



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### **Desenvolvimento e Implantação de Automatismos em Malha Fechada para as Manobras na Rede de Distribuição com Regras Rígidas de Segurança Operacional**

<b>Wagner Seizo Hokama</b> CPFL Leste Paulista whokama@cpfljaguariuna.com.br	<b>José Américo Marsulo</b> CPFL Jaguari jamarsulo@cpfljaguariuna.com.br	<b>Walter Henrique Bernardelli</b> CPFL Sul Paulista wbernardelli@cpfljaguariuna.com.br
--	--	---

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Automação de Sistemas de Energia  
Funções de Análise de Rede  
Malha Fechada  
Rede de Distribuição

#### **RESUMO**

A idéia deste trabalho não é substituir o ser humano pela máquina e sim de criar uma ferramenta para as tarefas repetitivas do dia-a-dia dos operadores, liberando-os para as tarefas onde o seu talento seja melhor aproveitado.

O objetivo desses automatismos é analisar e realizar as manobras na rede de distribuição, levando-se em consideração fatores como: limites operativos, redução das perdas de energia na rede, melhoria da qualidade de energia no ponto de entrega, análise de cenários de restrições operativas/contingências e redução do tempo de manobras.

Um dos principais fatores que levaram a elaboração deste trabalho foi que, após a conclusão da automação dos equipamentos da rede de distribuição e subestações, notou-se que muitas manobras poderiam ser feitas em seqüência automática, sem a necessidade de comandos passo a passo do operador. A idéia é transformar toda a experiência e técnica dos operadores aliados aos recursos dos sistemas de telecomunicações e computacionais hoje disponíveis, em uma eficiente e segura ferramenta para a operação do sistema elétrico de potência.

A perspectiva é reduzir em 100 % os erros operacionais causados por falha humana e em 30 % os tempos das manobras para isolamento da falta e normalização da rede de distribuição.

## 1. INTRODUÇÃO

A idéia deste trabalho não é substituir o ser humano pela máquina e sim de criar uma ferramenta para as tarefas repetitivas do dia-a-dia dos operadores, liberando-os para as tarefas que melhor aproveitem seu potencial.

Para as tarefas repetitivas de operação do Sistema Elétrico de Potência foi detectado que cada indivíduo tem uma maneira característica de operar o sistema elétrico de potência, mesmo obedecendo ao mesmo procedimento operacional. Para essas tarefas repetitivas, as máquinas são mais eficientes do que seres humanos.

Com a implantação do Sistema de Supervisão e Controle, possibilitando o telecomando e monitoramento dos equipamentos da rede de distribuição e das subestações de maneira rápida e segura, aliado ao desenvolvimento tecnológico dos recursos computacionais de hoje na manipulação de algoritmos matemáticos complexos de forma rápida e precisa, vislumbrou-se a possibilidade de automatização das manobras da rede de distribuição em tempo real.

O Centro de Operação de Jaguariúna (CO-Jaguariúna) atende, em tempo real, quatro distribuidoras do grupo CPFL Energia: CPFL Jaguari, CPFL Sul Paulista, CPFL Leste Paulista e CPFL Mococa.

Neste trabalho técnico iremos apresentar o Sistema de Supervisão e Controle implantado na CPFL Jaguariúna, o estudo e a análise da operação em tempo real, o desenvolvimento e a implantação de automatismos em malha fechada para a operação do Sistema Elétrico de Potência e um exemplo de aplicação.

Na conclusão apresentaremos as perspectivas vislumbradas com a automação em malha fechada.

## 2. O SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE

O Sistema de Supervisão e Controle da CPFL Jaguariúna já foi assunto de trabalho técnico apresentado no SENDI 2006 em Belo Horizonte, onde o grande destaque foi o seu baixo custo de implantação, utilizando equipamentos e *softwares* de fabricantes nacionais, serviços de campo realizados em conjunto com as manutenções periódicas e grande envolvimento da engenharia e das equipes de serviços de manutenção das próprias distribuidoras do grupo no projeto e na implantação do sistema. Tudo isso sem perder o foco na segurança operacional e qualidade técnica funcional de todo o sistema de proteção e automação.

Agora estamos alterando a arquitetura do sistema a fim de obter ganhos de desempenho e possibilitar os automatismos em malha fechada. A proposta é transformá-lo em um sistema distribuído e independente, ou seja, mesmo em uma possível falha de comunicação entre as companhias do grupo o sistema continuará funcionando sem graves problemas operacionais, em regime de contingência.

No CO-Jaguariúna teremos dois ambientes de sistemas, o ambiente de operação em tempo real e o ambiente de desenvolvimento do sistema, também utilizado para treinamento de operadores e demais áreas técnicas. Esses dois ambientes estarão ligados entre si pela mesma rede corporativa, compartilhando as mesmas informações dos servidores de banco de dados. Todavia suas funções e “tempos de respostas” serão bem diferentes.

No ambiente de operação em tempo real daremos prioridade a velocidade nos comando e sinalizações, consultas breves e simples e, também, disponibilidade do sistema à operação no maior tempo possível.

Já no ambiente de desenvolvimento e treinamento daremos “asas à imaginação” com dados reais de campo armazenados nos bancos de dados. Neste ambiente poderemos desenvolver ferramentas, telas e automatismos operacionais “sem censura” e testar exaustivamente antes de colocar em produção.

Além disso, será possível fazer simulações de situações críticas para treinamento de operadores, com possibilidade para intervenção e modificação de seus resultados, suportada por cálculos de fluxos de carga a partir de sua nova configuração.

Nas companhias distantes do CO-Jaguariúna, a CPFL Leste Paulista, CPFL Sul Paulista e CPFL Mococa, teremos também um par de servidores de aplicação, em regime *hot stand-by*, para funções de comunicação com os equipamentos de campo e, em caso de contingência, a operação em tempo real com licença de pelo menos um cliente (*viewer*) para operação em tempo real. Com isso garantimos total independência operacional para cada companhia, requisito importantíssimo em caso de falha nos *links* de comunicação entre as companhias.

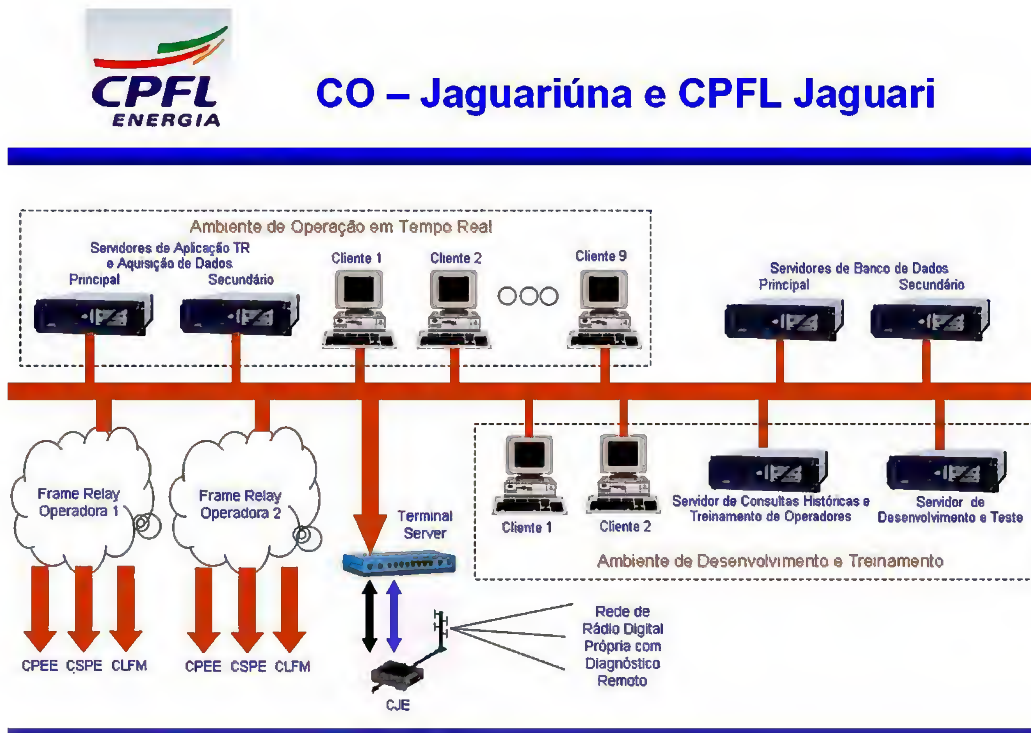


Figura 1 – Nova Arquitetura do Sistema no CO – Jaguariúna e na CPFL Jaguari

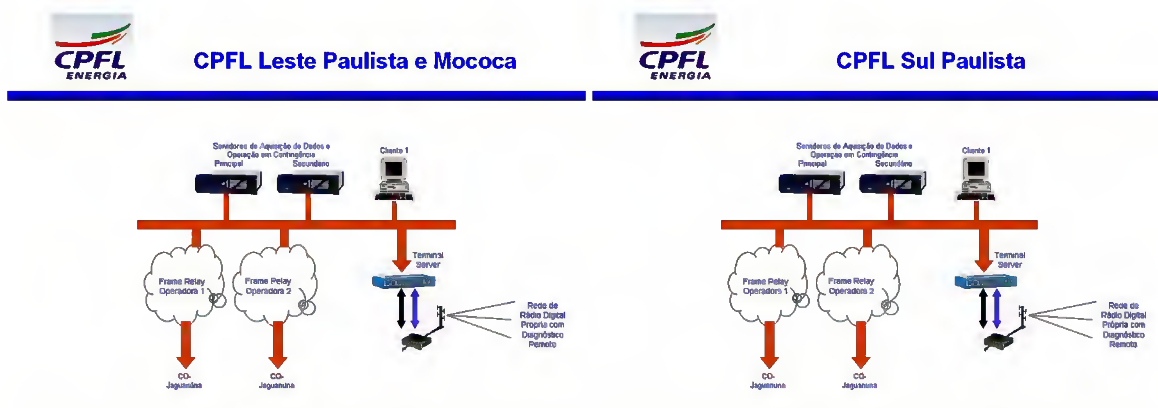


Figura 2 – Novas Arquiteturas na CPFL Leste Paulista, Mococa e Sul Paulista

Na Figura 3 ilustra-se a arquitetura interna de cada servidor de aplicação

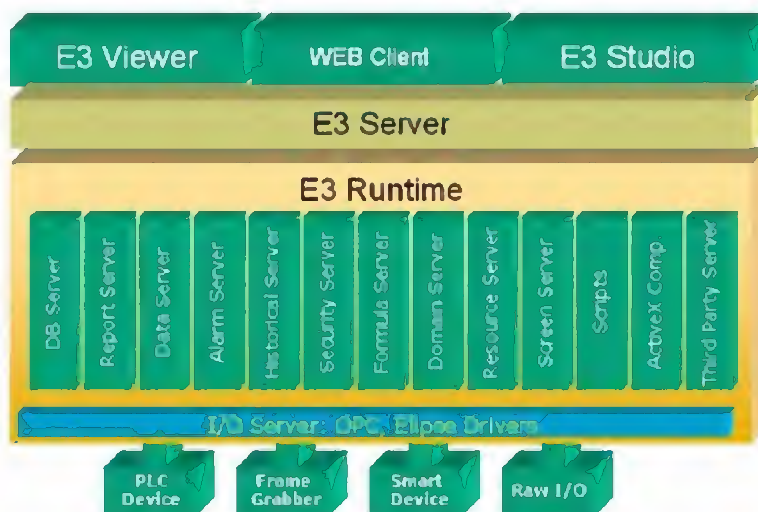


Figura 1: Diagrama dos blocos que compõem o E3

Figura 3 – Arquitetura interna dos servidores de aplicação

O sistema ainda é composto por servidores de banco de dados, onde o mesmo é compartilhado com outras aplicações como o sistema de suporte a operação (GIS – *Geographic Information System*), sistemas de medição e outros sistemas. Graças a esta interoperabilidade será possível compartilhar e integrar os dados entre os sistemas técnicos, trazendo grandes ganhos de sinergia operacional.

### 3. ESTUDO E ANÁLISE DA OPERAÇÃO DO SISTEMA EM TEMPO REAL

O estudo e a análise da operação do sistema elétrico de potência se iniciam com a observação do dia-a-dia dos operadores do Centro de Operação.

Foi notado que, mesmo com a existência e aplicação dos procedimentos operacionais, cada operador tem um “jeito” de operar o sistema elétrico de potência. Tarefas repetitivas são realizadas de maneiras diferentes, às vezes até pelo mesmo operador.

Uma das causas dessas diferenças observadas foi quanto à experiência de cada indivíduo. Notou-se que profissionais com mais tempo de trabalho, se comparado com os novatos, tem mais facilidades de analisar e tomar decisões adequadas sobre como proceder nas situações de rotinas e de contingências. Constantes treinamentos e reciclagens tentam padronizar esses fatores alinhando os procedimentos.

Outro fator também observado, porém de difícil percepção e correção, foi quanto ao “estado de espírito” do profissional em certos dias. Fatores externos influenciam no desempenho do profissional como todos sabem, assim como, por exemplo, os motoristas no trânsito. Profissionais com uma noite mal dormida ou com problemas familiares, por exemplo, podem provocar erros operacionais ou, no mínimo, atrasar manobras que deveriam ser rápidas e simples.

Assim como já foi implantado com total sucesso na indústria e em outros setores, muitos processos/tarefas podem ser automatizados em um Centro de Operação, pois máquinas são próprias para realizar tarefas repetitivas. Muitas dessas tarefas diárias podem ser automatizadas, levando-se em consideração o avanço tecnológico dos sistemas de supervisão e controle, de telecomunicações e dos sistemas computacionais (*hardware* e *software*) disponíveis. Estamos cientes que os processos operacionais de uma concessionária de energia elétrica são complexos e com elevado potencial de risco, todavia temos convicção de que é possível a obtenção de resultados satisfatórios se houver planejamento e implantação adequada.

Tomamos como exemplo de implantação de um automatismo em malha fechada, o sistema de trens metropolitanos da grande Tóquio, onde foram investidas muitas horas em ensaios de laboratório e outras tanto em ensaios operacionais ainda sem passageiros, mesmo quando já se tinha certeza da precisão dos algoritmos implantados.

A idéia é implantamos, em algoritmos computacionais, o procedimento operacional necessário para manobras no sistema elétrico de potência, considerando-se os fatores necessários para a realização correta da operação. Esse assunto será discutido na próxima seção.

#### **4. DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO DE AUTOMATISMOS EM MALHA FECHADA NA OPERAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA**

O desenvolvimento dos automatismos em malha fechada é baseado em quatro principais “pilares”, sendo:

- 1 - Informações do Sistema Elétrico de Potência
- 2 - Informações de *status* dos Sistemas de Telecomunicações e Computacionais
- 3 - Cálculo de Fluxo de Carga e Análise do Sistema de Proteção
- 4 - Regras e Procedimentos Operacionais para as Manobras na Rede de Distribuição

##### **4.1. Informações do Sistema Elétrico de Potência**

Os automatismos em malha fechada receberão informações sobre o sistema elétrico de potência via sistema GIS, sistema que armazena e controla as informações dos ativos e clientes, através de consultas no banco de dados.

As regras para as consultas poderão sofrer alterações durante o período de testes, mas inicialmente estamos prevendo consultas diárias para as informações de cadastro e consultas em tempo real para as informações de topologia.

Para isso estamos prevendo a integração em tempo real dos dois sistemas, *SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)* e GIS. Com isso teremos uma interação completa, onde informações serão atualizadas simultaneamente em ambos ambientes evitando com isso discrepância de informações entre os sistemas.

Além do sistema GIS, os automatismos também receberão informações do sistema de telemedição de energia, tanto de fronteira como de clientes, para utilizar em seus cálculos de fluxo de carga.

Por fim, será possível também inserir informações no sistema elétrico de potência diretamente nos automatismos, informações essas importantes e que podem não estar contidas nos sistemas já citados.

##### **4.2. Informações de status dos Sistemas de Telecomunicações e Computacionais**

As informações de *status* dos sistemas de telecomunicações e computacionais orientarão os automatismos a verificarem a integridade dos dados recebidos em tempo real.

Essa verificação será feita desde a aquisição da informação em campo, passando pelos sistemas de telecomunicações, até a chegada e tratamento pelos servidores de aquisição de dados e de aplicação.

A idéia é garantir que dados dinâmicos, como, por exemplo, a tensão em certo barramento, esteja atualizada e aquisitado corretamente, seguindo regras rígidas de verificação da qualidade da informação.

Com isso garantimos que as informações que serão trabalhadas nos automatismos sejam reais, ou seja, apresentam o que realmente está acontecendo no sistema elétrico de potência e que não estamos trabalhando com informações desatualizadas.

### **4.3. Cálculo de Fluxo de Carga e Análise do Sistema de Proteção**

Com as informações obtidas anteriormente e com o recebimento de um *trigger* vindo do SCADA, temos então o início da seqüência dos automatismos em malha fechada. O *trigger* que partirá o automatismo pode ser, por exemplo, a atuação do relé de proteção de algum religador na rede de distribuição.

A primeira fase desses automatismos é calcular a viabilidade das manobras a serem realizadas.

Com base nas informações obtidas do SEP (Sistema Elétrico de Potência) e das aquisitadas em campo, inicia-se o cálculo de fluxo de carga para verificar o provável estado da rede após as manobras. Caso todas as restrições e limites operativos sejam atendidos, dá-se seqüência ao processo.

A análise do sistema de proteção verificará o provável local da falta, levando-se em conta os dados coletados e de cadastro, como, por exemplo, o nível de curto-circuito na barra de suprimento, a corrente da falta registrado nos relés de proteção e as informações das impedâncias da rede.

Cruzando as informações de todos os relés de proteção e dos demais equipamentos da rede de distribuição temos um cenário completo da falta e, assim, podemos identificar, através da aplicação de algoritmos com regras da análise do sistema de proteção, o provável trecho com problema.

### **4.4. Regras e Procedimentos Operacionais de Manobras na Rede de Distribuição**

Nesta última etapa o sistema estará realizando as manobras na rede de distribuição para o isolamento da falta e normalização da rede.

Com os dados coletados, calculados e analisados, inicia-se, então, a seqüência de manobras de acordo com as regras e procedimentos operativos.

Em cada passo é verificada a conseqüência de cada manobra e comparado com o calculado anteriormente. Caso esteja correto, dá-se continuidade para o próximo passo ou aborta-se a manobra e assim será gerado um alarme de manobra incompleta.

O sistema também contemplará um módulo “cão de guarda” que supervisionará o andamento das manobras desde o início fazendo que a mesma seja abortada se os dados de campo sejam inconsistentes ou o tempo máximo previsto para conclusão se expire. Dessa forma essa operação automática se comportará na prática como um religamento automático, recurso amplamente utilizado e aceito no setor elétrico.

Todas as manobras serão notificadas ao operador que poderá acompanhar e, caso seja necessário, poderá interromper a qualquer momento a seqüência. O operador ainda poderá desabilitar o automatismo e realizar a manobra manualmente, como é feito atualmente.

Todas as manobras serão armazenadas em um banco de dados para um posterior estudo e, caso seja de interesse da operação, revisto em ambiente de treinamento.

No ambiente de treinamento será possível fazer simulações da ocorrência com manobras diferentes e, assim, analisar as suas possíveis conseqüências.

## **5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO**

Agora apresentaremos um exemplo de aplicação de um automatismo em malha fechada na rede de distribuição de energia elétrica.

Trata-se de manobras simples para a isolação do trecho com problema, a transferência do trecho a jusante da falta para um outro alimentador e, após a retirada da causa da falta, a manobra de normalização.

Segue abaixo o diagrama unifilar simplificado de uma rede de distribuição.

## Exemplo do Automatismo

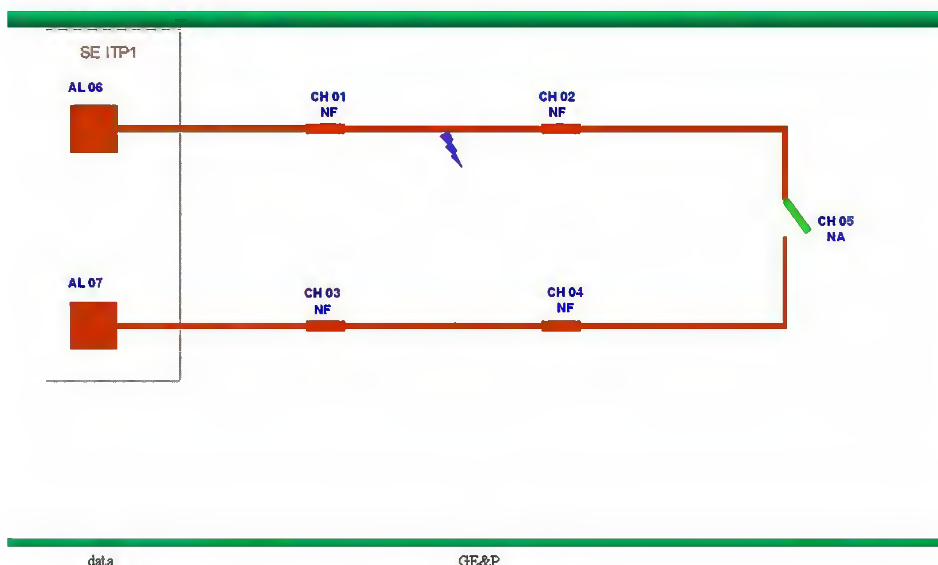


Figura 4 – Diagrama unifilar simplificado de uma rede de distribuição

Seguindo a seqüência definida anteriormente, temos:

### 1 - Informações do Sistema Elétrico de Potência.

Neste exemplo podemos citar os dados construtivos da rede elétrica, dados dos equipamentos e informações sobre os clientes dos alimentadores 6 e 7.

### 2 - Informações de “status” dos Sistemas de Telecomunicações e Computacionais.

É verificado a qualidade das informações fornecidos pelos relés de proteção dos alimentadores 6 e 7, pelos equipamentos que controlam as chaves 1, 2, 3, 4 e 5 e, também, o “status” dos sistemas de telecomunicações e computacionais que irão trabalhar com os dados coletados.

### 3 – Cálculo de Fluxo de Carga e Análise do Sistema de Proteção.

A análise do sistema de proteção começará pela verificação do tipo de falta, ou seja, se é permanente ou não, esperando até o final do ciclo de religamento do disjuntor de saída da subestação.

Com os dados da corrente de falta, do nível de curto-circuito na barra da subestação e a impedância do alimentador 6, o sistema irá calcular a que distância da subestação foi a falta. Cruzando o resultado desse cálculo com as informações das chaves CH1 e CH2 se a falta foi passante ou não, podemos determinar o local da falta.

O sistema agora irá calcular o estado da rede para a transferência das cargas conectadas entre as chaves CH2 e CH5 para o alimentador 7. É verificado o nível de tensão a ser entregue aos clientes e os limites operativos da rede e dos equipamentos envolvidos na manobra.

### 4 - Regras e Procedimentos Operacionais para as Manobras na Rede de Distribuição.

Após checar todas as restrições e limites operativos são iniciadas as manobras:

- Abrir chave CH1;

- Abrir chave CH2;
- Ligar disjuntor de saída do alimentador 6;
- Mudar o set de ajuste do relé de proteção do alimentador 7 para “alcançar” o trecho entre as chaves 2 e 5;
- Bloquear a função RAI (Relé de Alta Impedância) do disjuntor de saída do alimentador 7;
- Fechar a chave CH5;
- Desbloquear a função RAI do disjuntor de saída do alimentador 7.

Quando terminar a retirada da causa da falta no trecho entre as chaves CH1 e CH2, podemos iniciar o automatismo de normalização dos alimentadores 6 e 7, como segue:

- Bloquear a função RAI do disjuntor de saída do alimentador 6;
- Fechar a chave CH1;
- Fechar a chave CH2;
- Mudar o set de ajuste do relé de proteção do alimentador 7;
- Bloquear a função RAI do disjuntor de saída do alimentador 7;
- Abrir a chave CH5;
- Desbloquear a função RAI do disjuntor de saída do alimentador 6;
- Desbloquear a função RAI do disjuntor de saída do alimentador 7.

## 6. CONCLUSÃO

Podemos concluir que, caso todos os passos sejam seguidos corretamente e com muita atenção, poderemos chegar numa ferramenta de grande utilidade operacional.

Procedimentos operacionais repetitivos poderão ser realizados sempre da mesma maneira e no menor tempo possível com qualidade e segurança.

Com a implantação deste sistema a perspectiva é de reduzir em 100 % os erros operativos causado por falha humana e em 30 % os tempos das manobras para isolamento da falta e das manobras de normalização da rede de distribuição, contribuindo para a melhoria dos indicadores de qualidade de energia.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E/OU BIBLIOGRAFIA

Monticelli, A.J. “Fluxo de Carga em Redes de Energia Elétrica”, Editora Edgard Blucher, 1983.

Jardini, J. A. “Sistemas digitais para automação da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica”, Editora FCA, 1996.

Moraes, C.C. e Castrucci, P.L. “Engenharia de Automação Industrial”, Editora LTC, 2001.

Ericsson Telecom AB, “Understanding Telecommunications 1”, Studentlitteratur, 1998

Sato, F. “Proteção de Sistemas de Energia Elétrica”, “Cálculo de Curto-Circuito”, notas de aulas de mestrado, FEEC, Unicamp, 2006 e 2007.

Murari, C. A. F. “Fuzzy Sets em Sistemas de Potência”, notas de aulas de mestrado, FEEC, Unicamp, 2004.



Castro Jr., C. A. “Cálculo de Fluxo de Carga”, “Análise de Alterações em Redes de Energia Elétrica”, notas de aulas de mestrado, FEEC, Unicamp, 2006 e 2007.

Elipse Software, “Manual do Usuário – E3”, Publicação no site [www.elipse.com.br](http://www.elipse.com.br), 2008.

Hokama, W.S., Bernardelli, W.H., Marsulo, J.A., “Sistema de Supervisão e Controle de Baixo Custo: A Experiência da CMS Energy – Brasil”, publicado nos anais do XVII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, SENDI 2006 de Belo Horizonte - MG, 2006.