

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA – CPDEE

**PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS: UMA  
ABORDAGEM TÉCNICO-PEDAGÓGICA**

Autora: Kelly Regina Cotosck  
Orientador: Prof. Clever Sebastião Pereira Filho

**KELLY REGINA COTOSCK**

**PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS: UMA  
ABORDAGEM TÉCNICO-PEDAGÓGICA**

**Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Minas Gerais  
como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Mestre**

**Belo Horizonte  
2007**

## Dedicatória

***Muitas de vocês não sabem, mas são para mim, exemplos de profissionalismo, dedicação, competência, educação, mãe, carinho, partilha, união, docilidade, amizade, companheirismo, fé, esperança, paz, luta...***

***...enfim, exemplo de MULHER!***

***Obrigada a cada uma:***

Ana Maria Ribeiro (mãe, você é tudo de bom!), Maria Aparecida Ribeiro, Diná Ribeiro, Vanda Cotosck, Vilma Cotosck, Eva Duarte, Maria Helena Bicalho, Rosani Krein, Tânia Ambrizi, Zélia Peixoto, Flávia Magalhães, Maria Fátima Aramuni, Maria Regina Aramuni, Cléia Cavalcante, Cláudia Tavares, Flaviana Dutra, Rebeca Rohlf, Erika Paiva, Vanda Lara, Verônica Lara, Laura Fernandes, Lourdinha Fernandes, Andréa Sales Rodrigues, Anete Vieira, Denise Matosinhos, Viviane Ferreira, Mércia Ayres, Magali Ayres, Iacy Ayres, Regina dos Santos, Renata Batista e Karina Lobo.

## Agradecimentos

A Deus, pelas inúmeras chances;

Ao meu filho Lucas Cotosck Lara, meu pequeno-grande pesquisador e cientista, pela força, alegria e inspiração;

Ao professor Clever Sebastião Pereira Filho, pela orientação e amizade;

Aos professores Dilmar Malheiros Meira, Fernando Villamarim, Flávio Maurício de Souza, Francisco Garcia, Gustavo Fernandes, José Augusto Leão, Márcio José da Silva, Martinho Henrique Novaes Murta, Moacir de Souza e Telmo de Oliveira Zenha, pelas oportunidades de trabalho e aprendizagem;

Aos meus colegas que participaram dos questionários.

## Resumo

Este trabalho apresenta um estudo sobre o ensino da disciplina de Proteção de Sistemas Elétricos nos cursos de Engenharia Elétrica das instituições de ensino superior (IES), e uma análise da adequação do ensino às necessidades profissionais dos engenheiros de proteção. O estudo envolveu o levantamento dos planos de ensino de sete instituições e questionários com treze profissionais da área de proteção elétrica. A partir dos dados coletados nas instituições de ensino, foi feita uma análise qualitativa envolvendo: carga-horária, pré-requisitos, metodologia didática, ementa e bibliografia. Também foram levantadas as necessidades relacionadas ao exercício das atividades profissionais dos sujeitos da pesquisa. Finalmente, a partir do cotejamento da perspectiva acadêmica com a perspectiva profissional, foi elaborada uma proposta de ensino para a disciplina de proteção de sistemas elétricos nos cursos de graduação em Engenharia Elétrica.

## Abstract

This work presents a study on teaching the discipline *Protection of Electric Systems* in the Electric Engineering courses of some Brazilian higher education institutions. The dissertation also includes an analysis of the fitness of the teaching process to the protection engineers' professional needs. The study involved a research on the syllabuses of seven institutions, as well as interviews with thirteen working professionals of the electric protection area. Taking as a starting point the data collected in the teaching institutions, a qualitative analysis was made, involving: course credits, prerequisites, teaching methodology, summary and bibliography. It were also collected the main requirements of the interviewees' professional activities. Finally, by confronting the academic perspective with the professional perspective, a teaching proposal was elaborated for the discipline *Protection of Electric Systems* of the Brazilian undergraduate Electric Engineering courses.

# Sumário

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
1.1 ETAPAS DE ELABORAÇÃO DO TRABALHO .....	9
1.2 METODOLOGIA.....	11
1.2.1 <i>Pesquisa às IES</i> .....	11
1.2.2 <i>Pesquisa com os profissionais da área de proteção dos sistemas elétricos</i> .....	11
<b>CAPÍTULO 2 – EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA</b>	<b>13</b>
2.1 ANÁLISE DO MÉTODO TUTORIAL OXFORDIANO .....	13
2.2 ATIVIDADES EM GRUPO E PROJETOS .....	15
2.3 TEORIA E PRÁTICA NO CURSO DE ENGENHARIA .....	16
2.4 A FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO-PROFESSOR .....	19
2.5 INTERDISCIPLINARIDADE NOS CURSOS DE ENGENHARIA .....	22
2.6 O USO DE RECURSOS COMPUTACIONAIS .....	23
2.7 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM E NA FORMAÇÃO PROFISSIONAL .....	25
2.8 RESUMO .....	26
<b>CAPÍTULO 3 – PROTEÇÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS</b>	<b>27</b>
3.1 FILOSOFIA DA PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS .....	28
3.1.1 <i>Princípios fundamentais da proteção</i> .....	29
3.1.2 <i>Definições usadas na proteção de sistemas</i> .....	29
3.2 PRINCÍPIOS E CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO DE RELÉS.....	31
3.2.1 <i>Tipos de Relés</i> .....	32
3.2.2 <i>Relés Eletromecânicos</i> .....	35
3.2.3 <i>Relés Estáticos</i> .....	37
3.2.4 <i>Relés Digitais</i> .....	38
3.3 DISJUNTORES .....	42
3.4 TRANSFORMADORES DE CORRENTE (TC) E TRANSFORMADORES DE TENSÃO (TP).....	42
3.4.1 <i>Transformadores de corrente (TC)</i> .....	43
3.4.1.1 <i>Precisão dos TC</i> .....	44
3.4.2 <i>Transformadores de Potencial (TP)</i> .....	44
3.5 PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS – MÁQUINAS ROTATIVAS E TRANSFORMADORES.....	45
3.5.1 <i>Proteção dos geradores</i> .....	45
3.5.2 <i>Proteção de Motores</i> .....	47
3.6 PROTEÇÃO DE BARRAMENTOS.....	47
3.7 PROTEÇÃO DE LINHAS .....	48
<b>CAPÍTULO 4 – DADOS E ANÁLISE QUALITATIVAS – INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR</b>	<b>49</b>
4.1 CONTEÚDOS .....	51
4.1.1 <i>Graduação</i> .....	51
4.1.2 <i>Pós-Graduação</i> .....	54
4.2 AULAS PRÁTICAS .....	56
4.3 METODOLOGIA DIDÁTICA .....	57
4.4 CARGA HORÁRIA .....	57

4.5	BIBLIOGRAFIA .....	58
4.6	CURSOS DE QUALIFICAÇÃO .....	58

## **CAPÍTULO 5 – DADOS E ANÁLISE QUALITATIVAS –**

### **QUESTIONÁRIOS COM PROFISSIONAIS DE PROTEÇÃO 59**

5.1	IES X SUJEITOS DA PESQUISA .....	62
5.2	RELAÇÃO DOS SUJEITOS DA PESQUISA COM A DISCIPLINA DE PROTEÇÃO ELÉTRICA .....	63
5.3	APLICABILIDADE DOS CONTEÚDOS VISTOS NA GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO .....	64
5.4	CONTEÚDOS X ATIVIDADE PROFISSIONAL.....	65
5.5	EMENTA GRADUAÇÃO .....	66
5.6	EMENTA PÓS-GRADUAÇÃO .....	69
5.7	AULAS PRÁTICAS DE LABORATÓRIO .....	71

## **CAPÍTULO 6 – UMA PROPOSTA DE CURSO –**

### **ASPECTOS TEÓRICOS E PRÁTICOS 75**

6.1	LABORATÓRIO E ATIVIDADES PRÁTICAS .....	75
6.2	PROJETO DE PESQUISA E PRÁTICA .....	77
6.3	AULAS EXPOSITIVAS EM SALA DE AULA .....	81
6.4	DEMAIS ITENS RELACIONADOS À METODOLOGIA DIDÁTICA .....	82
6.5	EMENTA .....	82
6.5.1	<i>Descrição dos itens colocados na ementa da proposta de curso (Figura 6.2).....</i>	83
6.6	CARGA HORÁRIA .....	85
6.7	BIBLIOGRAFIA .....	85
6.8	CONSIDERAÇÕES ACERCA DA PROPOSTA APRESENTADA NESTE CAPÍTULO .....	85

## **CAPÍTULO 7 - CONCLUSÃO**

7.1	LABORATÓRIO E ATIVIDADES PRÁTICAS .....	89
7.2	LIMITAÇÕES DESTE ESTUDO PROJETO .....	89
7.3	TRABALHOS FUTUROS .....	90

### **BIBLIOGRAFIA 91**

### **ANEXO - A 96**

### **ANEXO - B 105**

### **ANEXO - C 109**



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

A proteção dos sistemas elétricos de potência é uma área de extrema importância para a manutenção do fornecimento da energia elétrica aos consumidores e para a segurança dos equipamentos altamente dispendiosos que compõem o sistema elétrico. Essa área desenvolveu-se, e vem se desenvolvendo muito nos últimos anos, devido ao surgimento de novas tecnologias que possibilitaram a introdução da proteção digital através de relés microprocessados.

Como consequência das mudanças, devido ao surgimento das novas tecnologias, algumas instituições de ensino superior têm optado por aprofundar nos conteúdos relativos à proteção digital e suas características. Outro importante fator das mudanças impressas pelas novas tecnologias é com relação aos laboratórios que existiam em algumas IES. Esses laboratórios foram montados com base em equipamentos que hoje se tornaram obsoletos. Em muitos casos, os laboratórios foram desativados e não foram substituídos por outros mais modernos.

Este trabalho objetiva contribuir para a redução das discrepâncias entre o ensino da disciplina de Proteção de Sistemas Elétricos nas instituições de ensino superior (IES) e as necessidades profissionais dos engenheiros que atuam nessa importante área da Engenharia Elétrica.

### ***1.1 Etapas de elaboração do trabalho***

O Capítulo 2 contempla uma pesquisa bibliográfica sobre o processo de ensino e aprendizagem com ênfase no ensino de engenharia, visando à coleta de subsídios para a elaboração de uma proposta de metodologia de ensino. A pesquisa englobou autores clássicos, contemporâneos, brasileiros e estrangeiros.

No Capítulo 3, é feita a revisão dos principais temas relacionados à proteção dos sistemas elétricos no que diz respeito aos conteúdos de visão mais generalista da proteção. Neste capítulo são analisados a filosofia da proteção, os principais tipos de relés, os princípios de funcionamentos dos relés (desde os mais antigos até os atuais relés digitais), a proteção dos principais elementos que compõem o sistema elétrico (transformadores, motores e geradores), proteção de linhas e barras, o uso de transformadores de corrente (TC) e transformadores de potencial (TP) para proteção e, por último, é feita uma abordagem das características gerais da proteção digital.

Nos Capítulos 4 e 5, foram feitos os levantamentos e análises dos dados relativos às IES e aos profissionais da área de proteção.

Os dados das instituições foram transcritos conforme as tabelas do Anexo A e posteriormente, agrupados com o objetivo de verificar as convergências e divergências entre eles e também as características específicas de cada um. Tais dados eram de importantes para o desenvolvimento deste estudo para que a partir deles pudesse ser proposta uma estrutura de ensino da proteção. Foi inclusive através da troca de experiências com os professores destas IES que se pôde aprender muito e posteriormente elaborar sugestões.

Os dados investigados, junto às instituições de ensino superior, são referentes tanto a graduação quanto à pós-graduação. Embora o objetivo deste trabalho seja elaborar uma proposta de ensino da proteção para a graduação, optou-se por analisar também a pós-graduação, em virtude da relação dessa com a graduação, em algumas das instituições pesquisadas.

A partir dos dados coletados nos questionários com os sujeitos da pesquisa, pôde ser feita a aproximação da teoria com a prática. Comprovou-se, a partir desse estudo, que a realimentação vinda dos profissionais de engenharia é importante para formar engenheiros com habilidades teóricas, práticas e gerenciais. Através dos questionários realizados, constatou-se também a necessidade que estes engenheiros têm com relação a alguns temas específicos como, por exemplo,

proteção de linhas de transmissão (LT) e aulas práticas de laboratório. Os questionários também permitiram correlacionar as necessidades dos sujeitos da pesquisa com os conteúdos dos planos de ensino das IES. Um dos sujeitos ressaltou a importância da vivência profissional do professor de proteção, enquanto outro enfatizou sua preocupação quanto ao pequeno número de engenheiros especializados em proteção formados no Brasil. Essas e outras colocações e os demais dados dos questionários contribuíram para a realização deste trabalho.

No Capítulo 6, é apresentada uma proposta de ensino da disciplina de Proteção dos Sistemas Elétricos, embasada nos estudos realizados nos capítulos anteriores. (Capítulos 2, 3, 4 e 5)

No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões obtidas através deste trabalho, bem como suas limitações e propostas de trabalhos futuros, que poderão ser realizados a partir deste.

## **1.2 Metodologia**

### **1.2.1 Pesquisa às IES**

Numa primeira etapa foram levantadas, via *internet*, as informações gerais sobre as instituições pesquisadas e o curso de Engenharia Elétrica em cada uma delas. Em seguida, com o objetivo de obter maiores detalhes para enriquecer a pesquisa, foi feito um contato direto com as instituições pesquisadas. Posteriormente os dados foram tabelados e analisados, utilizando o *software Microsoft Office Excel*.

### **1.2.2 Pesquisa com os profissionais da área de proteção dos sistemas elétricos**

Foram realizados dois questionários (Anexos B e C) com profissionais que atuam na área de proteção dos sistemas elétricos. O primeiro questionário (Anexo C), realizado com cinco profissionais, continha apenas questões abertas e um espaço

para que os sujeitos da pesquisa pudessem colocar observações que julgassem relevantes com relação ao tema. Nessas questões os sujeitos puderam expressar suas opiniões com relação ao ensino da proteção elétrica e sua aplicabilidade de forma mais livre. A partir dos dados desse primeiro questionário, foi feita uma análise qualitativa e se pôde ter uma visão geral das necessidades dos profissionais. O primeiro questionário também foi importante como fonte de subsídios para a elaboração do segundo questionário.

Observou-se a necessidade de um segundo questionário (Anexo B) com o objetivo de padronizar os conteúdos dos planos de ensino de proteção e suas nomenclaturas. Outra necessidade observada foi a possibilidade da realização de uma avaliação também quantitativa das informações fornecidas pelos sujeitos da pesquisa. Nesse segundo questionário, adotaram-se algumas questões de múltipla escolha. Essas questões de múltipla escolha apresentavam alternativas relacionadas com as demandas apresentadas pelos sujeitos da pesquisa no primeiro questionário, alternativas citadas nas ementas das instituições de ensino pesquisadas e alternativas relacionadas à experiência profissional da autora.

Esse segundo questionário foi tabulado e foram montados gráficos, também com o propósito de evidenciar os itens que mais foram citados pelos sujeitos da pesquisa, no que tange ao exercício da atividade profissional.

A metodologia escolhida para a realização deste trabalho foi importante para que se chegasse à proposta implementada no Capítulo 6.

# CAPÍTULO 2

## EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

O objetivo deste capítulo é prover um embasamento teórico sobre o ensino de engenharia com vistas à elaboração de uma proposta pedagógica para o ensino da disciplina de Proteção de Sistemas Elétricos.

Para atender a este objetivo, são estudados autores correlacionados com a pedagogia e com o ensino de engenharia. A análise apresentada a seguir, é feita sobre temas que permeiam o cotidiano do processo de ensino e aprendizagem.

### **2.1 *Análise do método tutorial oxfordiano***

A análise do método tutorial oxfordiano, apresentada a seguir, tem como o objetivo prover subsídios na condução da construção do conhecimento e formação do profissional de engenharia.

Nos cursos de engenharia, existe a departamentalização (divisão das diversas áreas do conhecimento, de um mesmo curso, em departamentos distintos). Essa divisão leva a uma segmentação nas diversas áreas do conhecimento. Em decorrência dessa departamentalização o conhecimento vem se tornando um conjunto de informações desconectadas que podem não levar ao conhecimento propriamente dito [1].

A fragmentação do conhecimento adquirido nos cursos de engenharia é a oposição à atividade profissional que o futuro engenheiro irá exercer, já que o engenheiro deve ser capaz de fazer conexões e relações através do desenvolvimento do pensamento científico.

Se o conhecimento é adquirido de forma desconectada, o aluno pode não desenvolver a capacidade de realizar associações e interconexões tão necessárias no meio social e no mundo do trabalho.

Como proposta para corrigir esse cenário, será analisado o método tutorial de Oxford e Cambridge [2].

O método consiste em propor um tema, geralmente desafiador, sobre o qual um aluno, ou um grupo de alunos irá redigir. Antes, porém, da produção desta redação, o tema deverá ser pesquisado, analisado, estudado levantando-se possibilidades, dúvidas e correlações.

Em seguida, o aluno (ou grupo de alunos) lê para seu tutor que escuta atentamente. Concordando ou não, com parte ou o todo, o tutor irá criticar o texto, analisando-o página por página. O aluno deverá sustentar seus argumentos, meditando em seu trabalho como um conjunto de idéias entrelaçadas.

O método tutorial é empregado na Universidade de Oxford e na de Cambridge e tem em sua dinâmica o tutor, o pesquisador e um colega, também pesquisador na mesma área. O aluno pesquisa um assunto, expõe para o tutor e para o colega. Em seguida, o tutor faz as observações e comentários (considerando o texto em partes e em seguida o seu conjunto), como descrito anteriormente, com relação ao método tutorial.

Dessa forma, o aluno passa por quatro etapas. São elas: pesquisa árdua, exposição do seu texto, argumentação consciente e reconhecimento dos erros cometidos e por último, elaboração de novo texto comparando-o posteriormente com o original conforme mostrado na Figura 2.1.

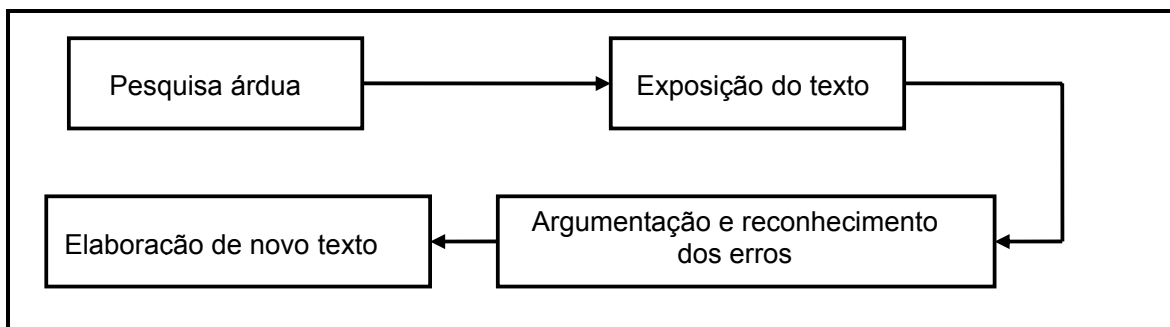


Figura 2.1 – Seqüência de atividades sugeridas pelo método tutorial oxfordiano

## **2.2 Atividades em grupo e projetos**

Segundo Japiassu [3], pensadores como J. Piaget e L. S Vygotsky mostraram uma

“concepção construtivista e de aprendizagem interacionista, em que a construção do saber passa pelas relações com os seus pares”[3].

Calcado nesta afirmação será analisada a questão de trabalhos em grupo.

Na maioria das vezes, a proposta de trabalhos em grupo torna-se fracassada diante de seu objetivo inicial: ou porque os alunos “não têm tempo para reunir” e a idéia acaba sendo descartada, ou então, cada aluno faz uma parte do trabalho e em seguida juntam essas partes formando um conjunto desconectado e sem harmonia.

Falta aos professores preparo para o desenvolvimento de trabalhos em grupo, como também, faltam aos alunos uma idéia e desejo de coletivo, equipe e união.

É preciso que os professores estejam preparados para orientar seus alunos para os novos desafios:

“(..)o professor brasileiro enfrenta o desafio de mudar sua postura frente à classe, ceder tempo de aula para atividades que interagem diversas disciplinas e estar disposto a aprender com a turma” [4].

Os alunos, muitas vezes, vêem seus colegas como adversários, deixando para exercitar o convívio técnico multidisciplinar, a troca de idéias técnicas ou mesmo ético-profissionais, somente no mercado de trabalho. Seu curso nada mais é que uma formalidade para se receber o diploma, que posteriormente, possa lhe garantir algum valor.

As posturas, de alunos e professores, devem ser revistas, sabendo-se que, como futuros engenheiros trabalharão, no dia-a-dia, formando equipes coesas.

Os cursos de engenharia devem mais que ensinar *o aprender a fazer*, devem ensinar: *o aprender a conviver, o aprender a aprender e o aprender a ser* [5].

Uma forma de se trabalhar em grupo é através de projetos que têm em si mesmos um papel importante da formação do profissional. A proposta de projetos é calcada em Hernández [6] que coloca a seguinte proposta:

“um projeto pode organizar-se seguindo um determinado eixo: a definição de um conceito, um problema geral ou particular, um conjunto de perguntas inter-relacionadas, uma temática que valha a pena ser tratada por si mesma... Normalmente, superam-se os limites de uma matéria.”

Os colegas do grupo podem e devem, ao longo do desenvolvimento do projeto, se reunir para elaborar roteiros, discutir opiniões, analisar resultados e preparar o texto.

Os projetos permitem a “memorização compreensiva” dos materiais obtidos, em que esses são bases para novos conhecimentos. Através dos projetos, os alunos desenvolvem suas potencialidades, transpõem seus limites e têm a possibilidade de verificar a aplicabilidade dos conceitos teóricos.

### **2.3 Teoria e prática no Curso de Engenharia**

Na abordagem de Vanderli Fava de Oliveira [7] é descrita a *bidimensionalidade* no curso de engenharia, devido à relação teoria e prática. O texto faz uma crítica ao



distanciamento entre estes dois alicerces (teoria e prática) associados ao contexto de aplicação e de atuação profissional.

Nota-se que existe uma tentativa de formar o estudante com conhecimentos técnicos, teóricos e práticos. Nesse ponto as seguintes análises podem ser feitas:

- a) Existe, em algumas instituições de ensino, a separação em termos de disciplinas desvinculando a teoria da prática.
- b) Algumas disciplinas, devido a sua natureza, dificultam o desenvolvimento de aulas práticas.
- c) O distanciamento entre as aulas práticas e a realidade do contexto profissional.

No item (a) anterior, pode-se ter como resultado o não comprometimento de muitos professores e alunos em associar a teoria à prática. Como consequência, observa-se:

- Aulas práticas sem qualquer raciocínio acerca dos experimentos. As aulas práticas tornam-se um conjunto de atividades manuais repetitivas e na maioria das vezes, inconclusivas;
- Aulas teóricas expositivas com lacunas, devido a falta de associações e exemplos práticos.

Existe também, neste âmbito, o pouco diálogo e a reduzida troca de experiências e informações entre professores de teoria e de prática, pois muitas vezes, não são os mesmos.

Algumas vezes, pode ocorrer uma obrigatoriedade velada, imposta pelos alunos, de aprovação do aluno na disciplina prática, mesmo que o aluno não possua a habilidade de interpretar e analisar os experimentos relacionando-os com os embasamentos teóricos.

O item (b) ocorre quando existe a necessidade de espaços e equipamentos que são inviáveis de se ter nas Universidades. Esta inviabilidade se deve a dois fatores. São eles: custo e mudanças rápidas de tecnologias.

Observa-se em alguns Cursos de Engenharia Elétrica que algumas disciplinas tiveram suas aulas práticas retiradas com o objetivo de se reduzir a carga horária total do Curso. Isto se deveu a mudanças ocorridas na estruturação e duração dos Cursos de Engenharia nos últimos 10 anos [8,9].

Vê-se que as instituições de ensino optam, para algumas disciplinas específicas, em dar sólidos conhecimentos teóricos para que o aluno possa, através de catálogos e manuais, escolher a melhor solução para a sua “situação-problema” [10].

Mas isso é o bastante? Não seria melhor optar por uma bancada demonstrativa? Ou parcerias com outras instituições? Ou execução de projetos práticos? Ou elaboração de estudos de casos reais através de empresas juniores? Ao longo deste trabalho, estas e outras questões serão analisadas.

Analisando o item (c), vê-se que a teoria, quando ministrada de maneira descontextualizada, implica em aulas práticas desvinculadas com a aplicação. Portanto, não levam em consideração as particularidades do cotidiano profissional.

Nota-se uma relação dissociada entre teoria, prática e o contexto da realidade profissional impossibilitando aos estudantes de aprender a utilizar as tecnologias encontradas no exercício das atividades laborais.

A proposta é a contextualização de teoria e prática, que por sua vez, leva o aluno a elaborar e construir um conhecimento, preparando-o para mundo do trabalho para o qual o engenheiro deve estar habilitado.

## **2.4 A formação do Engenheiro-Professor**

Os professores das disciplinas de caráter tecnológico dos cursos de engenharia são, na sua grande maioria, engenheiros e, por conseguinte, sem formação acadêmica em métodos de ensino ou didática [11]. Na maioria das vezes, forma-se uma barreira, entre os conteúdos que o professor domina e a maneira como transmiti-los, barreira essa que os professores de ensino de engenharia, devem transpor. Há a importância de se preparar o engenheiro para o desempenho de suas atividades de prática pedagógica.

Segundo a Lei de Diretrizes e Bases da Educação e Resolução 01/02 CNE/CP (Conselho Nacional de Educação/Conselho Pleno), citada em Belli [11], os professores de educação básica devem ter as seguintes atribuições:

- a) “o ensino visando ao aprendizado do aluno”;
- b) “o acolhimento e o trato da diversidade”;
- c) “o exercício de atividades de enriquecimento cultural”;
- d) “o aprimoramento em práticas investigativas”;
- e) “a elaboração e a execução de projetos de desenvolvimentos dos conteúdos curriculares”;
- f) “o uso de tecnologias da informação e da comunicação e de metodologias, estratégias e materiais de apoio inovadores”;
- g) “o desenvolvimento de hábitos de colaboração e de trabalho em equipe”.

Vê-se que as atribuições anteriores cabem também aos professores de educação superior, que devido a sua formação essencialmente em conteúdos técnicos [12, 13], ficam deixadas em segundo plano.

O professor de engenharia, quando inicia suas atividades na educação/ensino não tem, em seu currículo de formação, disciplinas que o auxiliem no exercício da nova profissão. As Diretrizes Curriculares, para os cursos de graduação em Engenharia [12], requerem que os cursos devem formar um profissional capaz de desempenhar, de forma humanística, o papel do engenheiro na sociedade ao qual está inserido;

com consciência crítica e habilidades para o uso das novas tecnologias. Os cursos de engenharia, portanto devem preparar o profissional para o exercício da engenharia e não da docência.

Portanto, deve-se ainda considerar que são os docentes aqueles profissionais da educação com maior grau de consciência de si e, portanto, mais qualificados para promover a “*Educação como Prática de Liberdade*” [14]. Os chamados “*Trabalhos Práticos*” são responsáveis pela reorganização psíquica e intelectual do futuro profissional. Logo, o docente deve encarar esse desafio de maneira consciente, e sabedor que poderá encontrar inúmeros obstáculos nessa dinâmica.

Para isso, o engenheiro-professor não pode fazer de suas aulas um monólogo, ao contrário, deve incentivar o diálogo com seus alunos, pois “*o diálogo fenomeniza e historiciza a essencial intersubjetividade humana*” [14]. Nesta prática de ensino, o engenheiro-professor supera toda a concepção bancária instituída e constrói uma licenciatura plena, capaz de proporcionar ao discente um pensar autêntico e autônomo.

Diante disso, os alunos dos cursos de engenharia devem ser resgatados da posição de meros “*recipientes mecânicos e estáticos do conhecimento*” [14]. O professor deve inserir-se no cotidiano de seus alunos, para transformar o conhecimento em constantes ferramentas de sobrevivência, apresentando exemplos e caminhos a trilhar por seus alunos. O docente deve também superar o paradigma do chamado “*Conhecimento Útil*” e apagar todas as sombras e atitudes fatalistas que possam justificar o fracasso intelectual de seu grupo de estudo.

Trata-se de um paradigma, onde os futuros cidadãos estão sujeitos a uma metodologia pedagógica verticalizada, tradicional e sedimentada na educação bancária [14]. Para romper com a “*Cultura do Silêncio*” e revolucionar o ensino nesse segmento, o docente deve priorizar a interdisciplinaridade, e colocar a sociedade como fator preponderante, onde o conhecimento é solidário e integrado entre as diferentes disciplinas.

Soma-se à falta de aprendizado na área de ensino, a experiência profissional técnica. Apenas com a formação técnica acadêmica o professor de engenharia prepara novos engenheiros esquecendo-se que “seu papel é de educador”. O professor não pode ficar limitado ao repasse dos conhecimentos técnicos adquiridos na sua graduação e pós-graduação. O professor deve pautar-se no conteúdo objeto de sua disciplina, na sua “visão de educação” e na sua “visão de mundo” que está em constante mudança [15].

Dessa forma, o docente professor deve basear-se no conteúdo central de sua disciplina, e ainda, em uma “*visão ampla de educação*” conferir potencialidades para atuação interdisciplinar. Para tanto, é preciso que os engenheiros-professores reflitam acerca de sua função social como educador, formador de cidadãos conscientes, críticos e capazes de transportar os saberes da sala de aula para a prática profissional e, principalmente, para suas vidas. Pensando nisso, “os professores devem parar de pensar que o curso é o cerne da profissão” [4].

Belli [11] apresenta, como complementação da formação do professor, a qualificação, através de conteúdos relacionados ao ensino, em curso de pós-graduação; e a realização de uma avaliação didático-pedagógica para novos professores. Desta forma, o professor será capaz de ver que seu principal recurso “é a postura reflexiva, sua capacidade de observar, de regular, de inovar, de aprender com os outros, com a experiência” [4].

Neste item ainda é importante ressaltar que o engenheiro-professor, muitas vezes, utiliza métodos didáticos que foram observados em seus melhores professores. Vê-se que os saberes adquiridos, pelo professor, para a sua prática profissional, podem ser obtidos através de construções práticas organizadas e incorporadas, como *habitus* [16] ao longo da trajetória pessoal e profissional. Alguns estudos, sobre saberes dos professores, enfatizam a experiência cotidiana como lugar de construção desses saberes [17].

## **2.5 Interdisciplinaridade nos cursos de engenharia**

A interdisciplinaridade colocada neste item não se trata da obrigatoriedade de elaboração de trabalhos interdisciplinares, pois essa se tem mostrado de difícil realização, inclusive pela conversa entre os pares. Portanto, a interdisciplinaridade abordada neste trabalho se trata da efetivação de correlações entre os conteúdos das disciplinas que possuem relação direta.

As disciplinas nos cursos de engenharia, são na maioria das vezes, apresentadas aos alunos de forma dissociada uma das outras. Em oposição a isto está o futuro do aluno de engenharia: as áreas integralizadas, os equipamentos utilizando diferentes tecnologias e profissionais de setores diferentes trocando informações.

À luz do conceito de interdisciplinaridade de Japiassu [3], serão analisados os cursos de engenharia e atuação do professor.

“Interdisciplinaridade - Axiomática comum a um grupo de disciplinas conexas, e definidas no nível hierárquico imediatamente superior, o que introduz a noção de finalidade. Sistema de dois níveis e de objetivos múltiplos; coordenação procedendo do nível superior.” Figura 2.2

O professor de engenharia, especialista naquilo que ensina, é capaz de transmitir com sabedoria os conteúdos que ministra. Apesar disso, falta, muitas vezes, a este professor correlacionar seus conteúdos ministrados com os demais conteúdos que fazem parte do universo do futuro profissional [18], uma vez que a atividade profissional exige que o trabalhador tenha capacidade de usar os conteúdos das disciplinas de forma integralizada.

A interdisciplinaridade deve ser pensada como algo essencial, urgente e possível. Algumas instituições têm adotado ações no sentido de projetos interdisciplinares, como por exemplo, [18,19]. É através de ações que levam os alunos de diversas áreas a intercambiar suas habilidades, saberes e aprendizado. Essa correlação necessita de novas posturas tanto por parte dos professores quanto das IES. Cabe aos professores mostrar o elo existente entre o conteúdo que ministra e os demais conteúdos que abrangem a sua disciplina, bem como os aspectos práticos da

mesma. Cabe às instituições de ensino superior, (IES) dar apoio humano e material para que sejam implementadas ações que promovam essa interdisciplinaridade.

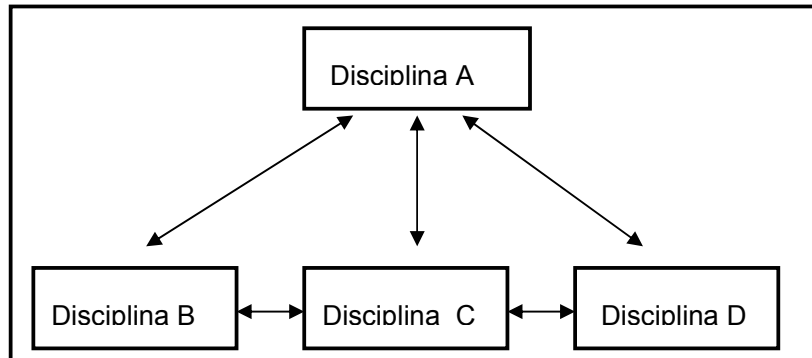


Figura 2.2 - Interdisciplinaridade

São exemplos de ações que podem solucionar a questão de interdisciplinaridade nas Universidades: implementação de laboratórios interdisciplinares, treinamento de professores, no que tange a inserção da sua matéria no contexto do engenheiro, incentivo a troca de experiência entre os acadêmicos, os docentes, os discentes e as empresas em que atuam os profissionais de engenharia [18].

## **2.6 O uso de recursos computacionais**

O uso de recursos computacionais, em sala de aula, no processo de ensino-aprendizagem, tem crescido muito nos últimos anos.

A seguir, são discutidas duas aplicações da informática como ferramenta nos cursos de engenharia, a saber:

- a) Utilização da *Web*, como compartilhamento e transferência de arquivos para discussões, fóruns, trocas de informações entre estudantes e professores das diversas áreas.
- b) Utilização da *Web* como fonte de novas pesquisas relacionadas com a disciplina, bem como *sites* específicos de um determinado conteúdo ou produto tecnológico.

No item (a) tem-se, como proposta, a criação de um sistema corporativo que proporcione o desenvolvimento de habilidades de trabalhos em equipe, capacidade de cooperação e espírito crítico e questionador.

O resultado das discussões, nesses fóruns, pode levar a um resultado diferente das propostas originais. Os debates, portanto, podem conduzir a ganhos pessoais (socialização) e técnicos (desenvolvimento e elaboração de novos conceitos).

Nos debates é possível trabalhar: o *aprender a fazer*, através de leituras e do raciocínio de forma lógica, sobre o tema; o *aprender a ser*, quando desenvolve posturas, argumentos e atitudes; e o *aprender a conviver*, quando se relaciona com seus pares. Constrói-se o “aprender a aprender” [1].

O item (b) permite ao estudante proximidade com as novas teorias, conceitos e tecnologias. A partir de livros digitais, artigos e outras publicações na *Web*, os alunos podem agregar conhecimentos atualizados, complementando o conhecimento adquirido em sala de aula e bibliotecas.

Com espírito crítico (sem ele, a pesquisa na *Web* é uma pesquisa morta que não produz conhecimento), o estudante pode selecionar informações na *Internet* correlatas com seu objeto de estudo.

Outro ganho com relação ao item (b) é a possibilidade de se conhecer características de produtos relacionado com sua área de atuação, tais como: diagrama de circuitos, diagramas de conexão, manuais, *softwares* e folhas de dados com as características dos componentes. Isto possibilita ao estudante um contato maior, mesmo que virtual, com novas tecnologias e produtos. Os *softwares* de simulação auxiliam na compreensão do funcionamento e características de atuação de alguns produtos.



## **2.7 Importância da pesquisa no processo de ensino-aprendizagem e na formação profissional**

A pesquisa proporciona ao aluno o desenvolvimento do espírito investigador e, por conseguinte, crítico, com relação às várias informações adquiridas. Através da pesquisa, o aluno poderá buscar informações que darão a ele subsídios para transpor a sala de aula para o mundo.

Os projetos propostos no item 2.2 passam obrigatoriamente pela pesquisa. Nessa pesquisa:

“os alunos realizam uma tarefa de busca de informação que complementa e amplia a (informação) apresentada na proposta e argumentação inicial do projeto. Esta busca deve ser diversificada e pode consistir-se em: nova informação escrita, conferências de convidados (companheiros de outros cursos, especialistas de fora da escola), visitas a exposições e instituições, apresentação de vídeo, programas de computadores, etc” [6].

O aluno, ao reunir várias fontes de informação, ampliará seus conhecimentos sobre o assunto, entrará em contato com novas informações, novas tecnologias. E em seguida, deverá ser capaz de tratar estas informações e elaborar uma síntese das mesmas, desenvolvendo mais uma competência, a capacidade de resumir [10].

No processo de pesquisa o aluno estará sujeito a “efeitos que se relacionam com a intenção de projetos”: maior conhecimento sobre um assunto, as diversas formas de se obter conhecimento, a relação com outros, a análise criteriosa do material adquirido e a capacidade de sintetizar informações.

Através da pesquisa, o aluno torna-se autor do processo de aprendizagem. Ele é responsável pela busca, aquisição e interpretação dos dados. Isso é justamente o que será exigido do futuro profissional. O aluno aprende a não esperar que o professor traga as respostas de todas as suas dúvidas, aprende que ele também é capaz de buscar soluções e respostas, ele também, que é agente formador do seu conhecimento.

## **2.8 *Resumo***

Neste capítulo, procurou-se fazer uma revisão bibliográfica abordando aspectos relativos ao Ensino de Engenharia, com o objetivo de dar suporte à formação da proposta da metodologia para o ensino de proteção dos sistemas elétricos. Inicialmente (Item 2.1) fez-se uma abordagem acerca do método Tutorial Oxfordiano para que se pudesse analisar o desenvolvimento de pesquisas realizadas pelos alunos e orientadas pelo professor. No item 2.2 foi colocada a importância, no processo de ensino-aprendizagem, de atividades em grupo e projetos. No item seguinte, 2.3, foram avaliadas as divergências e lacunas, entre teoria e prática, nos cursos de engenharia. No item 2.4, ressaltou-se a importância da formação do engenheiro-professor, pois é por meio dele que se passa a formação profissional e, muitas vezes, ética e pessoal, do futuro engenheiro. Posteriormente, no item 2.5, analisou-se o conceito de interdisciplinaridade, e em especial, o caráter interdisciplinar da disciplina de proteção elétrica e suas diversas implicações. Já no item 2.6 foram colocados os mais diversos recursos computacionais que podem ser utilizados, para enriquecer o ensino e, conseqüentemente, a aprendizagem. E no último item (Item 2.7) deste Capítulo, abordou-se a importância da pesquisa como metodologia didática, bem como os efeitos da mesma na formação de um Engenheiro consciente, crítico e capazes de serem atuantes na construção do seu saber.

# CAPÍTULO 3

## PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

O cuidado nos estudos, projetos e instalações da proteção elétrica, tem grande importância para o sistema elétrico mundial, pois esse sistema é responsável pelo fornecimento de energia elétrica a milhares de consumidores e por estar interligado com equipamentos caros

A proteção atua com dois grandes objetivos, sendo eles:

- evitar que falhas no sistema, como o curto-circuito, possam danificar equipamentos e materiais deste sistema;
- promover o rápido restabelecimento de energia, evitando danos aos consumidores e proporcionando uma qualidade no fornecimento da energia aos usuários.

Adiante são apresentados os principais itens de um curso de proteção de sistemas elétricos, incluindo proteção digital e algoritmos de localização de faltas.

Foram escolhidos os itens mais comuns em cursos de proteção, em termos de graduação (Anexo A). Esses itens serão tratados de forma abreviada, dando uma visão geral da proteção de sistemas elétricos.

Características mais detalhadas como ajuste de relés, equacionamentos matemáticos, programas de localização de faltas, minúcias de funcionamento dos relés, devem ser consultadas em bibliografias específicas de proteção de sistemas elétricos [20, 21 e 22].

### **3.1 Filosofia da Proteção de Sistemas Elétricos**

Na análise de proteção dos sistemas elétricos torna-se necessária a distinção entre as seguintes situações de operação do sistema:

- situação normal de funcionamento;
- situação anormal de funcionamento, como por exemplo, perda de sincronismo;
- situações de curto-circuito.

Como operação normal pode ser entendida a ausência de falhas nos equipamentos de operação e falhas aleatórias.

No caso de situação anormal, são situações que podem provocar distúrbios na rede elétrica, tais como oscilações de tensão, sem, contudo, apresentar elevações de corrente elétrica em termos de curto-circuito.

As situações de curto-circuito são mais críticas, podendo danificar severamente o sistema de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica.

A proteção dos sistemas elétricos deve proporcionar, além da interrupção da eletricidade, com o objetivo de proteger linhas, barras e equipamentos, a possibilidade de monitorar dados com o intuito de se estudar posteriormente as causas das “falhas” ocorridas.

O estudo de implementação da proteção elétrica de um sistema leva em consideração os seguintes aspectos [21]:

- econômico: hoje, por exemplo, novos sistemas de proteção são implementados, utilizando-se relés microprocessados, porém, devidos a fatores econômicos, os equipamentos eletromecânicos e estáticos que estão em funcionamento são mantidos;

- propagação do defeito: evitar que o defeito possa atingir outros equipamentos da rede, causando danos a esses ou interferindo na operação normal do sistema;
- tempo de inoperância: minimizar o tempo da não disponibilidade do fornecimento de energia.

### **3.1.1 Princípios fundamentais da proteção**

Os relés de proteção, principais equipamentos de proteção dos sistemas elétricos, são encarregados da retirada rápida do elemento (equipamento, barra ou seção de linha) quando este está em curto-circuito ou operação anormal de funcionamento, impedindo que o problema se propague a outros elementos do sistema.

Como citado anteriormente, os relés devem também informar a devida localização da falta com o objetivo da rápida manutenção do elemento causador da falta e, portanto o rápido religamento.

É importante também que haja o registro de informações do relé, como grandezas analógicas e digitais, possibilitando a análise da falta e da atuação da proteção usada.

### **3.1.2 Definições usadas na proteção de sistemas**

A seguir são apresentadas algumas definições associadas à proteção de sistemas, adotadas por P. M. Anderson [21], que são usadas ao longo deste trabalho.

- Confiabilidade da proteção – É definida como a probabilidade de funcionamento correto da proteção quando houver a necessidade de sua atuação. Para isto a proteção deve atuar adequadamente para uma falta dentro de sua zona de proteção e não deve atuar para uma falta fora de sua zona de proteção.

- Segurança na proteção – É uma expressão usada para identificar a habilidade de um sistema ou equipamento de deixar de operar desnecessariamente. Porém, assim como confiabilidade da proteção, o termo muitas vezes é usado para indicar que um sistema está operando corretamente.
- Sensibilidade na proteção – É a habilidade que um sistema tem de identificar uma situação de funcionamento anormal em que exceda o nível normal ou detectar o limiar em que a proteção deve atuar.
- Seletividade na proteção – É uma expressão associada ao arranjo dos dispositivos de proteção de forma que somente o elemento em falta seja retirado do sistema. Isto é, os demais elementos devem permanecer conectados ao sistema. A característica de seletividade restringe a interrupção somente dos componentes, do sistema, que estão em falta.
- Zona de proteção – São as regiões de sensibilidade. Na Figura 3.1, mostra-se um exemplo de zonas de proteção.
- Coordenação dos dispositivos de proteção – Determina os ajustes com o objetivo de conseguir a sensibilidade de coordenação entre os dispositivos de proteção, de forma que as proteções adjacentes só atuem no caso de falha das proteções responsáveis por prover proteção à zona específica.
- Falso desligamento – Este fato ocorre, quando o relé opera provocando o desligamento desnecessário em decorrência de uma falta fora da zona de proteção ou quando não há a ocorrência de falta.

Podem-se separar os equipamentos de proteção em dois grupos, a saber:

- Proteção primária ou principal;
- Proteção secundária ou de retaguarda.

Proteção primária refere-se à proteção principal, em que o elemento de seccionamento encontra-se na conexão entre dois elementos possibilitando a retirada somente do elemento da falta em questão. Neste grupo de proteção, estabelecer-se-á uma zona de proteção em torno de cada elemento.

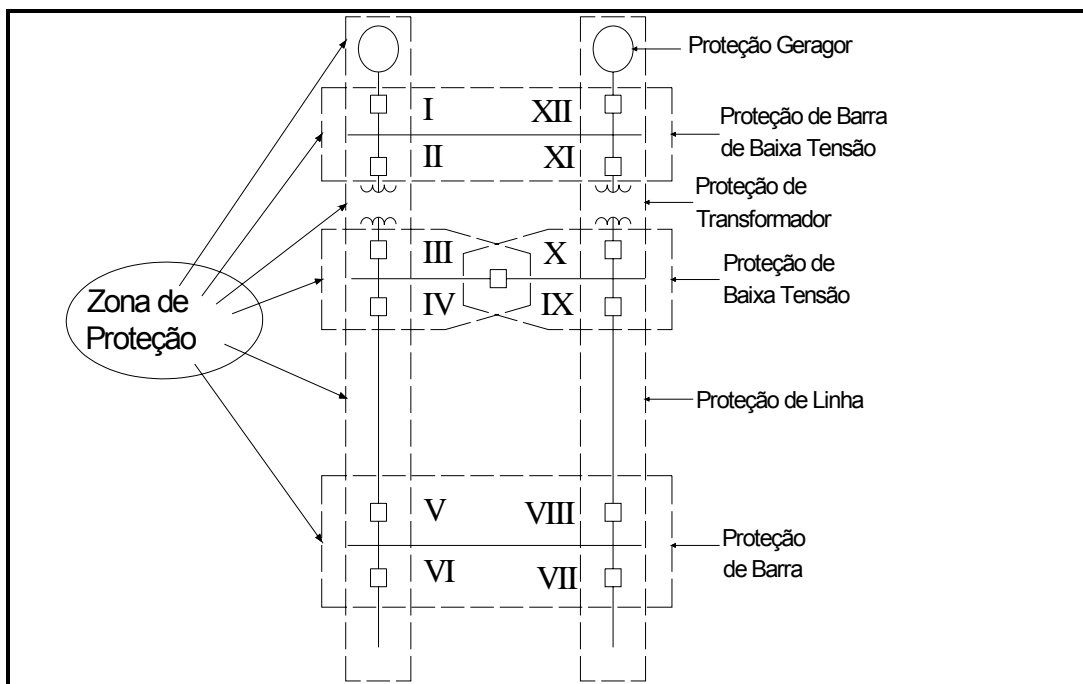


Figura 3.1 – Zonas de proteção de um sistema de potência [20]

Já a proteção secundária ou de retaguarda refere-se a uma proteção localizada na zona adjacente à zona primária, que é ajustada para operar em situações de anormalidade em que a proteção primária não entrou em atuação. A proteção secundária ou de retaguarda pode ser local, caso se encontre na mesma subestação da proteção primária, ou remota, caso se encontre em outra subestação.

### 3.2 Princípios e características de operação de relés

Os relés podem ser classificados de acordo com a grandeza com a qual atuam, como por exemplo: tensão, corrente ou frequência.

Podem-se classificar os relés também quanto ao princípio de atuação: eletromecânicos, estáticos ou digitais.

A seguir, é apresentado um resumo das características de operação e funcionamento dos tipos de relés. Posteriormente, serão analisados os relés eletromecânicos, estáticos e digitais. Embora os relés que estão sendo

implementados nos últimos anos sejam digitais [23], ainda hoje existe grande quantidade dos demais relés em operação.

### 3.2.1 Tipos de Relés

#### *Relés de Sobrecorrente*

Esses relés atuam quando o nível de corrente ajustado é ultrapassado.

Os relés de sobrecorrente podem ser instantâneos ou temporizados. Os relés temporizados podem operar com característica de tempo definido, onde o tempo de atuação é fixo desde que ultrapassado o valor da corrente de operação; e com característica inversa (Figura 3.2), isto é, quanto maior o nível de corrente, menor o tempo de operação dos mesmos.

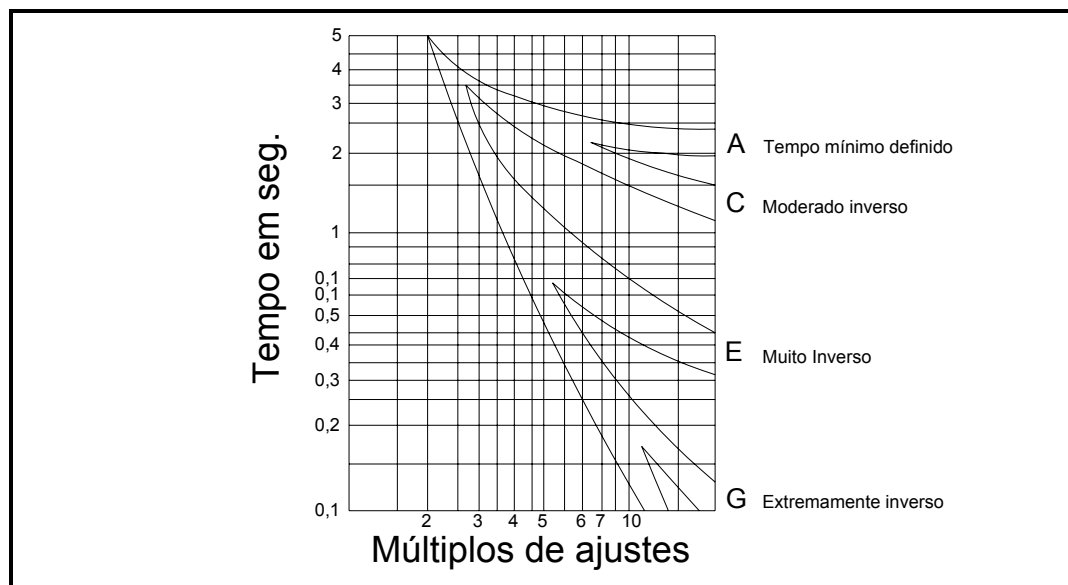


Figura 3.2 – Características gerais de relé para tempo inverso [20]

No eixo vertical, tem-se o tempo de atuação, em segundos, enquanto no eixo horizontal tem-se o múltiplo do ajuste do relé, que é a relação entre a corrente de curto-circuito e o valor de ajuste do relé. Esta característica dos relés de sobrecorrente só deve ser aplicada, quando existe variação entre valores mínimos e máximos de corrente de curto-circuito no sistema.



A operação do relé deve ser preferencialmente escolhida na região mais inversa da curva, de forma que haja variação do tempo em relação aos valores de corrente. Na região mais plana da curva praticamente não há variação do tempo de operação do relé.

Os relés de sobrecorrente sem direcionalidade são usados quando o fluxo de corrente no sistema distribuição radial é sempre conhecido. Para tanto, os relés de proteção devem ser coordenado com outros dispositivos, como religadores, fusíveis e outros relés de sobrecorrente.

#### *Relés Diferenciais*

São relés projetados para atuar, quando a diferença entre a entrada e saída da grandeza associada ao elemento (equipamento ou circuito) de proteção excede o valor previamente estabelecido.

Normalmente esses relés de proteção operam a partir da comparação entre a corrente que entra e a corrente que sai no elemento protegido.

#### *Relés Direcionais de Sobrecorrente*

Os relés direcionais de sobrecorrente comparam a grandeza de referência, normalmente uma tensão, e a direção do fluxo de corrente ou o ângulo de fase da corrente que circula na área de atuação da proteção.

Esse relés de proteção são utilizados preferencialmente para proteção de sobrecorrente de sistemas conectados em anel, de forma a operar para curtos-circuitos em apenas um sentido.

#### *Relés de Distância*

Os relés de distância comparam o ponto de ocorrência da falta com o ponto onde se encontra o relé. Para tanto, o relé analisa a relação entre a tensão e a corrente.

Desta relação, determina-se a impedância vista pelo relé. Sabe-se que a impedância de uma linha (ou trecho de linha) é proporcional ao comprimento da mesma.

Na Figura 3.4, mostra-se a característica de operação de um relé de distância, designada pelo plano R-X.

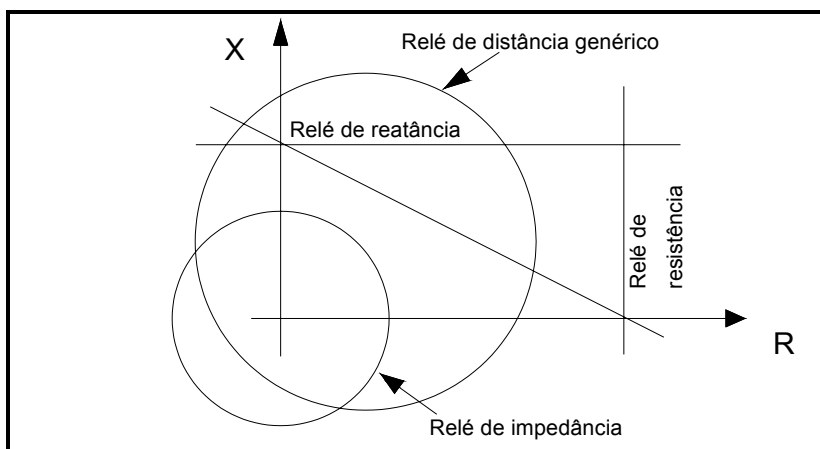


Figura 3.4 – Características gerais de operação de relés de distância [20]

Pode-se também ter direcionalidade inerente no relé de distância como é mostrado na Figura 3.5.

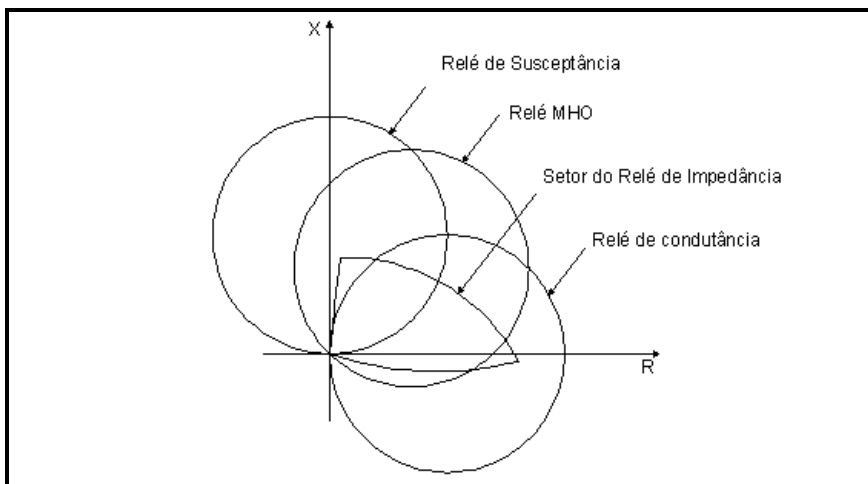


Figura 3.5 – Características gerais de operação de relés de distância com característica de direcionalidade [20]

### *Proteção Piloto*

A proteção piloto é uma proteção de linha análoga à proteção diferencial, vista anteriormente neste mesmo item 3.2.1.

Neste tipo de proteção, existe um canal (piloto) entre os terminais da linha. A proteção piloto faz uso de: fio piloto, onda portadora piloto e microonda piloto. O fio piloto consiste de dois fios de linha telefônica. A onda portadora piloto consiste de uma corrente de baixa tensão e alta frequência injetada na linha em direção ao outro terminal. Já a microonda piloto é uma onda de frequência ultra-alta, usada quando o número de serviços requeridos pelo canal piloto é muito grande, excedendo sua capacidade técnica ou limite econômico.

### **3.2.2 Relés Eletromecânicos**

Os relés eletromecânicos, primeiro tipo de relés, têm sido usados por muitos anos. O princípio de funcionamento destes relés pode ser visto na Figura 3.6.

No desenho da Figura 3.6 vê-se que uma corrente com valor superior ao valor ajustado, circulando pelo solenóide, fará com que o dispositivo acoplado ao solenóide se desloque fazendo com que o contato se feche.

Este tipo de mecanismo é dito como sendo instantâneo, ou rápido, pois não possui retardo de atuação proposital.

No segundo modelo de relé eletromecânico, também na Figura 3.6, utiliza-se um disco que gira, devido à indução, fechando o contato inicialmente aberto. Neste tipo de relé, pode-se ajustar o tempo para a ocorrência do fechamento do contato.

A corrente que circula nos pólos cria um fluxo que, por sua vez, cria uma corrente induzida no disco. Esta corrente interage com o fluxo produzindo o torque que leva o disco a girar. O torque de amortecimento, produzido pela mola, é proporcional à velocidade angular de rotação.

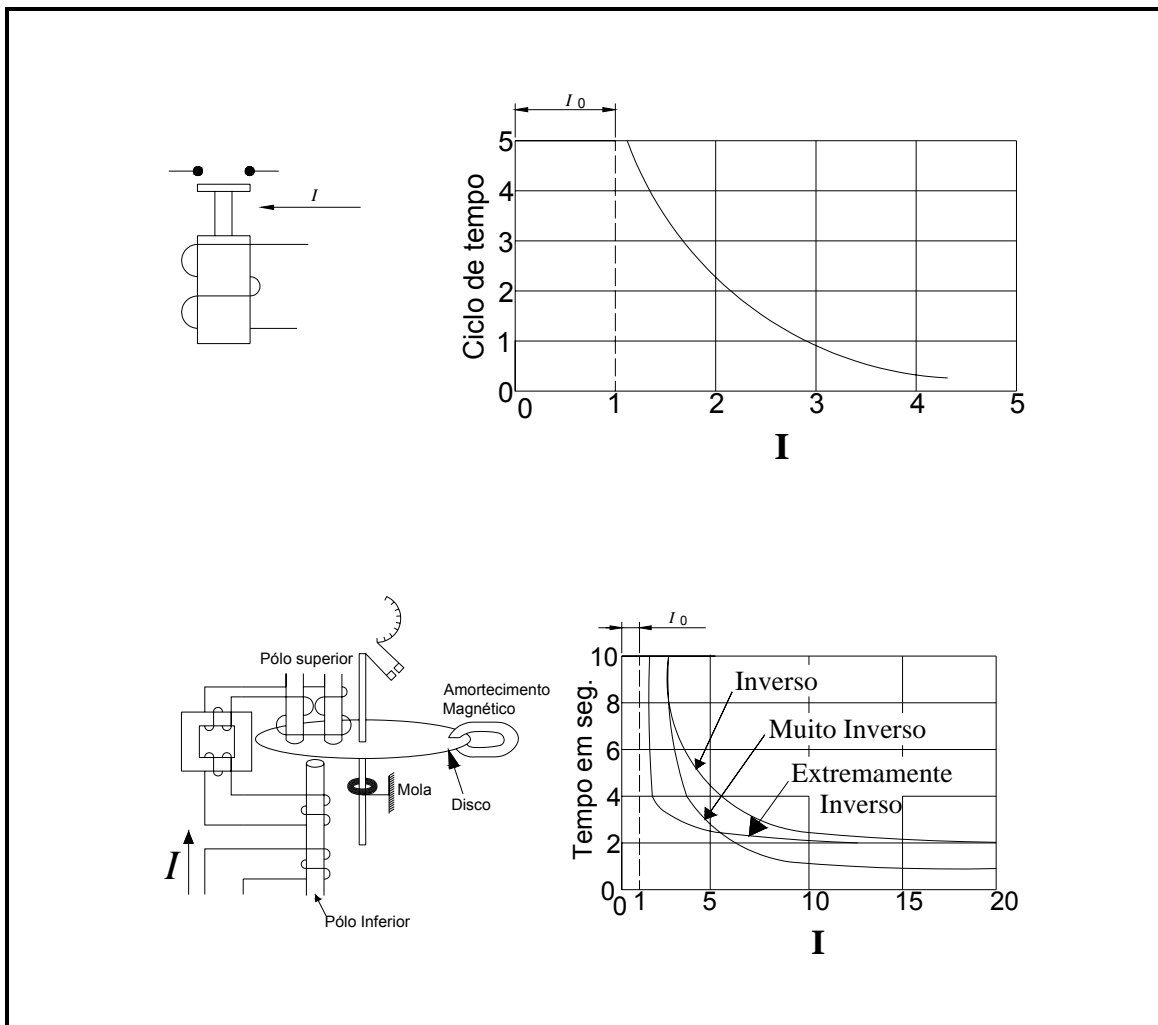


Figura 3.6 – Relé de sobrecorrente com solenóide instantânea e unidade de tempo inverso [20]

Tem-se também relé eletromecânico de disco magnético, porém com elemento direcional. Isto é conseguido se os fasores de tensão e corrente são os mesmos levando à região de operação ou por outro lado, o torque é negativo e a região é a de restrição. Este tipo de relé é mostrado na Figura 3.7.

Na Figura 3.8, mostra-se um relé de impedância baseado num relé de atuação eletromagnética. Nota-se que esse relé de proteção não possui característica direcional.

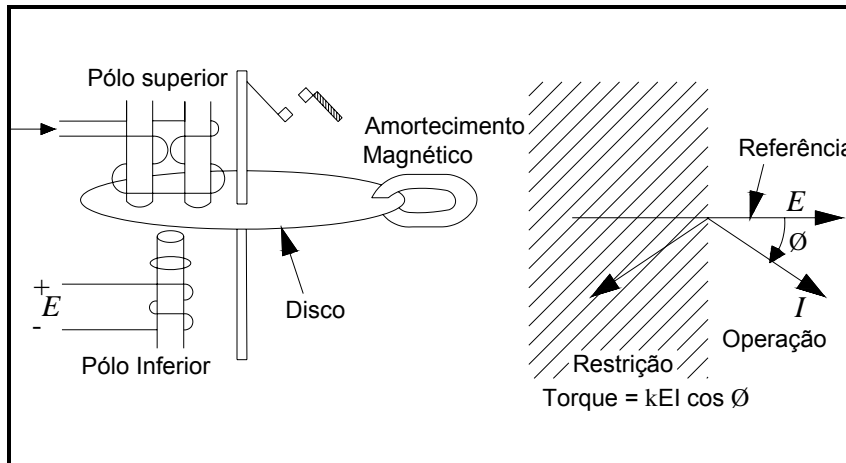


Figura 3.7 - Relé de distância com sobrecorrente direcional [20]

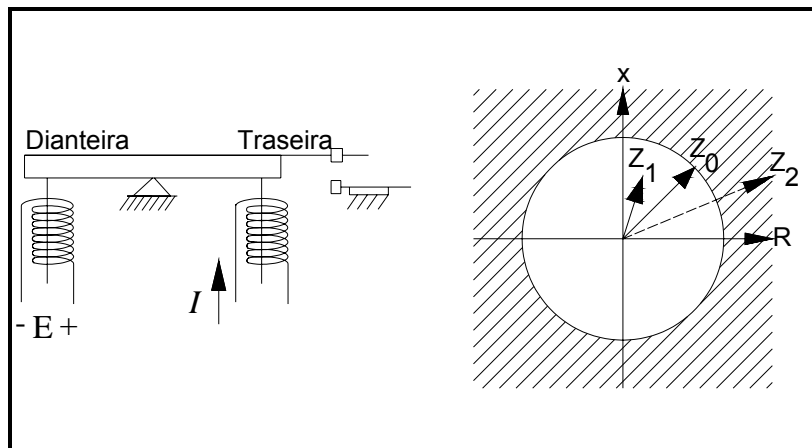


Figura 3.8 – Relé de distância com elemento de impedância [20]

### 3.2.3 Relés Estáticos

Os relés estáticos tiveram seu início na década de 60 e surgiram com a evolução da física de estado sólido. Estes tipos de relés não possuem movimentação mecânica no seu mecanismo de atuação

Por não possuírem partes móveis são extremamente rápidos, comparados aos relés eletromecânicos. Além disto, apresentam uma melhora nas características de sensibilidade e repetibilidade (as partes móveis dos relés eletromecânicos se desgastam como tempo, enquanto os relés estáticos não apresentam danos para

atuação repetidas vezes). Devido aos componentes estáticos, tem-se também menor consumo de potência, menor tamanho e um grau de manutenção menor.

Como desvantagem, apresenta-se a maior sensibilidade, e, portanto, susceptibilidade a variações de pequenos transientes ocorrido no sistema, bem como maior sensibilidade a variações de temperatura.

Os relés estáticos podem ser usados para a maioria dos tipos de proteção, tais como: proteção de linha de transmissão, de transformadores, de barramentos, de geradores síncronos, etc.

#### **3.2.4 Relés Digitais**

Os relés digitais são considerados a terceira geração dos relés estáticos. Estes relés utilizam como base os microprocessadores.

A primeira geração dos relés digitais (estáticos) é aquela em os equipamentos utilizavam os transistores, enquanto a segunda geração fez uso dos circuitos integrados e amplificadores operacionais.

Devido à grande flexibilidade dos microprocessadores, um mesmo relé pode exercer várias funções, tais como: controle, gravação dos dados amostrados, informação de eventos e diferentes funções de proteção. Os dados são armazenados no *hardware* e diferentes programas podem ser executados simultaneamente ou não neste mesmo *hardware*. Estes dados armazenados podem ser periodicamente retirados da memória (devido ao limite da capacidade de dados armazenados) para que novos dados possam ser gravados sem perda de informação. Como os dados estão armazenados, e não oscilografados e impressos podem ser tratados (através de processamentos matemáticos dos sinais e/ou filtragem) para ser obter diversos resultados que facilitem a análise dos operadores do sistema e engenheiros de proteção.

A seguir, uma estrutura mostrando a integração dos sistemas de supervisão, controle, medição e proteção com o sistema de energia elétrica [13].

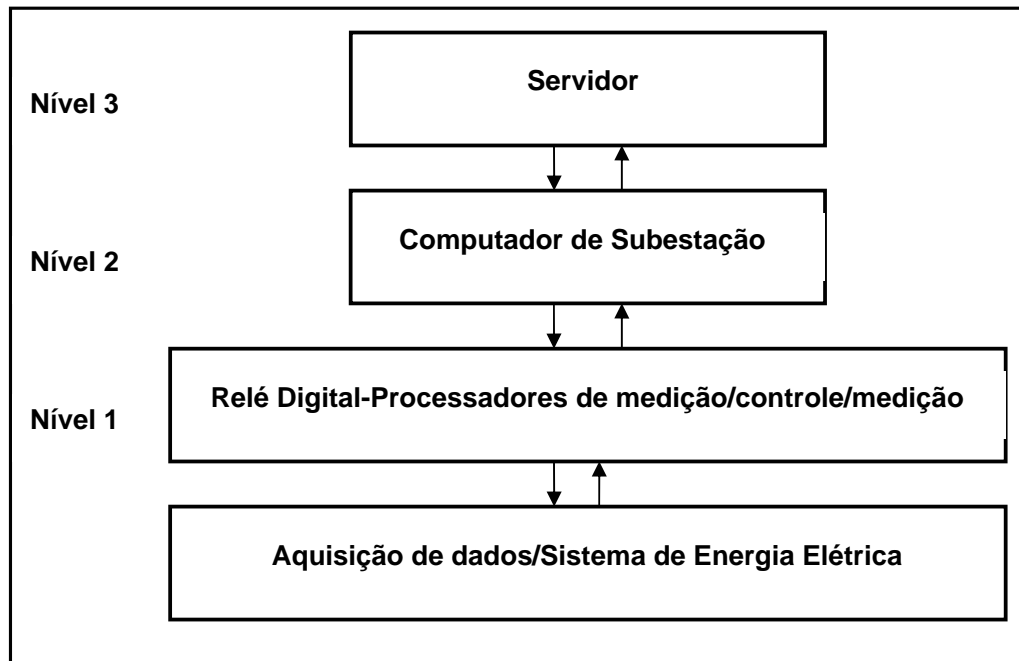


Figura 3.9 – Estrutura hierárquica dos níveis da proteção digital [24]

Segundo [13] as funções de cada nível são:

#### Nível 1

- funções de medição, controle, automação e proteção;
- funções de diagnóstico através de informações vindas do sistema;
- informações fornecidas aos equipamentos do sistema;
- interface homem-máquina;
- comunicações com o nível 2.

#### Nível 2

- funções de suporte aos processadores no nível 1;
- aquisição, processamento e armazenamento de dados;
- análise de seqüência de eventos;
- comunicação com os níveis 1 e 3.

### Nível 3

- ações de controle de sistema;
- coleta e processamento de dados;
- análise de seqüência de eventos;
- montagem de registros dos dados adquiridos;
- elaboração de relatórios;
- organização das comunicações com os níveis 1 e 2;
- proteção adaptativa.

O relé digital é formado por subsistemas que desenvolvem funções específicas, tais como: armazenamento de dados, processamentos dos dados, filtros, conversão analógico/digital [24]. Os subsistemas são apresentados na Figura 3.10.

O processador é o principal subsistema do relé digital, sendo responsável pela execução do programa, comunicação com os equipamentos periféricos, bem como coordenação das várias funções existentes no relé.

A memória RAM (Memória de Acesso Aleatório) armazena os dados amostrados. Ela também é usada durante a execução do algoritmo do relé.

As memórias ROM (Memória Apenas de Leitura) e PROM (ROM Programável) são usadas para armazenar programas permanentes do relé chamados de *firmware*. Se o tempo de leitura é pequeno, o programa deve ser executado na própria ROM. Caso contrário, o programa deve ser copiado para a RAM no estágio de inicialização e então executado.

A EPROM (PROM apagável eletricamente) é usada com o objetivo de armazenar certos dados, que podem ser mudados de tempos em tempos, como por exemplo, os ajustes dos relés.

O Conversor Analógico/Digital (A/D) tem o objetivo de converter as grandezas analógicas adquiridas em grandezas digitais que serão manipuladas pelo sistema microprocessado.



Com o objetivo de se extrair a componente de frequência fundamental dos sinais amostrados, a proteção digital faz uso da Transformada Discreta de Fourier (TDF), entre outras transformadas, tais como cosseno e seno. Essas transformadas podem ser aplicadas na descrição do conteúdo de frequência dos sinais de entrada de forma a obter o fasor associado a esse sinal [25].

Maiores detalhes de proteção digital e outros subsistemas podem ser vistos em [24, 26].

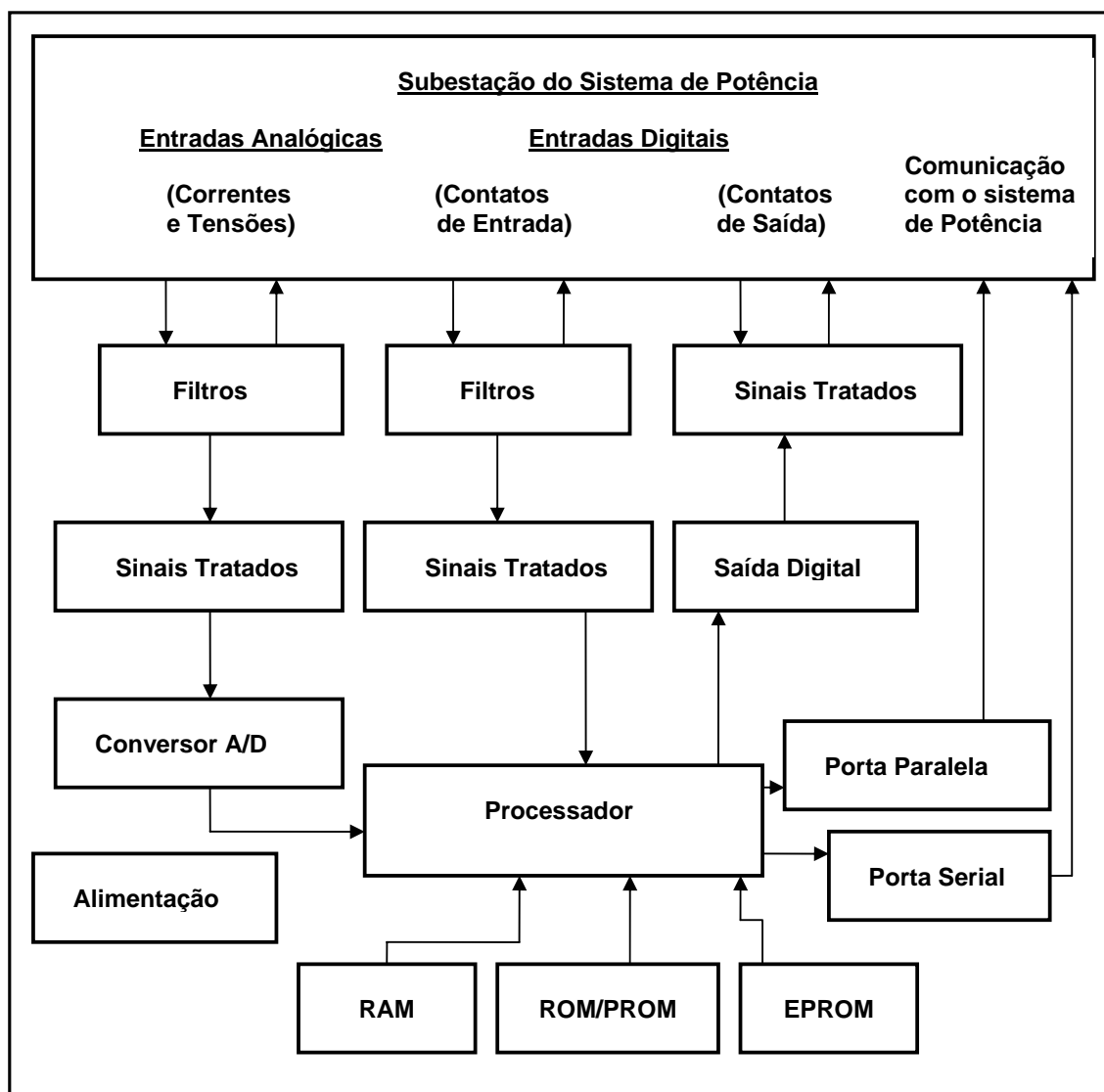


Figura 3.10 – Subsistemas de um relé digital [24]

### **3.3 Disjuntores**

Os disjuntores são dispositivos de seccionamento de circuitos dos sistemas elétricos, que podem operar em condições de carga ou de curto-circuito. O disjuntor possui uma bobina de abertura e uma bobina de fechamento que, quando energizadas, promovem respectivamente a abertura e o fechamento dos contatos principais que irão interromper a passagem da corrente. Os disjuntores possuem também contatos auxiliares que informam a posição dos contatos principais. Esses contatos são utilizados para informar a situação do disjuntor para os operadores de subestações, para os despachantes dos centros de operação de sistema e para os relés de proteção.

### **3.4 Transformadores de corrente (TC) e transformadores de tensão (TP)**

Os transformadores de instrumentos podem ser divididos em transformadores para medição e transformadores para proteção. Os transformadores para medição e para proteção são transformadores de corrente (TC) e transformadores de potencial (TP).

Neste trabalho será comentado apenas sobre TC e TP de proteção. Os relés de proteção utilizam correntes e tensões advindos do sistema de potência. Como os níveis de tensão e corrente do sistema são elevados implicariam em relés maiores e mais dispendiosos. Por conseguinte, a tensão e corrente provenientes do sistema devem ter suas magnitudes reduzidas antes de chegarem aos relés.

Com a finalidade de se entregar aos relés corrente e tensão com valores reduzidos, mas proporcionais aos valores do circuito de potência, são utilizados os TC (transformadores de corrente) e TP (transformadores de potencial).

O uso de transformadores requer análise dos seguintes parâmetros: construção mecânica, tipo de isolamento, relação entre primário e secundário, índice térmico, classe de isolamento, condições de serviço, precisão, conexões e outros [21].

### 3.4.1 Transformadores de corrente (TC)

Os TC apresentam as seguintes funções [26]:

- Isolamento entre o circuito primário e secundário;
- Redução da corrente para níveis seguros para os equipamentos de proteção ligados no secundário;
- Possibilidade do uso de valores de norma.

Os TC de proteção possuem as seguintes características:

- Faixa de Operação: de  $0$  a  $k \times I_n$  (corrente nominal) – sendo:  $20 \leq k \leq 50$
- Classes de Exatidão: 2,5 - 5,0 - 10 (%)

A seguir alguns valores normalmente usados de Corrente Nominal Primária e Corrente Nominal Secundária:

Corrente Nominal Primária, em Ampères:

5 - 10 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75 - 100 - 125 - 150 - 200 - 250 - 300 - 400 - 500 - 600 - 800 - 1000 - 1200 - 1500 - 2000 - 3000 - 4000 - 5000 - 6000 - 8000

Corrente Secundária Nominal, em Ampères:

5 - 2 - 1

$5/\sqrt{3}$  -  $2/\sqrt{3}$  -  $1/\sqrt{3}$  para ligações em triângulo.

Os transformadores de corrente usados na proteção de circuitos de alta tensão podem ser de bucha ou externos. Os TC de bucha consistem de um núcleo circular localizado em torno de uma bucha de isolamento. Neste núcleo encontra-se o enrolamento secundário, enquanto o enrolamento primário localiza-se na bucha. Este transformadores encontram-se dentro das buchas de transformadores de potência, geradores, disjuntores.

### 3.4.1.1 Precisão dos TC

A precisão dos TC está associada à carga ligada ao secundário do mesmo, carga (*Burden*) esta expressa em termos de impedância e suas componentes: resistência e reatância ou potência aparente (S) e fator de potência (FP), para a corrente secundária nominal. A carga total secundária do TC leva em consideração os relés, medidores e outros.

### 3.4.2 Transformadores de Potencial (TP)

Os TP apresentam as seguintes funções [26]:

- Isolamento entre o circuito primário e secundário para altas tensões;
- Redução da tensão para níveis proporcionais ao nível da tensão primária e com segurança para os equipamentos de proteção ligados no secundário.

Os TP de proteção possuem as seguintes características:

- Faixa de Operação: de  $0,05$  a  $1,9 \times V_n$  (tensão nominal)
- Classes de Exatidão: 2,5 - 5,0 - 10 (%)

Os TP podem ser Eletromagnéticos, usados para tensão até 138 kV, e TP Capacitivos usados para tensão maiores que 138 kV.

Os TP (transformadores de potencial) de proteção possuem maiores erros normalizados e maiores faixas de operação que os TP de medição.

Tensão Primária Nominal, em Volts:

Valores acima de 115 V para ASA-ABNT (*American Standards Association*- Associação Brasileira de Normas Técnicas) ou 110 V para IEC (*International Electrotechnical Commission*).

Tensão Secundária Nominal, em Volts:

115 –  $115 \sqrt{3}$  (ASA-ABNT)

110 – 110  $\sqrt{3}$  (IEC)

A carga (*Burden*) nos TP também é expressa em termos de impedância e suas componentes resistência e reatância, potência aparente (S) e fator de potência (FP) para a tensão nominal secundária.

O número de espiras em um transformador é diretamente proporcional à tensão no enrolamento (devido à densidade de campo magnético desejada). Portanto, quanto maior a tensão no primário dos TP (transformador de potencial), maior será o número de espiras. Como a potência em *volt-ampère* em um transformador mantém-se entre primário e secundário, para níveis de tensão maiores no primário implica em níveis de correntes menores e conseqüentemente espiras mais finas. Para níveis de tensão primária maiores que 138 kV, implicam em espiras extremamente finas que pelo aspecto construtivo é dispendioso (em decorrência da dificuldade de execução/confecção). Juntando a este fato, quanto maiores os níveis de tensão mais elaborados devem ser os isolamentos. Por conseguinte, não são usados TP eletromagnéticos para tensões maiores que 138 kV. Quando existe esta necessidade por causa da tensão do sistema, usam-se TP com tensão primária de 13,8 kV acoplados a divisores de potencial capacitivos.

Os TP são usualmente ligados na configuração estrela aterrada-estrela aterrada.

### **3.5 Proteção de equipamentos – máquinas rotativas e transformadores**

A seguir, são descritas as proteções de máquinas rotativas (geradores e motores), bem como máquinas estacionárias (transformadores).

#### **3.5.1 Proteção dos geradores**

Os geradores são equipamentos do sistema elétrico sujeitos aos mais variados tipos de falhas devido a sua grande complexidade. Podem ocorrer falhas no isolamento

da laminação magnética, problemas de sobreaquecimento que levam à redução da vida útil do isolamento ou falha devido à sobretensões.

Devido à característica rotativa dos geradores, podem acontecer problemas relacionados com a vibração, ressonância mecânica e outras falhas relacionadas às questões mecânicas, levando o gerador a sair de serviço. Em decorrência destes possíveis problemas, as condições dos geradores devem ser monitoradas constantemente e realizadas manutenções regulares.

Com o objetivo de prover proteção mecânica são utilizados equipamentos de proteção no lado elétrico da unidade de geração.

A seguir, é apresentada a Tabela 3.1 contendo alguns dos diferentes tipos de problemas e localização do problema em geradores síncronos e indicações de desligamento e alarme. É importante dizer que devido a esta complexidade de construção e funcionamento dos geradores existe grande diversidade de opiniões no que diz respeito à proteção de geradores [21]. Alguns eventos ocorridos nos geradores recomendam-se sinalização, outros a sinalização e desligamento.

<b>Localização do problema</b>	<b>Tipo de problema</b>
Enrolamento do estator	Falta na fase Falta à terra Perda de carga Sobretensão Sobret temperatura Desbalanceamento de corrente
Enrolamento do rotor	Curto-circuito Sobreaquecimento devido a sobreexcitação Circuito de campo aberto
Outros	Sobrevelocidade Vibração Antimotorização Perda de excitação Perda de sincronismo Falha no regulador de tensão

Tabela 3.1 – Alguns exemplos de proteções de gerador

### **3.5.2 Proteção de Motores**

A proteção de motores é menos padronizada que a proteção de geradores descrita anteriormente no item 3.5.1. Assim como a proteção de geradores, o custo e a extensão do sistema protegido devem ser avaliados em relação ao grau do dano eminente. O tipo de proteção necessário a um motor depende do tamanho do motor e do tipo de serviço [22].

Alguns exemplos de proteções de motores:

- Falta nos enrolamentos do estator;
- Sobreaquecimento do estator/motor;
- Sobrecarga;
- Queda ou perda de tensão de alimentação;
- Desbalanceamento de fase;
- Perda da excitação em motores síncronos;

As proteções de motores podem ser inseridas nos controladores dos motores ou nos próprios motores (motores pequenos com proteções térmicas embutidas).

A aplicação de proteção utilizando relés ocorre geralmente em motores de tensões muito altas. Para motores de baixa e média tensão utiliza-se proteção com fusíveis, circuitos com aberturas magnéticas, contadores e outros.

### **3.6 Proteção de Barramentos**

A atuação de uma proteção de barras que seja rápida é de grande importância para o sistema elétrico, pois associadas às barras existe uma concentração elevada de potência que poderia danificar equipamentos e provocar distúrbios na rede [27].

A proteção de barras, além de ser rápida não deve também operar para faltas fora de zona de proteção ou manobras feitas voluntariamente. Deve também permitir monitoramento dos TC (transformador de corrente).

A proteção de barras do sistema encontra obstáculo no que diz respeito ao problema com relação ao desempenho dos TC. Como os circuitos magnéticos dos diversos TC associados à barra podem apresentar diferenças, os relés poderão atuar indevidamente. A atuação indevida ocorre porque poderá aparecer uma corrente diferencial diferente de zero. Outro motivo da atuação indevida do relé é a presença de uma corrente diferencial em decorrência de distúrbios transitórios originados na componente de corrente contínua.

### **3.7 Proteção de linhas**

As faltas em linhas de transmissão ou de distribuição podem ser classificadas em faltas entre fases (falta trifásica ou fase-fase) e faltas à terra (falta fase-terra, fase-fase-terra ou trifásica para terra).

Devido à extensão característica das linhas de transmissão (conforme item 3.2.1) a proteção diferencial era até pouco tempo inviável, onde era necessário a comparação da corrente entrando num circuito com a corrente saindo deste circuito. Como uma alternativa pode-se amostrar correntes e tensões nos terminais da linha. A relação entre tensão e corrente fornece uma impedância, que no caso de um curto na LT (Linha de Transmissão), é substancialmente proporcional à distância do relé até o ponto da falta. Este método de identificação de faltas em linhas apresenta como desvantagem a susceptibilidade às variações de tensão e corrente que ocorrem durante a falta.

Outra questão de extrema importância, no caso de proteção de linhas, é a rápida localização da falta. Como as linhas geralmente são longas, pequenos erros de localização podem implicar em atraso no restabelecimento da energia [28, 29].



# CAPÍTULO 4

## DADOS e ANÁLISES QUALITATIVAS

### INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR

Este capítulo tem o objetivo de analisar alguns modelos de planos de ensino, da disciplina de proteção dos sistemas elétricos, que são existentes adotados, em sete instituições de ensino superior (IES) do Brasil. Posteriormente tais estudos, juntamente com os dados e análises apresentadas no Capítulo 5, serão usados para apresentação de uma proposta de ensino de proteção elétrica para os cursos de graduação de Engenharia Elétrica. É importante lembrar que cada IES tem suas particularidades em termos de estruturas, concepções e normas, por conseguinte, as ementas aqui apresentadas podem possuir variações devido a tais fatos. Não é objetivo deste estudo fazer crítica aos planos de ensino apresentados, bem como julgar as IES e o corpo docente que atua em cada uma delas. Os dados relativos às IES e que serão usados para as análises a seguir, encontram-se tabelados no Anexo A.

A formatação, desses planos de ensino (Anexo A), apresentada neste trabalho, procurou obedecer à formatação original informada pelas IES. Por conseguinte, ocorrem variações entre tais formatações apresentadas no Anexo A.

Neste estudo é feito levantamento da situação atual do ensino da proteção de sistemas elétricos, frente às grandes mudanças exigidas do engenheiro de proteção, em função do avanço da proteção digital e da integralização da proteção com outras áreas do setor elétrico, tais como supervisão e controle.

Foram escolhidas sete instituições de ensino superior tomando como base o fato de serem instituições relacionadas com os profissionais envolvidos com este trabalho.

A aquisição dos dados foi feita inicialmente pela *Internet* através dos *sites* das IES. A partir desses dados iniciais pôde ser verificado:

- Presença de diversidade na formatação e apresentação dos dados nos planos de ensino;
- Ausência de muitos dados importantes para as análises desejadas, como por exemplo, metodologia de ensino;
- Divergência de alguns dados para uma mesma instituição/disciplina. Pode-se citar como exemplo que nas informações fornecidas no *site*, existia laboratório de proteção, e no plano de ensino não estavam previstas aulas de laboratório e apenas aulas teóricas;
- Necessidade de entendimento maior de algumas informações fornecidas, como por exemplo, a carga-horária das disciplinas de pós-graduação. (a carga-horária informada dividia-se em carga-horária relativa a aulas teóricas e carga-horária para estudos).

Em seguida, com o objetivo de enriquecer a pesquisa, optou-se por obter as informações desejadas também diretamente das instituições. Foram feitos contatos pessoais com todas as IES pesquisadas. As informações requisitadas, tais como, maiores esclarecimentos com relação à metodologia didática ou dinâmica de laboratório, foram adquiridas por telefone ou enviadas formalmente por *e-mail*.

Por meio desse processo de aquisição de informações, foi possível aproximar um pouco da realidade de cada instituição e verificar algumas particularidades:

- Em uma das IES pesquisadas, que possui cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Elétrica, não existe uma disciplina específica de proteção dos sistemas elétricos na graduação. Alguns conteúdos de proteção elétrica, tais como: “relés (sobrecorrente, distância, diferencial), zonas de proteção, transformadores de corrente e potencial, proteção primária e retaguarda”, são apresentados em outras disciplinas da graduação. (Sistemas de Potência I, Instalações Elétricas I e Instalações Elétricas II) [30].

- A carga-horária relativa a estudos nas disciplinas da pós-graduação da USP refere-se à pesquisa bibliográfica e trabalhos.

Após a obtenção, junto às IES, de maiores detalhes relativos ao ensino da proteção elétrica, pôde-se iniciar um estudo comparativo.

A seguir será apresentada uma análise da pesquisa junto às IES com relação aos itens que compõem uma ementa: conteúdo, aulas práticas, carga-horária, metodologia didática, bibliografia e pré-requisitos.

## **4.1 Conteúdos**

### **4.1.1 Graduação**

De acordo com os dados amostrados (Figura 4.1), nota-se grande variação entre as ementas das instituições selecionadas, principalmente com relação aos tópicos de proteção digital e técnicas mais novas de localização de faltas.

Também através da Figura 4.1 pode-se ver que alguns itens são comuns entre as IES em termos de graduação. São eles:

- Filosofia da proteção;
- Princípios de funcionamento dos relés: eletromecânicos, estáticos e digitais (numéricos);
- Sistema de onda portadora e canal e canal piloto
- Transformadores de potencial (TP) e Transformadores de Corrente (TC);
- Tipos de proteções: sobrecorrente, diferenciais, de distância, direcionais;
- Atuações das proteções em: barramentos, geradores, linhas, transformadores;
- Aspectos gerais da proteção digital

Os itens relacionados aos princípios básicos e fundamentos de proteção estão presentes, em sua maioria, nas IES analisadas. Observa-se que o item Filosofia da

proteção, apontado com freqüência de 10,34% pelas IES (Figura 4.1), é a base para o entendimento de qualquer curso de proteção.

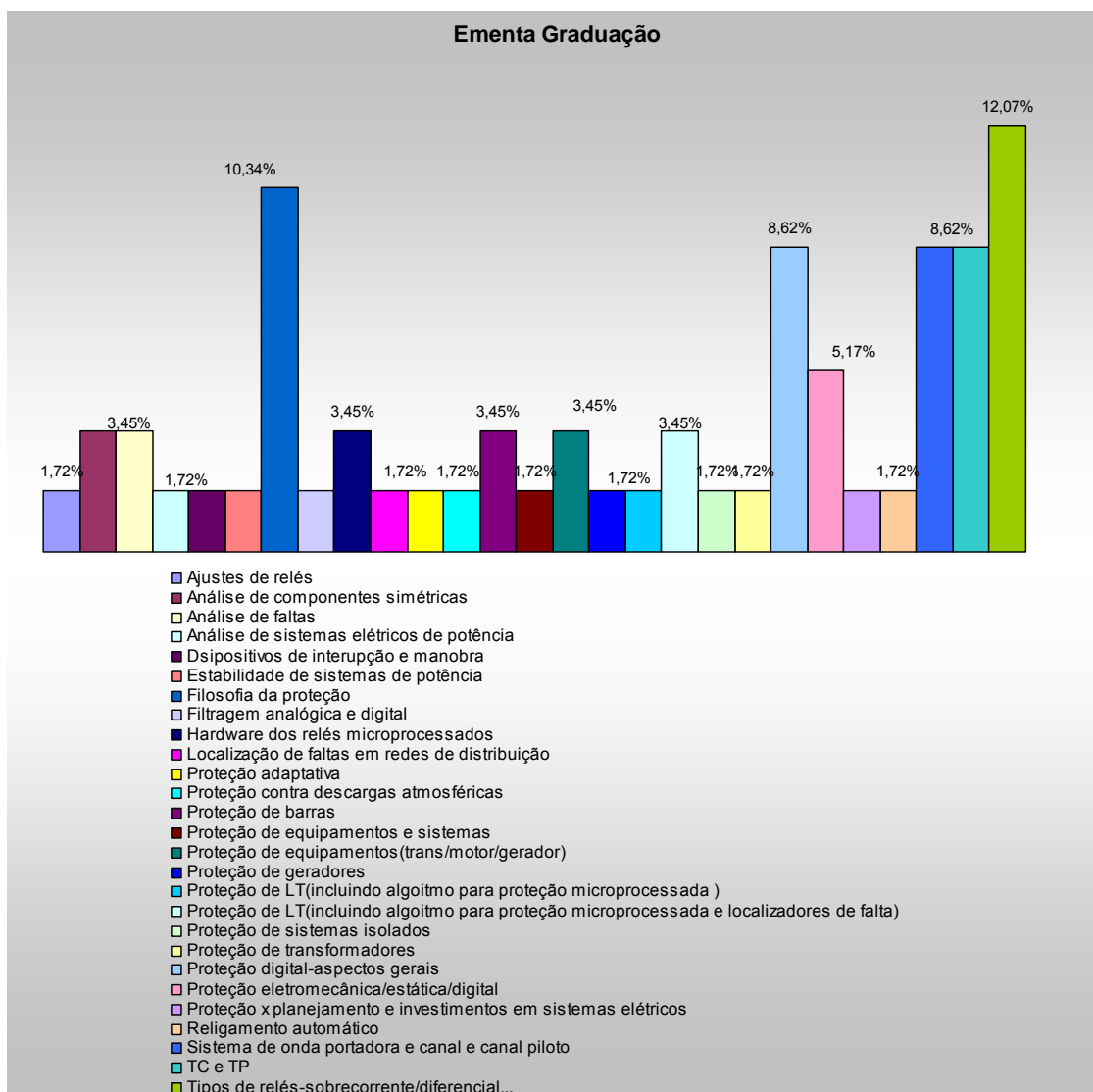


Figura 4. 1 – Distribuição de freqüência de acordo com a ementa de graduação.

O item relacionado à análise dos princípios de funcionamentos dos relés (eletromecânicos, estáticos e digitais), também aparece com alta freqüência, 5,17% (Figura 4.1), pois apesar do uso crescente de relés digitais, muito dos relés já instalados têm características eletromecânicas e estáticas. O conhecimento do princípio de funcionamento dos principais tipos de relés é relevante para que o aluno venha desenvolver habilidades de realizar projetos e estudos de proteção, bem

como análises dos comportamentos dos equipamentos de proteção no estudo da ocorrência de uma falta ou atuação indevida em situação normal do sistema.

Os estudos dos TC e TP também apresentou alto índice de frequência, 8,62% (Figura 4.1) mostrando a importância dos equipamentos que são responsáveis pelo fornecimento dos sinais de corrente e tensão aos relés de proteção.

Os itens Aspectos gerais da proteção digital e Sistema de onda portadora e canal piloto, também com 8,62% (Figura 4.1) mostram a importância do aprendizado da tecnologia em uso para a proteção (proteção digital ou numérica) e do conhecimento da aquisição de dados elétricos através do sistema de onda portadora (Capítulo 3).

Outros itens aparecem com menor frequência nos cursos de graduação. São alguns deles:

- Algoritmos aplicados à proteção digital;
- *Hardware* necessário à proteção digital;
- Filtragem;
- Processamento digital de sinais;
- Proteções relacionadas à: co-geração, rejeição de carga, restauração e outras;
- Análise de falhas;
- Localização de Faltas.

Observa-se que as principais variações em relação aos itens que não são comuns entre as IES, estão relacionadas a um maior ou menor grau de aprofundamento no estudo da proteção digital.

Como a implementação da proteção digital é recente (por volta da década de 90), se comparada a outros princípios de funcionamentos de relés, algumas instituições têm se dedicado ao aprofundamento do estudo desta e de suas implicações, enquanto outras se concentram em apresentar os fundamentos de proteção.

Outra diferença de abordagem entre as ementas apresentadas, acontece em uma instituição em que o conteúdo de proteção é apresentado junto aos conteúdos de análise de estabilidade do sistema, aparecendo portanto, outros itens como, por exemplo, análise de regime permanente e transitório dos sistemas elétricos. Nas demais instituições, tais conteúdos relativos à estabilidade do sistema, aparecem nas disciplinas que são pré-requisitos das disciplinas de proteção.

#### **4.1.2 Pós-Graduação**

Conforme colocado no Capítulo 1, foi necessária a investigação também da pós-graduação para uma melhor compreensão do ensino da disciplina de proteção elétrica na graduação. Em virtude disso, a seguir serão apresentadas algumas análises com relação à pós-graduação.

Pode ser observado, através da Figura 4.2, que a variação de itens para as ementas de pós-graduação, onde foram indicados 19 itens, é menor que a variação dos itens de graduação, em que foram indicados 27 itens. Isso mostra a tendência de uma uniformização maior dos conteúdos da pós-graduação em relação à graduação.

De acordo com as Figuras 4.1 e 4.2 e com as ementas, Anexo A, conclui-se, também, que as maiores variações, que ocorrem entre os cursos de graduação e pós-graduação, se dão em relação ao nível de aprofundamento dos itens básicos vistos na graduação. Como exemplos podem ser citados: maiores detalhes de proteção digital ou a introdução de novos itens mais específicos como, por exemplo, o uso de ferramentas inteligentes (lógica *fuzzi*, redes neurais e outras) na proteção.

Os quatro itens com maior percentual de indicação nas ementas, com 9,38%, foram Filosofia da proteção, Proteção de LT (incluindo algoritmos para localização de faltas), Proteção digital e Tipos de relés, sendo que estes itens também aparecem, com grande frequência, nas ementas de graduação.

Em apenas uma das IES pesquisadas, dentre as que oferecem a disciplina relacionada à proteção elétrica, tanto na graduação quanto na pós-graduação, a

ementa é a mesma. Segundo a Comissão de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), tal fato é possível.

“Em caráter excepcional, é facultado ao aluno de graduação inscrever-se eletivamente em disciplina oferecida por curso de pós-graduação, na forma prevista em regimento”-(Resolução CFE 005/83)”, [31]

Nessa instituição os itens usados para análise dos dados foram os mesmos, tanto para a graduação, quanto para a pós-graduação.

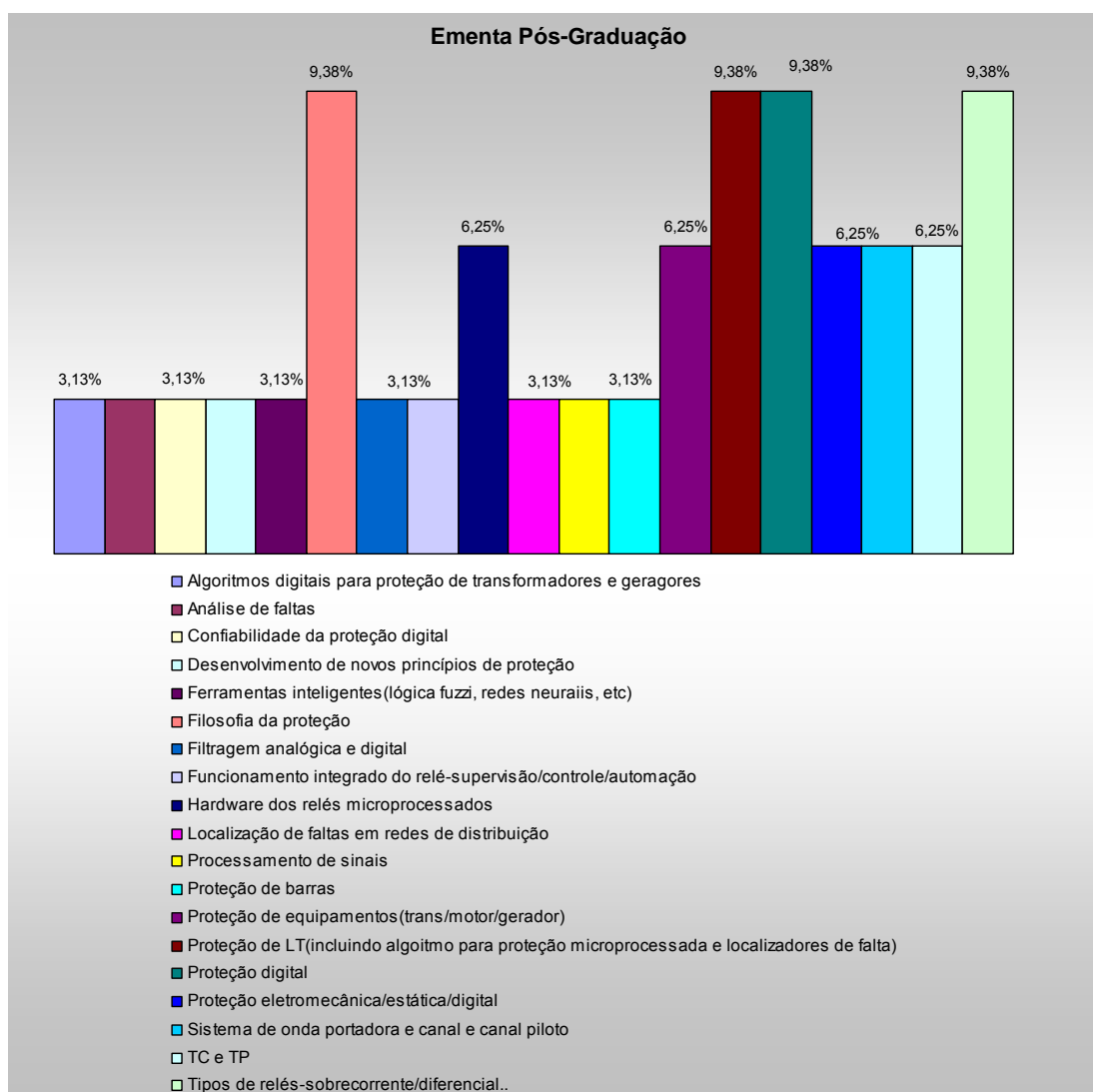


Figura 4. 2 – Distribuição de freqüência de acordo com a ementa de pós-graduação.

## **4.2 Aulas práticas**

Apenas duas das instituições de ensino superior (IES) pesquisadas (incluindo graduação e pós-graduação) possuem aulas práticas previstas na ementa. Devido ao alto investimento financeiro necessário e à diversidade de *hardware* e *software* dos equipamentos relacionados à proteção elétrica dificulta-se a implementação de laboratórios que atendam às demandas com relação aos componentes mais modernos, após a introdução da proteção digital. No estudo observou-se que algumas das IES optaram por trabalharem com o uso da *Internet* para que seus alunos tenham acesso ao conhecimento do *software* e *hardware* de seus relés, através do *site* dos fabricantes.

Para uma disciplina de caráter técnico e de importância aos profissionais de sistemas elétricos, por mais dispendioso que seja, é necessário um laboratório, com alguns equipamentos de proteção, para o desenvolvimento de atividades práticas. Embora não seja possível contemplar a variedade de tipos e fabricantes de equipamentos de proteção existentes, é possível, porém, com a utilização de pequenas amostras, que o aluno possa transportar seus conhecimentos teóricos adquiridos, elaborar questionamentos, realizar análises e associações. Através de atividades práticas em grupo, pode-se proporcionar uma discussão mais ampla sobre o tema, melhor compreensão do universo prático de proteção.

Verificou-se que outras instituições (Universidade de São Paulo e Universidade Federal do Rio grande do Sul) possuem laboratórios exclusivos para pesquisas em proteção, não sendo realizadas aulas práticas nos mesmos.

A falta de infra-estrutura de laboratórios de proteção se deve à diversidade de equipamentos e elementos que compõem um sistema elétrico, bem como as crescentes mudanças no setor de proteção, dificultando a montagem de um laboratório que corresponda à prática profissional do engenheiro de proteção de sistemas.



### 4.3 Metodologia didática

De acordo com os dados analisados, verifica-se que existe uma relação entre a ementa e a metodologia didática. Nas IES, em que a ementa tem o item relacionado à localização de faltas exposto de forma aprofundada, além das aulas expositivas, têm-se trabalhos computacionais.

Algumas IES citaram como metodologia didática o uso de exercícios. Este item não foi colocado junto dos demais dados por se acreditar que em todas as instituições, esta metodologia seja adotada, embora não tenha sido citada por todas.

Na Figura 4.3, mostra-se que a metodologia didática usada com maior frequência é com relação a aulas expositivas.

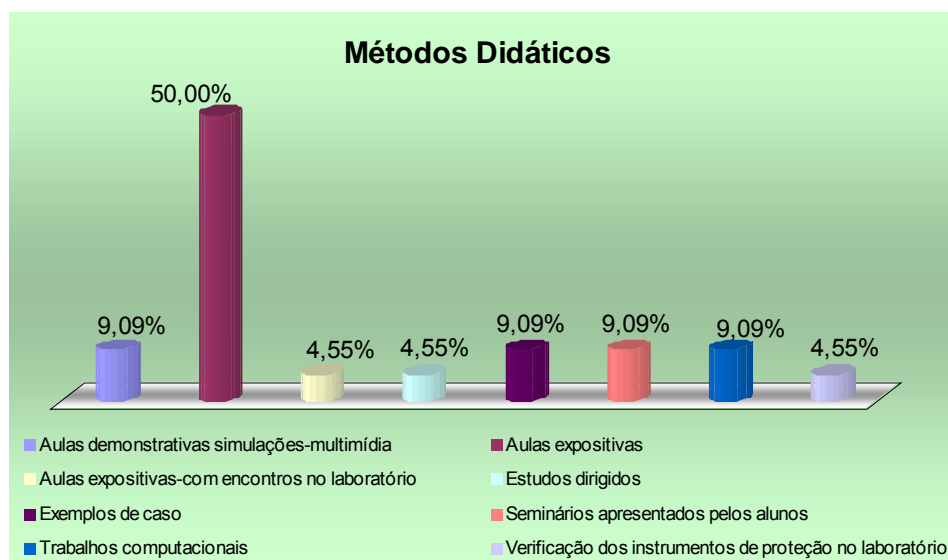


Figura 4. 3 – Distribuição de frequência de acordo com os métodos didáticos.

### 4.4 Carga horária

Apenas uma, dentre as IES pesquisadas, adota uma carga horária de 45 horas-aulas para a disciplina relacionada à Proteção elétrica; todas as demais adotam

carga-horária de 60 horas-aulas. No que se refere aos cursos de pós-graduação a variação de carga horária é maior, conforme pode ser visto no anexo A. Algumas destas instituições prevêm, dentro da carga-horária, horas semanais relacionadas à pesquisas bibliográficas e projetos.

#### **4.5 Bibliografia**

Existe consenso entre os cursos investigados com relação à bibliografia básica (Anexo A). Todas as instituições apresentaram como bibliografia os livros clássicos de proteção de sistemas elétricos e proteção especificamente digital. Como exemplos podem ser citados os livros *“The art and science of protective relaying”* do Mason e *“Computer Relaying for power systems”* do Phadke.

Com relação à bibliografia de outros itens, que não são comuns entre as ementas analisadas, foi observado, que as referências acompanham as particularidades de cada ementa. Algumas instituições optaram por indicar artigos relacionados a estes itens. Esses artigos indicam a tendência dessas instituições em procurar adequar a bibliografia às suas ementas.

#### **4.6 Cursos de Qualificação**

Ao longo da pesquisa foram encontradas instituições de ensino, superior ou não, e fabricantes de equipamentos de proteção que oferecem cursos de qualificação e aperfeiçoamento [32, 33 e 34] na área de proteção digital. Esses cursos ofertados, variam de acordo com a demanda, em termos de enfoque, conteúdo e carga-horária. Os cursos podem ser específicos para os profissionais de uma determinada empresa ou abertos para aqueles profissionais que tenham interesse na área de proteção ou, que devido ao trabalho, demandam um maior conhecimento.

# CAPÍTULO 5

## DADOS E ANÁLISES QUALITATIVAS

### QUESTIONÁRIOS COM

### PROFISSIONAIS DE PROTEÇÃO

Este capítulo apresenta resultados e análises dos questionários realizados com os profissionais que atuam na área de proteção de sistemas elétricos.

Os profissionais escolhidos têm grande experiência profissional, com um tempo médio de atividade técnica de aproximadamente 18 anos.

Foram escolhidos profissionais das seguintes áreas:

- **Ensino da proteção** (excetuando os professores das IES estudadas no Capítulo 4), com o objetivo de analisar como esses profissionais avaliam, de acordo com suas experiências, o ensino teórico e prático da proteção de sistemas elétricos. Foram selecionados, para a pesquisa, professores estritamente acadêmicos, bem como professores que também atuam no setor elétrico;
- **Setor de produção elétrica**, com o objetivo verificar quais são suas necessidades para o exercício da prática profissional.

O perfil desses profissionais é apresentado, a seguir, na Tabela 5.1. Para elaboração dessa tabela os profissionais foram agrupados por área de atuação e relacionados com o tempo médio de atuação profissional e atividades desenvolvidas.

Área de atuação profissional	Tempo médio de atuação	Atividades desenvolvidas
Ensino da proteção	18 anos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aulas de Proteção dos sistemas elétricos;</li> <li>- Aulas de Informática aplicada à engenharia elétrica;</li> <li>- Aulas de Projetos elétricos;</li> <li>- Aulas de Máquinas elétricas;</li> <li>- Pesquisa em Proteção digital de sistemas elétricos de potência;</li> <li>- Implantação de aulas práticas utilizando o LabView®.</li> </ul>
Setor de produção elétrica	18 anos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planejamento de sistemas elétricos de potência;</li> <li>- Análise de curto-circuito;</li> <li>- Estudos de ajuste/parametrização de proteções;</li> <li>- Análise de perturbações;</li> <li>- Proteção de sistemas de transmissão;</li> <li>- Proteção de sistemas de subtransmissão;</li> <li>- Proteção de sistemas de geração;</li> <li>- Planejamento da expansão de sistemas de transmissão e distribuição;</li> <li>- Cálculo de fluxo de carga, confiabilidade, equivalente de redes e outros;</li> <li>- Análise, programação e manutenção em sistemas computacionais;</li> <li>- Avaliação da rentabilidade econômica de projetos;</li> <li>- Projeto de sistemas elétricos industriais (baixa e média tensão);</li> <li>- Projeto de instalações elétricas prediais;</li> <li>- Especificação de equipamentos de distribuição;</li> <li>- Análise de desempenho operacional de equipamentos de 138 kV.</li> </ul>

Tabela 5.1 – Perfil dos sujeitos pesquisados

Inicialmente, em janeiro de 2007, foram feitos questionários com cinco profissionais. Os sujeitos da pesquisa, nessa primeira etapa, foram escolhidos devido à proximidade com o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia Elétrica (CPDEE) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Nesse primeiro

momento, o questionário continha apenas questões abertas (Anexo C). Com base nas respostas obtidas, pôde ser observada grande variação de opiniões, com relação aos conteúdos que deveriam ser abordados nas IES para a formação do profissional de proteção. Também foi observado que todos os sujeitos da pesquisa consideraram indispensáveis aulas práticas de laboratório.

A análise das respostas a esse questionário evidenciou a necessidade de incluir, dentre as instituições pesquisadas, a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), visto que um dos sujeitos da pesquisa ressaltou a importância desta Universidade no estudo da proteção elétrica em nosso país.

Considera-se aceitável a seguinte definição de pesquisa qualitativa:

“Pesquisa qualitativa — considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito, que não pode ser traduzido em números. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas, contudo existem procedimentos científicos que asseguram o rigor dos resultados. É descritiva. O pesquisador é o instrumento-chave” [35].

A partir dos dados do primeiro questionário (Anexo C), foi feita análise qualitativa das respostas, bem como levantamento de informações para a elaboração de um segundo questionário (Anexo B).

Com o objetivo de sanar problemas percebidos no primeiro questionário, tais como o nível de relação dos conteúdos, vistos pelos profissionais, com suas atividades profissionais ou a padronização dos conteúdos mais importantes, foi elaborado um segundo questionário.

No segundo questionário, optou-se por questões com o fornecimento das alternativas para as respostas e também, pelo aumento do número de sujeitos. Nesse questionário (Anexo B), foi colocado um número limite de respostas (itens) para algumas questões, com o objetivo de se detectar os tópicos realmente mais importantes para cada pergunta.

Em maio de 2007, iniciou-se então, novo processo de pesquisa, através do segundo questionário. Da mesma forma com que foram realizadas no primeiro questionário, as perguntas e respostas foram enviadas por *e-mail* pessoal.

O objetivo que se desejou alcançar, ao se aumentar a quantidade de sujeitos da pesquisa (foram enviados questionários a todos os funcionários de CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) e três professoras que atuam na área de proteção elétrica) foi, nessa etapa da pesquisa, procurar fazer uma análise também quantitativa. Do total de profissionais selecionados para responder ao segundo questionário, treze enviaram suas respostas.

Foram analisados os seguintes itens com relação a cada profissional pesquisado: instituição de ensino, envolvimento acadêmico com a disciplina de proteção, aplicabilidade do ensino na atividade profissional, conhecimentos importantes para o desempenho da atividade profissional, itens relacionados à graduação, à pós-graduação e às aulas de laboratório. Esses itens são apresentados e analisados a seguir.

### **5.1 IES x Sujeitos da pesquisa**

A grande maioria dos sujeitos cursou a graduação na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG) (Figura 5.1), sendo que, dentre os sujeitos, a maior parte deles é de funcionários da concessionária de energia elétrica do estado de Minas Gerais (CEMIG) e a grande maioria cursou a graduação enquanto trabalhava. As demais instituições têm seus cursos ofertados no turno diurno o que dificultaria cursar a graduação simultaneamente com o exercício da atividade profissional.

Durante a graduação, os sujeitos que cursaram Engenharia Elétrica na PUC-MG, tiveram a disciplina de proteção elétrica na grade curricular como disciplina de caráter obrigatório [8]. Nessa mesma instituição a disciplina agora também é de caráter optativo [9].

Cabe refletir se o caráter optativo da disciplina não diminui a quantidade de alunos com interesse pela área de proteção, e se isto não implica uma redução de engenheiros formados com conhecimentos em proteção. E mais ainda: quais as conseqüências desta escassez de profissionais para o setor elétrico? Segundo um dos sujeitos da pesquisa, membro do Comitê de Proteção e Automação da CIGRÉ Brasil, esta é uma das preocupações desse comitê.

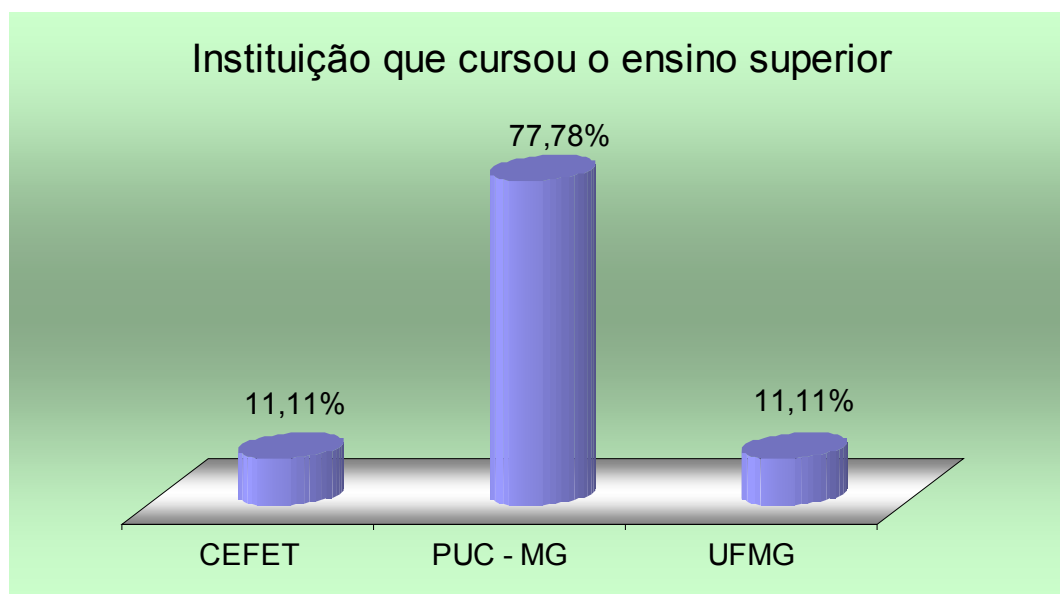


Figura 5. 1 – Distribuição de frequência de acordo com a instituição em que o sujeito cursou o ensino superior.

## **5.2 Relação dos sujeitos da pesquisa com a disciplina de Proteção Elétrica**

Todos os sujeitos cursaram a disciplina na graduação e 66,67% dos mesmos cursaram também a disciplina na pós-graduação.

Observa-se ainda que a maioria dos sujeitos da pesquisa fez também pós-graduação na área de proteção dos sistemas elétricos. Nesse sentido pode-se analisar a crescente procura dos profissionais por especialização ou a necessidade profissional por maiores conhecimentos na área de atuação.

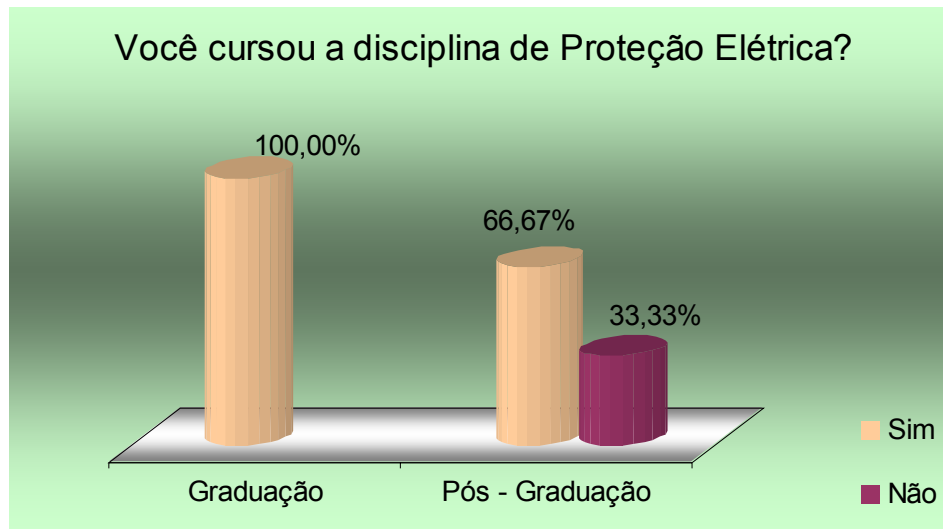


Figura 5. 2 – Distribuição de freqüência de acordo com a relação dos sujeitos com os estudos acadêmicos de Proteção Elétrica.

### **5.3 Aplicabilidade dos conteúdos vistos na graduação e pós-graduação**

Este item revela que a maioria (66,67%) (Figura 5.3) dos sujeitos da pesquisa julgou que os conteúdos abordados nas disciplinas, cursadas por eles, têm alta aplicabilidade nas suas atividades como engenheiro de proteção.

Esta informação mostra que existe consonância entre os cursos ofertados a estes profissionais e suas atuações profissionais.

Como pode ser visto no Anexo B, dentre as alternativas apresentadas para este item incluíam também as alternativas: pouco abordado e nenhuma abordagem. Pode ser interpretado que, embora os profissionais sintam a necessidade de aprendizado de diversos assuntos, as instituições associadas a esses profissionais oferecerem subsídios para o exercício de suas atividades.



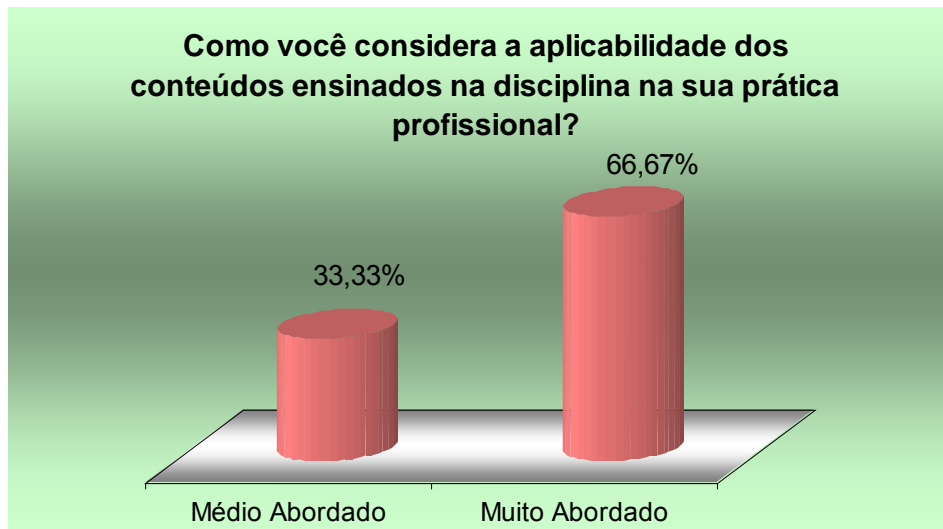


Figura 5. 3 – Distribuição de freqüência de acordo com a aplicabilidade dos conteúdos ensinados na disciplina na prática profissional dos sujeitos.

#### **5.4 Conteúdos x atividade profissional**

Na Figura 5.4 mostra-se que houve grande variação entre os itens selecionados, pelos sujeitos da pesquisa, como sendo importantes para o exercício de suas atividades profissionais (26 itens, dos 32 informados, foram selecionados). A variação se deve às particularidades de cada área de trabalho que a proteção elétrica exige, aos conteúdos abordados durante a graduação e pós-graduação e às necessidades pessoais de cada indivíduo.

Os itens mais citados, com 8,33%, são: Filosofia da proteção, Proteção de LT e Análises de faltas. Compreender a dinâmica de funcionamento da proteção e interpretar as ocorrências de falhas e o comportamento da proteção é condição primordial para o futuro engenheiro. O conteúdo de Filosofia da proteção é a base para o entendimento de todos os demais itens relacionados com proteção de sistemas elétricos. A análise de faltas trata-se do cotidiano do profissional, pois é através do estudo da possibilidade de ocorrência da falta que se baseiam os projetos de proteção. E é através da análise dos fenômenos que envolveram uma

falta que se pode retomar o funcionamento normal do sistema, bem como analisar os possíveis problemas ocorridos.

Em seguida, com 7,41% de indicação, vêm os itens: TC e TP, Proteção de equipamentos e Tipos de relés (sobrecorrente, distância...). É sabido pelos profissionais (técnico e ensino), ligados a área de proteção, que tais itens, como descritos no Capítulo 3, são importantes para a proteção dos sistemas.

É importante ressaltar que, embora com pequena porcentagem, aparecem assinalados alguns itens tais como: Cálculo diferencial e integral, Física, Circuitos elétricos, Programação, Transitórios eletromagnéticos e outros, que comprovam o caráter de interdisciplinaridade da disciplina. A compreensão da proteção requer do aluno uma visão ampla da estrutura e da dinâmica dos sistemas elétricos de potência, bem como, bons conhecimentos dos conteúdos dos ciclos básicos dos cursos de engenharia como Matemática e Física.

### **5.5 Ementa Graduação**

Com relação aos itens selecionados, pelos sujeitos da pesquisa, como importantes para uma disciplina de proteção na graduação, a variação foi menor do que a variação apresentada para o desempenho da atividade profissional.

Conforme mostrado na Figura 5.5, os itens de Proteção de linhas de transmissão (LT) e Filosofia da proteção, obtiveram o maior percentual de indicação, 13,33%. A importância da filosofia da proteção, já foi abordada no item anterior 5.4 e a proteção de LT é novamente citada pelos sujeitos, pois requer atenção devido à sua extensão e grande quantidade de equipamentos a ela associados.

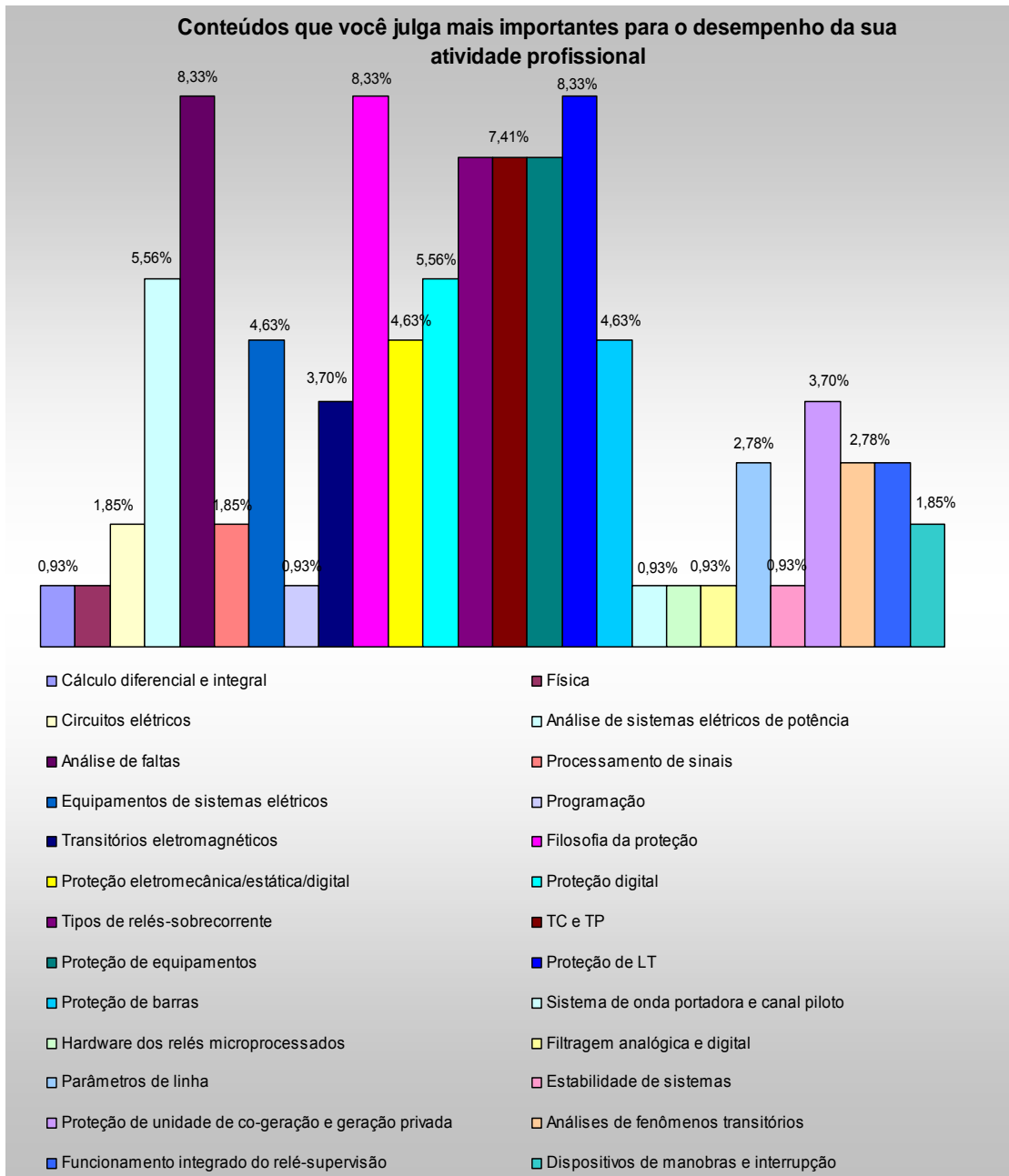


Figura 5. 4 – Distribuição de freqüência de acordo com os conteúdos que o sujeito julga mais importantes para o desempenho da sua atividade profissional na área de sistemas elétricos.

Outro item com alto índice de indicação é a Proteção de equipamentos (transformadores, motores e geradores). A proteção de sistemas elétricos tem como papel principal a proteção dos elementos que compõem um sistema elétrico, dentre eles, as máquinas elétricas. São equipamentos que, caso sejam danificados, podem provocar a suspensão de energia elétrica aos consumidores, o que implica em

grandes perdas financeiras na reposição de novos equipamentos e restabelecimento da energia. O engenheiro de proteção deve ter conhecimento dos sistemas de proteção de tais equipamentos.

O conhecimento das proteções adequadas a cada elemento que compõe o sistema é de tal importância que nas empresas do setor elétrico, os profissionais têm-se dedicado ao estudo da proteção específica por setores – geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (Conforme o primeiro questionário (Anexo C) respondido por um funcionário da Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG).

Novamente são apontados como mais importantes, para fazer parte da ementa de graduação, os itens relacionados a Tipos de relés, TC e TP e Análise de faltas.

Também de acordo com a Figura 5.5, aparecem itens como Circuitos elétricos e Processamento de sinais, isso mostra, mais uma vez, que a proteção é uma disciplina que não pode ser abordada de forma dissociada, pois existe correlação entre diversas disciplinas da graduação. Podem ser levantadas outras duas questões: a disciplina de Circuitos Elétricos é uma disciplina básica nos Cursos de Engenharia Elétrica (conforme recomendações de conteúdos do Ministério de Educação e Cultura (MEC)); os alunos podem não estar chegando preparados para entender a análise de proteção dos sistemas elétricos. Quanto ao conteúdo de Processamento de sinais é importante saber que é uma disciplina relativamente nova nos cursos de Engenharia Elétrica e que surgiu justamente da necessidade de se tratar os sinais para analisá-los e poder atuar nos sistemas [25]. Essa necessidade surgiu com o avanço dos equipamentos, que levaram ao uso de circuitos microprocessados.

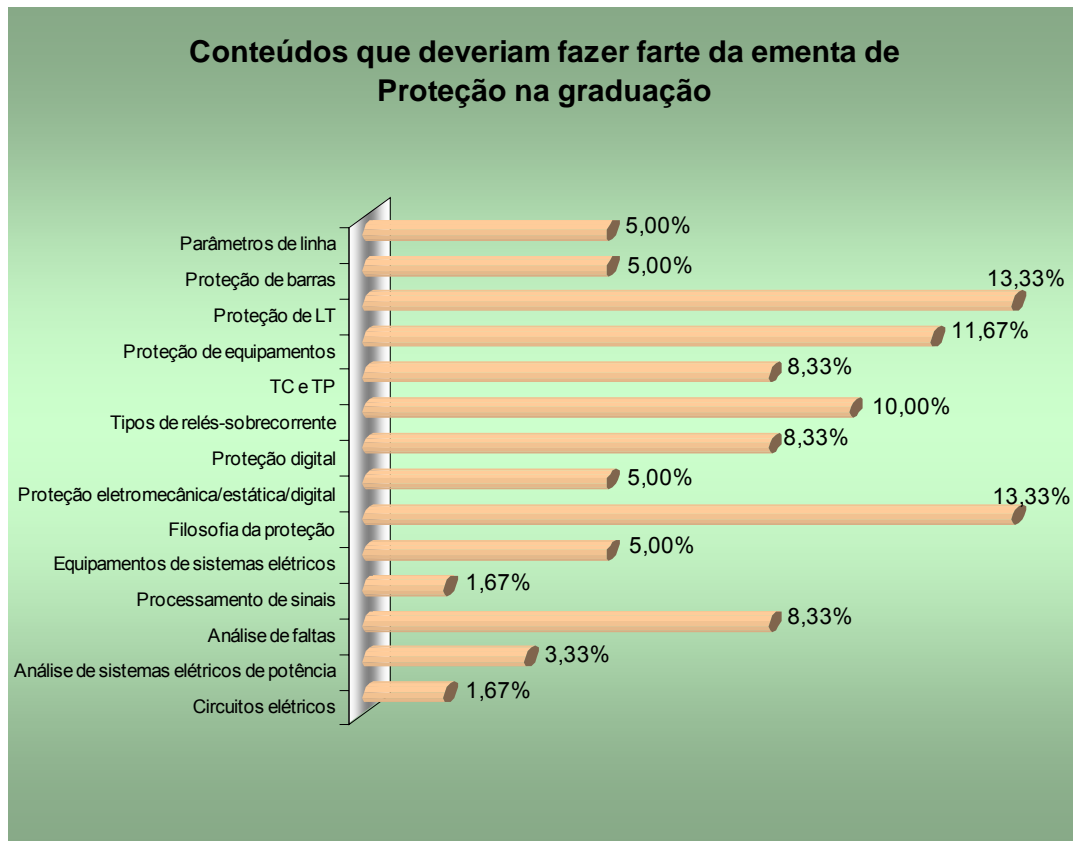


Figura 5. 5 – Distribuição de freqüência de acordo com os conteúdos que deveriam fazer parte da ementa de proteção na graduação.

## 5.6 Ementa Pós-Graduação

De acordo com a Figura 5.6, pode-se observar que a variação de escolha dos itens, apontados como importantes para uma disciplina de proteção elétrica, na pós-graduação, é bem maior (foram mencionados 21 dos 32 itens propostos) que a variação de escolha para a graduação. Observa-se que a pós-graduação está relacionada com as necessidades individuais de cada engenheiro e sua área específica de atuação dentro da proteção.

O item mais selecionado foi Proteção de LT (incluindo algoritmos de localização de faltas) com 13,11%. Esse item mais uma vez com alto índice, indica que além dos conhecimentos básicos de proteção de LT's, existe a necessidade de conhecimentos mais profundos e específicos sobre o assunto. É uma demanda

pertinente, pois as tecnologias que envolvem proteção de LT estão em constante evolução, incluindo novos estudos e propostas de projetos.

Os itens Proteção digital e Análise de faltas tiveram 9,84% de indicação. Ambos aumentaram o percentual com relação aos conteúdos da graduação, o que indica que na pós-graduação estes tópicos devem ser mais detalhados. Inclui-se na Proteção digital particularidades tais como *softwares*, *hardwares*, especificação para relés digitais (ambiente elétrico - isolamento. - compatibilidade eletromagnética. - vibração mecânica) e a análise de ocorrências do sistema. Quanto à Análise de faltas, observa-se que após o conhecimento geral de proteção, bem como as particularidades de proteção dos elementos que compõem o sistema, o engenheiro de proteção demanda conhecimentos para interpretar as ocorrências de falhas e suas conseqüências no sistema elétrico.

Com a introdução da proteção digital, tornam-se necessários os estudos de filtros, tanto analógicos quanto digitais. Com 8,2% de indicação encontra-se o item Filtragem analógica e digital.

“Uma das atrações da área de proteção digital é a rica combinação de disciplinas acadêmicas em que se baseia. Além da proteção digital em si, ela depende de engenharia da computação para compreender os hardwares, nos sistemas de comunicação para compreensão da interação entre os equipamentos e de elementos de processamento de sinais e estimação na compreensão dos algoritmos” [24].

Os filtros fazem parte do processamento de sinais, tendo como objetivo a extração das freqüências fundamentais dos sinais de tensão e corrente, que posteriormente serão usadas pelos conversores analógicos-digitais. Os filtros podem ser passivos, com o uso somente de resistores e capacitores, ou ativos, incluindo amplificadores operacionais.

Quanto a Filosofia da proteção, que aparece como o quinto maior índice (6,56%) é contraditório, pois para uma disciplina de pós-graduação já deveria ser um conhecimento adquirido na graduação, tendo em vista que 100% dos sujeitos da pesquisa cursaram a disciplina durante a graduação.

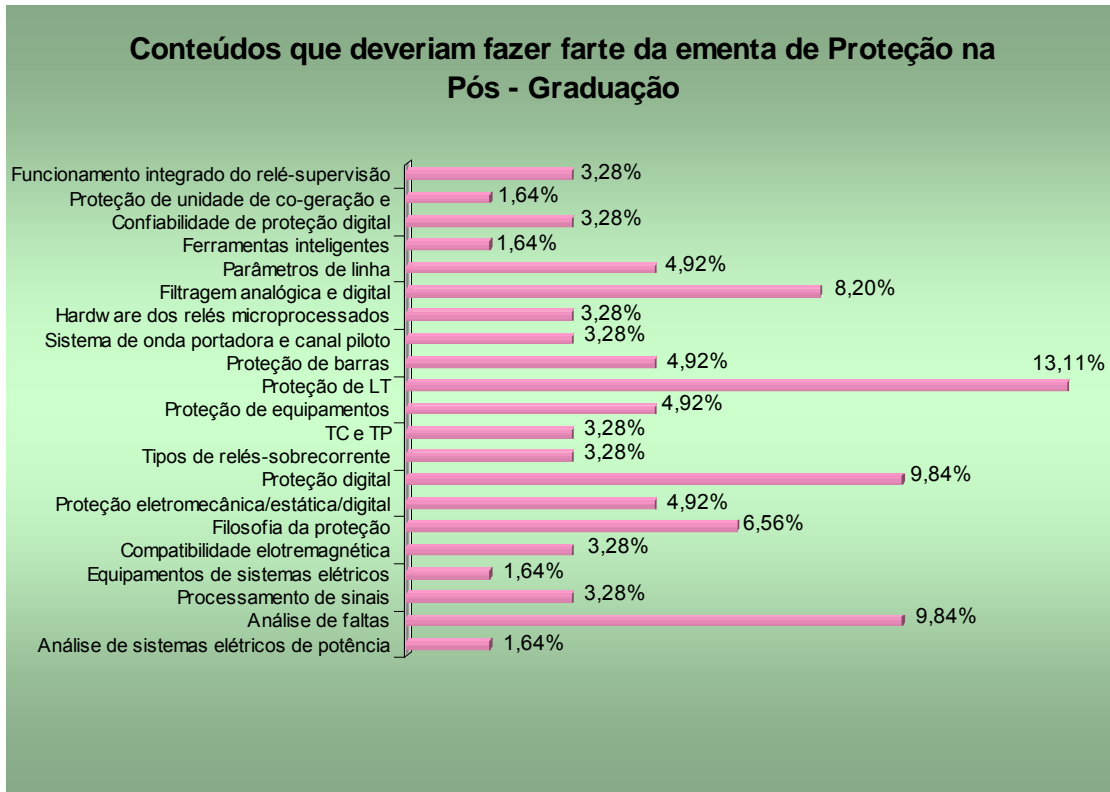


Figura 5. 6 – Distribuição de frequência de acordo com os conteúdos que deveriam fazer parte da ementa de Proteção na Pós-Graduação.

### **5.7 Aulas práticas de laboratório**

Mais da metade (55,56%) (Figura 5.7) dos sujeitos da pesquisa não teve aulas de laboratório, tanto na graduação quanto na pós-graduação. Os sujeitos que tiveram aulas de laboratório (44,44%) formaram há mais de 10 anos e na instituição em que estudaram havia laboratório. Atualmente, não existem aulas de laboratório, pois o mesmo foi desativado [7, 8] Conforme visto no item 4.2 do Capítulo 4, a tendência é que dentre os novos engenheiros de proteção, este índice (44,44%) seja bem maior.

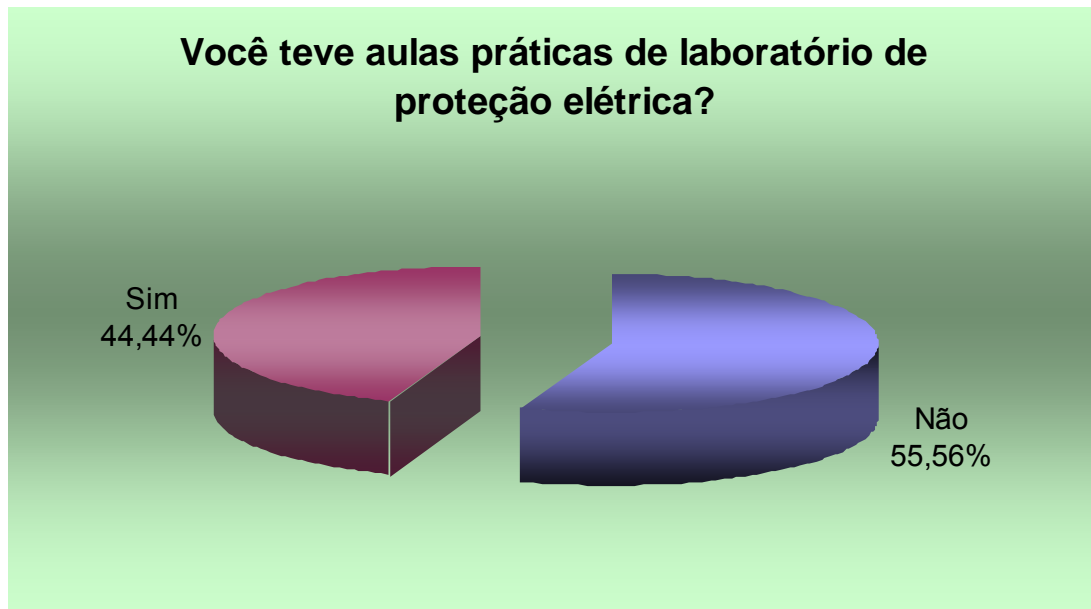


Figura 5. 7 – Distribuição de freqüência de acordo com a realização de aulas práticas de laboratório de proteção elétrica, durante os estudos acadêmicos.

De acordo com os sujeitos da pesquisa, 100% deles afirmaram a relevância das aulas práticas de laboratório de proteção elétrica. Isto mostra a necessidade que os profissionais desta área têm em praticar os conhecimentos adquiridos na teoria e trabalhar conteúdos que não são possíveis dentro das aulas teóricas. Um dos sujeitos da pesquisa, comentou que “sentiu falta até de conhecer o aspecto morfológico dos relés”. Em uma disciplina de caráter tecnológico, nem todos os conceitos são assimilados com teorias, é preciso realizar testes, verificar funcionamentos, analisar resultados. Dessa forma os conceitos transcenderão as salas de aula.

Os dois maiores índices (10%) apontados como importantes para as aulas de laboratório (Figura 5.8) foram Ajuste de relés e o Levantamento da operacionalidade dos mesmos. Esses itens, realmente são itens grandemente caracterizados por suas dinâmicas práticas. É através da execução de atividades práticas, que o aluno desenvolverá habilidades para posteriormente atuar como engenheiro, detentor da arte de engenho.



A Análise de faltas juntamente com a Proteção digital tiveram 7,14% (Figura 5.8). Este índice indica a necessidade de que, nas aulas práticas de laboratório, tenha a possibilidade de se trabalhar as novas tecnologias que envolvam a proteção digital juntamente com o tratamento de informações sobre as faltas ocorridas nos sistemas elétricos.

Observa-se que, quanto a desenvolvimento/elaboração de projetos os engenheiros não apresentam dificuldades, mas quanto à análise de ocorrências dos fenômenos elétricos ocorridos no sistema, existe uma grande demanda (Conforme respostas aos questionários apresentados nos Anexos B e C).

Com 5,71% (Figura 5.8) de indicação vem a Proteção de linhas de transmissão (LT) e os Dispositivos de manobra e interrupção. A Proteção de LT foi citada em todas as questões relacionadas à atividade profissional e ensino. Conforme colocado nos itens 5.4, 5.5 e 5.6, existe a necessidade do conhecimento em Proteção de LT. Porém neste item (5.7) é importante colocar as dificuldades de se equipar um laboratório com elementos relacionados a Proteção de LT, pois demanda infraestrutura mais complexa, que vai além da presença de alguns relés e dispositivos de interrupção e manobra.

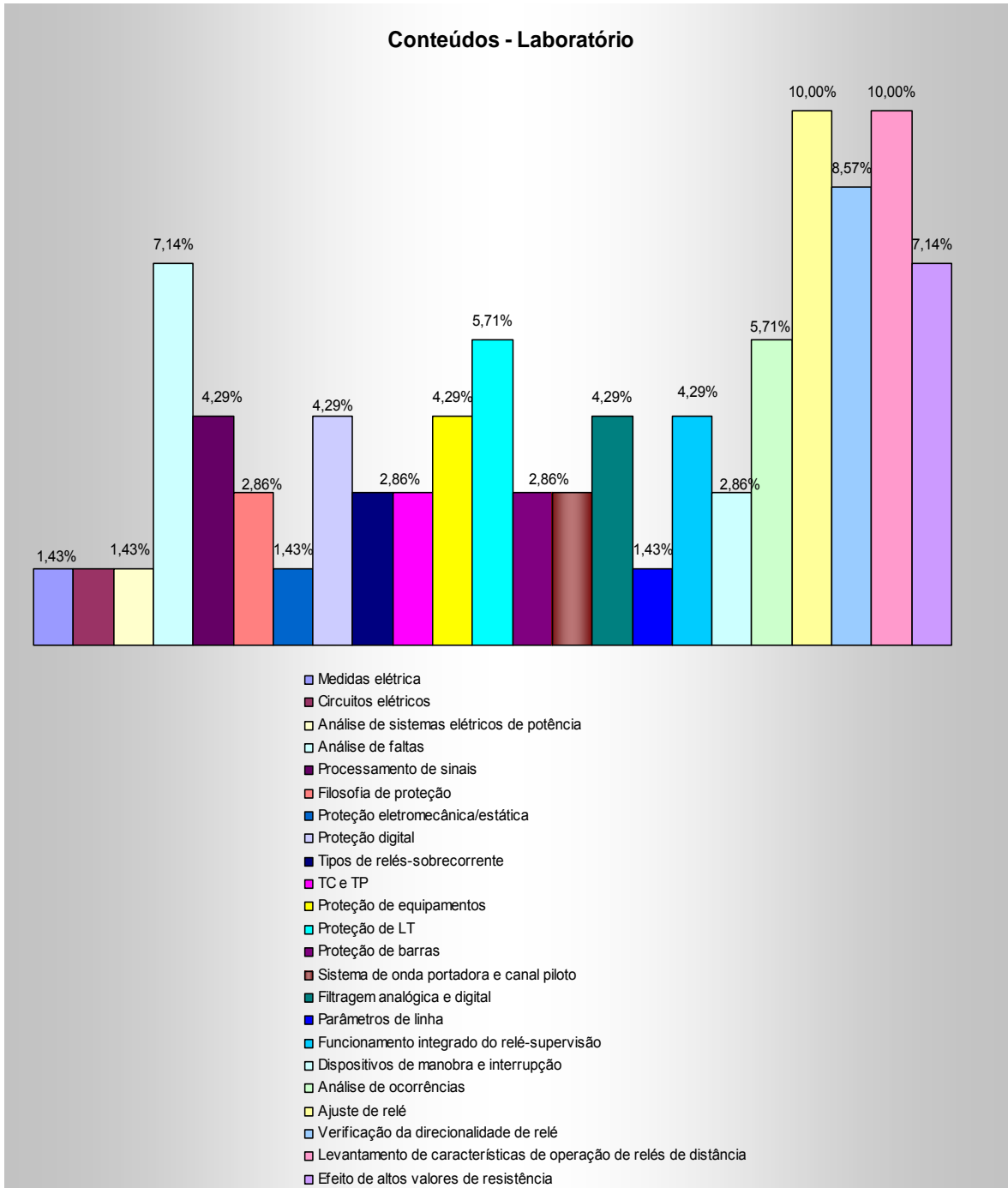


Figura 5. 8 – Distribuição de freqüência de acordo com os conteúdos que julga mais importantes/necessários para as aulas práticas.

# CAPÍTULO 6

## UMA PROPOSTA DE CURSO

### ASPECTOS TEÓRICOS E PRÁTICOS

A seguir é apresentada uma proposta de curso para a disciplina de proteção dos sistemas elétricos nos cursos de graduação em Engenharia Elétrica. Proposta esta que envolve os seguintes itens: pré-requisito, carga horária, ementa, métodos didáticos e bibliografia.

Conforme colocado no Capítulo 1, item 1.1, durante este trabalho foi analisado também, alguns itens referentes à pós-graduação, porém o objetivo deste trabalho é a elaboração de uma proposta para a graduação.

A proposta apresentada baseia-se em sugestões do ensino de engenharia, nos questionários realizados com os profissionais e professores, bem como nas pesquisas junto às instituições de ensino superior (IES).

Verificou-se ao longo dos estudos realizados no Capítulo 5, que devido ao caráter multidisciplinar da proteção de sistemas elétricos, é requerido que o aluno tenha conhecimentos de outros conteúdos que compõem o curso de Engenharia Elétrica, bem como tenha a capacidade de correlacionar esses conteúdos. É necessário que o aluno saiba que o trabalho, como engenheiro de proteção, demanda dele essa capacidade de realizar interligação entre as mais diversas áreas da engenharia elétrica.

#### **6.1 Laboratório e Atividades Práticas**

A proposta é apresentada, a seguir, de forma idealizada sem, contudo, abandonar os aspectos práticos para implementá-la. Sob este ponto de vista, existem as dificuldades de desenvolvimento de um laboratório para práticas de proteção de

sistemas elétricos: existência de uma diversidade de modelos; os fabricantes de relés são poucos e internacionais, não existindo uma cultura desses em investir nas Universidades e mantendo os preços dos produtos elevados (não existe concorrência significativa); a evolução constante dos microprocessadores (base dos relés digitais), implicando em constantes mudanças nos equipamentos; a impossibilidade de se reproduzir, em laboratório, um sistema elétrico com todas as suas particularidades de equipamentos e estrutura.

Para se montar um laboratório de proteção, poderia ser utilizada uma das soluções a seguir:

- Planta do sistema elétrico – como já colocado, tal reprodução do sistema é inviável;
- Utilização de simuladores em tempo real, em um sistema modular. Através desse sistema seriam feitas aquisições de dados para análises de sistemas de proteção elétrica – essa alternativa é bastante onerosa.

Portanto, tais soluções são inviáveis dentro das condições atuais das IES.

Outro fator limitador da implementação de laboratório de aulas práticas de proteção, é quantidade de alunos, por semestre nessa disciplina. Como são poucos alunos, nem sempre financeiramente é viável. Mas cabe aqui, lembrar que o sistema elétrico, que os futuros alunos irão proteger, envolve valores financeiros muito maiores.

Sabendo das dificuldades expostas acima, o laboratório proposto deverá ser estruturado com alguns equipamentos como, por exemplo: alguns tipos de relés, tanto eletromecânicos, estáticos e microprocessados para que o aluno tenha contato com o aspecto morfológico e a possibilidade de realização de alguns testes (lembrando que os novos relés hoje implementados são digitais). Poderá ter também alguma plataforma para realização de simulações, como por exemplo, o *LabVIEW*<sup>®</sup> [36 e 37]. A plataforma de simulação dará ao aluno a possibilidade de fazer estudo de casos e análises de perturbações e ocorrências, tão necessários para a atuação do futuro profissional. Como em um laboratório não se consegue reproduzir todas as

perturbações que fazem parte do cotidiano do profissional de proteção dos sistemas elétricos, a plataforma de simulação é um bom recurso didático.

Conforme os questionários (Anexos B e C) realizados e os argumentos apresentados no Capítulo 5, observou-se a necessidade de aulas práticas. Acredita-se que, caso o aluno possa realizar algumas atividades práticas com algum modelo específico de relé, o mesmo terá condições posteriormente de transpor os conhecimentos adquiridos para outros modelos e tipos de relés.

Ainda no que diz respeito às atividades práticas, coloca-se a possibilidade de realização de visitas técnicas em indústrias ou principalmente em usinas elétricas para que o aluno possa ter uma visão sistêmica do ponto de vista de proteção bem como, uma proximidade com a diversidade de equipamentos que envolvam a proteção.

## **6.2 Projeto de pesquisa e prática**

As turmas de proteção dos sistemas elétricos são, em quase sua totalidade, turmas reduzidas, por ser uma disciplina na grande maioria das vezes optativa. Em virtude desse número reduzido de alunos, pode ser realizado um trabalho mais próximo aos alunos. Outra característica da disciplina é que a mesma é ofertada em torno do último ano de graduação (conforme planos de ensinos das IES pesquisadas). Acredita-se que deva ser assim, implicando que o aluno já adquiriu maturidade pessoal e maior conhecimento técnico para a compreensão da disciplina.

Segundo Perrenoud [4]:

“Para desenvolver competências é preciso, antes de tudo, trabalhar por resolução de problemas e por projetos, propor tarefas complexas e desafios que incitem os alunos a mobilizar seus conhecimentos e, em certa medida, completá-los”.

Com a finalidade de se trabalhar as competências do futuro engenheiro aliadas a um conhecimento mais profundo dos tópicos de proteção, que conforme apontados nos

Capítulo 3, 4 e 5 apresentam grandes diversidades, é proposto um projeto de pesquisa e prática. Esse projeto de pesquisa e prática sugere que além das visitas, os alunos sejam divididos em grupos de pesquisa das diversas áreas da proteção, tais como: proteção de geradores, proteção de motores, proteção de linhas, proteção de barras e proteção de transformadores.

Os grupos de pesquisa devem ser divididos no início do semestre letivo para que, ao longo do semestre, os alunos desenvolvam suas pesquisas. É importante verificar o amadurecimento dos alunos em termos dos conteúdos de proteção elétrica bem como dos seus temas específicos de pesquisa.

Cada grupo, de pesquisa e prática, poderá avaliar as seguintes etapas relacionadas à proteção de sistemas elétricos: projetos de proteção, implementação desses projetos e análise da atuação da proteção. Como fechamento desse projeto, deverá ser elaborado um documento técnico. O documento deve ser desenvolvido ao longo do semestre sob a orientação do professor da disciplina. Os alunos devem fazer seus estudos seguindo o viés: visitas técnica, estudos em grupo, reuniões com o professor para realimentação do processo a cada quinze dias, ou quando julgarem necessário, e pesquisas bibliográficas.

Esse estudo, realizado pelo grupo de alunos, que tem como produto, um documento, deverá ser apresentado para o professor, demais colegas e convidados de outras áreas (profissionais de empresas e professores).

A proposta de pesquisa é apresentada na Figura 6.1 a seguir.

Algumas considerações:

1. *Estudo de caso* - diz respeito àquilo que envolve o tema de cada grupo. Como exemplo, pode ser citado Proteção de linhas: Qual a filosofia, quais os elementos para a proteção de LT, qual é a incidência de faltas em LT, dados reais obtidos de transitórios em LT, quais são os novos estudos em proteção de linhas e outros.

2. *Levantamento das informações* – onde cada grupo procura as informações necessárias para o estudo com base no item (1). Estas informações podem ser buscadas em livros, artigos, *web*, concessionárias do setor elétrico, fabricantes, indústrias e centros de pesquisas em proteção elétrica.

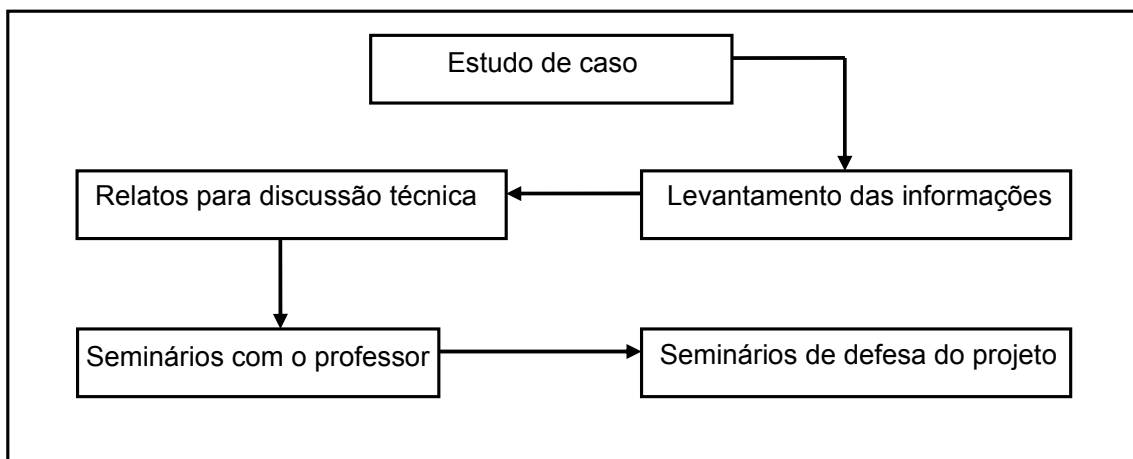


Figura 6.1 – Proposta de projeto e prática

3. *Relatos para discussão técnica* – Consistem em elaboração de resumos, contextualizações, análises, estudos e elaborações de textos a partir do levantamento das informações (item (2)).

4. *Seminários com o professor* – Nessa etapa, os grupos devem apresentar os relatos (item (3)) realizados para o professor, que a partir do método tutorial oxfordiano discutido no item 2.1, Capítulo 2, avaliará o andamento da pesquisa. Nesses seminários os grupos devem sustentar suas análises e, posteriormente, ouvir atentamente as críticas e sugestões do professor. Esses seminários deverão ser realizados ao longo da elaboração do projeto de pesquisa e prática.

5. *Seminários de defesa do projeto* – Nesses seminários os grupos de alunos devem apresentar suas pesquisas e conclusões das mesmas. Em seguida, deve-se ter um momento para comentários dos demais alunos e professores de outras áreas afins, contribuindo para o processo de ensino-aprendizagem. Acredita-se que, neste momento, podem ser levantadas novas questões em que, através da troca experiências, o conhecimento é ampliado.

Ainda nessa etapa o professor de proteção, deverá fazer a interligação entre todos os temas de pesquisa e prática apresentados. Caberá ainda, ao professor da disciplina, realizar a correlação envolvendo os aspectos teóricos, práticos e de outras áreas, como por exemplo, supervisão e controle.

Algumas considerações com relação ao projeto de pesquisa e prática:

a. Convidados de outras áreas (professores e profissionais técnicos)

Conforme analisado no Capítulo 2, é importante a possibilidade de se trabalhar a interdisciplinaridade. É sabido que a proteção de sistemas elétricos engloba várias áreas do conhecimento, sendo colocada, por alguns acadêmicos, como uma disciplina “horizontal”, ou seja, uma disciplina que está ligada a outros conteúdos, tais como: circuitos elétricos, análises de sistemas elétricos (regime permanente e transitório), processamento de sinais, eletrônica, máquinas elétricas (estáticas e rotacionais), programação e outros. E ainda com os relés microprocessados, as áreas de proteção, supervisão, controle e automação estão intimamente entrelaçadas. Lembra-se que os relés digitais não desempenham funções somente de proteção, eles fazem aquisições de dados e armazenam informações para outras áreas relacionadas aos sistemas elétricos. Como mencionado por um dos sujeitos da pesquisa,

(“considerando que os relés atuais fazem, além das funções de proteção, várias outras funções acessórias, as aulas práticas seriam importantes para o aluno entender melhor o funcionamento integrado de um relé de proteção e poder visualizar informações disponibilizadas pelos relés, como eventos, oscilogramas...”),

há a necessidade de um conhecimento maior desta associação entre proteção digital e demais áreas afins. No momento das apresentações, os convidados podem contribuir, através dos seus conhecimentos, para a formação do profissional, com opiniões, comentários e propostas de novos estudos. Também é uma forma de aproximar os alunos, a Universidade e o mundo do trabalho.



#### b. Método tutorial:

Conforme exposto no Capítulo 2, item 2.1, esse método requer participação do professor além dos limites da sala de aula. É preciso que o professor transcenda o modelo existente em que o aluno é agente passivo e o professor está restrito às aulas teóricas.

Como já foi colocado e também demonstrado, nos gráficos dos Capítulos 5 e 6, o universo da proteção elétrica é muito grande; envolvendo desde conceitos genéricos de eletricidade e equipamentos até particularidades específicas de proteção. Nos seminários de cada grupo com o professor, o mesmo poderá dar sustentação para os alunos em suas pesquisas, auxiliando-os nos aspectos teóricos e práticos que envolvem cada tema de pesquisa.

#### c. Pesquisa

Conforme apresentado no item 2.7 do Capítulo 2, a pesquisa, tanto em fontes teórico-textuais (livros, artigos e outros) quanto em fontes não textuais (empresas de projetos, concessionárias de energia elétrica ou indústrias), é fundamental na elaboração, pelo próprio aluno, do saber.

Através de tais pesquisas, a aprendizagem de assuntos relacionados aos tópicos mais recentes (relacionados a novas pesquisas) e daqueles tópicos relacionados aos aspectos mais práticos, deverá ser construída também pelo aluno. O aluno deixa de ser o sujeito passivo citado anteriormente (Método tutorial), para ser sujeito ativo no processo de construção do seu conhecimento.

### **6.3 Aulas expositivas em sala de aula**

Sugere-se, que dentro das possibilidades, sejam levados para a sala de aula, alguns estudos de casos reais correlacionados com a proteção elétrica. Para tanto, podem ser usado recursos computacionais com o objetivo de se mostrar programas

específicos de proteção, dados de sistemas elétricos obtidos junto a concessionária, fotos de equipamentos, exemplos de projetos de proteção e outros.

#### **6.4 Demais itens relacionados à metodologia didática**

Exercícios e estudos dirigidos (atividades em sala de aula) apontados pelas IES (Anexo A) pesquisadas devem, além dos itens 6.1, 6.2 e 6.3 sugeridos anteriormente, fazer parte da metodologia de ensino proposta. Com atividades de exercícios, dentro e fora da sala de aula, o aluno pode levantar dúvidas surgidas depois das explicações do professor e reforçar os conteúdos aprendidos.

#### **6.5 Ementa**

A ementa proposta na Tabela 6.1, apresentada no final deste capítulo, foi elaborada com base nas ementas das IES pesquisadas, das necessidades dos profissionais de proteção e nos livros textos da área de proteção.

Os itens sugeridos são, como toda a proposta deste capítulo, para uma disciplina de proteção de sistemas elétricos oferecida na graduação. Recomenda-se que demais itens que envolvem a proteção elétrica possam ser abordados em disciplinas de pós-graduação ou dentro dos projetos de pesquisa e prática. Podem ser citados como exemplo, para a pós-graduação, *hardware* de relés digitais, ferramentas inteligentes, como lógica *fuzzi*, filtros analógico e digital e outros.

Esses itens selecionados formam a base do conhecimento em proteção elétrica sem, contudo, ignorar as mudanças tecnológicas que o setor apresenta.

O item História evolutiva dos princípios de funcionamento dos relés foi colocado com dois objetivos: para que o aluno tenha uma compreensão do avanço ocorrido na área de proteção nos últimos anos e devido ao fato de que, embora os novos sistemas sejam digitais, ainda existam alguns equipamentos em funcionamento de tecnologias mais antigas.

Na ementa sugerida foram colocados também os itens relacionados às atividades propostas de laboratório. Os itens identificados com “T” referem-se a aulas teóricas, enquanto os itens identificados com “L” referem-se a aulas de laboratório. O conteúdo Tipos de relés deve ser abordado, tanto nas aulas teóricas (T), através dos fundamentos e características de funcionamento, quanto nas aulas de laboratório (L), utilizando-se um dos aspectos práticos de funcionamento dos mesmos.

Os itens Ajustes de relés, Análises de falhas e Estudos de casos e Verificação de direcionalidade dos relés, são itens com características extremamente práticas e foram bastante solicitados pelos sujeitos da pesquisa, conforme pode ser visto no item 5.7, Capítulo 5. Embora tenha sido citado, o item Verificação de direcionalidade dos relés, não foi colocado na ementa por acreditar-se que não traria ganhos significativos de conhecimento. Optou-se, por contemplar outros itens mais relevantes, em decorrência da carga-horária que seria necessária para apresentação da vasta quantidade de conteúdos.

#### **6.5.1 Descrição dos itens colocados na ementa da proposta de curso (Figura 6.2)**

- a. Princípios fundamentais dos sistemas de proteção/Filosofia da proteção – Apresentação geral dos elementos que compõem a proteção elétrica, bem como a filosofia da proteção (importância da proteção elétrica, situações de atuação da proteção elétrica, definições utilizadas em proteção elétrica, como por exemplo, confiabilidade e zonas de proteção);
- b. História evolutiva dos princípios de funcionamento dos relés – Fazer uma análise dos princípios de funcionamento dos diversos relés já utilizados (relés eletromecânicos, relés estáticos), até os relés digitais. Este item justifica sua importância, devido ao conhecimento da própria história, bem como por ainda existirem, em funcionamento, alguns relés que não são os chamados digitais;
- c. Dispositivos de manobra e interrupção – Apresentação dos principais dispositivos de manobra e interrupção associados à proteção elétrica, como por exemplo, disjuntores;

- d. TC e TP – Estudo dos equipamentos Transformadores de Corrente e Transformadores de Potencial aplicados à proteção elétrica, seus princípios funcionamento, suas características e funções diante do sistema de proteção;
- e. Tipos de relé: Sobrecorrente, Distância, Diferencial e Direcional – Estudos das características, princípios de funcionamento e análises de atuação;
- f. Proteção digital: características gerais – Abordagem da estruturação da proteção digital, suas características, interfaces, módulos. Nesse item, deve também ser incluído um exemplo de operação de um relé digital.
- g. Proteção de equipamentos: transformadores, motores e geradores – Neste item é importante salientar, que alguns autores, colocam a importância do aluno compreender somente os sistemas de proteção, tendo a flexibilidade para usá-los de acordo com as características de proteção do sistema elétrico em que futuramente irão atuar. Enquanto outros autores já apresentam modelos de concepção da proteção para esses equipamentos em questão (transformadores, motores e geradores);
- h. Proteção de barras – Embora as Barras sejam consideradas, por alguns autores, também equipamentos, neste estudo foram tratadas como um item separado;
- i. Proteção de LT (incluindo detalhamentos relativos à proteção digital) – Item também considerado equipamento do sistema elétrico. Além das características típicas de proteção de LT, pode também ser colocado exemplo de sistema de atuação de proteção digital;
- j. Sistema de canal piloto e onda portadora – Estudo dos princípios de sistema de canal piloto e onda portadora;
- k. Análises de falhas e Estudos de casos – Exemplos práticos de análises de falhas ocorridas num sistema elétrico;
- l. Ajuste de relés – Elaborar, dentro das particularidades de infra-estrutura de laboratório, de cada IES, ajuste em relés;

## **6.6 Carga horária**

A carga horária de teoria (60 horas-aulas) foi indicada com base na carga horária da maioria das ementas pesquisadas e por se acreditar que é um tempo razoável para o aprendizado de aspectos gerais de proteção e de algumas particularidades, como detalhamento de proteção de linhas.

A carga horária prevista para as atividades de laboratório deve ser de 30 horas-aulas, ou seja, para cada dois encontros em salas de aulas teóricas, os alunos se encontram uma vez para práticas de laboratório. Nessa aula semanal, os alunos podem verificar e, portanto, solidificar conceitos vistos na teoria ou aprender novos conceitos relativos a funcionamentos de equipamentos.

## **6.7 Bibliografia**

A bibliografia indicada é a bibliografia básica relativa à proteção elétrica, e compatível com a ementa proposta.

Os grupos de pesquisa e prática podem e devem diversificar a bibliografia, buscando textos específicos dos seus temas de investigação. Para tanto, o professor pode indicar novas bibliografias ou deixar que, em um primeiro momento, os próprios alunos realizem a busca de informações.

## **6.8 Considerações acerca da proposta apresentada neste Capítulo**

A proposta apresentada para a disciplina de proteção, que foi baseada em estudos teóricos, questionários realizados e práticas profissionais adquiridas, foi colocada, sem, contudo, esquecer que cada Instituição de Ensino Superior (IES) tem suas potencialidades. Sendo assim, cada IES deve procurar adaptar o ensino às suas realidades, seja de instituição particular ou pública, seja de instituição próxima de

grandes centros consumidores ou instituição localizada em pequenas cidades, caso tenha possibilidades de parcerias ou não, entre outras diferenças.

<b>PROPOSTA DE CURSO</b>	
<b>Disciplina</b>	Proteção dos Sistemas Elétricos
<b>Carga-horária</b>	60 horas-aulas – Teoria 30 horas-aula – Laboratório
<b>Pré-requisito</b>	Análise de Sistemas Elétricos
<b>Ementa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Princípios fundamentais dos Sistemas de proteção/Filosofia da proteção – T</li> <li>- História evolutiva dos princípios de funcionamento dos relés - T</li> <li>- Dispositivos de manobra e interrupção – T e L</li> <li>- TC e TP - T</li> <li>- Tipos de relés (Sistemas de Proteção): Sobrecorrente, Distância, Diferencial e Direcional – T e L</li> <li>- Proteção digital: Características gerais - T</li> <li>- Proteção de equipamentos: transformadores, motores e geradores - T</li> <li>- Proteção de barras – T</li> <li>- Proteção de LT (incluindo detalhamentos relativos à proteção digital) – T</li> <li>- Sistema de canal piloto e onda portadora - T</li> <li>- Análises de falhas e Estudos de casos - L</li> <li>- Ajustes de relés – L</li> </ul>
<b>Bibliografia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MASON, C. R., The art and science of protective relaying”. John Willey &amp; Sons, New York, 1956.</li> <li>- PEREIRA, C., Curso de Proteção Digital de Linhas de Transmissão. Convênio Eletrobrás/FCO/EE.UFGM, 1998.</li> <li>- The General Electric Company Limited of England, Protective Relays Application Guide. Oxley Press, 1976.</li> <li>- WARRINGTON, A. R. Van C., Protective Relays-Their Theory and Practice, vol I. Chapman &amp; Hall Ltd., London, 1962.</li> <li>- WARRINGTON, A. R. Van C., Protective Relays-Their Theory and Practice, vol II. Chapman &amp; Hall Ltd., London, 1972.</li> <li>- MELO, F. P. de, Proteção de Sistemas elétricos de Potência – Curso de Engenharia de sistemas Elétricos de Potência. Série PTI. Editora da Universidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 1979.</li> </ul>

Figura 6.2 – Proposta de Plano de ensino para a disciplina de Proteção dos Sistemas Elétricos

# CAPÍTULO 7

## CONCLUSÃO

Neste trabalho foi feito um estudo comparativo das ementas, dos métodos de ensino, da carga horária e da bibliografia dos cursos de proteção na graduação e na pós-graduação de algumas instituições de ensino superior.

Com base nas respostas a um questionário, foram levantadas as necessidades dos profissionais que atuam com proteção elétrica, seja no ensino ou nas concessionárias de energia elétrica.

Análises com relação às pesquisas junto às Instituições de Ensino Superior e também, com relação às respostas aos questionários, pelos profissionais, foram apresentadas ao longo dos Capítulos 4 e 5.

Foi verificado, após pesquisas realizadas na área de ensino de engenharia, que muito tem sido estudado, mas que na maioria das vezes trata-se de temas genéricos relativos ao ensino de engenharia, como projeto de conclusão de curso ou estágio supervisionado, ou temas relacionados às disciplinas do ciclo básico.

A partir dos estudos realizados e visando o entendimento das necessidades dos profissionais que atuam na área, foi apresentada uma proposta de ensino para a disciplina de proteção dos sistemas elétricos nas IES.

A proposta apresentada para o ensino da disciplina Proteção de Sistemas Elétricos, leva em conta a realidade das instituições de ensino superior (IES) e os aspectos pedagógicos peculiares à disciplina. O trabalho propõe um novo olhar sobre a prática pedagógica dos professores dessa área da engenharia .



## **7.1 Laboratório e Atividades Práticas**

Observou-se uma grande variação em termos de conteúdos e também do nível de aprofundamento de alguns conteúdos nos cursos das IES pesquisadas. Também foi constatado que somente em duas dentre as instituições pesquisadas, existem infraestrutura de laboratório de proteção de sistemas elétricos. Apenas uma das IES pesquisadas oferece aulas práticas de laboratórios, cuja carga horária é incluída dentro da carga horária da disciplina teórica. A disciplina relacionada à proteção elétrica é obrigatória em apenas uma das IES pesquisadas. A carga horária da disciplina é praticamente a mesma, nos cursos de graduação de todas as IES pesquisadas, mesmo quando a disciplina inclui tópicos sobre estabilidade dos sistemas elétricos. A metodologia adotada baseia-se em aulas expositivas, com pequenas variações, devido ao uso de programas computacionais, ferramentas multimídia e visitas ao laboratório .

Com relação à pós-graduação nas IES pesquisadas, a variação é maior tanto em termos de conteúdos, quanto de carga horária.

Em contraste com a carência de aulas práticas nas IES pesquisadas, todos os sujeitos da pesquisa consideraram essas aulas muito importantes para o engenheiro eletricista. Também foi ressaltada a importância do conhecimento da filosofia da proteção e dos elementos que envolvem essa proteção.

## **7.2 Limitações deste estudo Projeto**

Dada a complexidade do assunto pesquisado, o presente trabalho apresenta algumas limitações, quais sejam:

- Não foi feito um acompanhamento da dinâmica das aulas de proteção, o qual permitiria uma obtenção de dados mais precisos;
- A amostra dos sujeitos da pesquisa poderia ter sido mais variada, analisando profissionais de outras empresas, bem como profissionais formados em todas as IES pesquisadas;

- Para se realizar uma contagem dos itens abordados pelas IES e obter um número menor de variações de itens, houve a necessidade de se colocar alguns conteúdos que possuíam semelhança dentro do mesmo grupo. Como consequência, o nível de detalhamento das respostas diminuiu.

### **7.3 *Trabalhos futuros***

Como continuação deste trabalho, propõe-se a especificação de um laboratório, incluindo infra-estrutura física, recursos computacionais e equipamentos para atender a alunos de graduação e de pós-graduação. Um outro estudo poderia consistir da elaboração de um guia de aulas práticas para esse laboratório, com possíveis flexibilizações para que pudesse ser usado em outros laboratórios similares.

Como alternativa ao laboratório tradicional, propõe-se um estudo para a elaboração de um laboratório virtual, incluindo os estudos dos diversos fabricantes, os *softwares* necessários, a viabilidade e as parcerias.

Pode-se também a partir deste trabalho, ampliar os estudos para outras disciplinas de caráter tecnológico dos cursos de engenharia e desenvolver uma metodologia de ensino voltada para as disciplinas teórico-práticas de engenharia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PINTO, D. P., Nascimento, J. L. do, Educação em Engenharia-Metodologia. Editora Mackenzie, 2002.
- [2] HIGHET, Gilbert, Arte de Ensinar. Editora Melhoramentos, 1962.
- [3] JAPIASSU H., Interdisciplinaridade e Patologia do Saber, Imago. Rio de Janeiro, 2005.
- [4] PERRENOUD, P, Construindo Competências. Revista Nova Escola. Vol. 15, 2000, p. 19-21.
- [5] DELORS, Jacques (Coord.), Learning: The treasure within. UNESCO, Report of the International Commission on Education for the twenty-first Century, 1996.
- [6] HERNÁNDEZ, F.; Ventura, M., A organização do currículo por projetos de trabalho. Em: o conhecimento é um caleidoscópio. 1998. Artes Médicas, Porto Alegre.
- [7] OLIVEIRA, Vanderli Fava de, Teoria, prática e contexto no curso de engenharia. Editora Mackenzie, 2002.
- [8] PUC-MINAS, Fluxograma do Curso: Engenharia Elétrica. Currículo 405, 2002.
- [9] PUC-MINAS, Fluxograma do Curso: Engenharia Elétrica. Currículo 406, 2006.

- [10] Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Qualificações-Chaves. Documento SENAI-DN, 2000.
- [11] BELLI, J. R., Do bacharelado a licenciatura. - como preparar a formação do professor engenheiro. Universidade do Estado de Santa Catarina. Centro de Ciências Tecnológicas: Depto de Ciências Básicas e Sociais, 2005.
- [12] Brasil. Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1362.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2007
- [13] Brasil. Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf>> Acesso em: 05 maio 2007.
- [14] FREIRE, Paulo., Pedagogia do Oprimido. 16<sup>a</sup> Ed. RJ: Editora Paz e Terra Ltda., 1983.
- [15] MASSETTO, M. Abreu. M. C., Professor Universitário em Sala de Aula: Prática e Princípios teóricos. 8<sup>o</sup> ed. São Paulo. MG Ed. Associados, 1990.
- [16] Informações sobre Pierre Bourdieu. Disponível em [http://pt.wikipedia.org/wiki/Pierre\\_Bourdieu#Outros\\_textos](http://pt.wikipedia.org/wiki/Pierre_Bourdieu#Outros_textos). Acesso em: 10 de agosto 2007.
- [17] SILVA, M. A. de Souza, A utilização do conceito de *Habitus* em Pierre Boudieu para a compreensão da formação docente. 4<sup>o</sup> Encontro de Professores da Educação Superior da Rede Privada. 2007. SINPRO-MINAS, Belo Horizonte.
- [18] MASSON, T. J., Ensino e Interdisciplinaridade. XXXIII – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2005.

- [19] PUC-MINAS, Laboratório LEEV (Laboratório eletro-eletrônico veicular). Disponível em <http://www.ipuc.pucminas.br/leev/contato.html>. Acesso em: 15 maio 2007.
- [20] ANDERSON, P. M., Power System Protection. IEEE Press Series on Power Engineering, 1999.
- [21] MASON, C. Russell, The Art and Science of Protective Relaying. General Electric and Company, 1958.
- [22] Westinghouse Electric Corporation, Applied Protective Relaying., Westinghouse Relay Department, 1976.
- [23] RUFATO J.,E., Viabilidade técnica e econômica da modernização do sistema de proteção da distribuição. 2006. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo.
- [24] PHADKE A. G., Thorp J. S., Computer Relaying for Power Systems. Research Studies Press, 1988.
- [25] HAYKIN S., Veen V. B., Sinais e Sistemas, Bookman, 1999.
- [26] PEREIRA, C. Transmissão de Energia Elétrica. Belo Horizonte, 1998, p.01-202. (Notas de Aula)
- [27] CAMINHA, Amadeu C., Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos. Edgard Blücher Ltda, 1977.
- [28] PEREIRA Júnior, I. H., Localização digital de faltas utilizando informações dos dois terminais da linha. 2004, Dissertação de Mestrado, UFMG, Belo Horizonte.

- [29] Gonzaga, E. G., Localização Digital de Faltas em Linhas de Transmissão com Utilização de Dados de um Terminal. 2001. Dissertação de Mestrado, UFMG, Belo Horizonte.
- [30] USP-SÃO PAULO, Disciplinas de Graduação em Engenharia Elétrica: Sistemas de Potência I, Instalações Elétricas I, Instalações Elétricas II. Disponíveis em:  
<<http://www.poli.usp.br/Organizacao/Departamentos/GraduacaoDisciplina.asp?discip=PEA2410>>  
<<http://www.poli.usp.br/Organizacao/Departamentos/GraduacaoDisciplina.asp?discip=PEA2402>>  
<<http://www.poli.usp.br/Organizacao/Departamentos/GraduacaoDisciplina.asp?discip=PEA2403>>. Acesso em: 28 de abril de 2007.
- [31] BRASIL, Resolução CAPES CFE 005/83 de 06/03/2001. Disponível em <http://www.capes.gov.br/servicos/legislacao/resolucoes.html>>. Acesso em: 28 abril 2007.
- [32] PEREIRA, C., Curso de Especialização em Proteção dos Sistemas elétricos de Potência. Disponível em [http://www.dee.ufmg.br/corpo\\_doc.html](http://www.dee.ufmg.br/corpo_doc.html). Acesso em: 31 janeiro 2007.
- [33] CPSE:Curso de especialização em proteção dos sistemas elétricos, Disponível em <<http://gqee.locaweb.com.br/cepse/index.php?pagina=modulo>> Acesso em: 14 maio. 2007.
- [34] COMPROVE ENGENHARIA: Curso de Proteção dos Sistemas Elétricos, 2007. Uberlândia, Minas Gérias Disponível em <<http://www.conprove.com.br/pub/programas/protpotencia.html>>. Acesso em: 16 março 2007.
- [35] FACULDADES DOM BOSCO, Manual de Normas 2007. Paraná.

- [36] SOKOLOFF, L., Applications in Labview. Prentice Hall, 2003.
- [37] NATIONAL INSTRUMENTS. Informações sobre a plataforma de ensino de laboratório eletroeletrônico. Disponível em <<http://www.ni.com/labview>>. Acesso em: 19 abril 2007.

## ANEXO - A

IES <sup>1</sup>	PUC Minas <sup>2</sup>
<b>Disciplina</b>	Optativa – Proteção de Sistemas Elétricos
<b>Pré-requisito</b>	Sistemas Elétricos de Potência I
<b>Carga-horária</b>	60 horas-aulas – teóricas
<b>Ementa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Filosofia da proteção</li> <li>- Dispositivos de interrupção e manobra</li> <li>- Proteção Eletromecânica/Estática</li> <li>- Proteção Digital (numérica/microrocessada)</li> <li>- Sistema de onda portador a e canal piloto</li> <li>- Proteção de equipamentos (transformador/motor/gerador)</li> <li>- Proteção de Barras</li> <li>- Proteção de linhas</li> <li>- Sobretensões</li> </ul>
<b>Métodos Didáticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aulas teóricas expositivas e práticas</li> <li>- Estudos dirigidos</li> <li>- Aulas envolvendo soluções de exercícios sobre filosofia da proteção dos sistemas elétricos, ajustes de relés de proteção e cálculo de curto-circuito</li> </ul>
<b>Bibliografia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Westinghouse Electric Corporation - Applied Protective Relaying – 1976, Westinghouse Relay Department</li> <li>- Mason, C. Russell – The Art and Science of Protective Relaying – 1958, General Electric and Company</li> <li>- Warrington, A. R. Van C. - Protective Relays: Their Theory and Practice – 1977</li> <li>- Anderson, P. M. – Power System Protection – 1999, IEEE Press Series on Power Engineering</li> </ul>



IES <sup>1</sup>	UFMG <sup>3</sup>
<b>Disciplina</b>	Optativa - Proteção de Sistemas Elétricos de Potência
<b>Pré-requisito</b>	Análise de SEP (*) Transitórios Eletromagnéticos (*)
<b>Carga-horária</b>	60 horas-aula
<b>Ementa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Filosofia da Proteção</li> <li>- Métodos de Detecção de Faltas em SEP</li> <li>- Sistema de Proteção de distância</li> <li>- Sistema de Proteção por canal piloto</li> <li>- Introdução a Proteção Microprocessada</li> <li>- Algoritmos para proteção Microprocessada de LT</li> <li>- Localização de Faltas em Linhas de Transmissão</li> <li>- Transformadores de corrente e de Potencial</li> <li>- Sistema de Proteção Diferencial</li> </ul>
<b>Métodos Didáticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aulas Teóricas clássicas auxiliadas por processos audiovisuais – Seminários apresentados pelos alunos sobre temas específicos relacionados à matéria</li> <li>- Trabalhos computacionais com implementação de algoritmos para detecção, localização e identificação de faltas em sistemas elétricos.</li> </ul>
<b>Bibliografia</b>	<p><b>Teoria Geral de Proteção de Sistemas Elétricos de Potência:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Warrington, A. R. Van C. - Protectiva Relays-Their Teory and Practive, vol I, Chapman &amp; Hall Ltd., London, 1962</li> <li>- Warrington, A. R. Van C. - Protectiva Relays-Their Teory and Practive, vol II, Chapman &amp; Hall Ltd., London, 1972</li> <li>- Mason, C. R. - The art and science of protective relaying”, John Willey &amp; Sons, New York, 1956</li> <li>- Pereira, C. – Curso de Proteção Digital de Linhas de Transmissão - Convênio Eletrobrás/FCO/EE.UFMG, 1998</li> <li>- The General Electric Company Limited of England (GEG) – Protective Relays Application Guide – Oxley Press, 1976</li> <li>- De Melo, F. P. – Proteção de Sistemas elétricos de Potência – Curso de Engenharia de sistemas Elétricos de Potência, Série PTI, Editora da Universidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 1979</li> </ul> <p>Para os demais conteúdos ver referência [18]</p>

(\*) Pré-requisitos colocados pelo professor – não são pré-requisitos oficiais

IES <sup>1</sup>	UFRGS <sup>4</sup>
<b>Disciplina</b>	Optativa - Proteção de Sistemas Elétricos de Potência
<b>Pré-requisito</b>	Análise de Sistemas de Potência
<b>Carga-horária</b>	60 horas-aula
<b>Ementa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faltas Trifásicas Simétricas</li> <li>- Componentes Simétricos</li> <li>- Faltas Assimétricas</li> <li>- Relés Eletromagnéticos</li> <li>- Proteção Sobre-corrente Não Piloto de Linhas de Transmissão</li> <li>- Transformadores de Tensão e Corrente</li> <li>- Proteção a Distância Não-Piloto de Linhas de Transmissão</li> <li>- Proteção Piloto de Linhas de Transmissão</li> <li>- Proteção de Máquinas Girantes</li> <li>- Proteção de Transformadores</li> <li>- Estabilidade de Sistemas de Potência</li> </ul>
<b>Métodos Didáticos</b>	Aulas teórico-expositivas onde serão apresentados os conceitos básicos de proteção e estabilidade de sistemas elétricos de potência. Como elementos de apoio didático, serão resolvidos alguns exemplos de caso a fim de consolidar os conteúdos apresentados.
<b>Bibliografia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Horowitz, S., Phadke, A.: Power System Relaying - Second Edition, Research Studies Press Ltd, 1995.</li> <li>- Phadke, A., Thorp, J.: Computer Relaying for Power Systems, Research Studies Press Ltd, 1988.</li> <li>- Anderson, P.: Power System Protection - First Edition, McGrawHill and IEEE Press, 2000.</li> <li>- Kindermann, G.: Proteção de Sistemas Elétricos de Potência – Primeira Edição, Edelbra, 1999.</li> <li>- Sing, L.: Digital Protection – First Edition, John Wiley and Sons.</li> <li>- Stevenson, W. D.: Elementos de Análise de Sistemas de Potência – Segunda Edição, McGrawHill 1986.</li> <li>- Bretas, N.G.: Estabilidade Transitória em Sistemas Eletroenergéticos, EESC-USP, 2000.</li> </ul>

IES <sup>1</sup>	USP <sup>6</sup> (São Carlos) Graduação
<b>Disciplina</b>	Proteção em Sistemas de Energia Elétrica
<b>Pré-requisito</b>	Cálculo de Curto Circuito
<b>Carga-horária</b>	45 horas-aulas (teoria e prática)
<b>Ementa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Filosofia da Proteção dos sistemas</li> <li>- Princípios fundamentais dos principais tipos de relés convencionais</li> <li>- Relés semi-estáticos - medição no contexto da proteção</li> <li>- Proteção adaptativa</li> <li>- Localizadores de falta para linhas de transmissão</li> </ul>
<b>Métodos Didáticos</b>	Aulas expositivas teóricas, aulas laboratoriais e recursos computacionais
<b>Bibliografia</b>	<p>1 - Proteção Digital dos Sistemas Elétricos de Potência: dos Relés Eletromecânicos aos Microprocessados Inteligentes D.V. Coury, M. Oleskovicz, R. Giovanini Editora USP 2007.</p> <p>2 - Computer Relaying for Power Systems A.G. Phadke and J. S. Thorp John Wiley &amp; Sons Inc, ISBN 0 471 92063 0</p> <p>3 - Digital Protection for Power Systems A. T. Johns and S. K. Salman Peter Peregrinus Ltd - IEE, ISBN 0 86341 195 9</p> <p>4 - Protective Relays - Application Guide, GEC Measurements</p> <p>5 - Power System Relaying A. G. Phadke and S. H. Horowitz Research Studies Pres Ltd, ISBN 0 863 801 854</p> <p>6 - Protection Techniques in Electrical Energy Systems H. Ungrad, W. Winkler and A. Wiszniewski Marcel Dekker, Inc. ISBN 0 8247 9660 8</p> <p>7 - Power System Protection Volume 4: Digital Protection and Signalling Edited by Electricity Association - IEE, ISBN 85296 838 8</p>

IES <sup>1</sup>	UNIFEI <sup>7</sup>
<b>Disciplina</b>	Proteção de Sistemas Elétricos
<b>Pré-requisito</b>	Análise de sistemas de Energia Elétrica I
<b>Carga-horária</b>	60 horas-aulas.
<b>Ementa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introdução e Filosofia da proteção</li> <li>- Instrumental de proteção (TC, TP, disjuntores, circuitos auxiliares de comando)</li> <li>- Relés de proteção</li> <li>- Proteção de geradores</li> <li>- Proteção de transformadores</li> <li>- Proteção de motores</li> <li>- Proteção de linhas de transmissão</li> <li>- Proteção de Barramentos</li> <li>- Coordenação gráfica e seletividade</li> <li>- Proteção Digital Numérica (Aspectos gerais, hardware, condicionadores, filtros analógicos e digitais, sistema de aquisição de dados, software, algoritmo, sistemas inteligentes e proteção adaptativa)</li> </ul>
<b>Métodos Didáticos</b>	<p>Aulas expositivas</p> <p>Verificação dos instrumentos de proteção no laboratório (três práticas –grupos de 5 alunos)</p> <p>Exemplos de caso</p>
<b>Bibliografia</b>	<p>CAMINHA, Amadeu Casal. <i>Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos</i>, 1977;</p> <p>WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION. <i>Applied Protective Relaying</i>. Coral Springs, USA, 460p., 1976, 1982;</p> <p>MASON, C. Russell. <i>The art and Science of Protective Relaying</i>. John Wiley - General Electric, USA, 357p. 1956;</p> <p>ANDERSON, Paul. <i>Power System Protection</i>. IEEE Press, Piscataway, NJ, USA.</p> <p>WARRINGTON, A.R. Van C.. <i>Protective Relays Their Theory and Practice</i>. Vol. I e II. Chapman and Hall Ltd..Londres, 1979, 350 p. (Vol 1 e 2 - 62/76);</p> <p>BEEMAN, D. <i>Industrial power System Handbook</i>, Mc-Graw Hill, 1955;</p> <p>PHADKE, Arun; THORPE, James S.; <i>Computer Relaying for Power Systems</i>; John Wiley &amp; Sons Inc.; 1988, 289p.</p> <p>HOROWITZ, Stanley H.. <i>Protective Relaying for Power Systems II</i>. IEEE Press, New York, 1992, 580 p.</p> <p>J. L. LEWIS BLACKBURN. <i>Protective Relaying Principles and Applications</i> – Marcel Dekker, Inc. New York</p>

<b>IES<sup>1</sup></b>	<b>USP (São Carlos)</b> <b>Pós-graduação</b>
<b>Disciplina</b>	Proteção Digital de Sistemas Elétricos de Potência
<b>Pré-requisito</b>	Nenhum
<b>Carga-horária</b>	180 horas divididas em 3 horas-aula teóricas/semana e 9 horas-aula de estudos/semana OBS. Existe laboratório de estudo de proteção com computadores e equipamentos, porém na carga horária não existem horas de laboratório.
<b>Ementa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fundamentos da proteção convencional incluindo relés eletromagnéticos e estáticos</li> <li>- Relés de sobrecorrente, diferenciais, direcionais e de distância</li> <li>- Proteção de barramento geradores, transformadores e transmissão</li> <li>- Proteção utilizando processadores digitais</li> <li>- Algoritmos aplicados a proteção digital</li> <li>- Hardware necessário para a proteção digital</li> <li>- Localizadores de falta</li> <li>- O uso de ferramentas inteligentes na proteção (redes neurais artificiais, lógica <i>fuzzi</i>, agentes inteligentes)</li> </ul>
<b>Métodos Didáticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aulas expositivas</li> <li>- Aulas demonstrativas – simulações multimídia</li> </ul>
<b>Bibliografia</b>	<p>PHADKE, A.G.; THORP, J.S. Computer Relaying for Power Systems. John Willey &amp; Sons, 1994. Edited by ELECTRICITY TRAINING ASSOCIATION, Power System Protection, Volume 4: Digital Protection and Signalling, - IEE JOHNS, A.T.;</p> <p>SALMAN, S.K. Digital Protection for Power Systems. Peter Peregrinus Ltd - IEE, 1995. CORY, D.V. A practical approach to accurate fault location on extra high voltage teed feeders. Tese Ph.D., University of Bath - UK, 1992. HOROWITZ, S.H;</p> <p>PHADKE, A.G. Power System Relaying. Research Studies Press Ltd, 1992.</p> <p>UNGRAD, H.; WINKLER, W.; WISZNIEWSKI, A. Protection Techniques in Electrical Energy Systems. Marcel Dekker, ELMORE, W.A. Protective Relaying Theory and Applications. ABB Power T&amp;D Company, 1994. GEC Measurements: "Protective Relays - Application Guide", 1987 Periódicos: IEEE Transaction on Power Delivery, IEEE Transactions on Power Systems e outros</p>

IES <sup>1</sup>	USP (São Paulo) Pós- Graduação
<b>Disciplina</b>	Proteção Digital das Redes Elétricas de Potência
<b>Pré-requisito</b>	Nenhum
<b>Carga-horária</b>	- 120 horas divididas em: 3 horas-aulas teóricas por semana e 7 horas-aula de estudos por semana
<b>Ementa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hardware dos relés microprocessados: proteção contra EMI e acondicionamento do sinal; filtragem analógica; conversão analógica-digital</li> <li>- Projeto de filtros analógicos</li> <li>- Conceitos de processamento digital de sinais</li> <li>- Projeto de filtros digitais</li> <li>- Algoritmos digitais para a proteção de linhas: algoritmo de fourier; algoritmo dos mínimos quadrados; algoritmo da equação diferencial; algoritmo baseado em redes neurais; algoritmo baseado nas ondas trafegantes</li> <li>- Algoritmos digitais para a proteção de transformadores e geradores</li> <li>- Simulação e testes dos algoritmos</li> <li>- Desenvolvimento de novos princípios de proteção</li> <li>- 9. Confiabilidade da proteção digital</li> </ul>
<b>Métodos Didáticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aulas expositivas</li> <li>- Aulas demonstrativas – simulações multimídia</li> </ul>
<b>Bibliografia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Numerical Distance Protection: Principles and Application - Publicis MCD - 1999</li> <li>- Phadke, A.G.; Thorp, J.S. - Computer Relaying for Power Systems - Research Studies Press - England - 1988</li> <li>- IEEE Tutorial Course: Microprocessor Relays and Protection Systems.</li> <li>- Rahman, M.A.; Jeyasurjer B. - A State of the Art Review of Transformer Protection Algorithms - IEEE pes Winter Meeting - 1987</li> <li>- Sehab - Eldin, E.H.; Maclaren, P.G. - Travelling Wave Distance Protection - Problem Areas and Solutions - IEEE - PES Winter Meeting - 1987</li> </ul>

IES <sup>1</sup>	USP (São Paulo) Pós-Graduação
<b>Disciplina</b>	Proteção de Sistemas Elétricos de Potência
<b>Pré-requisito</b>	Nenhum
<b>Carga-horária</b>	- 120 horas divididas em: 3 horas-aulas teóricas por semana e 7 horas-aula de estudos por semana
<b>Ementa</b>	<p>- Princípios Fundamentais dos Sistemas de Proteção. - Objetivos básicos do sistema de proteção (confiabilidade, seletividade, velocidade, etc.) - Nomenclatura e classificação de relés. - Princípios da aplicação de relés (proteção primária, de retaguarda, seletividade e coordenação). - Tipos de relés: eletromecânicos, estáticos e numéricos.</p> <p>- Fontes de Sinais para os Relés: transformadores de tensão e de corrente. - Tipos de TP convencionais. - Exatidão e carga secundária. Escolha do TP. - Tipos de TC convencionais. - Saturação de TC (por CA, por CC, métodos para reduzir a saturação, efeito do fluxo remanente). - Escolha do TC. - TP e TC ópticos. - Características dos transformadores ópticos (linearidade, resposta em frequência, resposta transitória). - Transformadores convencionais versus transformadores ópticos.</p> <p>- Tipos de Relés e sua Implementação nas Diversas Tecnologias (eletromecânica, estática, numérica). - Relé de sobrecorrente. - relé de sobrecorrente direcional. - relé de distância. - relé diferencial. - relé diferencial percentual. - outros tipos de relés.</p> <p>- Proteção de Linhas Transmissão. - Proteção de sobrecorrente e sobrecorrente direcional. - Proteção de distância. - Fundamentos da proteção de distância. - Teoria matemática do relé como comparador. - Esquemas de proteção de distância. - Influência de carga, resistência de falta e oscilações de potência. - Proteção por Canal Piloto. - Proteção de linhas EHV/UHV baseadas em ondas trafegantes - Proteção de linhas com compensação série. - Proteção de linhas multiterminais.</p> <p>- Proteção de Transformadores.</p> <p>- Proteção de Geradores e Motores.</p> <p>- Proteção de barras, reatores e banco de capacitores.</p> <p>- Novos problemas: proteção de unidades de cogeração e de geração privada. 9. Proteção de fenômenos do Sistema de Potência. - Perda de sincronismo. - Rejeição de carga e restauração. - Medição de fasores ao longo da rede de potência.</p> <p>- Integração da Proteção nos Sistemas de Supervisão e Controle. - Sistemas de Supervisão e Controle Convencionais. - sistemas de Supervisão e Controle Coordenados - Protocolos de Comunicação para os Relés.</p>

	- Especificação para Relés Digitais. - Ambiente Elétrico. - Isolação. - Compatibilidade Eletromagnética. - Vibração mecânica.
<b>Métodos Didáticos</b>	- Aulas expositivas
<b>Bibliografia</b>	- ZIEGLER, G. Numerical Distance Protection: Principles and Application - Publicis MCD - 1999 - HOROWITZ, S.H; PHADKE A.G. - Power System Relaying - Research Studies Press – 1992 - SINGH, L.P. - Digital Protection - Protective Relaying from eletromechanical to Microprocessador - John Wiley & Sons - 1995 - IEE - Power Systems Protection - Short Run Press - 1995 - COOK, V. - Analysis of Distance Protection - Research Studies Press – 1985 - BLACKBURN, J.L. - Protective Relaying - Principles and Applications – 1087 - HOROWITZ, S.H.(editor) - Protective Relaying for Power Systems II - IEEE Press – 1992 - ANDERSON, P.M. - Power Systems Protection - IEEE press – 1998 - WRIGHT, A; CHRISTOPOULOS - Electrical Power System Protection - Chapman & Hall – 1993 - Artigos IEEE Transactions on power Delivery.

- 1- Instituição de Ensino Superior
- 2- Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
- 3- Universidade Federal de Minas Gerais
- 4- Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- 5- Universidade Federal de Juiz de Fora
- 6- Universidade de São Paulo
- 7- Universidade Federal de Itajubá



# ANEXO - B

## Questionário Profissionais – Proteção de Sistemas Elétricos

1. Nome Completo:
2. Curso (formação):
3. Instituição:
4. Experiência Profissional – Técnica:
5. Tempo de Experiência Profissional – Técnica:
6. Área de Atuação Atual:
7. Você cursou a disciplina de Proteção Elétrica:
  - a) na Graduação?  Sim  Não
  - b) na Pós – Graduação?  Sim  Não
8. Marque com um X, como você considera a aplicabilidade dos conteúdos ensinados na disciplina na sua prática profissional.  
 Pouco Abordado  Médio Abordado  Muito Abordado  
 Nenhuma
9. Marque com um X **12 conteúdos** (de acordo com a sua experiência profissional) que você julga mais importantes/necessários para o desempenho da sua atividade profissional na área de proteção de sistemas elétricos.
  1. Cálculo diferencial e integral (  )
  2. Física (  )
  3. Medidas elétricas (  )
  4. Automação e controle (  )
  5. Circuitos elétricos (  )
  6. Análise de sistemas elétricos de potência (  )
  7. Análise de altas (  )
  8. Processamento de sinais (  )
  9. Equipamentos de sistemas elétricos de potência-transformadores/máquinas elétricas/outros (  )
  10. Eletrônica analógica/digital/potência (  )
  11. Programação (  )
  12. Compatibilidade eletromagnética (  )
  13. Transitórios eletromagnéticos (  )
  14. Filosofia da proteção (  )

15. Proteção eletromecânica/estática/digital ( )
16. Proteção digital (numérica/microprocessada)
17. Tipos de relés-sobrecorrente/diferencial... ( )
18. TC e TP ( )
19. Proteção de equipamentos (transf/motor/gerador) ( )
20. Proteção de LT (incluindo algoritmo para proteção microprocessada e localizadores de falta) ( )
21. Proteção de barras ( )
22. Sistema de onda portadora e canal piloto ( )
23. Hardware dos relés microprocessados ( )
24. Filtragem analógica e digital ( )
25. Parâmetros de linha ( )
26. Ferramentas inteligentes (lógica fuzzy, redes neurais, etc) ( )
27. Confiabilidade da proteção digital ( )
28. Estabilidade de sistemas ( )
29. Proteção de unidades de co-geração e geração privada ( )
30. Análises de fenômenos transitórios (perda de sincronismo/rejeição de carga/etc) ( )
31. Funcionamento Integrado do relé-supervisão/controle/automação ( )
32. Dispositivos de manobra e interrupção ( )

10. **Dentre os conteúdos que você selecionou no item 9, marque com um X 7 conteúdos** que você julga que deveriam fazer parte da **ementa de proteção dos sistemas elétricos - na graduação** para o desempenho da sua atividade profissional na área de proteção de sistemas elétricos.

1. Cálculo diferencial e integral ( )
2. Física ( )
3. Medidas elétricas ( )
4. Automação e controle ( )
5. Circuitos elétricos ( )
6. Análise de sistemas elétricos de potência ( )
7. Análise de altas ( )
8. Processamento de sinais ( )
9. Equipamentos de sistemas elétricos de potência-transformadores/máquinas elétricas/outros ( )
10. Eletrônica analógica/digital/potência ( )
11. Programação ( )
12. Compatibilidade eletromagnética ( )
13. Transitórios eletromagnéticos ( )
14. Filosofia da proteção ( )
15. Proteção eletromecânica/estática/digital ( )
16. Proteção digital (numérica/microprocessada)
17. Tipos de relés-sobrecorrente/diferencial... ( )
18. TC e TP ( )
19. Proteção de equipamentos (transf/motor/gerador) ( )
20. Proteção de LT (incluindo algoritmo para proteção microprocessada e localizadores de falta) ( )
21. Proteção de barras ( )
22. Sistema de onda portadora e canal piloto ( )
23. Hardware dos relés microprocessados ( )
24. Filtragem analógica e digital ( )

- 25. Parâmetros de linha ( )
- 26. Ferramentas inteligentes (lógica fuzzy, redes neurais, etc) ( )
- 27. Confiabilidade da proteção digital ( )
- 28. Estabilidade de sistemas ( )
- 29. Proteção de unidades de co-geração e geração privada ( )
- 30. Análises de fenômenos transitórios (perda de sincronismo/rejeição de carga/etc) ( )
- 31. Funcionamento Integrado do relé-supervisão/controle/automação ( )
- 32. Dispositivos de manobra e interrupção ( )

11. Marque com um X **7 conteúdos** itens que você julga que deveriam fazer parte da **ementa de proteção de sistemas elétricos - na pós-graduação** para o desempenho da sua atividade profissional na área de proteção de sistemas elétricos.

- 1. Cálculo diferencial e integral ( )
- 2. Física ( )
- 3. Medidas elétricas ( )
- 4. Automação e controle ( )
- 5. Circuitos elétricos ( )
- 6. Análise de sistemas elétricos de potência ( )
- 7. Análise de altas ( )
- 8. Processamento de sinais ( )
- 9. Equipamentos de sistemas elétricos de potência-transformadores/máquinas elétricas/outros ( )
- 10. Eletrônica analógica/digital/potência ( )
- 11. Programação ( )
- 12. Compatibilidade eletromagnética ( )
- 13. Transitórios eletromagnéticos ( )
- 14. Filosofia da proteção ( )
- 15. Proteção eletromecânica/estática/digital ( )
- 16. Proteção digital (numérica/microprocessada)
- 17. Tipos de relés-sobrecorrente/diferencial... ( )
- 18. TC e TP ( )
- 19. Proteção de equipamentos (transf/motor/gerador) ( )
- 20. Proteção de LT (incluindo algoritmo para proteção microprocessada e localizadores de falta) ( )
- 21. Proteção de barras ( )
- 22. Sistema de onda portadora e canal piloto ( )
- 23. Hardware dos relés microprocessados ( )
- 24. Filtragem analógica e digital ( )
- 25. Parâmetros de linha ( )
- 26. Ferramentas inteligentes (lógica fuzzy, redes neurais, etc) ( )
- 27. Confiabilidade da proteção digital ( )
- 28. Estabilidade de sistemas ( )
- 29. Proteção de unidades de co-geração e geração privada ( )
- 30. Análises de fenômenos transitórios (perda de sincronismo/rejeição de carga/etc) ( )
- 31. Funcionamento Integrado do relé-supervisão/controle/automação ( )
- 32. Dispositivos de manobra e interrupção ( )

12. Você teve aulas práticas de laboratório de proteção elétrica?

Sim       Não

13. Você acha relevante?

Sim       Não

14. Caso você ache relevante, marque com um X **8 conteúdos** que você julga mais importantes/necessários.

1. Cálculo diferencial e integral ( )
2. Física ( )
3. Medidas elétricas ( )
4. Automação e controle ( )
5. Circuitos elétricos ( )
6. Análise de sistemas elétricos de potência ( )
7. Análise de altas ( )
8. Processamento de sinais ( )
9. Equipamentos de sistemas elétricos de potência-transformadores/máquinas elétricas/outros ( )
10. Eletrônica analógica/digital/potência ( )
11. Programação ( )
12. Compatibilidade eletromagnética ( )
13. Transitórios eletromagnéticos ( )
14. Filosofia da proteção ( )
15. Proteção eletromecânica/estática/digital ( )
16. Proteção digital (numérica/microrrocessada)
17. Tipos de relés-sobrecorrente/diferencial... ( )
18. TC e TP ( )
19. Proteção de equipamentos (transf/motor/gerador) ( )
20. Proteção de LT (incluindo algoritmo para proteção microprocessada e localizadores de falta) ( )
21. Proteção de barras ( )
22. Sistema de onda portadora e canal piloto ( )
23. Hardware dos relés microprocessados ( )
24. Filtragem analógica e digital ( )
25. Parâmetros de linha ( )
26. Ferramentas inteligentes (lógica fuzzy, redes neurais, etc) ( )
27. Confiabilidade da proteção digital ( )
28. Estabilidade de sistemas ( )
29. Proteção de unidades de co-geração e geração privada ( )
30. Análises de fenômenos transitórios (perda de sincronismo/rejeição de carga/etc) ( )
31. Funcionamento Integrado do relé-supervisão/controle/automação ( )
32. Dispositivos de manobra e interrupção ( )
33. Análise de Ocorrências ( )
34. Ajuste de relé ( )
35. Verificação da direcionalidade de relés ( )
36. Levantamento de características de operação de relés de distância ( )
37. Efeito de altos valores de resistência aplicados às zonas de operação de relés de distância ( )

# ANEXO - C

## Questionário Profissionais – Proteção de Sistemas Elétricos

1. Nome completo:
2. Curso (formação) e Instituição de Ensino:
3. Experiência profissional:
4. Área de atuação:
5. Você cursou a disciplina de Proteção elétrica na graduação? E na pós-graduação?
6. Qual é ou (foi) a aplicabilidade dos conteúdos ensinados na disciplina na sua prática profissional?
7. Quais conteúdos (de acordo com a sua experiência profissional) você julga importantes/necessários para o desempenho da sua atividade profissional na área de proteção de sistemas elétricos?
8. Você teve aulas práticas de laboratório de proteção elétricas? Você acha relevante? Como deveriam ser estas práticas?