

## **SISTEMAS DIGITAIS E COMUNICAÇÃO DE DADOS APLICADOS A UM PROCEDIMENTO LABORATORIAL PARA O ENSINO DE PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA**

**Juliano Coelho Miranda** – coelhojm@sel.eesc.usp.br

**Ulisses Chemin Neto** – uchenin@sel.eesc.usp.br

**Denis Vinicius Coury** – coury@sel.eesc.usp.br

**Mário Oleskovicz** – olesk@sel.eesc.usp.br

Universidade de São de Paulo - USP

Escola de Engenharia Elétrica de São Carlos

Laboratório de Sistemas de Energia Elétrica

Av Trabalhador São Carlense, 400, Centro

13.566-590 – São Carlos, SP, Brasil

***Resumo:** Este trabalho apresenta um procedimento laboratorial com o emprego de relés comerciais, na integração de determinados conteúdos de Sistemas Digitais e Comunicação de Dados, através da aplicação de teorias comuns às áreas no ministrar da disciplina de Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, seja na graduação e/ou pós-graduação. Neste contexto, é proposto o desenvolvimento e implementação de uma lógica de controle de Bay para uma configuração com barra simples, disjuntor, chaves seccionadoras de linha e chave seccionadora de terra, vindo a caracterizar ações por comandos local e remoto, quando da possibilidade de certos meios de comunicação de dados. Um número representativo de manobras foi simulado vindo a caracterizar as condições reais de operação. Desta seqüência de situações decorre a constatação da alta confiabilidade da lógica implementada e do atendimento a uma necessidade real no mundo do trabalho do engenheiro, que explora a proteção do Sistema Elétrico de Potência – SEP.*

***Palavras-chave:** Bay, Sistemas Digitais, Comunicação de Dados, Proteção de Sistemas Elétricos de Potência.*

### **1 INTRODUÇÃO**

As tecnologias oriundas dos sistemas digitais e de comunicação de dados, presentes na engenharia dos equipamentos inseridos na proteção dos Sistemas Elétricos de Potência – SEP, quando aplicadas à resolução de problemas reais, dentro do ambiente de ensino produzem enormes benefícios ao aprendizado. Esses benefícios se traduzem em novas formas de ensinar e aprender, principalmente quando os conteúdos envolvem carga informacional predominantemente teórica.

Na primeira década do século XXI os equipamentos de proteção com tecnologia digital sinalizam um novo paradigma para a composição dos sistemas de proteção. Atualmente, é

fato que essa tecnologia convive com suas antecessoras, que por força de sua longa predominância, ainda exercem alguma influência sobre o pensamento, concepção e operação dos sistemas de proteção.

Contudo, tem-se que esses novos equipamentos multifunções, em geral, estão subutilizados, sendo o seu potencial ainda não empregado ou explorado em profundidade, seja nas plantas das concessionárias, ou nos laboratórios dos centros de pesquisa acadêmica.

Considerando o ferramental oferecido pelas novas tecnologias, faz-se necessário superar o paradigma da escola tradicional onde a ênfase é atribuída ao conteúdo informacional teórico e ao papel do professor como fonte principal de transmissão dos conteúdos. Numa abordagem interacionista, é possível oferecer instrumentos para que o processo de aprendizagem ocorra na pesquisa, na investigação e na solução de problemas pelo próprio aluno. Mesmo que por tentativa e erro, este processo valoriza a experimentação, a interação e, conseqüentemente, a construção do conhecimento (MIRANDA *et al.*,2003) .

O presente trabalho, como meio alternativo ao uso de abordagens behaviorista, onde o aluno aprende se, e somente se, o professor possibilitar o ensino, busca caracterizar o uso do conteúdo acadêmico de sistemas digitais e comunicação de dados através da resolução de um problema real, ligado à disciplina de proteção dos sistemas elétricos de potência, em cursos de engenharia elétrica. Este se caracteriza, pelo desenvolvimento e implementação de uma lógica para controle de *Bay* para uma configuração de barra simples, disjuntor, chaves seccionadoras de linha e chave seccionadora de terra, vindo a assinalar ações por comandos local e remoto, quando da possibilidade de certos meios de comunicação de dados.

Visto que o professor deve ser o mediador, e que o aluno só constrói um conhecimento novo se agir e problematizar uma ação, o trabalho possibilita investigar como adaptar, empregar e avaliar a lógica, bem como a sua influência sobre a operação do SEP em questão.

## 2 CONTEXTO DE APLICAÇÃO - SEP

O Sistema Elétrico de Potência – SEP como um todo, em uma representação esquemática e dividida em seus pontos notáveis, pode ser observado na Figura 1.

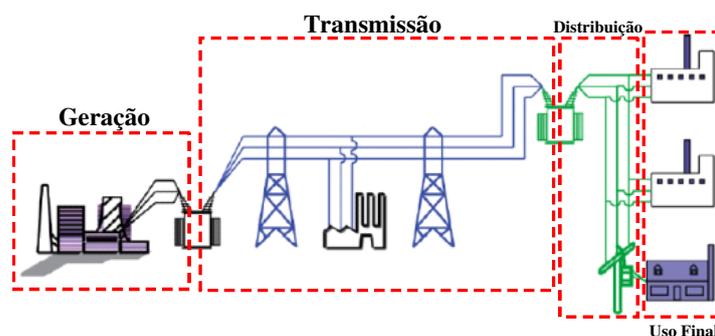


Figura 1 – Representação esquemática do SEP.

Em cada porção do SEP estão presentes esquemas de proteção e controle próprios para enfrentar as contingências que lhe são particulares frente estruturas e desempenho distinto, com um único objetivo, tornar sua operação segura e eficiente.

Como prática, tem-se que os relés digitais possuem grande potencial para resolver alguns dos problemas intrínsecos aos SEPs, seja do ponto de vista das funções de medição, supervisão, controle, análise de eventos, proteção e de comunicação. A composição típica de um relé digital é ilustrada na Figura 2.

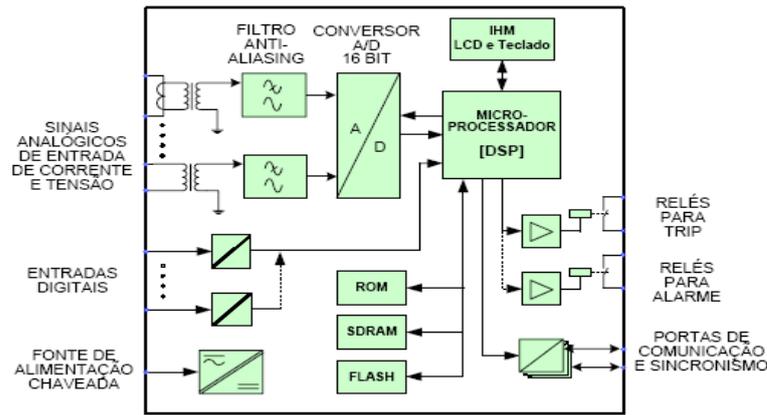


Figura 2 – Composição típica dos relés digitais (BURGARELLI & SENGER, 2006).

Como fato, tem-se que uma das vantagens associadas à utilização da capacidade de controle e automação dos relés digitais está em seu potencial de simplificar a arquitetura construtiva dos painéis que compõem as instalações de potência. Diminuindo os tempos de construção, comissionamento e manutenção, além de agregar maior confiabilidade e flexibilidade ao controle.

Um dos elementos básicos de constituição do SEP é o *Bay*, que pode ser composto por equipamentos para manobra, medição, controle e proteção, associados a uma determinada porção do SEP. A sua natureza pode ser diversa, como *Bay* de linha, de transformação, de acoplamento, entre outros. Este termo é aplicado com maior frequência às subestações de energia elétrica (Figura 3).

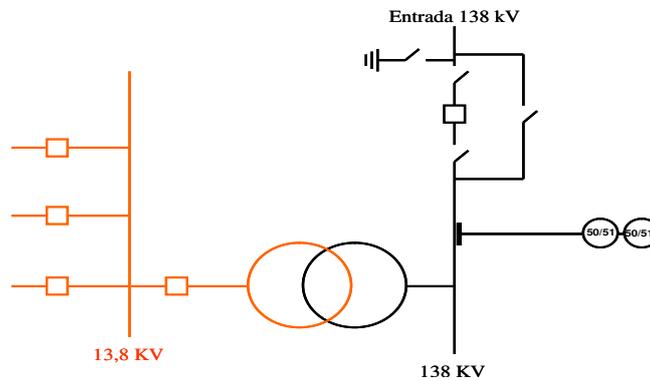


Figura 3 – Exemplo de *Bay*.

Em linhas gerais, os elementos passíveis de manobra que compõem um *Bay* são os disjuntores e as chaves seccionadoras. Logo, antes de elaborar qualquer solução de controle para esses elementos é necessário conhecer seu comportamento do ponto de vista de manobra e supervisão.

O disjuntor é um elemento biestável, ou seja, necessita de duas ações de controle distintas, aplicadas em pontos físicos diferentes, os quais são: a Bobina de Abertura (BA) e a Bobina de Fechamento (BF) para que exista mudança em seu estado final, sendo caracterizado como aberto e/ou fechado. A posição do disjuntor é supervisionada com o uso de seus contatos auxiliares, 52a (tipo concordante) e 52b (tipo discordante) (COLOMBO, 1986). O que foi dito sobre o comportamento de manobra e supervisão do disjuntor é válido para as chaves seccionadoras, com a mudança apenas em seu número de operação, (89a e 89b).

Além desse conhecimento sobre a quantidade e natureza das ações de controle é importante também saber em que condições esses equipamentos podem ser manobrados.

A norma IEC-50 (1984) “*International Electrotechnical Vocabulary*” capítulo 441 – “*Switchgear, Controlgear and Fuses*”, define os disjuntores de alta tensão da seguinte forma: “Um dispositivo mecânico de manobra, capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes nas condições normais de circuito, assim como estabelecer, conduzir durante um tempo especificado e interromper correntes sob condições anormais especificadas do circuito, tais como as de curto-circuito”. Então, pelo exposto, um disjuntor pode ser operado em qualquer condição de corrente do circuito ao qual pertence.

As chaves seccionadoras são equipamentos com a função de modificar a topologia do SEP e assim o caminho de circulação do fluxo de potência. Asseguram, ainda, na posição aberta, uma distância de isolamento que satisfaz os requisitos de segurança especificados (INSTALAÇÕES ELÉTRICAS II, 2006). Essa é uma característica bastante relevante para confirmar a interrupção elétrica de um circuito, de forma visual, como por exemplo, para o isolamento de um disjuntor para manutenção, pois é de conhecimento que um disjuntor fornece apenas indicação indireta do seu estado.

Em oposição ao comportamento do disjuntor frente as possíveis condições de corrente que por ele circulam, pode-se dizer que as chaves seccionadoras possuem uma capacidade de interrupção de corrente praticamente nula, logo sua operação só pode ser realizada sem corrente de carga.

De posse desse conhecimento acerca da operação das chaves seccionadoras e disjuntor, é possível estabelecer, em conjunto com uma sequência de manobras pré-definidas pela equipe de operação do SEP, os intertravamentos entre os equipamentos de um *Bay*. Vale lembrar que os intertravamentos podem ser definidos como interconexões elétricas e/ou lógicas entre os equipamentos da subestação e que possuem como finalidade estabelecer ações de comando permissíveis.

### 3 CASO EM ESTUDO

Manter o interesse e a atenção dos alunos, nem sempre é fácil, pois o conhecimento não é uma qualidade estática, mas uma relação dinâmica. Na engenharia a aprendizagem, por excelência, necessita da construção do conhecimento-ação e tomada de consciência do ambiente onde se inseri as teorias.

Na busca por criar aulas vivas, interligando os conteúdos de sistemas digitais e comunicação de dados, no entorno da disciplina de proteção dos sistemas elétricos de potência, foi escolhido um *Bay* composto por um disjuntor (DJ1), duas chaves seccionadoras de linha (CS1 e CS2) e uma chave seccionadora de aterramento (LT), conforme ilustra Figura 4.

Conhecido o objeto em estudo, dentro desta pedagogia relacional, onde o professor traz a sua bagagem e o aluno também traz a sua para serem compartilhadas, passou-se a caracterizá-lo do ponto de vista de manobra. A preocupação neste ponto é a de conhecer como, em campo, os intertravamentos são compostos. De forma resumida pode-se dizer que:

- A chave de aterramento LT só pode ser fechada com o disjuntor DJ1 aberto e ambas as chaves seccionadoras CS1 e CS2 de linha abertas.
- As chaves CS1 e CS2 só podem ser abertas com o disjuntor DJ1 aberto.
- As chaves CS1 e CS2 só podem ser fechadas com a chave de aterramento LT aberta.
- O disjuntor DJ1 só pode ser fechado com as chaves seccionadoras de linha CS1 e CS2 fechadas.

- Os estados dos demais equipamentos do *Bay* não possuem qualquer influência sobre a abertura do disjuntor. A proteção é majoritária nesse quesito.

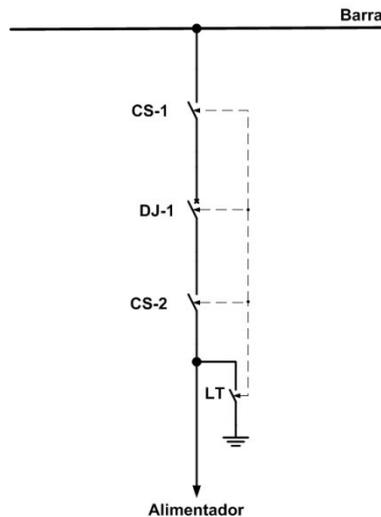


Figura 4 – *Bay* em estudo.

Além dos intertravamentos foi estabelecida a seqüência de manobras para energização e deserenergização total, resumidas da seguinte maneira:

- Energização total: abrir LT, fechar CS2, fechar CS1, fechar DJ1, entregar o *Bay* para operação.
- Deserenergização total: abrir DJ1, abrir CS1, abrir CS2, fechar LT, entregar o *Bay* para manutenção.

Concluída esta etapa, passou-se a implementação da lógica do controle e intertravamento.

#### 4 USO DOS ELEMENTOS DE SISTEMAS DIGITAIS E COMUNICAÇÃO DE DADOS NA DISCIPLINA DE PROTEÇÃO EM SEP

É necessário que o conteúdo da disciplina de Proteção em Sistemas Elétricos de Potência, que nos últimos anos é ministrada sobre a mais recente tecnologia usada para produção de relés de proteção, reúna os conhecimentos e as informações necessárias e pertinentes à formação do profissional e o atendimento a necessidades sociais e/ou do mundo do trabalho, seja ao nível de graduação ou ao de pós-graduação.

Para atender a essa necessidade é adequado expor o estudante a uma variada gama de situações controladas que ele possa vir a enfrentar em seu futuro exercício profissional. Seja no desenvolvimento de algoritmos para a proteção de sistemas elétricos, simulação de fenômenos faltosos, cálculo de ajustes das funções de proteção, especificação, construção e ensaio de sistemas de proteção.

Os conteúdos significativos destas áreas são originados em disciplinas específicas, da engenharia como: Sistemas Digitais, Comunicação de Dados e/ou Redes de Computadores, entre outras.

Dentre os conhecimentos em sistemas digitais necessários, podemos citar os elementos de programação *and*, *or*, *not*, *flip-flops* e *timers*. Em comunicação de dados podemos especificar os possíveis canais de comunicação como Linhas Privativas de Comunicação de Dados (LPCD), Fibra Óptica, Rádio Enlace entre outros, os possíveis modos, tipos e ritmos de transmissão (como *Duplex*, *Serial* e *Síncrono*). Além da tecnologia *Ethernet* para conexão de pontos distantes em rede, e dos protocolos de comunicação.

Na busca por explicitar o estudo de caso com alto nível de detalhes, sobre a ótica destas disciplinas, será suprimido o tópico de desenvolvimento destas teorias. Para um estudo mais aprofundado consultar ARAÚJO *et al.*(2005), SOUZA(2002), MIRANDA *et al.*(2003), TOCCI & WIDMER(2003) e SILVEIRA & SANTOS(1998).

## 5 IMPLEMENTAÇÃO DA LÓGICA DE CONTROLE E INTERTRAVAMENTO UTILIZANDO DOS ELEMENTOS DE SISTEMAS DIGITAIS

A lógica advinda dos sistemas digitais para comando do disjuntor DJ1 foi implementada de acordo com a Figura 5. Com o intuito de garantir uma operação local, via uma eficaz interface homem máquina (IHM) e à prova de ações intempestivas, foi inserida uma condição de segurança, a qual prevê que o operador precisa pressionar o botão de controle PB1 por 3 segundos. Esse pré-requisito será estendido para os demais equipamentos. Além dessa conduta, foi definida outra característica de comportamento para o botão de controle, que é ser capaz de executar ambos os comandos, ligar e desligar o disjuntor, fazendo uso eficiente dos botões disponíveis para controle que o equipamento possui.

A lógica elaborada contempla também o comprimento do pulso aplicado às bobinas de abertura e/ou fechamento do disjuntor, sendo definido pelo programador no momento de criação da lógica. Para esta implementação foi considerado um comprimento de pulso igual a 1 segundo.

O estado do disjuntor, aberto ou fechado, também fora contemplado e monitorado na lógica desenvolvida. Além da função de sinalização, essa supervisão funciona como um circuito anti-bombeamento. Por fim, o estado fechado das chaves seccionadoras é monitorado, o qual estabelece o intertravamento entre as mesmas e o disjuntor.

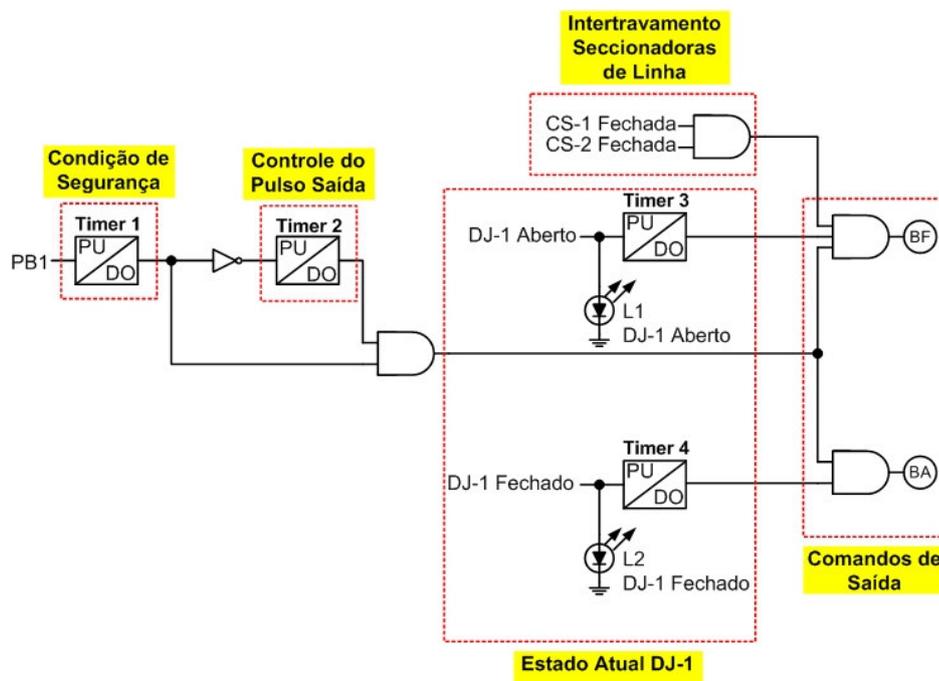


Figura 5 – Comando, intertravamento e supervisão para o disjuntor DJ1.

A lógica de controle, supervisão e intertravamento para CS1 e CS2, podem ser vistas nas Figuras 6 e 7. O comportamento global é similar aquele desenvolvido para o controle e

supervisão do disjuntor DJ1. A sensibilidade da mudança está restrita as condições de intertravamento, as quais já foram descritas no início deste parágrafo.

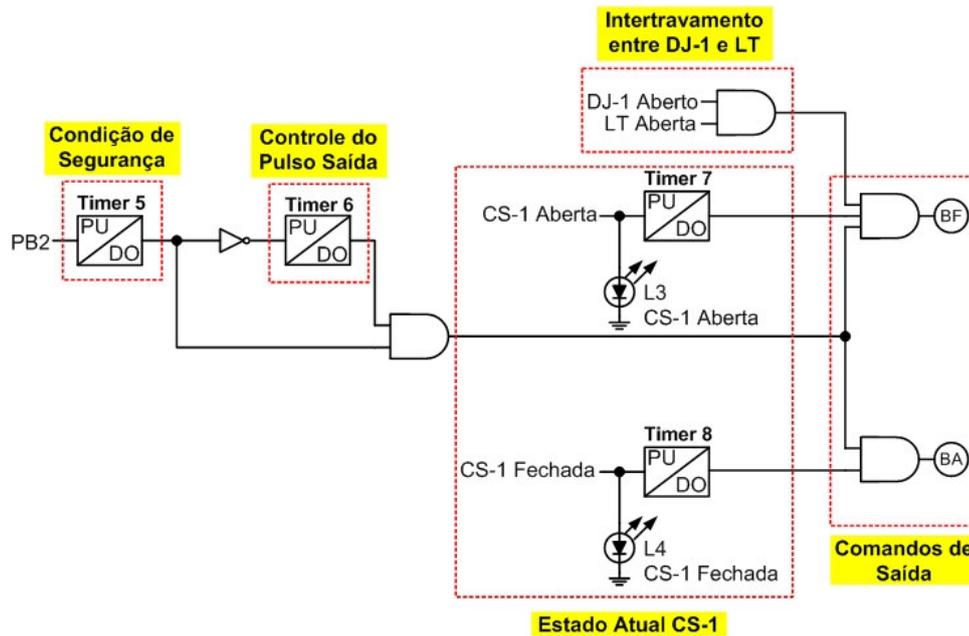


Figura 6 – Comando, intertravamento e supervisão para a chave CS1.

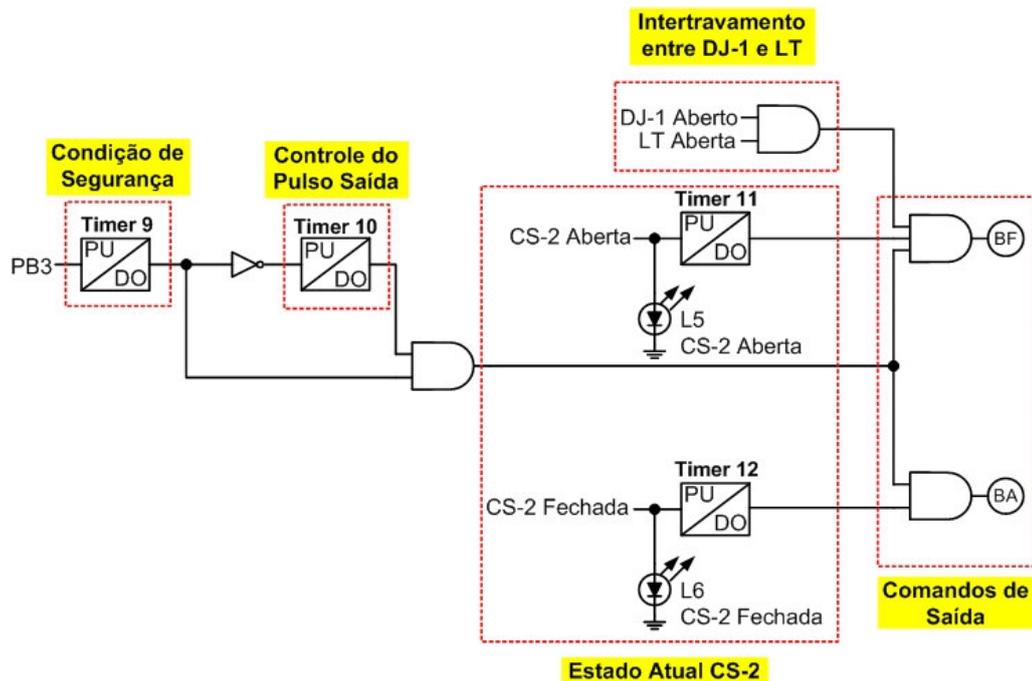


Figura 7 – Comando, intertravamento e supervisão para a chave CS2.

A lógica de controle, supervisão e intertravamento para a chave LT, podem ser observadas na Figura 8. O comportamento global é similar aquele desenvolvido para o controle e supervisão do disjuntor DJ1 e chaves seccionadoras de linha CS1 e CS2. A diferença das apresentadas está restrita as condições de intertravamento, descritas no início deste parágrafo.

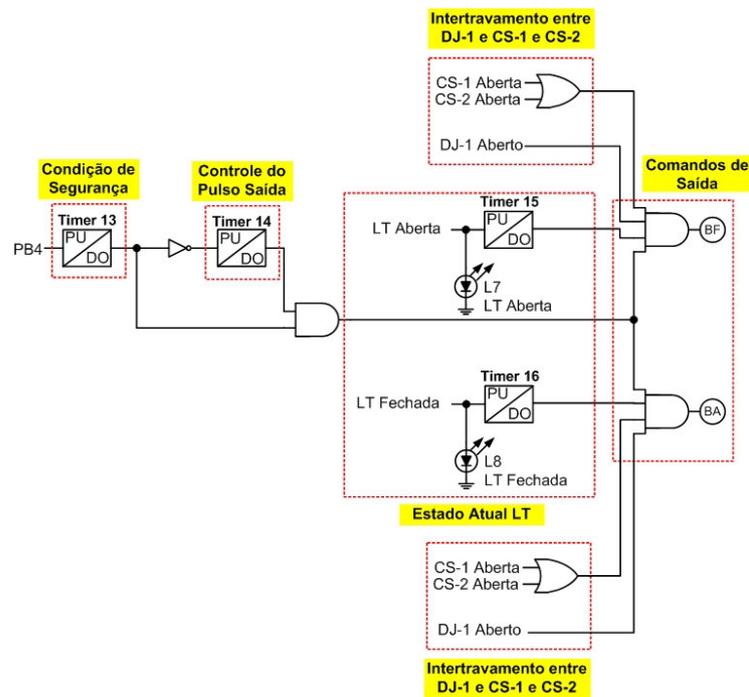


Figura 8 – Comando, intertravamento e supervisão para a chave LT.

O desenvolver do estudo acima, deve ser executado dentro da pedagogia relacional, onde o professor deixa de ser a figura autoritária típica das concepções associacionistas; deixa de ser também aquele mero facilitador da aprendizagem, expropriado do saber (MASSETO, 2003). Na verdade, o professor, deve passar para uma postura de mediador desta prática, da relação sujeito-objeto, ajudando o aluno da engenharia a refletir sobre o observado. Como por exemplo, no uso do estudo de caso explicitado, na organização de uma atividade desafiadora e estimulante, dentro do contexto real aplicado ao controle de um *Bay* em subestações de energia elétrica.

## 6 O ENSAIO REALIZADO

Para o caso em estudo, é inicialmente proposta a montagem ilustrada na Figura 9, que se assemelha ao que é feito em uma instalação real.

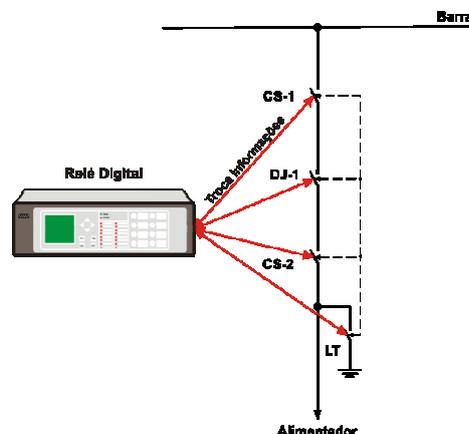


Figura 9 – Montagem inicial do ensaio.

Como este trabalho foi, e poderá ser desenvolvido em um ambiente laboratorial, os equipamentos de pátio, disjuntor e chaves seccionadoras, normalmente não estão disponíveis para receber os comandos de abertura e/ou fechamento e fornecer informações sobre seu estado, aberto ou fechado. Uma solução encontrada foi utilizar um segundo relé digital para simular o *Bay* em estudo, demandando para isso na capacidade de comunicação e programação. A Figura 10 ilustra a montagem do ensaio caracterizada.

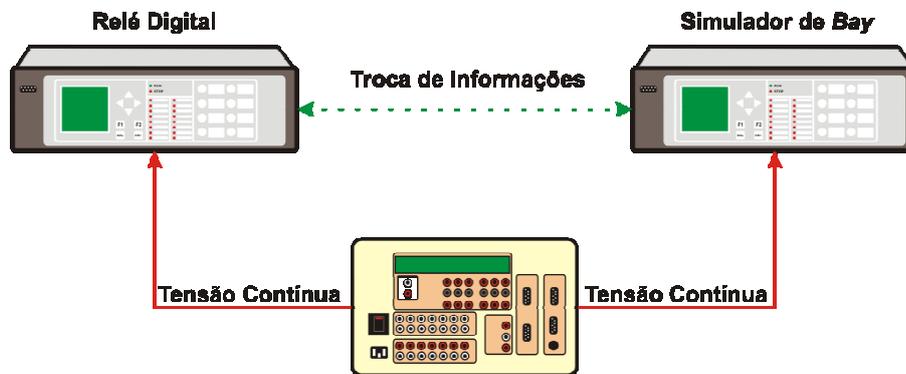


Figura 10 – Montagem do ensaio implementado.

Com o conhecimento sobre o comportamento biestável e da forma pelas quais os equipamentos a serem manobrados, disjuntor e chaves seccionadoras, fornecem indicação a respeito do seu estado atual, aberto ou fechado, pode-se compor a programação de simulação dos mesmos, a qual está exemplificada a seguir para o disjuntor DJ1 (Figura 11).

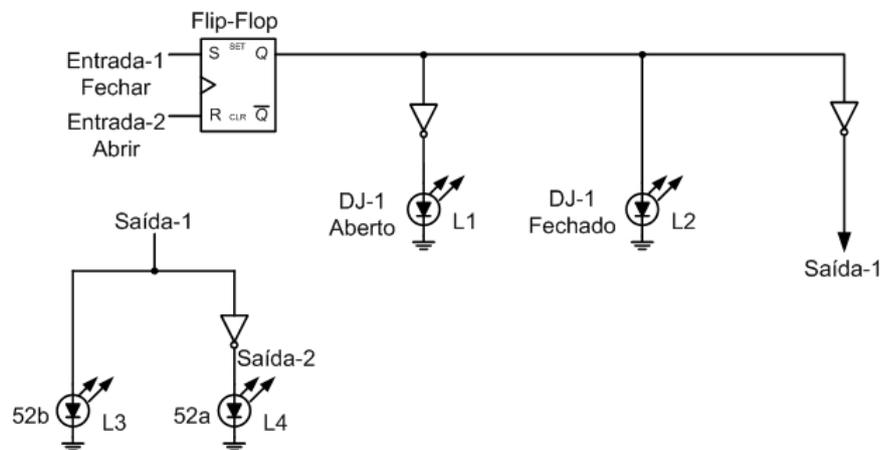


Figura 11 – Simulação do comportamento biestável do disjuntor.

Desta etapa, o foco passa a ser as conexões para a troca de informações entre o simulador de *bay* e o relé digital que possui as instruções de controle, tornando toda a implementação verossímil. A Figura 12 ilustra as conexões elétricas a serem realizadas.

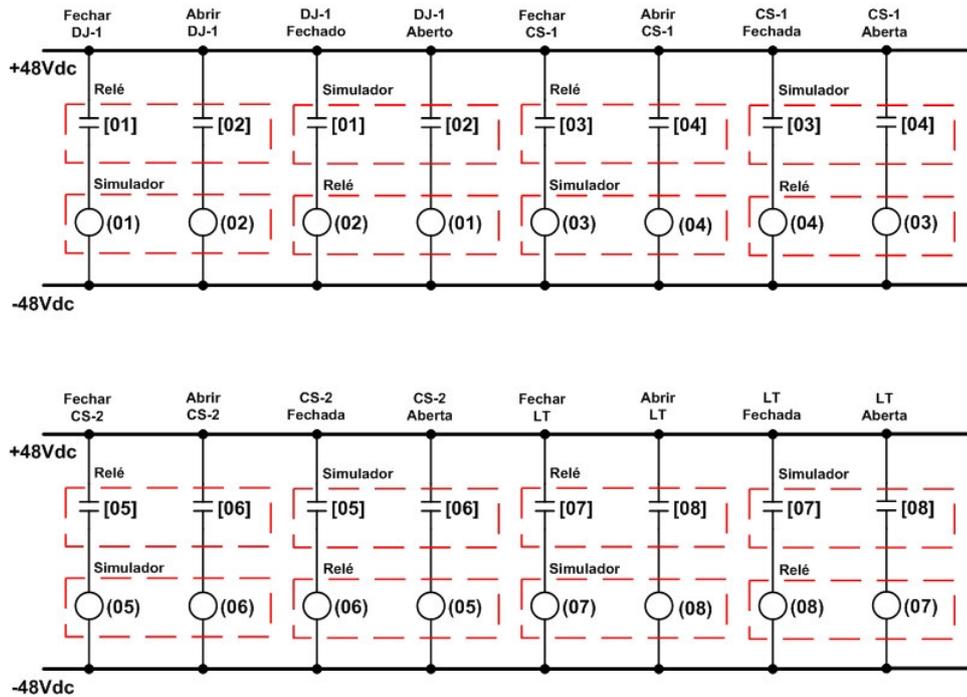


Figura 12 – Fiação elétrica entre o simulador e as funções de comando.

## 6.1 Testes – Comando Local

O objetivo dos testes realizados são o de verificar a eficácia das ações de controle local (via IHM), intertravamentos e supervisões desenvolvidas.

Tomando como exemplo as manobras de abertura e fechamento para a chave seccionadora 1 (CS1), evidenciada na Tabela I, a análise da lógica desenvolvida (Figura 13) pode ser descrita como a seguir.

Primeiramente, têm-se os equipamentos do bay desconectados, iniciando a seqüência de manobras pelo comando de fechamento da CS1. O timer 6, inicialmente recebe nível lógico 1 e mantém a sua saída em 1. Quando o botão PB2 for pressionado durante 3 segundos, acionando o timer 5, este levará a entrada do timer 6 para nível lógico 0. Porém, devido à configuração dos tempos de *pickup* e *dropout*, tem-se nas duas entradas da porta *And-1*, nível lógico 1, durante um segundo. O valor de saída é inserido nas portas *And-2* e *And-3*. A porta *And-2* possui como entrada outras variáveis, como o estado do DJ1, da LT e da própria CS1. Estas estão em nível lógico 1, indicando que o DJ1, a LT e a CS1 estão abertas.

Os estados de entrada da porta *And-2* (saída de *And-1*, DJ1, LT e CS1), elevam sua saída para 1, acionando a Bobina de Fechamento (BF).

A dependência da porta *And-2* de variáveis advindas do DJ1 e da LT, garantem o intertravamento, ou seja, a manobra na bobina de fechamento da CS1 será acionada, caso DJ1 e LT estejam abertos. As manobras na CS2, DJ e LT seguem o mesmo padrão estabelecido, de acordo com os intertravamentos mencionados.

A manobra de abertura da CS1 é executada por um novo pressionar de PB2, que neste segundo momento, garantirá nível lógico 1 para porta *And-3*, junto às variáveis advindas do DJ1 e CS1-acionada. Caso o DJ1 esteja aberto, garantindo nível lógico 1, a bobina de abertura da CS1 será acionada.

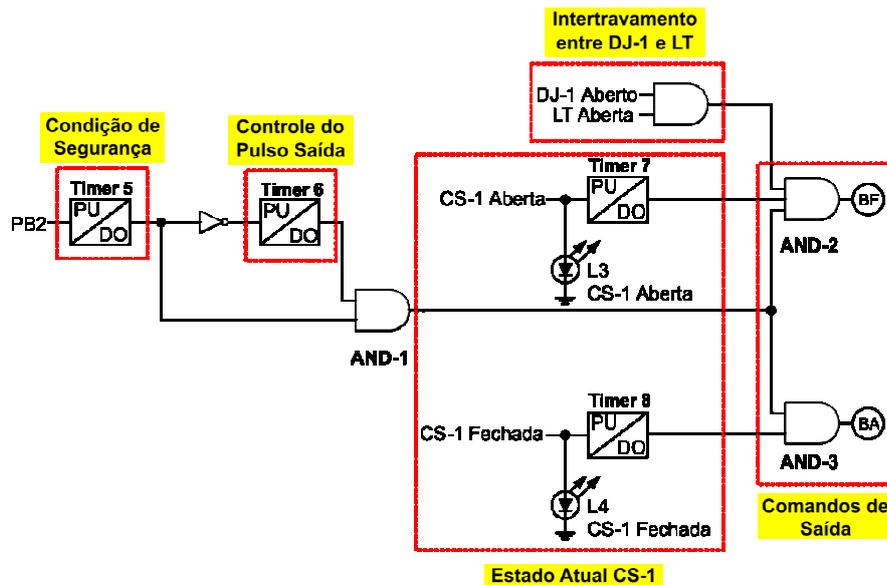


Figura 13 – Lógica de comando, intertravamento e supervisão para a CS1.

Tabela 1 – Manobras Efetuadas.

TIPO DE MANOBRA	RESULTADO
Comando CS1	Êxito
Comando CS2	Êxito
Comando DJ1	Êxito
Comando LT	Êxito
Intertravamento LT	Êxito
Intertravamento CS1	Êxito
Intertravamento CS2	Êxito
Intertravamento DJ1	Êxito
Energização total	Êxito
Desenergização total	Êxito

Desta seqüência de testes conta-se a eficácia e a segurança propiciada pela lógica implementada, e que podem evidenciar ao aluno as teorias da álgebra booleana.

## 7 ENLACES PARA A COMUNICAÇÃO DE DADOS

As lógicas para comando de abertura e fechamento, além de executadas localmente pelo IHM do relé, podem ser realizadas de forma remota sobre enlaces de comunicação de dados. As concessionárias de energia elétrica adotam entre suas instalações e centros de operação, enlaces típicos como a linha discada, a linha privativa de comunicação de dados (LPCD) e as redes *Ethernet*.

Como os comandos não são em tempo real, ou seja, pode existir um atraso de tempo entre a requisição e a efetivação dos mesmos, em uma escala de segundos, as arquiteturas supracitadas podem ser utilizadas no caso em estudo, além de propiciar a interdisciplinaridade composta para o caso em estudo, ao utilizar conteúdos de sistema digitais, comunicação e proteção para caracterizar e solucionar um determinado problema.

Inicialmente o professor pode evidenciar um acesso discado, via par metálico da concessionária de telefonia, interligando dois equipamentos de comunicação de dados (ECD – modem), num ritmo de transmissão assíncrono e velocidade de 9600bps (Figura 14).

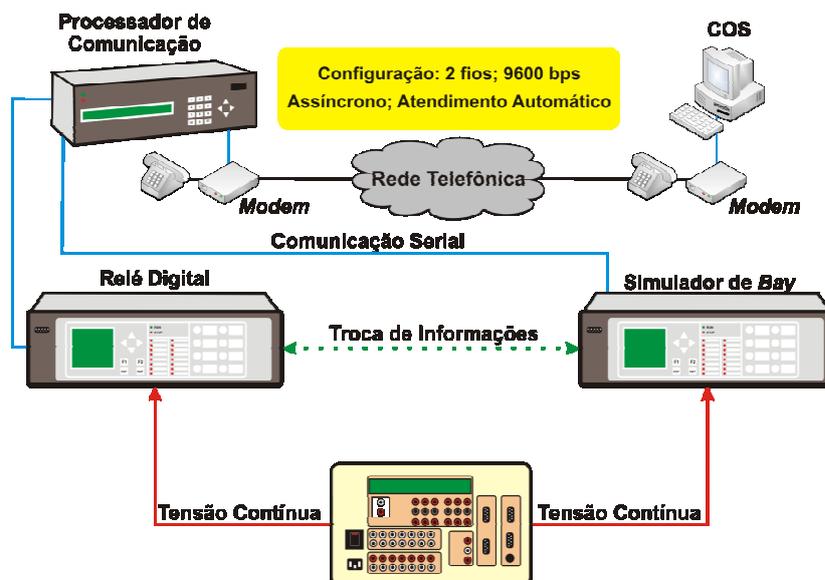


Figura 14 - Enlace para acesso remoto em linha discada.

Os ECDs podem conectar via interface digital (recomendação V.24), um microcomputador simulando o Centro de Operação do Sistema (COS) e o processador de comunicação, cujo papel é agregar os diversos equipamentos com possibilidade de comunicação existentes na instalação do Bay em estudo.

Em seguida, pode-se conceber a ampliação da lógica para contemplar o acesso remoto, através da inserção de uma porta *OR*, conectando a saída do primeiro *timer* e a recepção do comando remoto. Na Figura 15, esta situação é exemplificada para o comando do disjuntor DJ1. O funcionamento da lógica é o mesmo como descrito anteriormente.

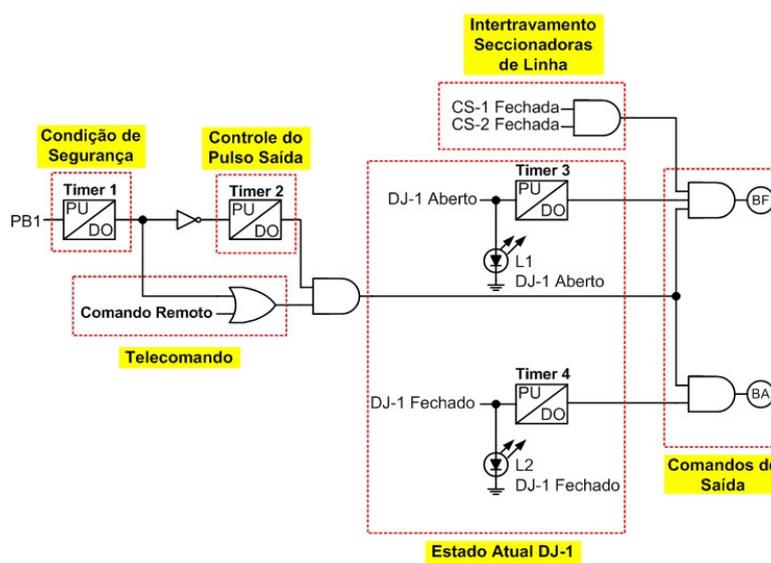


Figura 15 – Ampliação da lógica para comando remoto de DJ1.

Como o uso da central telefônica (que pode ser caracterizada por um *Private Automatic Branch Exchange - PABX*) impõe um maior número de conexões físicas e manuseio constante por parte das equipes técnicas dentro do distribuidor geral (DG) da concessionária de telecomunicações, pode incorrer com maior frequência à desconexão do sistema.

Visando minimizar estes problemas, os testes em laboratório podem lançar mão de uma linha privativa de comunicação de dados (LPCD). Apesar da utilização de armários, caixas de distribuição e DGs como na linha discada, esta não transpassa pela central telefônica, além de utilizar identificações distintas que informam as equipes técnicas sobre a existência de um serviço especial, tornando-a menos susceptível aos problemas descritos anteriormente.

A configuração dos ECDs são similares a anterior com a interligação a um par metálico, ritmo de transmissão assíncrono e velocidade de 9600bps (Figura 16). A lógica de acesso remoto também é como anteriormente apresentada (Figura 15). A velocidade e interface digital podem ser alteradas de acordo com os equipamentos disponíveis.

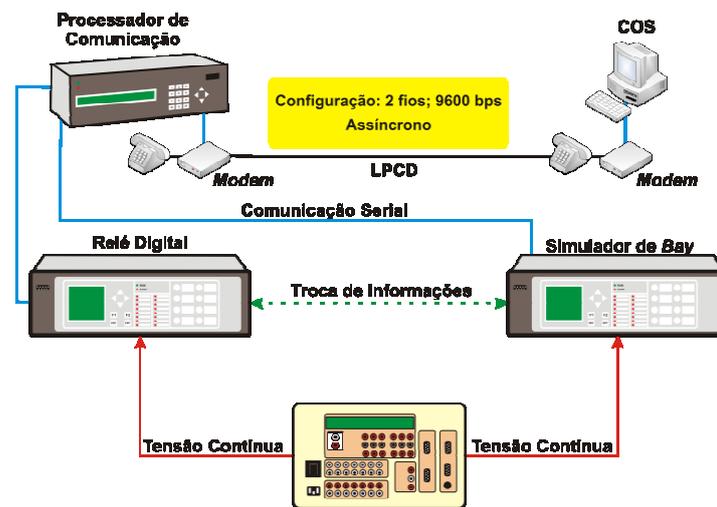


Figura 16 - Enlace para acesso remoto em linha dedicada.

De acordo com as novas tecnologias de informação, a rede *Ethernet* pode ser aplicada nas subestações, como mídia capaz de interligar equipamentos eletrônicos, seja na transmissão de dados, voz ou imagem.

No caso em estudo, é interessante o desenvolvimento de uma interligação através de uma Rede Local (LAN), utilizando cabeamento par trançado UTP, uma *switch* 10/100Mbps e endereçamento lógico, conforme ilustra a Figura 17. Cabe comentar que a lógica de acesso remoto segue a descrição anterior.

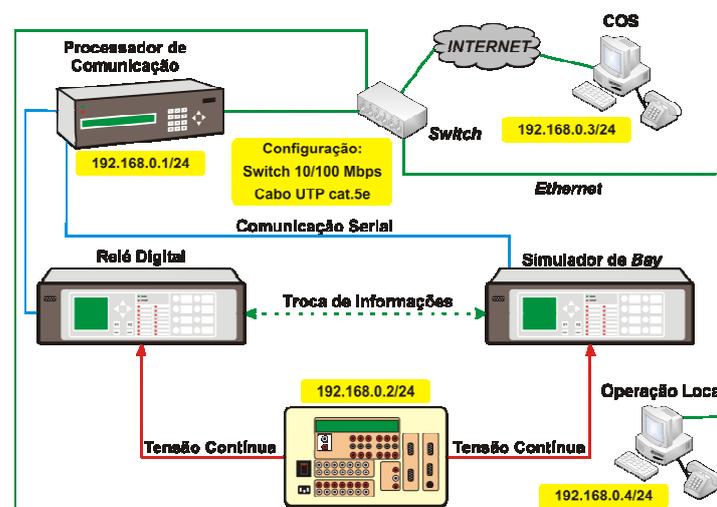


Figura 17 - Enlace para acesso remoto em rede *Ethernet*.

## 7.1 Testes – Comando Remoto

O objetivo dos testes é verificar a eficácia das ações de controle remoto, intertravamentos e supervisões desenvolvidas através dos enlaces apresentados. Para isso podem ser executadas as mesmas manobras contidas e já comentadas na Tabela 1. Os comandos remotos são requisitados via os enlaces de comunicação mencionados anteriormente e somente sob este aspecto modificam a seqüência de execução das lógicas de controle desenvolvidas.

Cada enlace mencionado possui características próprias em relação a desempenho, segurança e confiabilidade, contudo, para todos estes, e em 100% dos casos evidenciados na Tabela 1, houve correta recepção dos comandos e conseqüente execução das lógicas, para cada situação.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avaliando os aspectos relacionados ao estudo de caso como ferramenta didática, verifica-se que este pode ser um instrumento para a construção de conhecimento, desde que entendido como parte de uma prática pedagógica coerente com sua proposta. A utilização desse tipo de recurso, desvinculada de planejamento e da orientação de um professor descaracteriza sua finalidade educacional.

Vale comentar que tal abordagem foi utilizada experimentalmente por alunos do curso de graduação e pós-graduação em Engenharia Elétrica, na Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, no segundo semestre de 2006. Esta experimentação ocorreu durante a disciplina de Proteção dos Sistemas Elétricos de Potência, utilizando das ferramentas disponibilizadas no Laboratório de Sistema de Energia Elétrica - LSEE. A grande maioria dos alunos considerou a ferramenta capaz de contribuir para uma aprendizagem mais prazerosa do tema.

Como o comportamento dos Controladores Lógicos Programáveis (PLC) está presente nos modernos relés digitais, denotando a capacidade de controle, automação e comunicação de dados, percebe-se nestes um meio atrativo de composição de esquemas de controle e supervisão de estado para equipamentos manobráveis, enriquecendo os exemplos ministrados em aula, com o uso deste nos laboratórios de pesquisa.

Esses equipamentos representam o atual estado da arte para os sistemas de proteção, no que tange a utilização de lógicas digitais e sistema de comunicação de dados, imprimindo alta confiabilidade às soluções demandadas pelo SEP, como por exemplo, no controle de *Bay*.

Analisando os resultados obtidos, nos testes de aplicação da lógica, conforme a Tabelas 1, percebe-se a estabilidade e eficiência das mesmas, que refletem no ambiente laboratorial, as mesmas demandas solicitadas por um *Bay* real.

Sendo visível a necessidade de melhoria de qualidade no ensino de graduação e pós-graduação, a pedagogia relacional surge como alternativa capaz de modificar o clima em sala de aula, transformando as propostas curriculares, a prática metodológica e a relação professor/aluno induzindo a formação de um engenheiro ativo e interativo em seu processo de educação.

## 9 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Sistemas de Energia Elétrica (LSEE) e ao Departamento de Engenharia Elétrica (SEL) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP), pelas facilidades proporcionadas quando do desenvolvimento deste trabalho.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, C. A. S, et. al. **Proteção de Sistemas Elétricos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.
- BURGARELLI, R. e SENGER, E. C. O. Processamento Digital de Sinais Aplicado na Proteção de Motores Trifásicos Industriais. In: **Conferencia de Aplicações Industriais - INDUSCON 2006**. IEEE/UFPE. Recife, 2006.
- COLOMBO, R. **Disjuntores de Alta Tensão**. São Paulo: Nobel, 1986.
- INSTALAÇÕES ELÉTRICAS II – PEA2403**.  
<http://www.pea.usp.br/ext/pea2403/Grupo%2011%20%20Seccionadoras/Tipos.htm>. [Acesso em 23 out. 2006].
- MASETTO, M. T. **Competência Pedagógica do Professor Universitário**. São Paulo: Summus, 2003.
- MIRANDA, J. C.; XIMENES, R. X.; SANT`ANA, T. D. SIFACES. Simulador de Interfaces para Comunicação de Dados. In: **XXXI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - COBENGE 2003**. Rio de Janeiro, 2003.
- SILVEIRA, P. R.; SANTOS, W. E. **Automação e Controle Discreto**. São Paulo: Érica, 1998.
- SOUZA, L. B. **Redes de Computadores**. São Paulo: Érica 2002.
- TOCCI, R. J.; WIDMER, N. S. **Sistemas Digitais: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

### **DIGITAL SYSTEMS AND DATA COMMUNICATION APPLIED TO A LABORATORIAL PROCEDURE FOR POWER SYSTEM PROTECTION TEACHING**

**Abstract:** *This paper presents a laboratorial procedure with the use of commercial protective relays for the integration of specific topics of digital systems and data communication. This procedure utilizes the interactionist theory when teaching Protection of Electrical Power Systems, in both, undergraduate and graduate courses. In this context, it is considered the development and implementation of a logic bay control, configured with a single busbar, a circuit breaker, line and ground switchgears, characterizing local and remote action for commands, when communication media is present. A representative number of tests were simulated to characterize actual operation conditions. This sequence of procedures present high reliability for the logic implemented and it represents a real need in the protection engineering world.*

**Key-words:** *Bay, Digital Systems, Data Communication, Power system protection.*