechos de difícil acesso e importância relevante, pois dele partem 4 subestações de 34,5kV/13,8kV, alimentando a seis sedes municipais.

Foram registradas duas atuações do relé do religador, de código operacional 29Z1, responsável por esse circuito, localizado nessa SE, conforme a Tabela 5.1, retirada do mesmo formato acessado pelo pessoal do CGP. Conforme se pode observar, os eventos diferem-se por uma distância de tempo de pouco mais de 1,5min e de distância de 2,37 km. Além disso, ocorreram em fases diferentes.

Tabela 2. Dados de ocorrências do sistema, registrados por relés digitais.

Características	IBE-29J1	JGQ-29Z1	KQT-21P1	VTC-21C2	Total
kV Nominal (kV)	34,5	34,5	13,8	13,8	
Km RD primária	182	109	379	512	1182
Demanda (MVA)	4,8	5,2	3,0	4,1	17,1
Faltas Permanentes	3	3		3	9
Total de eventos no relé	58	47	164	113	382

Fonte: COELBA

Diante da observação da falta de interrupção de energia nesse alimentador após esses registros, o eletricitista da empresa, lotado nessa cidade, foi acionado para percorrer a rede nas distâncias indicadas. No primeiro ponto foi encontrado, numa estrutura de amarração, uma das cadeias de isoladores da fase A com todos os discos quebrados. No ponto seguinte tratava-se de uma estrutura de suspensão que estava com o isolador da fase B muito danificado. Nos dois pontos, ambos próximos a uma estrada de terra, ainda estavam, no chão, as marcas do veículo e as pegadas da pessoa que havia disparado os tiros contra os isoladores. Essa prática é bastante realizada por pessoas no interior do estado, contra os isoladores, num ato de vandalismo contra sistema elétrico, responsável pela sua própria energia de consumo.

A partir dessa informação, foi acionada a turma de linha-viva para substituição dos isoladores, evitando na saída permanente de linha.

Observa-se que, a ajuda desprendida pela função de localização de defeito, nesse caso, evitou uma interrupção do sistema, permitindo a continuidade do fornecimento de energia elétrica aos municípios beneficiados, contribuindo assim para a redução da Duração Equivalente por Grupo de Consumidores (DEC) e Frequência Equivalente por Grupo de Consumidores (FEC) da empresa e da qualidade de serviço prestado.

### **Análise de resultados obtidos**

Foi analisado um período de um ano, como referência de estudo, das subestações da região sudoeste do estado da Bahia, sendo registrados dois mil novecentos e quarenta e dois eventos (2.942) com localização de falta. Destes apenas duzentos e quarenta e sete (12%) provocaram operação do religador e/ou disjuntor, em que os demais foram apenas partidas de relés sem atuação.

Devido à quantidade de volume de dados a serem tratados, optou-se por analisar trezentos e oitenta e dois eventos referentes a quatro alimentadores em subestações distintas.

PERÍODO - 12 meses

LOCAL - Sudoeste do estado da Bahia

TOTAL DE EVENTOS - 2.942

TOTAL DE EVENTOS COM OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO - 247

QUANTIDADE DE EVENTOS ANALISADOS - 382





Dos 382 eventos analisados, foram segmentados da seguinte maneira:

- 60% - Eventos associados a ocorrências na distribuição;
- 2% - Faltas permanentes no alimentador;
- 12% - Descarga atmosférica ou causa desconhecida;
- 2% - Resultados de testes para localização do defeito em campo;
- 24% - Eventos a terem as suas causas investigadas (aproximadamente 90 eventos);
- 100% - 382 Eventos.

Esses dados estão sendo representados no Gráfico 4.1.

A partir da análise dos motivos que levaram a esses defeitos, foram registrados que:

- 58 defeitos tiveram ações prévias de manutenção, evitando que se tornassem defeitos permanentes causando indesejáveis interrupções de fornecimento e adição negativa de pontos na Duração Equivalente por Grupo de Consumidores (DEC) e Frequência Equivalente por Grupo de Consumidores (FEC).

- 9 faltas permanentes não foram possíveis de se ter uma correção evitando o desligamento.

Porém, com os dados da distância, os mesmos foram normalizados em espaços de tempo inferiores, comparados ao procedimento antigo, reduzindo além do tempo, custos e desgastes de pessoal.

- 64% tiveram suas causas conhecidas graças ao registro de eventos gerado pelos relés, em que representa uma expressiva contribuição para a melhoria da qualidade de energia do sistema, em que ações de correção poderão ser tomadas, conhecida às essas causas.

TOTAL GLOBAL  
DOS 382 EVENTOS

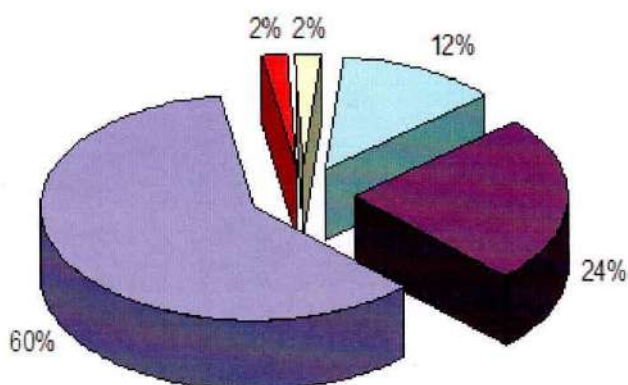
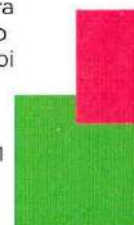


Gráfico 1. 60% - Eventos associados a ocorrências na distribuição, 2% - Faltas permanentes no alimentador, 12% - Descarga atmosférica ou causa desconhecida, 2% - Resultados de testes para localização do defeito em campo, 24% - Eventos utilizados para identificação dos motivos de geração do evento. Nota-se que a maioria dos eventos 60% teve suas causas conhecidas e 24% foi diagnosticado através da ajuda dos relés digitais.



Dos 24% foram registradas as seguintes causas dos eventos, registradas na Tabela 4.2.

Tabela 3. Causas dos eventos considerados.

Resultados das Inspeções (defeitos encontrados)	Total	%
Não foi identificada a causa ou descarga atmosférica	32	35,58
Árvore na rede	17	18,89
Operação de chave por cliente	10	11,11
Para-raios em Trafo particular ou derivação sem chave	9	10,00
Isolador	7	7,78
Derivação Aberta sem registro de reclamação	6	6,67
Vandalismo	2	2,22
Urubu na rede	2	2,22
Cabo solto do isolador	1	1,11
Defeito em chave	1	1,11
Linha em pipa	1	1,11
Para-raios	1	1,11
Ponto quente	1	1,11
Total	90	100

Fonte: COELBA

### Filosofia adotada

Com a concepção de que o relé digital estando ajustado e alimentado adequadamente e realizando corretamente suas funções de medição, registros de oscilografias, supervisão e controle, afirma-se que não existe a necessidade de teste adicional.

Os relés digitais, com suas ferramentas de auto diagnósticos, permitem que seja informado tanto localmente quanto remotamente, a necessidade de manutenção ou troca se necessário.

A ausência de partes móveis, como o disco de indução e molas, que são passíveis de desgastes com o tempo alterando suas características de funcionamento (a exemplo dos relés eletromecânicos e estáticos que necessitam de manutenção preventiva periodicamente) também contribui para o aumento do período necessário para testes.

A implantação do Centro de Gestão da Proteção (CGP) permitiu o acesso



remoto aos relés digitais, tanto para ajustes e coleta de dados de faltas, quanto para verificar o estado do mesmo.

Portanto, diante das características, dos relés digitais e suas vantagens, a COELBA alterou a sua filosofia em relés de proteção, passando a executar a rotina de testes, somente nos relés digitais que não operaram, num período de dois anos (manutenção preditiva).

### **Testes realizados**

Os testes em relés digitais são relevantemente mais fáceis e simples de realizar, comparados aos relés eletromecânicos, demandando menos tempo e proporcionando mais segurança, tanto para o executante dos testes quanto ao sistema envolvido, evitando desligamentos acidentais.

Os testes têm a finalidade de conferir a medição dos relés, o correto funcionamento das equações lógicas e das proteções ativadas, além dos equipamentos auxiliares envolvidos.

Verificação das medições de grandezas elétricas – Conferir a calibração do relé comparando com um equipamento de medição devidamente calibrado;

Testes nas entradas e saídas do relé – O relé digital não inclui em sua lista de auto diagnóstico, o estado das suas entradas e saídas. Portanto as mesmas deverão ser testadas na manutenção;

As entradas isoladas opticamente são utilizadas para a função de controle e supervisão do relé digital, para monitorar alarmes externos. As mesmas podem ser utilizadas normalmente energizadas em tensão contínua do banco de baterias (125 VCC), monitorando algum elemento externo, que pode ser o estado de um disjuntor ou um alarme de proteção intrínseca de um transformador.

Quando ocorre um alarme, proveniente de uma entrada do relé, a equipe de manutenção é acionada para verificar se o defeito está associado ao equipamento ou à entrada, onde deverá ser substituída imediatamente. Portanto, os testes nessas entradas, durante a manutenção preventiva, são dispensados.

Quando as entradas são utilizadas normalmente desenergizadas, a equipe de manutenção realiza a energização das mesmas para verificar se estão em funcionamento, realizando as funções para qual foram programadas.

## **Análise dos resultados**

O sistema elétrico da COELBA inclui todo o estado da BAHIA, totalizando 264 subestações, em que todas elas possuem relés de proteção.

A média de distâncias entre as subestações e os centros regionais de manutenção é de 318km, fazendo com que grande parte do tempo, seja gasto no deslocamento às SE's. Portanto a aplicação de uma manutenção periódica de três anos em todos os relés digitais, exigia tempo e elevados custos homem-hora.

A nova filosofia, adotada após a utilização de relés digitais, reduziu a quantidade de relés a serem mantidos e os testes a serem feitos. Conseqüentemente, houve uma notável redução de custos necessários à manutenção dos relés.

Outro fator, que ajudou na redução dos custos, foi o acesso remoto aos relés, passando a ser desnecessário o deslocamento de pessoal à subestação para a mudança de algum ajuste ou coleta de informação nos relés digitais.

Portanto, os relés digitais proporcionaram um importante papel na redução dos custos de manutenção da COELBA.

## **Análise de Ocorrência no Sistema Elétrico da Coelba**

Devido à importância e repercussão que teve na época, será mostrada uma ocorrência registrada em fevereiro de 2002, representando o exemplo de contribuição positiva que o CGP representou às áreas de Proteção, Operação e Manutenção da COELBA.

A ocorrência envolveu a SE EUNÁPOLIS I, localizada no sul da Bahia, em que dela partem linhas de transmissão importantes que atendem todo o extremo-Sul e também as regiões de Porto Seguro e Coroa Vermelha.

Em 19/02/2002 às 11:36 houve o desligamento dos dois transformadores, dessa SE, devido à atuação da proteção diferencial; abertura do alimentador 09Y2 de 34,5kV, com atuação da proteção de sobrecorrente e, na CHESF, abriu o disjuntor 13V6, a partir da atuação do relé de distância 1ª zona. O resultado foi o desligamento de todas as cargas de 13,5kV e 34,5kV da SE e também das SE's Porto Seguro e Coroa Vermelha, por serem alimentadas por esta.

Caso o sistema de proteção destas SE's eletromecânico, seria necessários testes em campo para que a área de Proteção analisasse a ocorrência e alcançasse a conclusão. Sendo relés microprocessados e não acessados seja,



remotamente, seria necessário que uma turma de campo fosse localmente à SE Eunápolis para coletar os dados registrados e depois enviados para análise.

Após a análise das oscilografias gerada pelos relés digitais e dos ajustes implantados nos relés, constatou-se que:

No lado de 138kV dos transformadores as correntes estavam praticamente em fase, levando a conclusão da forte influência de sequência zero. Os transformadores são ligados em estrela-aterrada no lado de 138kV e 34,5kV, e delta em 13,8kV.

Verificaram-se os ajustes dos relés diferenciais e foi notado que eles não estavam parametrizados corretamente para compensar a corrente de sequência zero para defeitos externos à sua zona de proteção. A correção do ajuste foi realizada pelo Centro de Gestão da Proteção (CGP).

No relé do disjuntor, de código operacional 13L1, nota-se a inversão no fluxo de corrente, conforme visto nos diagramas fasorial representados nas Figuras 4.2 e 4.3. Antes da falta, o fluxo era da linha para a barra e durante a falta, fica da barra para a linha, de modo que também se percebe que teve defeito na linha 03L1, além do defeito no alimentador 09Y2. Ambas essas linhas se cruzam num determinado ponto do circuito, cujo destino é a região de Porto Seguro. A equipe de manutenção verificou que nesse ponto de interseção a distância entre essas linhas estava menor que a recomendada. Portanto foi corrigido evitando futuras ocorrências.

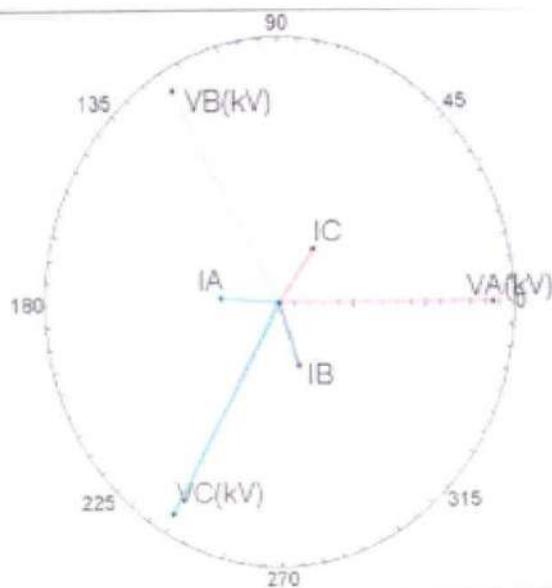


Figura 3. Fasores do relé do disjuntor do 13L1 antes da falta. Fonte: CGP-COELBA

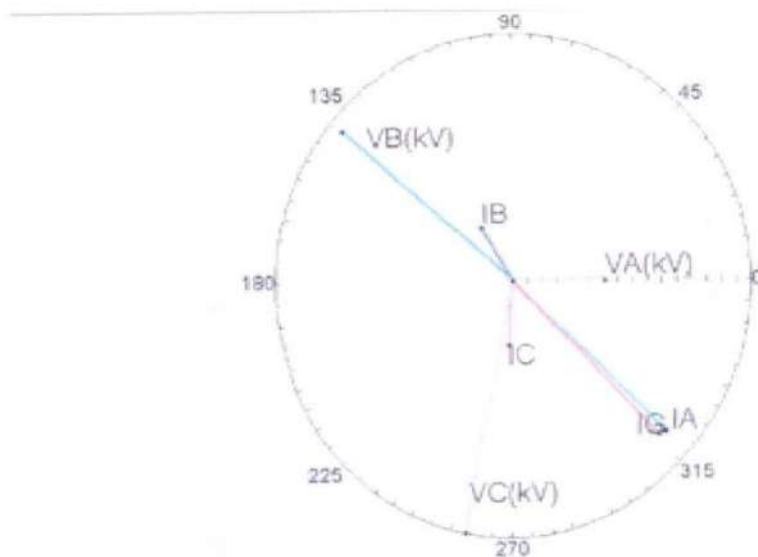


Figura 4. Fasores do relé do 13L1 durante a falta. Notar a inversão de aproximadamente 180° das correntes. Fonte: CGP-COELBA

### Digitalização de SE's x DEC / FEC (COELBA)

Nesta seção serão abordados os impactos da utilização de relés digitais no processo de automação de subestações, a partir da substituição dos relés eletromecânicos por relés digitais nos sistemas de proteção da COELBA. O foco será nos resultados obtidos nos índices de Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC).

A COELBA iniciou a aquisição de relés digitais em setembro de 2000, em que um dos principais motivos foi o aumento da qualidade de fornecimento de energia, diante de um cenário energético cada vez mais exigente.

O sistema elétrico atual da COELBA é representado por:

- 257 subestações, em que 55,27% são automatizadas e 78,86% são digitalizadas;
- A ideia é de tornar as adaptadas em sistemas digitais;
- 84,35% de potência aparente automatizada, portanto 3.462,62MVA.

O processo de automação iniciou-se primeiramente pelas SE's mais distantes dos centros regionais e com maior capacidade de suprimento. As Tabelas 4.4 e 4.5 foram geradas a partir de dados cedidos pela área de Operações da COELBA, onde se pode notar a redução dos fatores de DEC e FEC, no decorrer dos anos que foram sendo realizadas as digitalizações, ou





substituição da proteção convencional pela digital.

Tabela 4: Representação Gráfica dos dados de DEC.

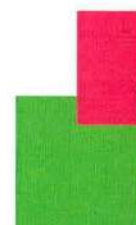
PERIODO ANUAL	DEC			
	META ANEEL	TOTAL	SUPRIDORA	SEM_SUPRIDORA
1996		28,92		
1997		31,56	0,11	31,45
1998		32,55	1,03	31,52
1999		24,99	0,34	24,65
2000		24,91	0,50	24,41
2001	38,30	21,68	0,18	21,50
2002	35,02	17,40	0,83	16,57
2003	32,66	15,97	0,87	15,10
2004	31,25	15,22	0,68	14,54
2005	29,46	16,07	0,64	15,43
2006	27,65	14,82	0,60	14,22
2007	25,95	13,95	0,38	13,57
2008	25,26	14,01	0,52	13,49
2009	22,95	14,97	1,11	13,86
2010	21,53			
2011	20,02			
2012	18,75			
2013	17,48			

Fonte: Departamento de Operação do Sistema (EOS) da COELBA

Tabela 5: Representação Gráfica dos dados de FEC.

FEC			
META ANEEL	TOTAL	SUPRIDORA	SEM_SUPRIDORA
	13,42		
	15,74	0,16	15,58
	18,04	1,52	16,52
	14,38	0,70	13,68
	11,68	0,51	11,17
24,60	12,28	0,60	11,68
22,54	12,43	1,39	11,04
20,97	10,90	1,74	9,16
20,88	9,25	1,26	7,99
20,30	8,78	0,79	7,99
19,56	7,76	0,71	7,05
18,82	7,83	0,62	7,21
18,51	7,01	0,49	6,52
17,14	7,47	0,78	6,69
15,18			
13,51			
12,04			
10,83			

Fonte: Departamento de Operação do Sistema (EOS) da COELBA - Dez-2009.



Observa-se a redução dos índices de DEC e FEC no decorrer do processo de automação de subestações da COELBA.

Além das vantagens funcionais, viabilidades econômicas também fazem da digitalização das subestações uma alternativa a ser considerada pelas concessionárias de energia. Na Tabela 4.6 é feita uma comparação entre a adaptação da SE BARRA GRANDE e a digitalização da SE RIACHÃO DO JACUÍPE. Ambas possuem a mesma potência instalada, mesmo nível de tensão primária e diferem na quantidade de módulos elétricos, sendo a subestação digitalizada possuidora de uma unidade a mais.

Tabela 6. Comparação entre Adaptação e Digitalização de SE's.

Item	SE Riachão do Jacuípe	SE Barra Grande
Nível de tensão primária	69 kV	69 kV
Potência Instalada	6,25 MVA	6,25 MVA
Quantidade de módulos elétricos	3	2
Ano de Automação	2002	2002
Tipo automação	Digitalizada	Adaptada
Custo por módulo elétrico	R\$ 107.217,28	R\$ 174.852,71
<b>Custo Total</b>	<b>R\$ 321.651,84</b>	<b>R\$ 349.705,41</b>

Fonte: Departamento de Operação do Sistema (EOS) da COELBA

Observa-se que os custos de digitalização são menores que a adaptação. A justificativa é por causa da menor quantidade de fiação requerida, menor quantidade de relés auxiliares e a substituição de certa quantidade de equipamentos de proteção, medição e controle, por um único relé digital.

### Conclusão e Sugestão para trabalhos futuros

Além da evolução e desenvolvimento, pelo qual passaram os relés de proteção em sua plataforma de funcionamento, com a convergência de funções, a forma de lidar com o sistema elétrico também obteve expressiva revolução. Com a evolução dos relés de proteção, para a tecnologia digital, a interação da engenharia de proteção, manutenção e operação com o sistema elétrico, passaram a ser mais efetiva e realizada de maneira mais eficaz.

As informações do sistema, obtidas a partir dos relés digitais, proporcionaram verdadeiras mudanças dos esquemas de proteção.

O desenvolver deste trabalho ajudou a fortalecer a visão sobre estes equipamentos, a enriquecer o conhecimento sobre tipos de filtragens



analógicas e digitais, algoritmos de proteção e dos benefícios trazidos às empresas que deles fazem uso.

Como sugestão de temas para trabalhos de pesquisas futuros, tem-se os esquemas especiais de proteção utilizando relés digitais, o processo de digitalização de subestações, abordando aspectos econômicos e de projetos, estudos de algoritmos de proteção, sistemas de comunicação entre relés e aqueles de aquisição de dados, planos de manutenção em equipamentos com relés digitais e protocolos de comunicação.

### Referências

Jardini, José Antônio. Sistemas elétricos de potência: Automação. São Paulo-SP. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, 2006.

Oliveira, Wellington Silva. Vantagens técnicas e econômicas de digitalização de subestações de energia elétrica. Salvador-BA. Faculdade Area1, 2007.

Caminha, Amadeu. Introdução à Proteção de Sistemas Elétricos. 9ª edição. Brasil. Editora Edgard Blucher Ltda., 1977.

Almeida, Prof. Marcos A. Dias de. Apostila de proteção de sistemas elétricos. Natal-RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2000. Disponível em <<http://www.dee.ufrn.br/~marcos/arquivos/Prote%e7%e3o/>>. Acesso em: 22 abril 2008.

Robba, Ernesto João. Introdução a Sistemas Elétricos de Potência, Componentes Simétricos. São Paulo-SP. Editora Blucher/MEC, 1973.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A missão. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=635&idPerfil=3>>. Acesso em: 28 abril 2008.

Prof. Vicente. Notas de aula da disciplina Eng. de software. Salvador-BA. Faculdade Area1, 2007.

Apostila sobre sistema elétrico. Lorena-sp: Universidade de São Paulo. Disponível em <<http://www.debas.eel.usp.br/>>. Acesso em: 17 abril 2008.



Usina de Itaipu - Brasil. Motivos para a utilização da hidroeletricidade. Disponível em < [http://www.itaipu.gov.br/index.php?q=node/318&foto=geracao\\_10\\_motivos.jpg](http://www.itaipu.gov.br/index.php?q=node/318&foto=geracao_10_motivos.jpg)>. Acesso em: 10 maio 2008.

Usina Hidroelétrica de Itaipu. Sobre a empresa. Disponível em <<http://www.itaipu.gov.br>>. Acesso em 10 maio 2008.

Companhia Hidroelétrica do São Francisco. Sobre a empresa. Disponível em <[http://www.chesf.gov.br/energia\\_linhasdetransmissao\\_sistemainterligado.shtml](http://www.chesf.gov.br/energia_linhasdetransmissao_sistemainterligado.shtml)>. Acesso em: 10 maio 2008.

Araújo, Carlos André S, Cândido, José F. R., Souza, Flávio de, Dias, Marcos Pereira. Proteção de Sistemas Elétricos. 1ª edição. Rio de Janeiro-RJ. Ed. Inter ciência, 2001

Laboratório de eletrônica de potência. Compensadores síncronos estáticos. Disponível em <<http://www.coe.ufrj.br/bolsa98b.htm>>. Acesso em: 12 maio 2008.

Mello, F. P. de. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, Santa Maria-RS: Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 1983.

Carvalho, Michel Rockembach de. Apostila sobre relés de proteção. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Laboratório de Sistemas de Potência.

Junior, Elói Rufato. Viabilidade técnica e econômica da modernização do sistema de proteção da distribuição. São Paulo-SP: 2006.

Curso de Automação Industrial. Instrumentos analógicos. Caxias do Sul-RS: Universidade de Caxias do Sul. Disponível em <<http://www.ucs.br/cce-t/demc/vjbrusam/inst/UCS04.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2008.

Pereira, José Miguel Costa Dias. Filtros Ativos. Departamento de Sistemas e Informática (DSI) na Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Setúbal, Portugal. Disponível em <[http://ltodi.est.ips.pt/joseper/PTS%20I/-Teoria\\_PTS%20I\\_Cap%204\\_2003.PDF](http://ltodi.est.ips.pt/joseper/PTS%20I/-Teoria_PTS%20I_Cap%204_2003.PDF)>. Acesso em 02 junho 2008.





Baptista, Eng. Manuel A. E. Sistemas de processamento digital de sinais. Disponível em <<http://www.estv.ipv.pt/paginaspessoais/maeb/SPD/Programa.htm#C>>. Acesso em 04 junho 2008.

Alencar, Marcelo Sampaio de. Sistemas de Comunicações. 1ª edição. São Paulo-SP, Ed. Érika: 2001.

Princípios de Comunicações I. Campinas-SP. Universidade de Campinas (UNICAMP). Disponível em <<http://www.decom.fee.unicamp.br/~balдини/EE881/Cap4.pdf>>. Acesso em 03 junho 2008.

Manual de Instrução do relé SEL 351A. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc (SEL), 2008.

Silva, Sérgio Eduardo Lessa e. Uso de recurso da automação de subestações na manutenção de disjuntores e religadores. Salvador-BA. COELBA, Seminário nacional de distribuição de energia elétrica (SENDI), 2006.

Cunha, Jorge Gerson F. Soares da. Implantação de centro de gestão da proteção na COELBA. Salvador-BA. Seminário técnico de proteção e controle (STPC), 2003.

Departamento de automação e telecomunicação - EAT - COELBA. Manutenção preventiva em relés de proteção microprocessados de subestações digitalizadas. Salvador-BA. COELBA, Seminário nacional de distribuição de energia elétrica (SENDI), 2005

Ribeiro, Rogério Ferraz. Uso de relés com localização de falta em linhas de distribuição na COELBA. Salvador-BA. COELBA, Seminário nacional de distribuição de energia elétrica (SENDI), 2004

Sakaki, Carlos. Manutenção de sistemas de proteção com relés digitais. Salvador-BA. Seminário nacional de distribuição de energia elétrica (SENDI), 2004.

Montgomery, Eduard. Escrevendo trabalhos de conclusão de curso. Guia prático para desenvolver monografias e teses. 1ª edição. Rio de Janeiro. Editora Alta Books, 2005, Paulo, S.d. 48 p.