



XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2010 – 22 a 26 de novembro

São Paulo - SP - Brasil

Melhorando a Coordenação da Proteção do Sistema – A Experiência da COSERN

Dilson Andrade de Sousa		Elves Fernandes da Silva
COSERN		COSERN
dilson.andrade@cosern.com.br		elves.silva@cosern.com.br

Palavras-chave

Acoplamento mútuo
Ajustes de proteção
Coordenação
Relés Digitais

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar a experiência obtida na Companhia Energética do Rio Grande do Norte – COSERN, na contínua melhoria da coordenação da proteção do sistema. Considerando a necessidade de redução dos indicadores de continuidade do sistema, como DEC e FEC, bem como o desejo de obter a satisfação dos seus clientes, pode se observar que a coordenação da proteção do sistema é de extrema importância para atingir esses quesitos.

Baseado nesta preocupação, este trabalho mostrará como a COSERN tem conseguido uma melhoria contínua no nível dos seus índices de coordenação, onde no período de 2005 a 2009 observou-se uma elevação de 93,70% para 98,23%. Este nível de coordenação tem sido resultado dos seguintes fatores:

- Acompanhamento contínuo do desempenho do sistema de proteção;
- Utilização de ferramentas computacionais avançadas para realização de estudos;
- Cálculo de impedância de linhas utilizando informações do sistema GIS;
- Utilização de relés digitais e instalação de novos religadores e chaves telecomandados;
- Testes em relés com equipamentos de alta precisão;
- Simulação de operação de relés com dados reais de faltas colhidas em campo.

1. INTRODUÇÃO

Visando elevar o índice de coordenação do sistema de proteção da rede elétrica a Companhia Energética do Rio Grande do Norte – COSERN, tem sistematicamente acompanhado o desempenho da coordenação dos seus equipamentos de proteção com vista a melhorar a qualidade do fornecimento de energia para os seus clientes. A tabela 1 mostra o índice de coordenação obtido durante o período de 2005 a 2009.

Tabela 1 – Índice de coordenação da proteção do sistema

Ano	2005	2006	2007	2008	2009
Índice de coordenação da proteção do sistema	93.70	96.79	97.29	98.20	98.23

2. ACOMPANHAMENTO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO

O acompanhamento do desempenho do sistema de proteção tem como ferramenta para coleta de dados de ocorrências em linhas, subestações, alimentadores e rede de baixa tensão o sistema computacional GSE-OPER (Gestão do Sistema Elétrico – módulo de operação). A partir da execução desse aplicativo é possível obter dados de ocorrências. Para um diagnóstico do desempenho das proteções são realizadas diariamente, as análises das ocorrências no sistema elétrico da COSERN. A figura 1 ilustra uma tela da interface gráfica do módulo de operação do sistema GSE com dados de uma ocorrência real na rede 13.8 kV em que houve a atuação da proteção motivada por cabos da rede de média tensão que se romperam.

Figura 1: Tela de interface gráfica do módulo de operação do sistema SGE

The screenshot displays the 'Módulo de operação' interface. Key sections include:

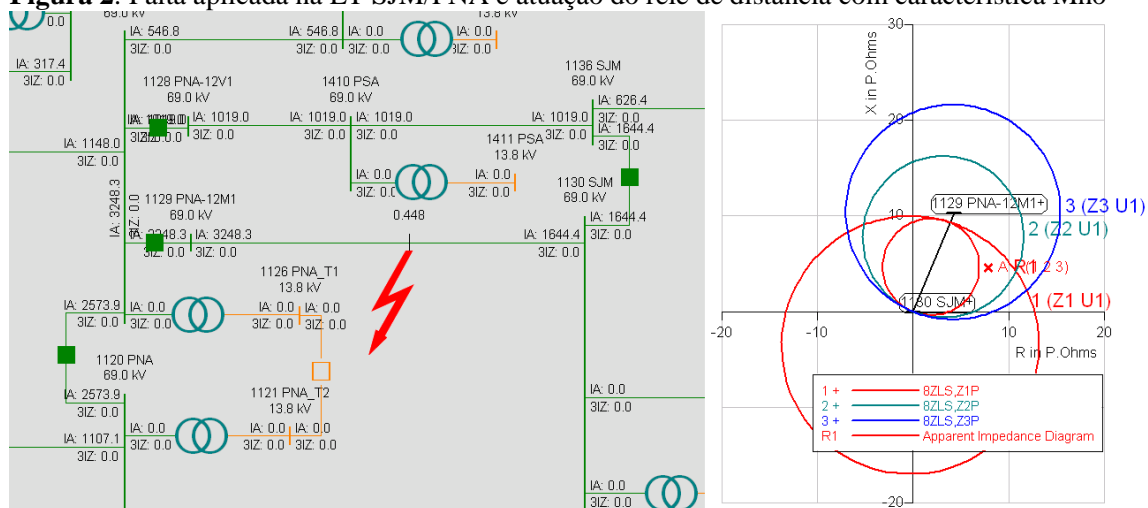
- Localização / Pesquisa:** Ocorrência principal: 2010, NR: 3, 13609.
- Atendimento da OC:** Criação: 31/03/2010 08:23:29; Acionamento: 31/03/2010 08:41:57; Aceite: 31/03/2010 08:42:55; Conclusão: 31/03/2010 09:57:00; Tempo total: 0d 01h 33m.
- Dados da reclamação:** Município: NATAL; Localidade: NATAL - AREA URBANA; Bairro: BOM PASTOR; Reclamação: FALTA LUIZ GERAL.
- Equipos:** Viaturas alocadas: 356 (FINALIZADO, MACHADAO, Sim, LEVE) and BARB_6 (FINALIZADO, QUINTAS, Não, LEVE).
- Eletricistas da viatura:** 120295 CARLOS ALBER... and 950873 MAURICIO ALVE... with arrival and departure times.
- Dados da ocorrência:** Observações: ENCONTRADO CB PARTIDO EM ESTRUTURA E6 PG B6828 FASES B C.
- Manobras:** Origem: LINHA DE DISTRIBUICAO; Natureza: INTEMPESTIVA; Componente: REDE AT PARTIDA; Causa: FALHA EM COEXAO.

3. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

A COSERN utiliza o software CAPE – *Computer-Aided Protection Engineering* desenvolvido pela Electrocon International Incorporated nos estudos para parametrização de todos os relés do seu sistema. Esta ferramenta de alto nível é composta dos seguintes módulos: *Executive, Database Editor, One Line, Order Production, Line Constants, Short Circuit, Short Circuit Reduction, Power Flow, Coordination Graphics, Relay Setting, Relay Checking e System Simulator*.

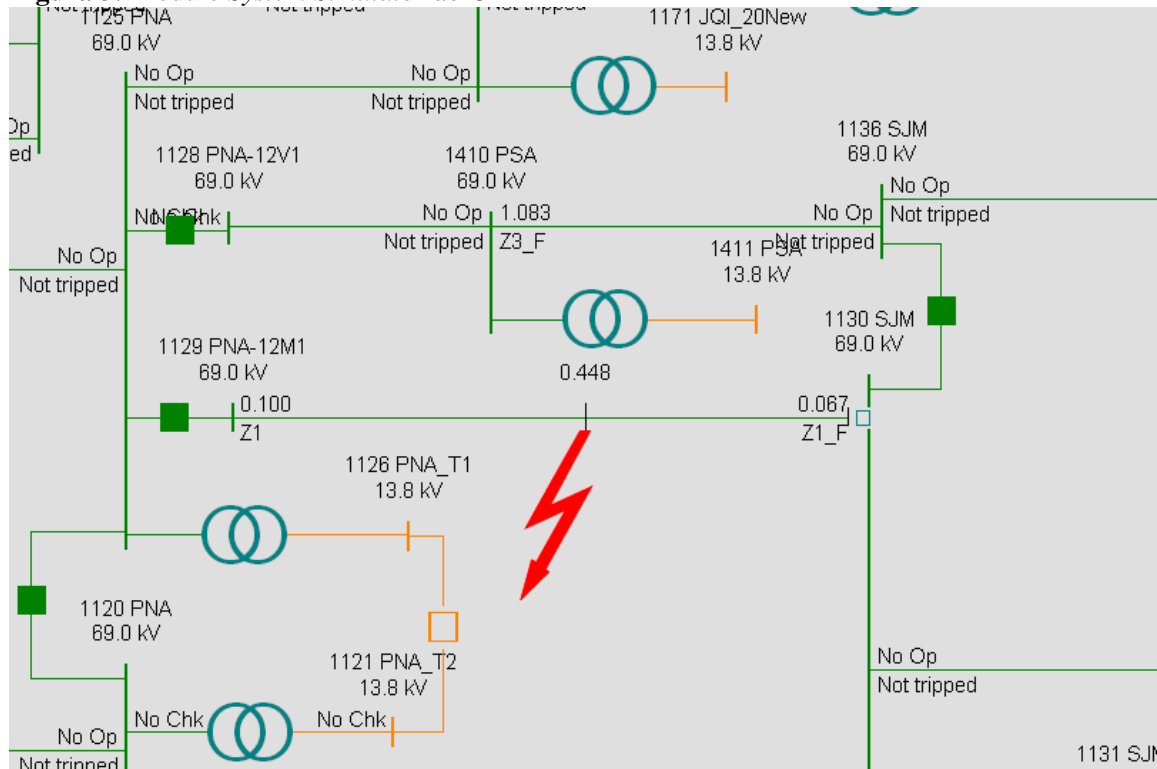
A figura 2 mostra o desempenho de um relé de distância com característica Mho diante de uma falta aplicada ao meio da linha 69 kV SJM/PNA com uma resistência de falta de 2 ohms primários. Através do módulo *Coordination Graphics* o programa mostra que apesar de aparentemente a falta ser eliminada pela segunda zona do relé, na verdade, este irá operar em primeira zona já que haverá uma expansão da característica Mho devido ao desempenho dinâmico com a polarização por tensão de sequência positiva memorizada. Este simples exemplo mostra o poder deste software uma vez que o modelo dos relés são os mais fiéis possíveis aos algoritmos desenvolvidos pelos fabricantes dos relés, devido a interação existente entre a Electrocon e os principais fabricantes.

Figura 2: Falta aplicada na LT SJM/PNA e atuação do relé de distância com característica Mho



Na figura 3 está mostrado o módulo *System Simulator* com a mesma falha aplicada. Neste módulo é verificado o desempenho real do sistema, ou seja, passo a passo o programa calcula todas as correntes e tensões medidas pelos relés e, desta forma, determina o tempo que o relé irá operar considerando também o tempo de abertura dos disjuntores. Neste processo, para cada abertura de um disjuntor um novo estado do sistema é verificado e os cálculos são feitos no novo estado. A importância deste módulo se verifica na análise de sistemas malhados já que com a abertura de um disjuntor uma nova condição do sistema é estabelecida até que finalmente a falta seja eliminada, ou seja, para cada operação de um disjuntor os relés passarão a medir outros valores de corrente e tensão distintos dos valores iniciais.

Figura 3: Módulo System Simulator do CAPE



4. UTILIZAÇÃO DE RELÉS DIGITAIS

A COSERN utiliza para a proteção do seu sistema relés digitais em 100% de seus equipamentos em subestações. A grande vantagem, além de alta exatidão, é que estes relés possuem eventos cronológicos e oscilografias que auxiliam sobremaneira na análise das ocorrências.

Na figura 4 está mostrado parte do regional Natal II onde podemos observar a aplicação de relés diferenciais de linha em cinco linhas de 69 kV, haja vista a pequena extensão destas linhas bem como a presença da geração da TEP - Termoelétrica Potiguar. O relé diferencial de linha utilizado possui comunicação por fibra óptica com o relé do outro extremo da linha e, desta forma, eles calculam a corrente diferencial existente no circuito e atuam dentro de um tempo da ordem de um ciclo para faltas internas à linha. Já para faltas externas estes relés possuem funções de distância e sobrecorrente direcional como proteção de retaguarda. Na figura 5 está ilustrado o modelo do relé utilizado e uma oscilografia real registrada durante a ocorrência de uma falta monofásica no sistema.

Figura 4: Unifilar do Regional Natal II.

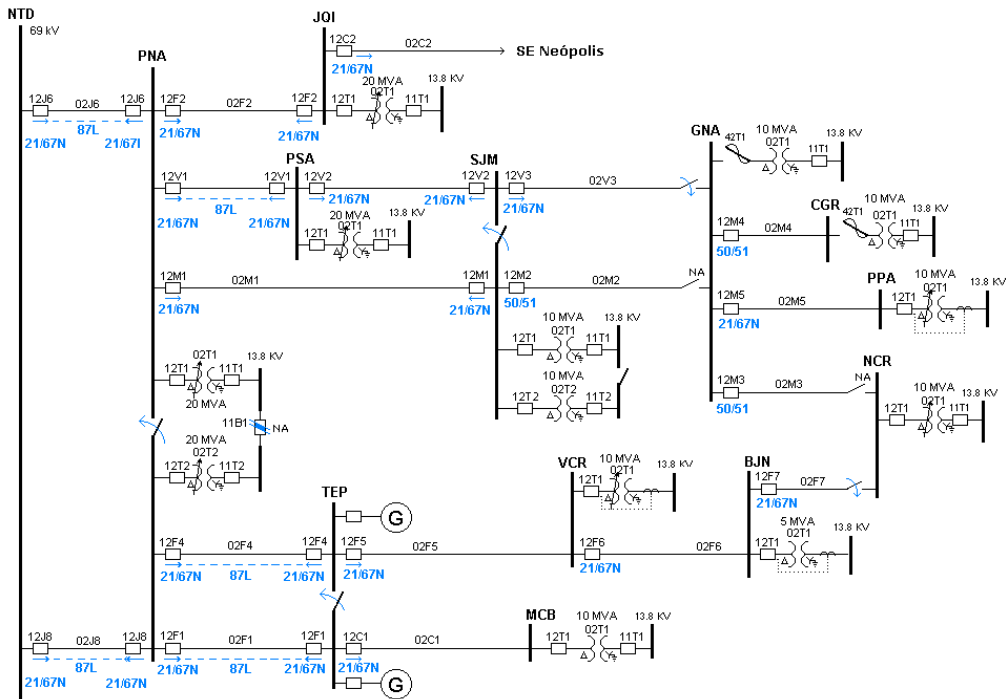
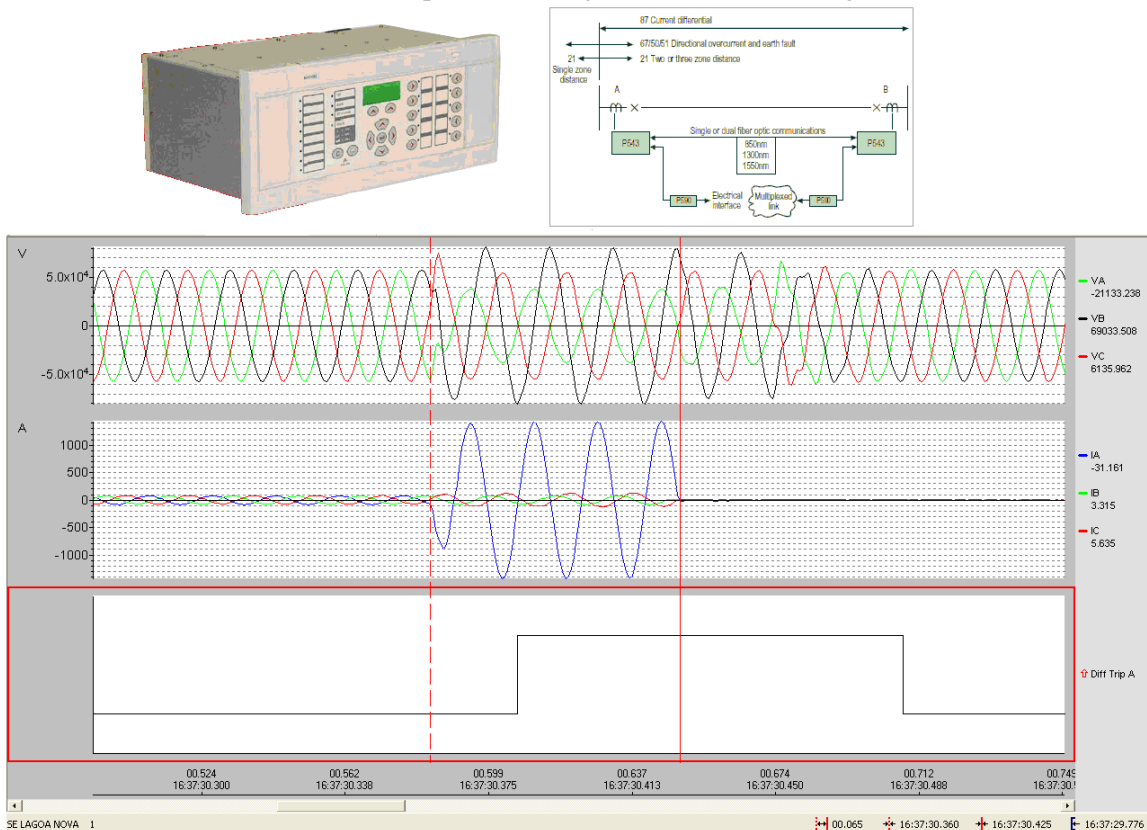


Figura 5: Relé diferencial de linha aplicado no Regional Natal II e oscilografia de uma falta real



5. CÁLCULO DE IMPEDÂNCIA DE LINHAS COM INFORMAÇÕES DO SISTEMA GIS

Temos observado que o conhecimento dos parâmetros das linhas tem sido decisivo na precisão dos cálculos dos ajustes dos relés, sobretudo quando há acoplamento mútuo entre circuitos paralelos, já que nestes casos poderemos ter sobre alcance ou sub-alcance das unidades de distância ou, também, uma má operação dos relés de sobrecorrente direcionais de neutro caso a impedância mútua entre circuitos seja desprezada.

A figura 6 mostra o diagrama unifilar do regional Açú II e a figura 7 mostra o encaminhamento físico das linhas onde observamos que elas percorrem longo caminho em paralelo com outros circuitos. Simulações feitas com a utilização do CAPE mostram que a coordenação do sistema ficará comprometida diante de faltas monofásica nas linhas em 69 kV caso as impedâncias de acoplamento mútuo sejam desprezadas. Assim, para uma fiel representação dos parâmetros das linhas a COSERN utilizou o módulo *Line Constants* do CAPE e os dados disponíveis no Sistema GSE, devido este possuir grande exatidão por utilizar coordenadas geográficas a partir de GPS.

Figura 6: Unifilar do Regional Açú II.

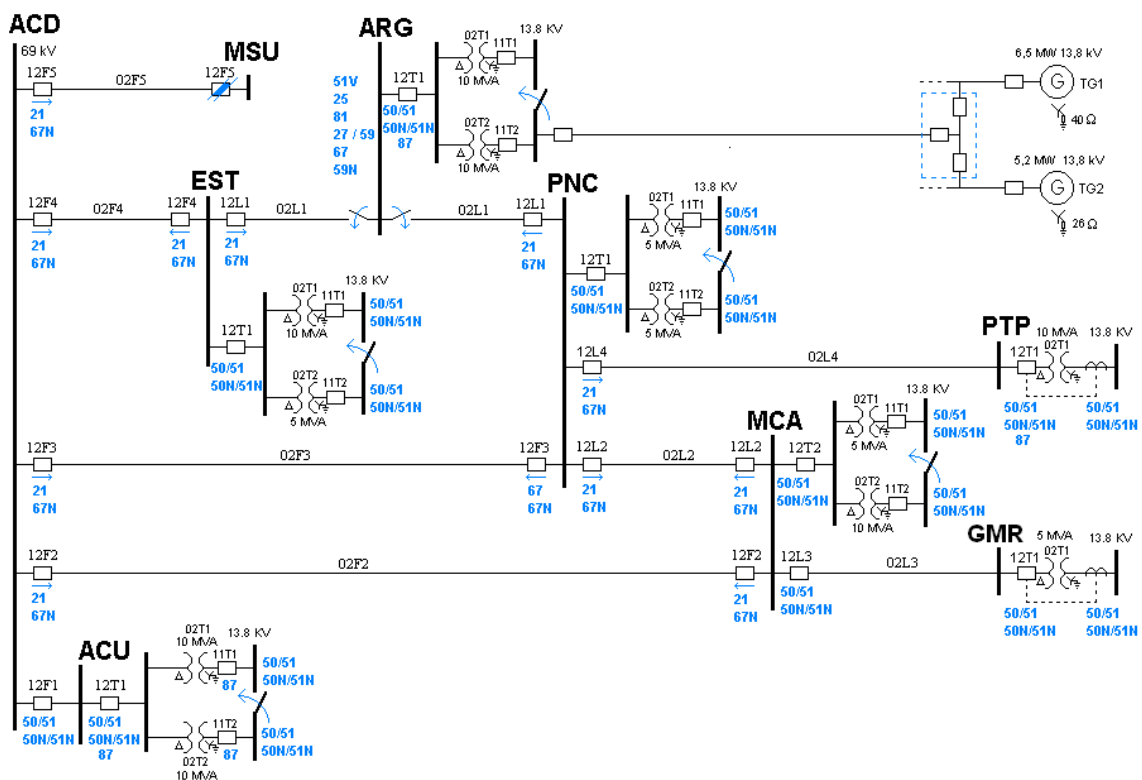
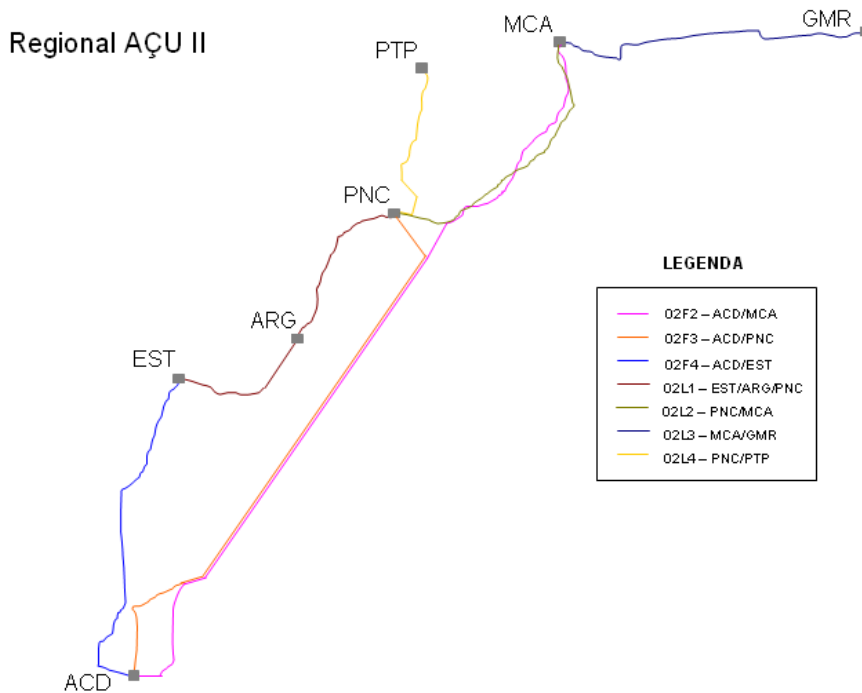


Figura 7: Encaminhamento físico das linhas do Regional Açú II.



A figura 8 mostra detalha a entrada de dados do módulo *Line Constants* do CAPE para o cálculo dos parâmetros das linhas.

Figura 8: Entrada de dados do módulo *Line Constants* do CAPE.

Tower	Circuit	Phase Assignment	Conductor	Sag	Conductors per Bundle	6-wire
		A	B			
1	1	1	2	3	1	<input type="checkbox"/> 6W3P
1	2	4	5	6	1	<input type="checkbox"/> 6W3P
2	3	1	2	3	1	<input type="checkbox"/> 6W3P

6. ENSAIOS EM RELÉS

A COSERN utiliza para a aferição dos seus relés a caixa de testes da Omicron modelo CMC-256-6. Trata-se de uma poderosa ferramenta que possui as funcionalidades com o que há de mais moderno no mundo, podendo fazer ensaios em vários tipos de relés e, inclusive, simular a operação do relé com oscilografias colhidas de campo ou, também, advindas de estudos de transitórios obtidas de programas como o ATP.

A partir de uma determinada operação poderemos aprofundar a investigação sobre o que ocorreu, ou seja, se determinado relé operou como esperado, se a parametrização estava correta e até mesmo se o algoritmo do relé está adequado para atuar corretamente durante determinada ocorrência no sistema. Assim, em 2009 foi investigada a atuação de certo relé de distância devido três descoordenações no sistema ocorridas em pequeno espaço de tempo e com base nas oscilografias colhidas e, também, com simulações utilizando os valores de tensão e corrente obtidos do programa CAPE, módulos *Short Circuit* e *Coordination Graphics*, foi verificada que a característica de distância não estava adequada para operação quando da existência de uma certa falta com resistência de arco, haja vista que este relé operou em primeira zona quando seria esperado que este operasse em segunda ou terceira zona. Desta forma, o problema foi levado ao fabricante para a correção do algoritmo assim como foram testados outros relés de distância de outros fabricantes para ter a certeza de que o problema não estaria ocorrendo com outros modelos.

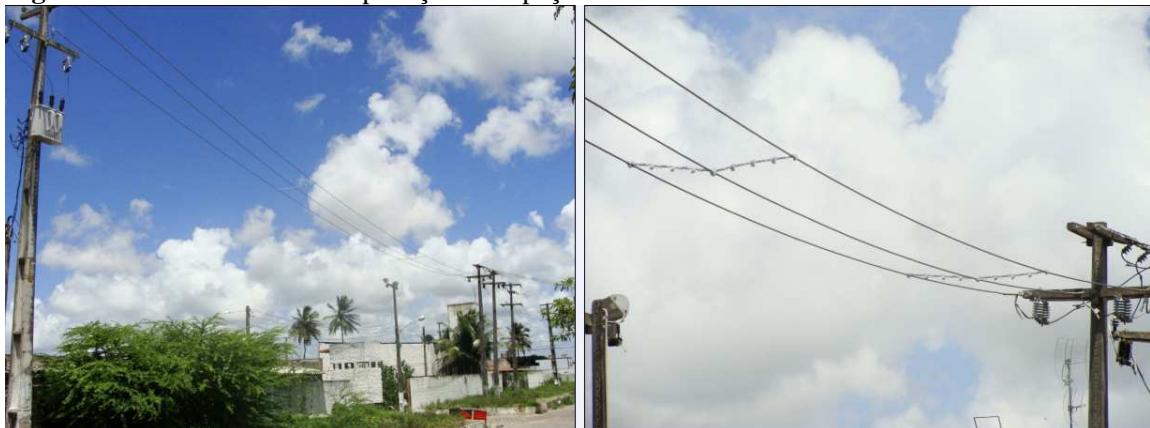
Em algumas situações somos informados de possíveis descoordenações pela operação, mas que, na verdade, após a análise das oscilografias colhidas dos relés verificamos que não se trata de descoordenação do sistema mas tão somente de ocorrência com faltas evolutivas, ou seja, faltas que ocorrem num determinado local e, após a operação de religamento, estas se transformam noutra falta em outro ponto do sistema. A figura 9 ilustra este tipo de falta. É possível observar que na primeira operação do religador a falta foi do tipo bifásica com corrente de pico de 2000 A e evoluiu para uma falta trifásica com corrente de pico da ordem de 2300 A. Na segunda operação do religador (primeiro religamento) a falta foi bifásica com corrente de pico da ordem de 4500 A que evoluiu para uma falta trifásica com corrente de pico da ordem de 5000 A, caracterizando-se, assim, que esta falta esteve em outro ponto do sistema. Na terceira operação (segundo religamento) a falta foi bifásica com característica semelhante à falta bifásica da segunda operação. Desta simples análise pode-se concluir que houve uma evolução do local da falta, haja vista que os valores de correntes indicam que a falta das duas seguintes operações do religador estavam bem mais próxima da subestação onde o religador está instalado.

Este tipo de evolução de falta é um indicativo de um provável choque de cabos da rede de média tensão. Assim, como forma de minimizar este problema de faltas evolutivas, a COSERN tem aplicado espaçadores em algumas estruturas da rede de média tensão, conforme ilustrado na figura 10, o que tem contribuído para redução de ocorrências desta natureza e para a melhoria da coordenação do sistema.

Figura 9 Oscilografia colhida de um relé mostrando faltas evolutivas no sistema



Figura 10 Fotos mostrando a aplicação de espaçadores na rede de média tensão



7. AVALIAÇÃO DAS DESCOORDENAÇÕES OCORRIDAS EM 2009

A tabela 2 mostra que em 2009 ocorreram 22 descoordenações no sistema e que a concentração foi observada nos equipamentos, já que apenas 27.28% das causas foram devidas a erro de cálculo ou erro na implantação de ajustes nos equipamentos. Assim, entendemos que para melhorar o índice de coordenação do sistema se faz necessário uma atuação efetiva nos equipamentos, seja substituindo os obsoletos ou melhorando a manutenção preventiva. Podemos observar, também, que caso as seis descoordenações dos erros de cálculos e implantação não tivessem ocorridas o índice teria uma elevação de 98,23% para 98,71%.

Neste contexto, podemos averiguar que, de fato, a melhoria na coordenação do sistema tem tido um forte impulso dos investimentos efetuados pela empresa, uma vez que no período de 2005 a 2009 a COSERN instalou em seu sistema 52 novos equipamentos telecomandados (37 religadores e 15 chaves) substituindo religadores e seccionalizadores ou chaves-fusíveis instaladas na distribuição.

Tabela 2: Tabela de descoordenações no Sistema de Proteção da COSERN em 2009.

Descoordenações no Sistema de Proteção da COSERN / 2009			
Sistema	Causa	Frequência	Percentual
Subtransmissão	Defeito em algoritmo de relé	3	13.64%
	Falha em disjuntor	2	9.09%
	Falha no cálculo dos ajustes	2	9.09%
	Falha na implantação dos ajustes	1	4.55%
Distribuição	Defeito em chave telecomandada	2	9.09%
	Defeito em seccionador GN3E	3	13.64%
	Defeito em religador KFE	2	9.09%
	Defeito em religador telecomandado	4	18.18%
	Falha no cálculo dos ajustes	1	4.55%
	Falha na implantação dos ajustes	2	9.09%
Total		22	100.00%
Resumo			
Sistema	Causa	Frequência	Percentual
Subtransmissão e Distribuição	Falha no equipamento	16	72.73%
	Falha no cálculo dos ajustes	3	13.64%
	Falha na implantação dos ajustes	3	13.64%
Total		22	100.00%

8. CONCLUSÃO

A utilização de ferramentas computacionais avançadas para dimensionamento dos ajustes dos relés é um fator de melhoria nos índices de coordenação.

A utilização de relés digitais com disponibilidade de registros oscilográficos proporciona a possibilidade de uma análise mais aprofundada das ocorrências, podendo, em diversas situações, ser um balizador para verificar a perfeita atuação deste e, também, possibilitar adequação nos critérios de graduação da proteção.

O acompanhamento contínuo do desempenho do sistema de proteção poderá identificar descoordenações tanto devido a erros humanos quanto aos equipamentos, bem como ser um fator acelerador na resolução de problemas existentes.

A manutenção preventiva no sistema de proteção e a alocação de investimentos no sistema de proteção tem sido um importante fator na melhoria do índice de coordenação do sistema.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1- Sousa, Dilson Andrade de; Silva, Elves Fernandes. *Aplicação de Unidades de Sobrecorrente de Neutro Sensível em Redes de Distribuição – A Experiência da COSERN*. XVI SENDI, Olinda / PE, 2008.

2- Sousa, Dilson Andrade de; Silva, Elves Fernandes; Oliveira, Ricardo Cordeiro de. *Reduzindo os religamentos automáticos em redes de distribuição* XVII SENDI, Belo Horizonte / MG, 2006.

3- Sousa, Dilson Andrade de; Silva, Elves Fernandes; *Aplicação de Unidades de Sobrecorrente de Sequência Negativa em Redes de Distribuição - A Experiência da COSERN*. XVII SENDI, Belo Horizonte / MG, 2006.

4- Sousa, Dilson Andrade de. *Chaves-fusíveis by-pass de Religadores 13,8 kV*. XVI SENDI, Brasília / DF, 2004.

5- Zimmerman, Karl, *Aplicações de Relés Microprocessados na Distribuição*, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., Belleville, IL USA.

6- IEEE Std 242-2001 - *Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*;

7- IEEE C37-113-1999 - *Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines*

8- Blackburn, J. Lewis; Domin, Thomas J.. *Protective Relaying Principles and Applications*. Third Edition, CRC Press Taylor & Francis Group, New York, 2007.