



IVAN CARDOSO MONSÃO

**UMA NOVA METODOLOGIA DE ENSINO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
USANDO UM LABORATÓRIO PARADIDÁTICO**

CAMPINAS

2014



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

UMA NOVA METODOLOGIA DE ENSINO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
USANDO UM LABORATÓRIO PARADIDÁTICO

Autor: Ivan Cardoso Monsão

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Siqueira Dias

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica, na área de concentração: Eletrônica, Microeletrônica e Optoeletrônica.

Este exemplar corresponde à versão final da tese defendida pelo aluno Ivan Cardoso Monsão e orientada pelo Prof. Dr. José Antonio Siqueira Dias.

CAMPINAS

2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

M758n Monsão, Ivan Cardoso, 1958-
Uma nova metodologia de ensino de engenharia elétrica usando um
laboratório paradidático / Ivan Cardoso Monsão. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: José Antonio Siqueira Dias.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de
Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Engenharia Estudo e ensino. I. Dias, José Antonio Siqueira, 1954-. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de
Computação. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: A novel methodology to teach electrical engineering using a
paradidactic laboratory

Palavras-chave em inglês:

Teaching of electrical engineering

Área de concentração: Eletrônica, Microeletrônica e Optoeletrônica

Titulação: Doutor em Engenharia Elétrica

Banca examinadora:

José Antonio Siqueira Dias [Orientador]

Augusto Cesar Pinto Loureiro da Costa

Roberto Alves Gallo Filho

Wilmar Bueno de Moraes

Elnatan Chagas Ferreira

Data de defesa: 24-02-2014

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Elétrica

COMISSÃO JULGADORA - TESE DE DOUTORADO

Candidato: Ivan Cardoso Monsão

Data da Defesa: 24 de fevereiro de 2014

Título da Tese: "Uma Nova Metodologia para o Ensino de Engenharia Elétrica Usando um Laboratório Paradidático"

Prof. Dr. José Antonio Siqueira Dias (Presidente):

Dr. Roberto Alves Gallo Filho:

Prof. Dr. Augusto Cesar Pinto Loureiro da Costa:

Prof. Dr. Elnatan Chagas Ferreira:

Prof. Dr. Wilmar Bueno de Moraes:

Para Andréa Jordânia Santa Bárbara Viana, pelo carinho e suporte, sem os quais este trabalho não teria sido possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. José Antonio Siqueira Dias e ao meu Co-orientador, Prof. Dr. Jês de Jesus Fiais Cerqueira pela orientação, incentivo e confiança depositados neste trabalho.

Agradeço, à Dra. Patrícia Scandiucci de Freitas, Lúcia Helena Alves, Daniel Roseno da Silveira, Eng. MSc. Paulo Libonati, Ricardo Paulino Oliveira e Dipl. Ing. Georg Walentowitz, por terem me proporcionado o suporte e o incentivo nos vários projetos cujos resultados permitiram que este documento pudesse existir.

Agradeço ao Engº. Érico R. D. dos Santos, Engº. MSc. Fúlvio Serpentine, Engª. Marília Carvalho Andrade e Engº. Jorgean Leal, pelo brilhantismo demonstrado durante os projetos que realizamos e que criaram as bases para os conceitos apresentados aqui.

Agradeço ao Prof. MSc. Sérgio Brito, Prof. Euclério Ornellas, Profa. MSc. Mônica Aguiar e ao Prof. Dr. Kléber Freire pela confiança e apoio na implantação e na manutenção das operações do BiLab (Business and Innovation Lab).

Agradeço ao Prof. MSc. Marcelo Cad, Prof. MSc. Eduardo Allatta e a Profa. MSc. Mônica Aguiar que apesar do pouco tempo disponível, puderam ajudar com o trabalho de tutoria dos estudantes que executaram os primeiros projetos no BiLab.

Agradeço ao Engº. Thiago Brasileiro, Engº. Paulo Andrade Souza, Engº. Filipe R. Rios e ao estudante de Eng. Mecatrônica Bruno Cavalcanti, pela parceria nos projetos que realizamos no BiLab e que são descritos neste trabalho.

Agradeço também ao Prof. Dr. Alberto Borges Vieira Junior e ao Prof. Dr. Samuel Marques Macedo pela excelente parceria nos diversos projetos que realizamos no BiLab.

Agradeço ao *Designer* Sean Wishart Monsão pelos *Storyboards* e ao estudante André Felipe Souza Batista pela modelagem 3D dos equipamentos mostrados nesta tese.

Finalmente, agradeço aos amigos próximos e distantes que também cooperaram de forma direta e indireta para que toda a jornada até aqui fosse possível.

Ivan Cardoso Monsão
Campinas, Fevereiro de 2014

Tell me and I will forget, show me and I may remember, involve me and I will learn.

Provérbio Chinês

RESUMO

Esta tese apresenta a proposta de uma nova metodologia de ensino de Engenharia Elétrica, que tem como objetivo principal complementar a formação dos estudantes para que eles possam aprender a engenheirar ainda dentro da Universidade. A metodologia visa transmitir os conhecimentos profissionais tácitos de um Mentor/*Coach* da área de engenharia aos estudantes, enquanto eles atuam juntos na realização de projetos reais. O conhecimento técnico dos estudantes é complementado por estudo dirigido e por meio da atuação de professores tutores voluntários no papel consultivo, os quais oferecem conhecimento sob demanda nas suas áreas de especialidade. É também descrita a criação de um ambiente adequado para o emprego desta metodologia na forma de Laboratório Paradidático, o qual também atua como ponto de convergência de pesquisadores e representantes da indústria, para a realização de projetos que possam transformar os resultados da pesquisa básica em aplicações práticas e em propriedade intelectual. O Laboratório Paradidático atua também como um elo de realimentação contínua com a coordenação do curso de engenharia, para reportar eventuais faltas de conteúdo técnico demonstradas na prática pelos estudantes durante a realização dos projetos. Além disso, verificou-se a possibilidade da adaptação dos procedimentos utilizados na execução dos projetos no Laboratório Paradidático para serem usados no ambiente da sala de aula. Estes procedimentos foram condensados na forma de um fluxograma, que contem as fases mais importantes no processo de criação de um novo produto. A aplicação do fluxograma em conjunto com a descrição de um projeto exemplo, foi feita em sala de aula na forma de um seminário em uma disciplina no modelo Laboratório Livre, (onde os estudantes podiam escolher o tema dos projetos que iriam executar ao longo de um semestre). O objetivo foi auxiliar os estudantes no seu preparo para enfrentarem um problema do tipo aberto. A tese também chama a atenção para o efeito negativo do encapsulamento da tecnologia, denominado aqui de Efeito Aladim.

Palavras-chave: Engenharia Estudo e ensino

ABSTRACT

This thesis presents a novel methodology of teaching Electrical Engineering, whose main objective is to complement the education of students so they can learn to engineer while still within the University. The methodology aims to transmit tacit professional knowledge of a Mentor / Coach of the engineering field to the students, while they work together in real projects. The technical content needed by the students is complemented through directed studies and by the work of volunteer teachers in advisory role, offering on-demand knowledge in their areas of technical proficiency. Also described is the creation of a suitable environment for the use of this methodology in the form of a Paradidactic Laboratory, which also acts as a meeting point for researchers and industry representatives, to carry out projects that can transform the results of basic research in practical applications and intellectual property. The Paradidactic Laboratory also acts as a continuous feedback loop with the engineering course coordination, to report any lack in the technical content shown in practice by the students during the projects implementation. In addition, the possibility of adaptation of the procedures developed in the Paradidactic Laboratory to be used in the classroom environment was evaluated. These procedures were condensed in the form of a flowchart, which contains the most important stages of the process of creating a new product. The application of the flowchart, alongside the description of an example project, took the form of a workshop presented in the classroom, in a discipline where the students could choose freely a project to undertake. The goal of this workshop was to assist students in their preparation to face "open type" problems. The thesis also draws attention to the negative aspect of the encapsulation of technology, called here "Aladdin Effect".

Keywords: *Teaching of electrical engineering*

LISTA DE FIGURAS

Fig. 3.1 Ciclo de aprendizado de Kolb	28
Fig. 3.2 Os quatro estágios para adquirir qualquer habilidade	32
Fig. 3.3 Região de Fluxo	35
Fig. 3.4 Mapeamento em alta resolução	36
Fig. 3.5 A lista dos atributos desejados em um engenheiro da empresa Boeing.....	42
Fig. 3.6 Exemplo de <i>sketch</i> de um sensor de pressão.....	48
Fig. 3.7 Exemplo de <i>storyboard</i> do uso de um retrovisor ativo anticollisão.....	49
Fig. 3.8 Fluxograma guia.....	56
Fig. 4.1 Técnica de solda por chapa quente.....	59
Fig. 4.2 <i>Sketches</i> do equipamento de solda por ar quente	62
Fig. 4.3 Desenho esquemático da máquina de solda por chapa quente.....	63
Fig. 4.4 Página do <i>Logbook</i> relativa ao controle do LCD	65
Fig. 4.5 Detalhe das conexões do <i>display</i> de LCD.....	67
Fig. 4.6 Simulador do sistema de controle	69
Fig. 4.7 Esquemático do sistema de controle completo	70
Fig. 4.8 Teste do sistema mecânico real com o simulador da eletrônica de controle.....	71
Fig. 4.9 Os estudantes usando o <i>Eagle</i> para o projeto da placa de circuito impresso	72
Fig. 4.10 <i>Layout</i> da placa de circuito impresso e placa finalizada	72
Fig. 4.11 Equipamento de solda por chapa quente na sua versão final	74
Fig. 4.12 Ferramentas criadas pelos estudantes.....	76
Fig. 4.13 Detalhe do conector para <i>display</i> de LCD de duas linhas x 16 caracteres.....	77
Fig. 4.14 Técnica de solda usando uma ferramenta de ar quente.....	78
Fig. 4.15 Conformação do material das chapas para solda por ar quente	79

Fig. 4.16 Estrutura mecânica já desenvolvida	82
Fig. 4.17 <i>Sketches</i> do suporte da ferramenta	84
Fig. 4.18 Desenho esquemático da máquina de solda por ar quente	84
Fig. 4.19 Detalhe do suporte para a ferramenta de ar quente visto por baixo	85
Fig. 4.20 <i>Layout</i> da placa do computador embarcado e a placa finalizada	88
Fig. 4.21 Equipamento de solda por ar quente na sua versão final	89
Fig. 4.22 Bruno Cavalcanti recebendo a premiação da Diretora da Fapesb em 2008....	92
Fig. 4.23 <i>Storyboard</i> de um dos projetos de Bruno Cavalcanti para o CII 2008	92
Fig. 4.24 Filipe Rios e o autor da tese recebendo a premiação durante o CII 2009	93
Fig. 4.25 Bruno Cavalcanti, sua equipe e o autor da tese na premiação do I2P 2010....	94
Fig. 5.1 Um Berimbau convencional e os seus componentes.	101
Fig. 5.2 Como segurar o instrumento (a) pontos de percussão no fio de aço (b)	102
Fig. 5.3 Símbolos utilizados na linguagem musical.	104
Fig. 5.4 O pentagrama, cinco linhas paralelas guardando quatro espaços entre si.....	104
Fig. 5.5 Posicionamento das notas no Pentagrama.....	104
Fig. 5.6 Símbolos musicais usados para representar a pausa	104
Fig. 5.7 Propostas de arquitetura do sistema	107
Fig. 5.8 Exemplos de <i>sketches</i> de algumas concepções para o instrumento.	108
Fig. 5.9 Exemplos de <i>sketches</i> dos ícones para a interface de programação.....	108
Fig. 5.10 <i>Napkin sketch</i> e Prova de Conceito (POC) do mecanismo do chocalho	109
Fig. 5.11 Exemplos de protótipos virtuais com diferentes graus de realismo	109
Fig. 5.12 Acionadores e sensor utilizados no projeto.....	110
Fig. 5.13 <i>Sketches</i> iniciais e modelo 3D final do mecanismo da moeda.....	112
Fig. 5.14 <i>Sketches</i> iniciais e modelo 3D final do mecanismo da cabeça.....	112

Fig. 5.15 <i>Sketches</i> iniciais e modelo 3D final do mecanismo do chocalho.....	113
Fig. 5.16 <i>Sketches</i> iniciais e modelo 3D final do mecanismo de percussão.....	114
Fig. 5.17 Modelo 3D do sistema completo.....	115
Fig. 5.18 Arquitetura do sistema de controle local.....	116
Fig. 5.19 Telas do <i>Berimbot Composer</i>	117
Fig. 5.20 Ícones representando as variações de posicionamento dos diversos elementos usados para se tocar um berimbau.....	118
Fig. 5.21 Ícones para apontadores para manipulação (a) e pausa entre as notas (b)	119
Fig. 5.22 Ícones para avanço de página (a) e gravação da partitura (b)	120
Fig. 5.23 A tela do <i>Berimbot Player</i>	121
Fig. 5.24 Painel de controle do <i>Berimbot Player</i>	121
Fig. 5.25 Questionário inicial para a turma do 1º semestre de 2013	123
Fig. 5.26 Questionário final para a turma do 1º semestre de 2013.....	123
Fig. 5.27 Questionário inicial para a turma do 2º semestre de 2013	124
Fig. 5.28 Questionário final para a turma do 2º semestre de 2013.....	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABET *Accreditation Board of Engineering and Technology*
ASCII *American Standard Code for Information Interchange*
CALTECH *California Institute of Technology*
CAPES *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior*
CDIO *Conceive Design Implement Operate*
CES *Câmara de Educação Superior*
CNE *Conselho Nacional de Educação*
CNI *Confederação Nacional da Indústria*
CNPQ *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico*
CREA *Conselho Regional de Engenharia e Agronomia*
DSPIC *Digital Signal Peripheral Interface Controller*
FAPESB *Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia*
FINEP *Financiadora de Estudos e Projetos*
GUI *Graphical User Interface*
IDE *Integrated Development Environment*
IEL *Instituto Euvaldo Lodi*
IGU *Interface Gráfica do Usuário*
INPI *Instituto Nacional da Propriedade Industrial*
ISBN *International Standard Book Number*
LAPIN *Laboratório de Aprendizado de Inovação*
LED *Light Emitting Diode*
LCD *Liquid Crystal Display*
MEC *Ministério da Educação*
MIT *Massachusetts Institute of Technology*
MVP *Minimum Viable Product*
KTH *Royal Institute of Technology (Sueco: Kungliga Tekniska högskolan)*
NASA *National Aeronautics and Space Administration*
NSF *National Science Foundation*

OECD *Organisation for Economic Co-operation and Development*

OMPI Organização Mundial da Propriedade Intelectual

PAPPE Programa de Apoio a Pesquisa em Empresas

PBL *Project Based Learning*

PC *Personal Computer*

PIC *Peripheral Interface Controller*

POC *Proof Of Concept*

PMV Produto Minimamente Viável

PWM *Pulse Width Modulation*

SENAI Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SESI Serviço Social da Indústria

SSPL *The Student Space Programs Laboratory*

UFBA Universidade Federal da Bahia

USB *Universal Serial Bus*

USPTO *United States Patent and Trademark Office*

SUMÁRIO

Dedicatória	vii
Agradecimentos	ix
Resumo	xiii
Abstract.....	xv
Lista de Figuras	xvii
Lista de Abreviaturas e Siglas	xxi
1 Introdução.....	1
1.1 Motivação	1
1.2 O Papel da Universidade	2
1.3 Assimetria na Formação	2
1.4 Ensino x Pesquisa	3
1.5 Ausência de Mecanismos de Estímulo	5
1.6 A Metodologia de Ensino Atual	6
1.7 O Efeito Aladim	8
1.8 A Necessidade de uma Nova Metodologia.....	9
1.9 Presença da Indústria	10
1.10 Necessidade de um Mecanismo Interno de Realimentação.....	10
1.11 Objetivos desta Tese.....	11
1.12 Estrutura da tese	11
2 Revisão Bibliográfica e Pesquisa no Estado da Arte.....	13

2.1 Introdução	13
2.2 Laboratórios.....	13
2.2.1 O Projeto LAPIN	13
2.2.2 Harvard Innovation Lab (i-lab)	15
2.2.3 The Student Space Programs Laboratory (SSPL)	16
2.2.4 Digital Convergence Lab.....	17
2.2.5 The Alfred P. West, Jr. Learning Lab.....	18
2.3 Projetos de Grande Porte	18
2.3.1 O CDIO	19
2.3.2 Olin College.....	20
2.4 Disciplinas na Área de Projetos.....	22
2.4.1 Teaching Integrated Product Develop	22
2.4.2 Teaching Methods for Concept Design and Prototyping	22
2.4.3 A Design Approach to Teaching New Product Development.....	23
2.5 Conclusão	23
3 A Metodologia Proposta.....	25
3.1 Introdução	25
3.2 A Fundamentação Pedagógica	25
3.2.1 O Modelo de Estágios de Jean Piaget.....	26
3.2.2 Aprendizado Experiencial de David Kolb.....	27
3.2.3 O Ensino Reflexivo de Donald Schön e John Dewey	29
3.2.3.1 O Ateliê de Projetos.....	31
3.2.4 Os Quatro Estágios da Competência de Noel Burch.....	32
3.2.4.1 Incompetência Inconsciente	32

3.2.4.2 Incompetência Consciente.....	32
3.2.4.3 Competência Consciente	33
3.2.4.4 Competência Inconsciente.....	33
3.2.5 O Fluxo de Mihály Csikszentmihalyi.....	33
3.3 A Metodologia Proposta.....	36
3.3.1 O Laboratório Paradidático	37
3.3.2 Os Motivos para a Utilização de Projetos Reais.....	39
3.3.2.1 Inova Engenharia.....	39
3.3.2.2 Engenharia para o Desenvolvimento.....	40
3.3.2.3 Alinhamento com as Diretrizes do MEC/CNE/CES 11	41
3.3.2.4 A lista dos Atributos Desejados em um Engenheiro	42
3.3.3 A arquitetura dos Projetos	43
3.3.3.1 O Repertório Mínimo de Competências.....	44
3.3.3.1.1 A Utilização de Logbook (Lab Notebook).....	45
3.3.3.1.2 Coleta de Informações.....	46
3.3.3.1.3 Necessidade de Consultores	46
3.3.3.1.4 Busca de Anterioridade/Busca no Estado da Técnica	46
3.3.3.1.5 Levantamento dos Requisitos do Sistema	47
3.3.3.1.6 Geração de Propostas de Solução para o Problema.....	47
3.3.3.1.6.1 Brainstorming	48
3.3.3.1.6.2 Sketches/Napkin Sketches	48
3.3.3.1.6.3 Storyboard	49
3.3.3.1.6.4 Provas de Conceito/Protótipos/Simulação	50
3.3.3.1.6.5 O Fluxograma	51

3.3.4 Engenharia Reversa	51
3.3.5 Comunicação Oral e Escrita	52
3.3.6 Propriedade Intelectual	52
3.3.7 Gerenciamento de Falhas.....	53
3.3.8 Proposta de Avaliação	54
3.3.9 Conclusão	54
3.3.10 O Fluxograma Guia	56
4 Estudo de Casos	57
4.1 Introdução.....	57
4.2 Equipamento Automático de Solda que Utiliza o Método da Chapa Quente	58
4.2.1 A Técnica de Solda por Chapa Quente.....	58
4.2.2 Os Objetivos do Projeto.....	60
4.2.3 As Especificações do Equipamento.....	61
4.2.4 O Projeto.....	61
4.2.4.1 Busca no Estado da Técnica	61
4.2.4.2 Napkin Sketches	62
4.2.4.3 Desenvolvimento do Hardware Mecânico	62
4.2.4.4 O Desenvolvimento do Hardware Eletrônico.....	64
4.2.4.4.1 Projeto dos Blocos.....	65
4.2.4.4.2 Montagem de um Simulador	68
4.2.4.4.3 Controle de Temperatura da Chapa Quente	70
4.2.4.4.4 Teste do Hardware Mecânico	70
4.2.4.4.5 Prototipagem Rápida de Circuito Impresso.....	71
4.2.4.4.6 O Software de Controle	73

4.2.4.4.7 Instalação de uma Célula de carga	73
4.2.4.4.8 Equipamento Completo	74
4.3 Spin Offs.....	74
4.3.1 As Ferramentas Desenvolvidas	75
4.3.2 O Princípio da Balança Digital.....	77
4.4 Consolidação	77
4.5 O Mecanismo Interno de Realimentação.....	77
4.6 Equipamento Automático de Solda por Ar Quente	78
4.6.1 A Técnica de Solda por Ar Quente.....	78
4.6.2 Os Objetivos do Projeto.....	80
4.6.3 A Especificação do Equipamento.....	81
4.6.4 O Projeto.....	83
4.6.4.1 Busca no Estado da Técnica.	83
4.6.4.2 Napkin Sketches	83
4.6.4.3 Desenvolvimento do Hardware Mecânico	84
4.6.4.4 Desenvolvimento do Hardware Eletrônico.....	86
4.6.4.5 Equipamento Completo	89
4.7 Spin Offs.....	90
4.8 Gerenciamento de Falhas	90
4.9 Alinhamento com as Diretrizes do MEC CNE/CES 11	90
4.10 Prêmios	91
4.10.1 1º Concurso de Ideias Inovadoras da FAPESB	91
4.10.2 2º Concurso de Ideias Inovadoras da FAPESB	93
4.10.3 Concurso I2P Latin America	93

4.11 Conclusão	94
5 Adaptação da Metodologia para a Sala de Aula.....	97
5.1 Introdução.....	97
5.2 Emprego da Metodologia em Sala de Aula	98
5.2.1 Objetivos da Disciplina ENGC55, Laboratório Integrado VII.....	99
5.3 Estudo de caso: Desenvolvimento de um Projeto Exemplo	100
5.3.1 Coleta de Informações sobre o Instrumento Musical	100
5.3.1.1 O Instrumento Musical	100
5.3.1.2 Os Consultores.....	101
5.3.1.3 Como o Instrumento é Tocado	101
5.3.1.3.1 Notas Básicas Produzidas por um Berimbau	103
5.3.2 Como Funciona a Notação Musical	103
5.3.3 O Projeto do Instrumento Musical Robotizado	105
5.3.3.1 Busca no Estado da Técnica	105
5.3.3.2 Os Requisitos do Sistema	105
5.3.3.3 Instrumento Musical Robotizado pelo Ponto de Vista do Usuário	106
5.3.3.4 Propostas de Solução para o Problema.....	106
5.3.3.4.1 Brainstorming	106
5.3.3.4.2 Sketches/Napkin Sketches/Storyboard.....	106
5.3.3.4.3 Provas de Conceito/Protótipos	108
5.3.3.5 Componentes	110
5.3.3.6 Os Mecanismos	111
5.3.3.6.1 O Mecanismo da Moeda	111
5.3.3.6.2 O Mecanismo da Cabaça.....	112

5.3.3.6.3 O Mecanismo do Chocalho	113
5.3.3.6.4 O Mecanismo de Percussão	114
5.3.3.7 O Sistema de Controle	115
5.3.3.8 O Berimbot Composer	117
5.3.3.9 O Berimbot Player	120
5.4 A Conclusão do Seminário	121
5.5 Aplicação dos Questionários	122
5.6 Análise dos Questionários	124
5.7 Os Projetos Realizados na Disciplina Laboratório Integrado VII	125
5.7.1 Robô Tele Operado	125
5.7.2 Protótipo de Controlador para Sistema de Irrigação Automática	126
5.7.3 Automação do Processo de Pós-Resfriamento de Bombonas de 50L	127
5.8 Conclusão	127
6 Conclusões e Perspectivas	129
6.1 Conclusões	129
6.2 Contribuições desta Tese	130
6.3 Perspectivas Futuras	131
6.4 Considerações Finais	131
Bibliografia	133

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

Descrição do Problema

A tecnologia surge a partir do domínio de pelo menos um fenômeno da natureza e do seu emprego para resolver alguma necessidade humana. Este processo pode ser realizado a partir de dois caminhos: i) a descoberta de um fenômeno conduz ao seu estudo em detalhe, posterior domínio e uso para satisfação de uma necessidade; ii) o caminho é o inverso do anterior, parte-se de uma necessidade, que leva a uma investigação em determinadas áreas, o que pode levar à descoberta de um novo fenômeno, e o retorno ao caso anterior [1].

Em ambos os casos, para transformar o domínio de um fenômeno em uma solução para alguma necessidade humana são necessárias duas atividades básicas com perfis diferentes, realizadas também em ambientes diferentes: uma primeira com profissionais com o conhecimento e a formação adequados para o uso de ferramentas de prospecção de fenômenos naturais, coleta, análise, tratamento e interpretação de dados obtidos a partir daquela prospecção. Estas informações são então utilizadas para uma posterior criação de teorias e modelos que possam ser utilizados para reproduzir e/ou controlar os fenômenos observados. Esta atividade chama-se *Pesquisa Básica*. Na segunda atividade, outros profissionais com o conhecimento e formação adequados, utilizam as informações sistematizadas na pesquisa básica, para a criação de dispositivos, componentes, ou serviços que contêm a exploração dos fenômenos naturais de uma forma encapsulada [1]. Estes dispositivos, componentes ou serviços, irão por sua vez compor sistemas que atenderão algum tipo de demanda. Esta atividade é chamada de *Engenheirar*. A inovação surge da exploração econômica dos benefícios trazidos pela ação conjunta da pesquisa básica e da engenharia.

O século 21 é caracterizado pela economia do conhecimento onde a inovação desempenha um papel central na criação e manutenção do crescimento econômico e da

soberania. A inovação como motor desta nova sociedade necessita portanto, para a sua existência, de recursos com uma formação adequada aos requisitos desta nova economia.

1.2 O Papel da Universidade¹

À Universidade sempre coube o papel da geração de conhecimento básico a partir da pesquisa e de sua difusão pelo ensino e extensão. Neste cenário, o papel da transformação deste conhecimento gerado em bens e serviços tem sido desempenhado pelas empresas que são os principais clientes finais na cadeia de formação de recursos humanos.

Ao longo do tempo, a evolução do modelo de operação da Universidade fez com que a maior parte da pesquisa realizada fosse mais focada no estado da arte, afastando-se portanto da realidade local, e produzindo trabalhos de nível internacional na forma de publicações científicas [2]. No caso da engenharia, esta ênfase foi dada à *ciência da engenharia*, possui raízes históricas [3] e acabou se convertendo em um processo cultural. O estudante típico de engenharia realiza atualmente pelo menos um trabalho de iniciação científica durante a sua graduação, publica pelo menos um trabalho acadêmico e escreve um trabalho de graduação ou conclusão de curso. Este trabalho possui um formato de redação, apresentação e avaliação nos moldes de uma tese acadêmica. Este foco em pesquisa fez com que a indústria fosse obrigada a buscar alternativas para oferecer uma complementação necessária à formação dos profissionais recrutados na forma de estágios e treinamentos, para que estes pudessem desempenhar as suas funções na companhia segundo as suas necessidades específicas. Um exemplo típico é o da EMBRAER onde os *trainees* passam por um treinamento de dois anos [4].

1.3 Assimetria na Formação

A Universidade possui uma missão que envolve ensino, pesquisa e extensão. Devido ao foco na pesquisa, não foi dada a devida atenção às diferenças na formação, nos ambientes e nas metodologias de trabalho dos dois tipos de perfis necessários ao processo

¹ Este trabalho toma como referência Universidades nos Estados Unidos da América e no Brasil que guardam similaridades no que diz respeito aos problemas tratados aqui.

de desenvolvimento da tecnologia, e consequentemente da inovação: o pesquisador, e o engenheiro. Isto fez surgir uma assimetria na formação da maior parte dos estudantes dos cursos de engenharia [5], que termina a graduação com perfis profissionais tendendo bem mais para a pesquisa e mais habituados a conviver no seu ambiente e com suas metodologias.

O resultado da assimetria na formação dos estudantes se materializa, entre outras formas, na diferença entre o número de patentes depositadas e licenciadas e o número de publicações científicas internacionais. Esta assimetria persistente mostra que o modelo de formação utilizado deve ser reavaliado. É preciso que a Universidade reveja seu papel não apenas no mundo acadêmico, mas no sistema econômico atual que demanda uma maior quantidade de recursos humanos com alta qualificação técnica adequada, habilidade para trabalho em equipe multidisciplinar tanto em território nacional quanto internacional, habilidade de síntese original, criação de propriedade intelectual e o desenvolvimento de uma cultura de aprendizado por toda a vida.

A pesquisa básica é estratégica para a manutenção de vantagens competitivas em nível industrial, e a formação de recursos humanos nesta área é imprescindível. Porém, é preciso que a Universidade dê uma atenção especial à formação correta dos engenheiros que deverão estar aptos a transformar o conhecimento da pesquisa em bens e serviços e dar uma maior contribuição para minorar problemas locais. Neste ponto, os países em desenvolvimento partem com uma enorme desvantagem histórica, estrutural e cultural em comparação com os países desenvolvidos que possuem uma forte cultura tecnológica/industrial, onde a relação Universidade/indústria possui tradições históricas [6], o que foi essencial para o desenvolvimento industrial dos EUA por exemplo, e está sendo replicado de maneira muito competente pelos países asiáticos [7].

1.4 Ensino x Pesquisa

Os órgãos de fomento utilizam parâmetros de produtividade baseados em publicações para liberar recursos para pesquisas. Os recursos liberados são utilizados para compra, manutenção de equipamentos, projetos de infraestrutura e complementações na forma de bolsas para professores e pesquisadores. Publicações e resultados de pesquisas,

também são utilizados como mecanismos de avaliação para ascensão interna na carreira acadêmica [5-6].

O ensino se conecta com a pesquisa geralmente em projetos de iniciação científica ou trabalhos de final de curso, e ambos contribuem para reforçar o portfólio necessário para continuar a captação de recursos. Um ciclo onde pesquisa gera pesquisa é criado. O ensino torna-se *apenas* um componente deste ciclo. Os estudantes que trabalham em projetos de iniciação científica também recebem financiamento por meio de bolsas como uma forma de motivação. Com isso, eles acabam sendo inseridos em um ecossistema que prioriza a pesquisa acadêmica em detrimento da aprendizagem técnica de engenhear. [8]

O ensino por si só não gera projetos, não fornece financiamento para infraestrutura, compra e manutenção de equipamentos ou bolsas de qualquer natureza. É preciso que o ensino esteja conectado a uma atividade de pesquisa para que receba recursos dos órgãos de fomento. Não existe uma política de financiamento paralela de fomento à educação e a aprendizagem do conteúdo técnico, nos mesmos moldes daquela que incentiva a formação de pesquisadores. De modo que o estudante pudesse se tornar um profissional com o perfil adequado para trazer a tão almejada competitividade à indústria [59].

É muito comum se encontrar em qualquer Universidade um laboratório de pesquisas, mas é bem incomum se encontrar um *laboratório de engenharia*. O que se encontra são laboratórios que são utilizados normalmente para a realização de experimentos ou aulas práticas, sendo utilizados concomitantemente ou de modo temporário, para projetos de engenharia, quando existem. Isto é uma demonstração clara da diferença de prioridades.

O modo como o ensino é ligado à pesquisa serve para formar profissionais com o perfil para continuarem uma carreira acadêmica, ou para que possam trabalhar na área de pesquisa de uma empresa. O método como é concebido e aplicado o ensino, prioriza a formação de cientistas e não de engenheiros. A formação com foco em ciência e não em tecnologia faz com que a prioridade seja dada à publicação do resultado da pesquisa e não à sua proteção e exploração econômica. Como os estudantes estão sendo formados neste contexto, é de se esperar que não exista uma cultura de propriedade intelectual e que seja

muito difícil a sua implantação, e o baixo número de depósito de patentes é um dos reflexos deste método [8].

1.5 Ausência de Mecanismos de Estímulo

A indústria mundial tem hoje uma forte demanda por capital humano altamente qualificado tecnicamente, ao mesmo tempo em que as Universidades testemunham um baixo índice de matrículas de estudantes nos cursos de engenharia, uma baixa retenção destes estudantes nestes cursos e consequentemente uma redução na formação de profissionais nestas áreas. A situação tende a piorar na medida em que a oferta de novos graduados ao mercado não é suficiente para substituir os engenheiros que estão se aposentando e para manter e aumentar o ritmo do crescimento econômico [9-10].

Este desinteresse por uma carreira em engenharia é um efeito bastante curioso, já que os jovens vivem rodeados pela tecnologia e possuem um forte interesse em seu uso. Embora este desinteresse seja também considerado um problema nos países desenvolvidos, o efeito deste declínio no suprimento de candidatos a novos engenheiros terá um impacto muito maior em países emergentes.

Existem muitas razões para esta aparente falta de interesse na carreira em engenharia. Uma parte do problema é devida ao fato de que a população em geral não possui uma clara percepção do papel que a engenharia desempenha em suas vidas [10], uma falha que tem origem na ausência de uma agenda específica para as atividades de divulgação do trabalho realizado dentro da Universidade [11]. Embora muitas pessoas possam apontar exemplos onde a engenharia é utilizada nos seus cotidianos, estas pessoas vêm os resultados ou os efeitos da aplicação da engenharia como algo saído de uma caixa preta, desconhecem o conteúdo da caixa e aceitam o fato de que por alguma razão ela funciona.

No caso dos estudantes de engenharia, os problemas principais são: i) o desestímulo causado pela falta de uma visão integrada do processo como um todo, que deveria conectar o que é visto na sala de aula, com as atividades de laboratório; ii) a ausência de um mecanismo que permitisse a realização de projetos de engenharia com

ênfase na síntese original e na inovação; iii) um mecanismo de transformação da pesquisa básica em produtos, processos, ou serviços ainda dentro da própria Universidade.

Os atuais currículos na área de engenharia apresentam as disciplinas como entidades separadas cujo relacionamento entre si e com o processo de engenheirar é explicado apenas no final do curso, quando isto acontece [12].

1.6 A Metodologia de Ensino Atual

À Universidade também cabe o papel de incentivar que a sua produção científica seja transformada em riqueza ainda dentro dos limites do próprio campus, seja por meio da valorização da síntese original, registro de patentes, contratos de transferência de tecnologia ou do incentivo na formação empreendedora dos seus estudantes, de modo que estes possam desde cedo, serem estimulados a se envolverem na criação de *spin-offs* ou empresas de base tecnológica [13]. Cabe também à Universidade fornecer a estrutura e o conhecimento necessário para suportar estas iniciativas na forma de: i) *mentoring*; ii) *coaching*; iii) incubadoras; iv) aceleradoras; v) escritórios de transferência de tecnologia. A criação de *spin offs* e empresas de base tecnológica a partir da Universidade são vistos hoje como indispensáveis para o desenvolvimento regional por meio da criação de empregos, estas iniciativas fornecem as bases para a criação de um ecossistema de inovação necessário para prover produtos e serviços necessários à manutenção de uma economia local e nacional, e com isto criar uma espiral de desenvolvimento econômico crescente [14].

A Universidade atualmente não forma o profissional com o perfil que a sociedade necessita. O perfil citado aqui não diz respeito ao emprego formal, mas sim ao tipo de profissional necessário para resolver os problemas de competitividade enfrentados já há algum tempo, e de maneira mais acirrada atualmente, pela indústria [59]. Os profissionais recém-formados não possuem um perfil prático, quando o tem, este foi obtido por meio de um processo autodidata, ou vindo de uma formação técnica anterior. Os estudantes em geral se sentem desmotivados por várias razões: i) curso excessivamente teórico; ii) professores despreparados; iii) experimentos ultrapassados; iv) curso não sintonizado com a realidade tecnológica; v) ausência total de integração e de propósito; v) sensação de

desconexão com a realidade. Isto termina por gerar também problemas de retenção dos estudantes nos cursos.

O excesso de teoria faz com que os estudantes saiam despreparados para a prática e principalmente para realizar a síntese original. Acabam desenvolvendo habilidades de: i) análise; ii) recomendação; iii) montagem de sistemas e não do seu desenvolvimento. É preciso que algum esforço seja feito para que os estudantes aprendam a engenheirar ainda dentro da Universidade. Trazer a experiência industrial para dentro dos seus cursos, para que os estudantes possam ser devolvidos à sociedade já produzindo no primeiro dia e com o real preparo necessário para inovar, ou seja, tendo o conhecimento e a capacidade de atuar nos processos que levam de uma ideia até o produto final e a sua comercialização.

A metodologia de ensino atual ainda é expositiva e acompanhada de modo passivo pelos estudantes no modelo denominado por Paulo Freire de Educação Bancária, onde "...a educação se torna um ato de depositar, em que os educandos são os depositários e o educador o depositante" [15]. O ambiente de ensino ainda é o mesmo da clássica sala de aula com quadro negro ou branco, ou na sua versão moderna, um projetor multimídia.

A profissionalização não se faz pela acumulação consolidada, na perspectiva de um estoque sempre maior, mas pela sua renovação constante, diante de um mundo que entrou definitivamente num ritmo avassalador de mutação. A qualidade da profissão está mais no método de sua permanente renovação, do que em resultados repetidos [16].

As iniciativas práticas, quando existem, normalmente deixam os estudantes sem uma metodologia de trabalho clara, isto faz com que percam tempo, energia e motivação, buscando atalhos como temas mais fáceis ou realizando montagens do tipo colcha de retalhos a partir de informações baixadas da internet. Além de uma experiência global negativa, uma grande oportunidade de aprendizado de uma técnica (mesmo que simples), de abordagem de projetos é perdida. O efeito é cumulativo, pois os próximos projetos irão seguir a mesma metodologia da *ausência de metodologia*, onde o edifício do conhecimento é construído sem uma fundação sólida. É necessária portanto, uma nova metodologia com foco em educação, que contemple uma série de mudanças que permitam que seja implantada de modo natural uma cultura de síntese original, proteção à propriedade intelectual e a sua exploração comercial.

1.7 O Efeito Aladim²

William Brian Arthur, em seu livro *The Nature of Technology, What it is and how it evolves* [1], diz que a tecnologia gera a si mesma por meio de um processo de domínio ou controle dos fenômenos da natureza, e do seu posterior *encapsulamento* em componentes ou blocos operacionais. Estes blocos são utilizados por outras invenções como componentes, que por sua vez, são mais uma vez encapsulados com novas descobertas e outras invenções em um processo recorrente e complexo [1]. Cabe aqui lembrar o caminho percorrido desde a válvula eletrônica, passando pelo transistor até o circuito integrado, e a *Lei de Moore* que diz que o número de transistores em um circuito integrado dobra a cada dois anos [17]. Este fenômeno do *encapsulamento da tecnologia* não está restrito à área de eletrônica. Uma turbina de avião é um exemplo de vários fenômenos do mundo físico que foram encapsulados em componentes e sistemas que atuam de modo perfeitamente orquestrado para desempenhar a sua função maior [1].

Este *encapsulamento da tecnologia*, embora prático por permitir que os usuários usufruam dos seus resultados e efeitos finais, como a utilização de telefones celulares, fornos de micro-ondas e computadores com um simples toque, tem um efeito desastroso para os países em desenvolvimento. Por trás da aparente comodidade no uso de interfaces cada vez mais *amigáveis* e cômodas, que praticamente qualquer pessoa pode utilizar, se esconde o *abismo tecnológico* que existe entre as nações que são capazes de produzir tais dispositivos, e aquelas que apenas os consomem e na sua maioria, não são capazes sequer de compreender o seu funcionamento, ou a dificuldade de sua construção ou replicação.

O *Efeito Aladim* aqui chama atenção para o efeito *negativo* que o *encapsulamento da tecnologia* pode ter na área da educação. A facilidade de uso de dispositivos, componentes e equipamentos na área educacional, cria uma sensação de comodidade e desvia a atenção dos seus princípios de construção e funcionamento. Tornando cada vez mais difícil para um novo entrante na área tecnológica, compreender o contexto,

² *Efeito Aladim* é uma metáfora criada pelo autor desta tese para denominar o efeito *negativo* provocado pelo *encapsulamento da tecnologia* [1] e a facilidade do seu uso, que é mascarar o abismo tecnológico existente entre as nações mais e menos desenvolvidas tecnologicamente. A origem da expressão vem do livro *As mil e uma noites*, onde o personagem Aladim tinha todos os seus desejos satisfeitos com um simples esfregar de dedos sobre uma lâmpada mágica, sem se importar com os processos internos que tornavam isto possível.

funcionamento, ou dominar as metodologias necessárias à síntese destes dispositivos, componentes ou equipamentos. O *Efeito Aladim* pode ser portanto, uma ameaça a tão almejada recuperação da competitividade pela indústria [59-60], e também à soberania nacional.

1.8 A Necessidade de uma Nova Metodologia

A maior parte do conhecimento prático profissional não está nos livros, mas sim no próprio profissional. Toda a informação teórica necessária para a solução de problemas está disponível em livros e atualmente na internet. A habilidade mais importante está em como utilizar estas informações teóricas para resolver problemas práticos principalmente os problemas mal definidos e do tipo aberto, onde se encontra a oportunidade de inovação [38].

“Como educadores, nós somos responsáveis por estimular o pensamento criativo entre nossos estudantes[...] Nosso objetivo maior é exigir o trabalho criativo original como parte de todo curso de engenharia” [18-19].

Para formar os profissionais com o perfil adequado para enfrentar problemas do tipo aberto, são necessárias várias condições que não são encontradas na sala de aula típica ou em laboratórios convencionais.

- i. Metodologia adequada para enfrentar problemas que sejam desafios reais de engenharia com ênfase na síntese original e na inovação;
- ii. Um ambiente adequado para aplicação da metodologia;
- iii. Projetos onde os estudantes possam aprender fazendo.

Em se tratando da síntese original, é preciso ter a consciência do abismo tecnológico que nos separa dos países mais desenvolvidos e implantar medidas para sua minimização. Uma grande quantidade de conhecimento está hoje embutida na forma de dispositivos e sistemas (*Efeito Aladim*). A metodologia de ensino atualmente empregada faz uso de muitos dispositivos e equipamentos sem levar em conta o seu grau de encapsulamento, a sua utilização sem uma etapa anterior de domínio da sua origem e princípio de funcionamento, acaba formando profissionais que são capazes de recomendar o uso ou

desenvolver aplicações para estes dispositivos, equipamentos ou sistemas, mas que podem não ser capazes de compreender bem o seu princípio de funcionamento e portanto, de recriar estes componentes ou sistemas em si.

1.9 Presença da Indústria

A indústria aparece neste cenário na maioria das vezes, como outro contribuinte para a pesquisa, na forma de isenções fiscais. São raros os projetos de interação entre a indústria real e a Universidade que terminam com uma contribuição efetiva para a competitividade de uma empresa. A história das relações Universidade/Indústria no Brasil acabou não permitindo a existência de um canal de comunicação permanente, parte disso se deve a problemas de ritmo e credibilidade. A indústria tem o tempo como forte adversário, pois é um dos seus principais recurso de competitividade e portanto, de sobrevivência. A Universidade possui seu próprio cronograma onde a pesquisa é feita no ritmo da abertura e fechamento de editais de financiamento e dos prazos de conclusão dos projetos de pesquisa que podem durar até vários anos.

A falta da presença da indústria no ambiente da Universidade tira a oportunidade de aprendizado na resolução de problemas reais, de vivência de uma cultura profissional, do estabelecimento de conexões importantes, e acaba também prejudicando outras iniciativas como incubação de empresas e geração de *spin-offs*.

1.10 A Necessidade de um Mecanismo Interno de Realimentação

A Universidade dispõe atualmente de alguns mecanismos de avaliação internos e externos: i) avaliação discente, onde os estudantes avaliam os professores, alguns gestores e a infraestrutura; ii) avaliação docente, onde os professores avaliam alguns gestores; iii) avaliação da instituição que é feita periodicamente pelo MEC; iv) avaliação dos estudantes feitas pelo Exame Nacional de Desempenho de Estudantes. Todas estas avaliações dizem respeito à eficiência das operações das instituições e do seu pessoal, e ao cumprimento dos conteúdos programáticos nos diversos cursos. Seria importante também, a criação de um mecanismo interno de realimentação, que pudesse fornecer informações sobre eventuais

faltas de conteúdo técnico no material ministrado aos alunos nas suas atividades acadêmicas, que pudessem impactar nas suas habilidades e competências para realizar as suas atividades profissionais no mundo real. O que temos hoje é um processo aberto, onde a Universidade forma o estudante e a empresa complementa a sua educação para que ele se adeque às suas necessidade específicas [4].

1.11 Objetivos desta Tese

Não temos aqui a pretensão de apresentar uma solução definitiva para o problema de formação de recursos humanos de alto nível em engenharia com foco em inovação. Mas sim de contribuir com uma proposta de uma metodologia e de um ambiente adequado à sua aplicação, que têm como objetivo complementar a formação dos estudantes para que eles possam aprender a engenheirar ainda dentro da Universidade. Acreditamos que a convivência neste ambiente e a exposição a esta metodologia são elementos fortemente motivadores que contribuem para a construção de uma base que facilita a consolidação dos conhecimentos adquiridos em sala de aula, a criação de uma cultura de aprendizado autônomo e permanente, e o desenvolvimento de uma atitude proativa no enfrentamento de problemas do tipo aberto. “A educação ideal em engenharia não pode ser definida. Isto é, sem uma referência ao tempo, lugar ambiente e contexto[...]. Portanto, o ponto de partida para um programa ideal precisa ter muitas sementes de mudança espalhadas por toda parte” [25]

1.12 Estrutura da tese

O capítulo 2 deste documento descreve a revisão bibliográfica e pesquisa no estado da arte. O capítulo 3 descreve a metodologia proposta. O capítulo 4 mostra o estudo de casos onde a metodologia proposta foi aplicada. O capítulo 5 trata da adaptação da metodologia proposta para ser utilizada em sala de aula e o capítulo 6 é a conclusão desta tese.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica e Pesquisa no Estado da Arte

2.1 Introdução

Este capítulo mostra o resultado de uma pesquisa feita sobre o estado da arte buscando iniciativas relacionadas à descrita nesta tese. Existem algumas abordagens diferentes na literatura, cada uma com o seu grau de contribuição para a solução do problema de educar os estudantes de engenharia, para que possam aprender a engenheirar ainda dentro dos domínios da Universidade. Foram citadas aqui as mais representativas, e aquelas que evidenciam as dificuldades estruturais, culturais e de recursos humanos, que devem ser enfrentadas para a implantação de um novo paradigma de educação em engenharia, que permita formar melhores profissionais prontos para atuarem no mercado.

Os resultados da pesquisa foram divididos em:

- i. Laboratórios;
- ii. Reformas de grande porte;
- iii. Disciplinas na área de projetos.

2.2 Laboratórios

Nesta seção serão apresentadas propostas de utilização de laboratórios para a complementação na formação dos estudantes.

2.2.1 O Projeto LAPIN

Laboratório de Aprendizado de Inovação (LAPIN), financiado pelo programa MCT/FINEP/PROMOVE, foi uma iniciativa desenvolvida na Pontifícia Universidade Católica do Rio, que visava melhorar o processo de aprendizado da engenharia por meio de uma série de ações como [20]:

- i. Utilização da infraestrutura laboratorial e didática pré-existentes;

- ii. Criação de uma linha de disciplinas integradas aos cursos de engenharia e às atividades de laboratório usando a metodologia de Aprendizado Baseado em Projetos (PBL);
- iii. Integração de estudantes, pesquisadores, mestres, doutores, professores e técnicos em um mesmo ambiente com o objetivo de desenvolver trabalhos acadêmicos, pesquisa e projetos para a indústria.

O LAPIN pretendia ser um ambiente de convergência entre projetos industriais, pesquisa científica e estudantes de graduação e pós-graduação. As disciplinas de projeto e os trabalhos propostos seriam organizadas em torno das atividades já realizadas nos laboratórios [20].

O LAPIN propunha como novidade a sua integração em laboratórios de pesquisa e desenvolvimento, e a abordagem integradora das novas disciplinas. Ao abordar problemas concretos de engenharia por meio das disciplinas de projeto, estas deveriam obrigatoriamente utilizar conteúdos de outras disciplinas em um processo recorrente de integração em torno dos projetos, promovendo a multidisciplinaridade [20].

Utilizamos nesta pesquisa, um trabalho sobre a criação do LAPIN publicado no Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, COBENGE, em 2008. Quando este trabalho foi publicado, o LAPIN ainda estava em seu início e o artigo publicado descrevia a estratégia de sua implementação no curso de engenharia da PUC-Rio [20].

Uma pesquisa feita em 2013 mostra que a iniciativa não prosperou nem gerou resultados ao longo deste período. Talvez a maneira como o projeto foi definido no início tenha sido a razão pela qual a iniciativa não conseguiu gerar os resultados esperados:

- i. Modificar as disciplinas vinculadas aos projetos desenvolvidos é um processo que parece simples, mas que envolve a cooperação de muitos atores que possuem agendas que na maioria das vezes não são compatíveis com os objetivos do projeto;
- ii. Colocar em um mesmo ambiente, estudantes, pesquisadores, professores e técnicos com objetivo de desenvolver trabalhos acadêmicos, e ao mesmo tempo executar projetos para a indústria, pode gerar problemas de incompatibilidade de métodos e objetivos;

- iii. O envolvimento dos professores é fundamental em iniciativas deste tipo. Contudo, na maioria das vezes, alguns acabam por não participar dos projetos por receio de uma *exposição*, de serem vistos como não tendo a competência necessária para contribuir diretamente em um projeto.

2.2.2 Harvard Innovation Lab (i-lab)

O *Harvard Innovation Lab* [21] foi criado em 2011 nos EUA, com a missão de apoiar os estudantes interessados em empreendedorismo e inovação, por meio de programas que ajudem o crescimento de seus empreendimentos. O *i-lab* incentiva a colaboração entre os estudantes, professores, empreendedores e membros da comunidade. O trabalho de extensão, inclui o convite a membros da comunidade para participação em eventos realizados em suas instalações que contemplam, um café chamado *InnoBreak Café* e um *Lobby* com *WiFi*. O *i-lab* também oferece o seu espaço físico para eventos e reuniões de parceiros como:

- i. *Small Business Administration*;
- ii. *The Service Corps of Retired Executives*;
- iii. *The Center for Women and Enterprise*;
- iv. *Massachusetts Small Business Development Center*.

Os diferenciais do *i-lab* em relação a outros centros de incentivo ao empreendedorismo são [21]:

- i. Aceita qualquer estudante de *Harvard* com qualquer ideia, incentivando deste modo a multidisciplinaridade e a colaboração. Os projetos são distribuídos em áreas como saúde, ciência, tecnologia e consumo;
- ii. É um processo centrado no estudante, suportado pelos professores e faculdades em *Harvard* para ajudar os estudantes a explorarem suas ideias;
- iii. O *i-lab* atua como um novo modelo de colaboração da Universidade por ser co-dirigido pelos gestores da Universidade de *Harvard*;

Metodologia

A metodologia usada no *i-lab* é uma combinação do material das disciplinas de empreendedorismo em inovação, combinado com recursos para que os estudantes coloquem suas ideias em prática [21]. A pedagogia empregada no *i-lab* segue um processo de quatro etapas:

- i. Aprendizado básico por meio de cursos e vídeos *online*;
- ii. Apoio de especialistas por meio de oficinas ou entrevistas com empreendedores ou conselheiros na área legal;
- iii. Aprendizado Experiencial por meio de oficinas;
- iv. Programas de Incubação.

O foco do *i-lab* é proporcionar infraestrutura e apoio de especialistas aos estudantes, para alavancar a criação de start-ups.

2.2.3 The Student Space Programs Laboratory (SSPL)

A Pennsylvania State University, possui uma longa história de participação de estudantes em projetos espaciais como:

- i. Preparação de cargas para balões para grandes altitudes;
- ii. Experiências em microgravidade;
- iii. Cargas especiais para o *Space Shuttle*.

Devido à complexidade e as sinergias envolvidas neste processo foi criado em 2006 o *Student Space Programs Laboratory (SSPL)* [22], com a função de coordenar os projetos e ao mesmo tempo proporcionar aos estudantes de graduação e pós-graduação a oportunidade de aplicar os conhecimentos adquiridos em sala de aula no projeto, fabricação e integração de sistemas espaciais. O Laboratório também realiza ações de divulgação áreas de ciência, tecnologia e engenharia. E se associou com mentores de empresas e institutos de pesquisa para ajudar os estudantes nos seus estudos [22].

Para a realização dos projetos, o Laboratório conta com uma infraestrutura que contempla:

- i. Uma Câmara Anecóica de 3m x 6m para teste de projetos de antenas;

- ii. Uma oficina de criação de modelos e maquetes;
- iii. Duas salas equipadas com computadores;
- iv. Três salas de aula com equipamentos para videoconferências;
- v. Dois laboratórios de projetos;
- vi. Sala limpa de 3,3m x 3,9m, classe 100,000;
- vii. Ferramentas colaborativas, *Adobe Connect Professional* e servidor de documentações;
- viii. Laboratório de comunicação e ciências;
- ix. *Bernard M. Gordon Learning Factory* (Oficina) ocupando 450 m²;
- x. Estação de acompanhamento de satélites.

A missão do *Student Space Programs Laboratory (SSPL)* é suportar, oferecer infraestrutura e educação na área de projetos a estudantes na área de tecnologia espacial.

2.2.4 Digital Convergence Lab

O *Digital Convergence Lab* [23] foi fundado em 2009 na *Northern Illinois University* nos EUA, com a missão de ser um ponto de convergência de estudantes, professores, funcionários e membros da comunidade para explorar novas mídias por meio do aprendizado experiencial, programas de divulgação e pesquisa multidisciplinar. O Laboratório atua em três linhas principais:

- i. Prover oportunidades de aprendizado experiencial para os estudantes por meio da participação prática no desenvolvimento de material multimídia. Os estudantes também se beneficiam da experiência dos pares e dos instrutores em uma variedade de disciplinas, desenvolvendo deste modo habilidades e ganhando experiência em trabalhos práticos semelhantes ao que encontrarão no mercado de trabalho;
- ii. Oferecer a sua infraestrutura e recursos humanos, para auxiliar os professores e estudantes na pesquisa e desenvolvimento de mídia digital interativa para a área de educação, para ser usada em propósitos acadêmicos ou profissionais dentro da Universidade;

- iii. Incentivar o envolvimento da comunidade por meio de programas de extensão.

O foco do *Digital Convergence Lab* é a área de aplicações multimídia.

2.2.5 The Alfred P. West, Jr. Learning Lab

O *Alfred P. West, Jr. Learning Lab* [24] é um laboratório experimental e centro de desenvolvimento na *Wharton School, University of Pennsylvania* nos EUA, com a missão de enriquecer o aprendizado em sala de aula com a possibilidade de desenvolver material didático digital com a finalidade de estudar novos paradigmas de ensino e aprendizado, como:

- i. Simulações;
- ii. Exercícios online;
- iii. Programas interativos;
- iv. Jogos didáticos.

O objetivo dos produtos desenvolvidos pelo *Learning Lab*, é o de criar uma motivação para que os estudantes possam aplicar o conteúdo aprendido nas disciplinas em exercícios do mundo real. O Laboratório faz uso do conhecimento obtido dos professores e profissionais da indústria para realizar experimentos com novos métodos de aprendizado nos diversos cursos oferecidos pela escola. Os produtos visam proporcionar uma melhor interação entre os professores e os alunos e ao mesmo tempo criar experiências educacionais inovadoras [24].

O foco do *Alfred P. West, Jr. Learning Lab* é a criação de aplicativos digitais que permitam expandir a experiência educacional.

2.3 Projetos de grande porte

Nesta seção são descritos dois projetos de grande porte que foram realizados nos Estados Unidos da América, motivados pela constatação da necessidade de reformas na educação em engenharia. O interessante a notar aqui, é que um dos projetos foi realizado em uma das escolas de maior prestígio mundial na área de engenharia.

2.3.1 O CDIO

O *CDIO* foi criado em 2002 no departamento de Aeronáutica e Astronáutica do *MIT* [25]. Foram basicamente duas as motivações para a criação deste projeto:

- i. Resgatar o cunho prático que a engenharia sempre teve até os meados do século 20, ponto a partir do qual a abordagem da *ciência da engenharia* começou a prevalecer;
- ii. Como uma resposta ao dilema enfrentado pelos estudantes de engenharia, que deveriam conciliar a aquisição de uma quantidade sempre crescente de conhecimento técnico, com o desenvolvimento de habilidades pessoais, interpessoais e práticas que os permitissem atuar em equipes e produzir novos produtos e sistemas.

O objetivo desta nova abordagem era educar estudantes que fossem capazes de conceber, projetar (*design*), implementar e operar (dai a sigla *CDIO*). Em suma, formar engenheiros que fossem capazes de engenheirar.

A abordagem do *CDIO* consiste nas seguintes fases [25]:

- i. Coletar informações junto às partes interessadas (professores internos e externos, estudantes, ex-estudantes e líderes industriais, *ABET*), sobre quais as habilidades são necessárias ao engenheiro, processar e compilar estas informações e criar um currículo baseado nelas;
- ii. Desenvolver as abordagens curriculares e pedagógicas necessárias para o aprendizado destas habilidades;
- iii. Desenvolver técnicas de avaliação que possam prover ao mesmo tempo informação para melhorar o processo educacional;
- iv. Estas informações são utilizadas para desenvolver um currículo organizado ao redor de disciplinas técnicas em conjunto com o desenvolvimento de habilidades pessoais e interpessoais e de sistemas;
- v. A abordagem propõe também criar ambientes adequados aos projetos realizados pelos estudantes.

O *CDIO* foi desenvolvido e implementado inicialmente em quatro Universidades:

Chalmers University of Technology (Chalmers) em Göteborg, *Royal Institute of Technology (KTH)* em Estocolmo, *Linköping University* em Linköping, e o *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* em Cambridge, Massachusetts. Atualmente existem 20 instituições envolvidas com o programa ao redor do mundo [25].

Para a implementação do *CDIO*, é necessário que as partes interessadas tenham um grau de maturidade que permita entender toda a problemática, e que ao mesmo tempo, além de recursos financeiros, possuam agilidade, flexibilidade e recursos humanos, para criar, implementar e manter as mudanças e atualizações necessárias. A metodologia aposta em: i) parcerias com outras instituições; ii) reforma do currículo; iii) criação de infraestrutura; iv) criação de conteúdo disciplinar e metodologias de ensino e avaliação; v) readequação do perfil dos recursos humanos. Basicamente o foco do curso deve mudar para um conteúdo eminentemente prático [25].

De nada adianta conceber uma solução ampla e abrangente que não contemple o país, o estágio evolutivo da infraestrutura nem dos profissionais que irão se responsabilizar por sua implementação e manutenção. Os atuais professores, na sua grande maioria, foram educados no paradigma da *ciência da engenharia*, onde o foco está na pesquisa, publicação e titulação, portanto, objetivos completamente diferentes daqueles propostos nesta abordagem. E a abordagem *CDIO* parte do pressuposto de que é possível encaixar, ou reciclar os atuais profissionais para engajá-los neste processo [25].

2.3.2 Olin College

Franklin W. Olin (1860-1951) foi um engenheiro e empreendedor, que conseguiu acesso à Universidade de *Cornell* por meios de estudos autodidatas. Em 1938, Olin utilizou a sua fortuna pessoal para criar a fundação filantrópica *Olin Foundation*, depois renomeada para *F. W. Olin Foundation*. Foi durante a doação para a construção de uma escola vocacional que Olin mencionou que: “não gostaria que as crianças daquela geração encontrassem as mesmas dificuldades que ele teve de superar para conseguir ter acesso à educação” [26]. Nesta mesma época, a *National Science Foundation* sinalizava uma preocupação com o fato de que os Estados Unidos da América estava perdendo a sua superioridade tecnológica, e iniciou um processo de demanda por uma reforma na educação

em engenharia, com ênfase em empreendedorismo, trabalho em equipe e habilidades de comunicação [26]. A *F.W. Olin Foundation* viu nas demandas da *National Science Foundation* uma oportunidade e em 1997 anunciou a sua intenção em criar uma nova faculdade de engenharia que pudesse atender àquelas demandas, o *Olin College*. A faculdade teria como principal diferencial a inovação e a possibilidade de criação de um currículo de engenharia a partir do zero, para atender às necessidades apontadas pela *National Science Foundation* [26].

Os professores fundadores eram profissionais premiados ou vieram de várias Universidades renomadas como *MIT*, *Vanderbilt*, *Berkeley* e agências como a *NASA*. A faculdade recrutou também 30 estudantes parceiros para participar de uma turma experimental, trabalhando junto com os professores na elaboração do currículo inovador. Os 30 estudantes foram recrutados de todas as partes do país e haviam também recebido ofertas de admissão de Universidades como *Harvard*, *MIT* e *CalTech* [26].

Dois anos depois, aos 30 estudantes parceiros se juntaram 45 estudantes igualmente qualificados para formar a turma inaugural. A turma inicial de 75 estudantes era formada por estudantes premiados ou bolsistas de destaque [26]. Espera-se dos estudantes formados pelo *Olin College* as seguintes características:

- i. Excelentes fundamentos na área da engenharia;
- ii. Uma perspectiva ampla do papel da engenharia na sociedade;
- iii. Criatividade;
- iv. Habilidades empreendedoras.

A pedagogia utilizada no *Olin College* faz uso intensivo do Aprendizado Baseado em Projetos com muitas atividades do tipo *Hands-on* e oportunidades para o aprendizado multidisciplinar [26]. O *Olin* é uma estrutura única surgida a partir de eventos difíceis de replicar. O seu modelo de funcionamento está intimamente ligado a como a sua infraestrutura física e de recursos humanos foi definida na sua fundação.

2.4 Disciplinas na Área de Projetos

Algumas Universidades oferecem disciplinas na área de projetos que visam educar os estudantes a realizarem projetos em engenharia. Por uma questão de mercado e currículo, a maioria destes cursos é ministrada na área de engenharia industrial ou design industrial cujo foco natural é a criação ou fabricação de produtos. Basicamente elas seguem o mesmo formato, mudando apenas o público alvo. Abaixo listamos algumas destas disciplinas e suas propostas.

2.4.1 Teaching Integrated Product Development

É uma disciplina eletiva [27] na Universidade *Carnegie Mellon* há nove anos (na época em que o artigo foi publicado), possui duração de quinze semanas e é oferecida às faculdades de Engenharia, *Business* e *Design*. O objetivo da disciplina é formar grupos interdisciplinares de estudantes para ensinar desenvolvimento de produtos e trabalho em equipe. A metodologia consiste em um processo de quatro fases, onde em cada uma delas informações são coletadas e ferramentas de projeto são utilizadas. Na última fase o protótipo de um novo produto é construído e apresentado [27]. Os objetivos da disciplina são:

- i. Formação de liderança com conhecimento interdisciplinar no desenvolvimento de produtos;
- ii. Aprendizado do trabalho em equipe;
- iii. Aprendizado do processo que leva de uma ideia ao protótipo;
- iv. Aprendizado de técnicas de apresentação das ideias de maneira clara e concisa.

Neste curso os estudantes de formações diferentes atuam em grupos, realizando um projeto prático utilizando as técnicas aprendidas.

2.4.2 Teaching Methods for Concept Design and Prototyping

Esta disciplina é ministrada em nível de mestrado no Curso Engenharia Mecânica na Universidade de Engenharia da Bolonha [28] e seu objetivo é fornecer aos estudantes

conhecimentos necessários para o desenvolvimento de produtos por meio dos seguintes temas:

- i. Metodologias de projeto e construção básicos para o desenvolvimento de provas de conceito e protótipos;
- ii. Criação de novos produtos a partir de requisitos;
- iii. Utilização de ferramentas de projeto auxiliado por computador;
- iv. Utilização de ferramentas de prototipagem rápida como impressoras 3D.

Neste curso os estudantes atuam em grupos, realizando um projeto prático utilizando as ferramentas e técnicas aprendidas [28].

2.4.3 A Design Approach to Teaching New Product Development

Esta, disciplina é ministrada na *Queensland University of Technology* (QUT) Austrália, a estudantes no segundo semestre do terceiro ano do programa de Desenho Industrial. O seu objetivo é mostrar as relações entre o projeto de um produto e a sua comercialização, por meio do processo de desenvolvimento de uma estratégia de desenvolvimento de produto voltado a atender as expectativas do cliente e que ao mesmo tempo possa atingir objetivos corporativos [29]. Os estudantes se reúnem em grupos e devem escolher uma ideia de um novo produto para ser desenvolvido ao longo do semestre. O desenvolvimento se dá em duas fases. Na primeira fase eles devem trabalhar a ideia do novo produto utilizando as ferramentas aprendidas no primeiro semestre. Na segunda fase, os estudantes desenvolvem a estratégia de desenvolvimento para o seu conceito de produto e a proposta para captação de recursos para sua fabricação [29].

2.5 Conclusão

Foram analisadas neste capítulo algumas abordagens que visam contribuir na área de educação em engenharia com o objetivo de fazer com que os estudantes possam aprender a engenheirar ainda dentro dos domínios da Universidade. Pelos exemplos externos descritos aqui, ficou evidente o grau de preocupação de algumas Universidades e órgãos governamentais em torno de uma agenda de mudança na metodologia de ensino das

engenharias. Ficou também muito claro, o grau de organização e comprometimento destas instituições em prol da busca de soluções para esta questão, e a energia investida em sua implementação, que na maioria das vezes envolve enormes desafios como a realização de reformas curriculares, estruturais, e o retreinamento de recursos humanos. A maior parte dos projetos descritos aqui foram realizados nos Estados Unidos da América e em Universidades e faculdades de renome como *MIT*, *Harvard*, *Carnegie Mellon* e *Olin College*, justamente aquelas que já se destacam pela excelente formação de seus alunos. Esta busca continua pela qualidade de formação dos estudantes, é um dos elementos que fazem com que estas instituições mantenham esta posição de destaque. Infelizmente estas iniciativas são difíceis de replicar devido ao processo histórico e principalmente ao aspecto cultural. Tomando como referência a criação do *Olin College*, onde para a sua fundação foram recrutados os melhores professores disponíveis e um grupo de estudantes que já haviam sido aceitos nas melhores escolas dos Estados Unidos. Reunir um grupo como este para fundar uma Faculdade, já é por si só um grande feito.

Este levantamento visou traçar um panorama da preocupação internacional com este tema, para destacar os diferenciais da proposta apresentada nesta tese, a sua atualidade, sintonia com o mercado e principalmente chamar atenção para o caminho que ainda precisa ser percorrido e a sua urgência.

Capítulo 3

A Metodologia Proposta

3.1 Introdução

Este capítulo descreve a fundamentação pedagógica e as motivações e critérios utilizados para criar uma metodologia que tem como objetivo principal complementar a formação dos estudantes de Engenharia Elétrica, para que eles possam aprender a engenheirar ainda dentro dos domínios da Universidade.

É também descrita a criação de um ambiente adequado para o emprego desta metodologia na forma de Laboratório Paradidático, que também atua como ponto de convergência de professores, engenheiros, pesquisadores e representantes da indústria para a realização de projetos que possam transformar os resultados de pesquisa básica em aplicações práticas na forma de: i) processos; ii) produtos; iii) serviços; iv) ferramentas; v) propriedade intelectual.

3.2 A Fundamentação Pedagógica

No seu livro *Educar pela Pesquisa*, Pedro Demo diz:

[...]não se parte do nada, pois culturalmente falando, este nada não existe; nem se cria do nada, porque dentro da história, já estamos plantados em algum chão, no espaço e no tempo; assim, conhecer o que já se desenvolveu como conhecimento, tomar em conta o trajeto histórico da ciência, permutar saberes, experimentos e práticas, fazem parte da capacidade reconstrutiva como insumo e ponto de partida necessários [30].

Foram selecionadas algumas teorias pedagógicas que pudessem proporcionar aos estudantes condições para uma melhor aprendizagem e desenvolvimento de habilidades e competências necessárias para atingir os objetivos desejados.

A metodologia proposta tem como base teorias pedagógicas como: i) o Construtivismo de Jean Piaget [31]; ii) o Aprendizado Experiencial de David Kolb e John Dewey [35],[40]; iii) o Ensino Reflexivo de Donald Schön e John Dewey [38]. E como

ferramentas de apoio: i) O quadrante dos quatro estágios da competência de Noel Burch [43], [44]; ii) a teoria do Fluxo de Mihály Csikszentmihalyi [53].

3.2.1 O Modelo de Estágios de Jean Piaget

Segundo Jean Piaget o aprendizado ocorre em estágios. A existência de estágios implica que o que o estudante é capaz de aprender irá depender do seu nível de desenvolvimento atual [31]. A essência do aprendizado envolve fazer os estudantes aplicarem as capacidades cognitivas que eles já tenham desenvolvido em um novo conteúdo. Como não é possível aprender a aplicar um processo de entendimento que o estudante ainda não disponha, não é possível ensiná-los alguns conceitos simplesmente do zero. É preciso primeiro desenvolver as condições necessárias [31].

Como uma analogia, de nada adianta tentar ensinar uma criança a correr se ela ainda não sabe se equilibrar ou andar. As condições necessárias ainda não foram desenvolvidas [32]. Por isso, tentar ensinar conceitos que estão claramente acima do nível atual de desenvolvimento cognitivo é um desperdício de tempo tanto para o professor quanto para o estudante [33].

Concluimos então que para obter eficiência no processo de aprendizado, é preciso levar em consideração o estágio atual de desenvolvimento cognitivo dos estudantes e criar processos que lhes permitam desenvolver as novas estruturas cognitivas necessárias, para que eles possam absorver os conhecimentos, e desenvolver as habilidades e competências desejadas em cada etapa do seu aprendizado em um processo contínuo [34].

Piaget dizia que cada indivíduo é responsável pela construção do seu próprio conhecimento por meio de *esquemas* [32], que são formados ou modificados a partir de um processo que envolve três etapas:

- i. Assimilação - Nesta fase, o indivíduo é exposto a um novo estímulo externo em um formato que pode absorver [32]. Por exemplo, a criança sabe segurar um objeto com uma das mãos e a ela é dado um objeto diferente, porém igualmente leve;
- ii. Acomodação - O indivíduo compara este novo estímulo com a condição pré-existente e tenta acomodá-lo. É um processo ativo [32]. Por exemplo, se o

objeto a ser segurado for pesado, ele não pode usar o método (*esquema*) já conhecido. Modifica o modo anterior de lidar com a situação e incorpora este novo conhecimento (novo *esquema*);

- iii. Equilibração - A equilibração acontece quando a simples assimilação resolve o desafio imposto pelo novo estímulo externo, ou quando durante a acomodação o indivíduo consegue modificar a maneira de lidar com a nova situação, e também resolver o novo desafio [32].

Os *esquemas* têm a sua origem no desenvolvimento cognitivo normal, o que fazemos é modificar os *esquemas* pré-existentes por meio da assimilação ou criar novos *esquemas* por meio da acomodação quando necessário, em um processo de contínuo aprendizado [32].

3.2.2 O Aprendizado Experiencial de David Kolb

A teoria do Aprendizado Experiencial define o aprendizado como:

“O processo pelo qual o conhecimento é criado por meio da transformação da experiência. O conhecimento é resultado da transformação da experiência” [35].

Outra definição igualmente importante é dada pela *Association for Experiential Education*:

Educação Experiencial é uma filosofia que contempla muitas metodologias, por meio das quais educadores de modo intencional, se envolvem com estudantes em experiências diretas e reflexões focadas de modo a: i) aumentar o conhecimento; ii) desenvolver habilidades; iii) clarificar valores; iv) desenvolver a capacidade de contribuir para as suas comunidades [36].

O nome Teoria Experiencial destaca o papel central da *experiência* no processo de aprendizado e foi baseada nos trabalhos de John Dewey, Kurt Lewin, Jean Piaget, William James, Carl Jung, Paulo Freire, Carl Rogers e outros [37].

Em seu livro, *Experiential Learning* [32], Kolb constata grandes similaridades entre os modelos de aprendizado de John Dewey, Kurt Lewin e Jean Piaget, e que eles poderiam ser utilizados em conjunto para criar um modelo único de aprendizado e de desenvolvimento com as seguintes características [35]:

- i. O aprendizado é melhor concebido como um processo, não em termos de seus resultados [35]. Ou seja, o aprendizado seria o processo de obter e modificar continuamente o conhecimento por meio da transformação das experiências.
- ii. O aprendizado é um processo contínuo fundamentado na experiência [35]. O processo de aprendizado é sempre iniciado com algum conhecimento obtido anteriormente, que pode ser reforçado ou modificado a partir de novas experiências.
- iii. O processo de aprender requer a solução de conflitos entre modelos opostos de adaptação ao mundo [35]. O ciclo de aprendizado de Kolb mostrado na Fig.3.1, ilustra maneiras opostas de lidar com a realidade: Observação Reflexiva x Experimentação Ativa e Experiência Concreta x Conceituação Abstrata. O aprendizado vem da solução destas visões conflitantes.
- iv. Aprender é um processo holístico de adaptação ao mundo [35]. Quanto mais experiências do mundo real forem levadas para dentro da escola, mais preparados os estudantes estarão para enfrentar os seus desafios.
- v. Aprender envolve trocas entre a pessoa e o ambiente [35]. Um sistema de educação eficaz deve ser focado em desenvolver o indivíduo para atuar no mundo real.
- vi. Aprender é um processo de criar conhecimento [35]. Portanto o aprendizado é um processo individual de criação do próprio conhecimento, a partir da apropriação dos resultados da própria interação com a realidade.

O processo de aquisição do conhecimento por meio do Aprendizado Experiencial é representado por um ciclo de quatro etapas chamado ciclo de Kolb [35], mostrado na Fig. 3.1.

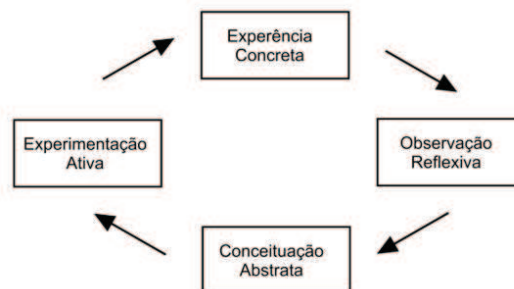


Figura 3.1- Ciclo de aprendizado de Kolb

O processo de aprendizado é recursivo e se inicia com uma experiência concreta que fornece informações e dados para que o estudante possa observar e refletir. O resultado destas reflexões é então relacionado com experiências e conhecimentos anteriores, transformado em concepções abstratas e incorporado. Estes novos conhecimentos agora incorporados, servem de base e guia para que o estudante possa continuar atuando no mundo real, criando novas experiências, percorrendo o ciclo continuamente e gerando novos conhecimentos [35].

3.2.3 O Ensino Reflexivo de Donald Schön e John Dewey

“A racionalidade técnica preconiza que os profissionais são solucionadores de problemas bem formulados, por meio da aplicação de teorias e técnicas derivadas da pesquisa sistematizada na forma de conhecimento científico” [38]. Pelo ponto de vista da racionalidade técnica, a prática profissional seria um processo de seleção dos melhores meios e métodos disponíveis para se resolver um determinado problema. Os problemas do mundo real, no entanto, não se apresentam de forma bem estruturada, mas como situações complexas e indeterminadas onde é preciso na maioria das vezes, realizar um tedioso processo de construção do problema bem antes de começar a resolvê-lo [38].

A racionalidade técnica infelizmente não prepara o profissional para atuar em situações de indeterminação e incerteza e são exatamente estas situações as que oferecem maior potencial para trazer resultados nas áreas que envolvem a criação de novos métodos e processos que são os precursores da inovação [38].

Donald Schön observou que os profissionais que se destacavam em seu campo de atuação não eram aqueles que detinham mais conhecimento profissional que os outros, mas sim: i) *sabedoria*; ii) *intuição* e iii) *talento artístico profissional*. Este talento artístico era demonstrado quando o profissional se confrontava com situações de indeterminação, incerteza e conflito [38]. Exatamente aquelas situações onde um profissional treinado pelos princípios da racionalidade técnica enfrentava dificuldades. Um aspecto importante da atuação exibida pelo profissional era o fato dela ser *tácita*, realizada de modo natural e automático. Schön se refere a estas atuações como um tipo de *saber na ação*, significando

que o saber está na ação, sobre a qual o profissional tem dificuldades de verbalizar ou descrever os procedimentos necessários à sua realização. É possível no entanto, analisar estas performances em retrospecto, *refletir sobre a ação* e criar as nossas *teorias de ação* como uma forma de entender o modo como as decisões foram tomadas [38].

Estas atuações profissionais não podem ser simplesmente repassadas a um estudante pelos métodos de ensino expositivos tradicionais, mas o estudante pode ser auxiliado por um *Coach*:

Ele o (estudante) necessita ver por si próprio e à sua maneira as relações entre os meios e métodos empregados e os resultados alcançados. Ninguém mais pode fazer isto por ele, ele não pode ver apenas por ser dito, embora a maneira correta de se dizer possa guiar o seu modo de ver e assim ajudá-lo a ver o que ele necessita ver. [38], [40].

A partir destas pesquisas, Schön desenvolveu o método de educação reflexiva onde um *Coach* trabalha com um estudante em um processo de diálogo interativo entre eles e com a situação sob análise, contemplando as seguintes etapas [38-39]:

- i. *Conversação reflexiva com a situação problemática.* Levantamento do que é preciso fazer e em que condições, a partir dos dados da situação e da experiência do *Coach*. Construção do problema a ser resolvido;
- ii. Imposição de algumas condições iniciais que permitam o surgimento de propostas de solução para o problema construído. Às vezes o problema não se apresenta de modo direto, é preciso usar analogias, ou *reenquadrá-lo*;
- iii. Cada proposta de solução é considerada um experimento;
- iv. Escolha de ferramentas, ou métodos para auxiliar na solução do problema;
- v. Implementação das propostas de solução para o problema;
- vi. *Reflexão na ação e reflexão sobre a ação* a cada ação executada;
- vii. *Apreciação* da situação após cada tentativa de solução;
- viii. Finalização ou início de um novo ciclo.

A fase de *Apreciação* é onde o *Coach*, baseado em sua experiência profissional e sua bagagem cultural (conhecimentos tácitos), analisa o resultado das intervenções. Compara este resultado com a situação original, e aprova ou não o resultado das intervenções feitas até aquele ponto. Caso o resultado seja considerado insatisfatório avalia

o que ainda falta para chegar a uma situação considerada ideal ou satisfatória, reconstrói o problema e inicia um novo ciclo de iterações [38]. Na fase de apreciação uma situação considerada ideal ou satisfatória poder ser um resultado *elegante, bonito* ou *perfeito*, portanto difícil de mensurar pelos critérios da racionalidade técnica.

Durante a fase de resolução do problema, o estudante participa ativamente do processo de *conversação reflexiva com a situação problemática* e acompanha o *Coach* enquanto ele *reflete na ação e reflete sobre a ação* ao longo das intervenções. Este processo permite ao estudante acompanhar, e depois ensaiar e repetir os passos percorridos pelo *Coach*, melhorando cada vez mais a sua própria atuação a cada vez que usa os conhecimentos adquiridos, até poder utilizá-los de modo tácito, adquirindo deste modo o *saber na ação* e podendo criar e desenvolver seu próprio estilo [39].

No início deste processo, o estudante enfrenta o *paradoxo do aprendizado de uma nova competência*:

“Onde ele (o estudante) não pode inicialmente entender o que ele precisa aprender, que pode aprender apenas educando a si próprio, e que pode educar a si próprio somente começando a fazer aquilo que ainda não pode entender” [39].

Para quebrar o paradoxo, é preciso que o estudante realize uma *suspensão de descrenças* em favor do *Coach* e se permita iniciar uma jornada por águas desconhecidas [39], [41]. Por isso, o papel do *Coach* muda ao longo do processo, primeiramente direcionando as atividades do estudante, depois assumindo uma posição de orientação e finalmente uma postura consultiva.

3.2.3.1 O Ateliê de Projetos

Em seu livro *The Design Studio an Exploration of its Traditions and Potentials* [42], Donald Schön descreve um Ateliê de Projetos de Arquitetura como o ambiente ideal para a prática do ensino reflexivo. Ele justifica sua escolha, no fato de que o ateliê é um ambiente onde já existe uma antiga tradição de exploração da habilidade artística profissional. Onde os profissionais mais experientes, repassam seus conhecimentos tácitos por meio do trabalho em conjunto com os jovens aprendizes, em um processo de *reflexão na ação e reflexão sobre a ação*, atuando juntos em projetos reais que raramente são iguais.

Sendo cada projeto um novo desafio, a oportunidade para que os aprendizes possam se apropriar do conhecimento tácito por meio da educação reflexiva é maximizada [42].

3.2.4 Os Quatro Estágios da Competência de Noel Burch

A teoria conhecida como *Os quatro estágios para adquirir qualquer habilidade* foi criada na década de 70 por Noel Burch, na época, colaborador da empresa *Gordon Training International* [43-44]. A teoria de Burch diz que não importa qual a habilidade que uma pessoa deseje aprender, ela sempre passará por quatro estágios que são mostrados no modelo em forma de quadrante na Fig.3.2.

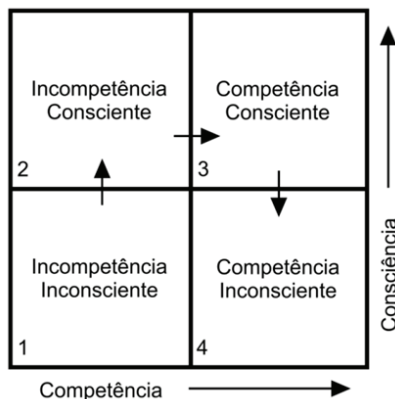


Figura 3.2 – Os quatro estágios para adquirir qualquer habilidade

3.2.4.1 Incompetência Inconsciente

O quadrante 1 representa o estágio inicial onde o indivíduo toma consciência que desconhece a própria ignorância sobre alguma coisa. A pessoa nesta fase não sabe que não sabe, é inepta em alguma área e desconhece este fato. É preciso reconhecer a ignorância ou falta de competência e atribuir valor a este novo conhecimento ou competência a ser adquirido para que possa ser possível passar para a próxima fase [43-44].

3.2.4.2 Incompetência Consciente

O quadrante 2 representa o estágio onde o indivíduo reconhece a própria ignorância, toma consciência do nível em que se encontra, admite que não sabe e

reconhece a necessidade do aprendizado desta nova habilidade. Durante esta fase são cometidos muitos erros e o processo de aprendizado deve se apropriado para suportar o aprendiz [43-44].

3.2.4.3 Competência Consciente

O quadrante 3 representa o estágio onde o indivíduo reconhece que já sabe realizar a atividade, porém é preciso ainda muito esforço e concentração para realizá-la, às vezes é preciso dividir a tarefa em pequenas partes mais gerenciáveis que são realizadas com um forte envolvimento consciente [43-44].

3.2.4.4 Competência Inconsciente

O quadrante 4 representa o estágio final, onde o indivíduo após praticar bastante a realização da atividade, atinge o ponto onde ela é realizada com bastante agilidade, de modo inconsciente e algumas vezes em paralelo com uma ou mais atividades [43-44].

Ter a consciência destes estágios de aprendizado é importante porque nem todas as pessoas podem aprender no mesmo ritmo e com a mesma facilidade, portanto visualizar o processo como mostrado na figura representada pelo quadrante, pode ajudar o indivíduo a perceber onde ele se encontra e o que é preciso fazer para chegar ao próximo estágio. O tempo despendido em cada estágio depende de vários fatores como motivação, desejo e necessidade.

3.2.5 O Fluxo de Mihály Csikszentmihalyi

“O estado de Fluxo é definido como o estado onde o indivíduo opera com toda a sua capacidade”[45]. O conceito de Fluxo (*Flow*) surgiu na década de 60 quando Mihály Csikszentmihalyi percebeu o fato de que quando um artista realizava um trabalho que progredia, ficava completamente envolvido e focado, mas assim que o trabalho era finalizado o artista perdia o interesse na obra realizada [45], [49]. A pesquisa neste tema surgiu da necessidade de entendimento deste fenômeno em que uma atividade era motivada por si mesma, denominada *Autotélica*, originada das palavras em grego *Auto*, significando

por si mesmo(a) e *Telos*, finalidade, objetivo. A mera realização de uma tarefa já é a própria recompensa, independentemente do que pode resultar da sua realização [45].

Embora pesquisas anteriores já existissem na área da motivação intrínseca [45], [50], a contribuição de Csikszentmihalyi veio por meio da análise de entrevistas com pessoas que praticavam atividades esportivas ou lúdicas, onde as recompensas intrínsecas eram evidentes, mas também em atividades profissionais, onde recompensas financeiras poderiam justificar a sua realização. A pesquisa mostrou um quadro com as características gerais que definiam uma experiência ótima bem como as condições em que ele poderia ocorrer. Digna de nota era a similaridade que o fenômeno manifestava entre as condições lúdicas e as de trabalho [45].

Algumas condições para a existência do fenômeno do Fluxo são:

- i. Desafios ou oportunidades que não estejam nem além nem aquém da capacidade do indivíduo, de modo que ele possa enfrentar um desafio a altura da sua capacidade;
- ii. Metas claras e próximas, e informação imediata sobre o andamento do trabalho.

Durante a pesquisa, os entrevistados descreveram o estado de fluxo como a experiência de estarem envolvidos em desafios gerenciáveis consistindo em uma série de objetivos, ao mesmo tempo obtendo informações sobre o progresso realizado e ajustando o seu ritmo de acordo com estas informações [45]. Nestas condições os entrevistados experimentavam uma sucessão contínua de eventos e entravam em um estado caracterizado por:

- i. Concentração e foco na atividade;
- ii. Sensação de controle sobre as ações;
- iii. Sensação de que o tempo passou mais rápido que o normal;
- iv. Uma experiência de que a tarefa é em si já é recompensadora.

O estado de Fluxo é de um equilíbrio dinâmico e este equilíbrio é frágil, caso a tarefa passe a exigir um nível de habilidade maior, o indivíduo pode entrar em um estado de ansiedade. Se o nível de habilidade superar o do desafio, o indivíduo entra em uma zona de relaxamento e monotonia [45].

Os resultados das pesquisas neste campo comprovaram que o estado de fluxo existe em praticamente todos os campos da atividade humana, ciências, arte, esportes entre outras e também independe de fatores como gênero, classe social, idade e cultura [45], [51].

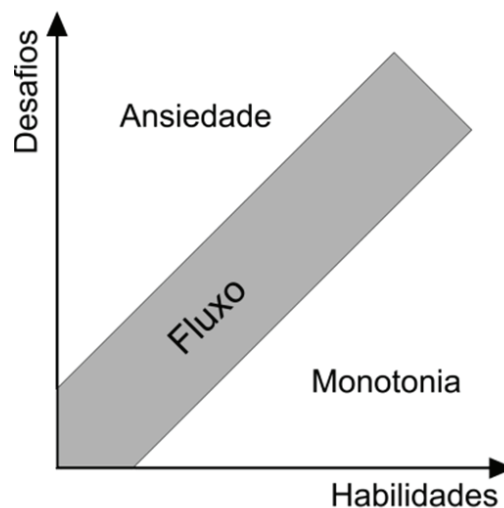


Figura 3.3 – Região de Fluxo

Uma das conclusões destas pesquisas é a de que é possível organizar uma série de desafios que sejam compatíveis com um conjunto de habilidades de modo a criar uma *experiência otimizada*, onde o indivíduo realizando a atividade possa encontrar um profundo estado de satisfação em realizá-la [45], [52].

A primeira tentativa de caracterizar o fenômeno em função dos desafios percebidos e das habilidades, mostrado na Fig. 3.3 (adaptada de [45]), mostra três regiões de experiências: i) um canal (região de Fluxo) onde as habilidades e os desafios se adequavam um ao outro; ii) uma região dita de Monotonia onde as habilidades eram maiores que os desafios; iii) uma região dita de Ansiedade onde os desafios excediam de modo crescente as habilidades [45], [53].

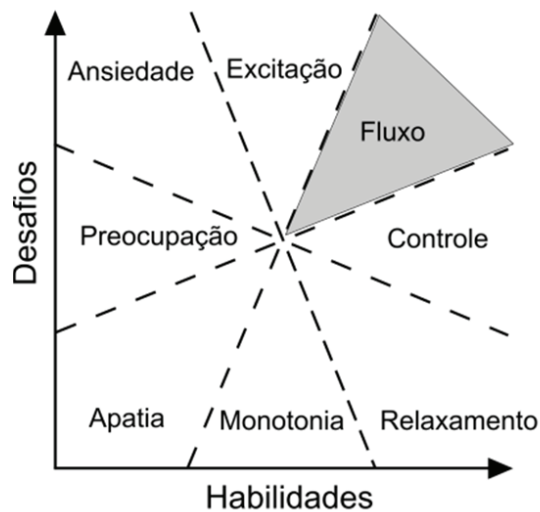


Figura 3.4 – Mapeamento em alta resolução

Pesquisas posteriores aumentaram a resolução deste mapeamento e mostraram que para que o Fluxo acontecesse, era necessário que os desafios e as habilidades não apenas se adequassem um ao outro, mas que estivessem um pouco acima da média para o indivíduo, Fig. 3.4, (adaptada de [45]). O Fluxo deve então acontecer quando o indivíduo encontra desafios maiores que os corriqueiros e possui condições adequadas para enfrentá-los [45], [51].

Foi também observado que o ambiente educacional é o que apresenta oportunidades para aplicações dos resultados das pesquisas sobre o Fluxo mais diretamente. Alguns experimentos foram realizados com o intuito de criar um ambiente que favorecesse as experiências de Fluxo e ao mesmo tempo incentivasse os estudantes a desenvolverem a capacidade e a propensão para experimentá-las [42], [54].

3.3 A Metodologia Proposta

A metodologia empregada na complementação da formação dos estudantes consiste das seguintes ações:

- i. Implementação de um ambiente adequado para a realização dos trabalhos denominado de Laboratório Paradidático;

- ii. Complementação do conteúdo dado em sala de aula com estudos dirigidos e com o apoio de professores tutores voluntários que oferecem conhecimento sob demanda, nas suas áreas de especialidade;
- iii. Transmitir os conhecimentos profissionais tácitos de um Mentor/*Coach* da área de engenharia, enquanto ele atua em conjunto com os estudantes na realização de projetos reais.

3.3.1 O Laboratório Paradidático

O ambiente proposto para aplicação desta nova metodologia para o ensino de engenharia é um Laboratório Paradidático. *Para* é um prefixo que aparece em palavras derivadas do Grego, com os significados, em, ao lado de, ao lado, lado a lado, além de, passado, por [56]. Neste caso em particular, o prefixo *Para* é utilizado para transmitir a ideia de que o Laboratório não é conectado diretamente às atividades didáticas, mas é paralelo a elas, as suporta e as complementa. A escolha do modelo paradidático foi decorrente da observação da complexidade de implementação que algumas iniciativas enfrentam [25-26] ou enfrentaram [20] na sua implantação pelos procedimentos convencionais, como: i) reforma curricular; ii) criação de novas disciplinas ou modificações nas já existentes; iii) requalificação dos professores. O Laboratório Paradidático tem a sua base pedagógica nas teorias descritas no início deste capítulo, com ênfase na Educação Reflexiva de Donald Schön [38] e na Educação Experiencial de David Kolb [35]. A inspiração para sua concepção como um espaço físico dedicado às atividades utilizando estas teorias pedagógicas veio da proposta do Ateliê de Arquitetura (*Studio*) descrito também por Schön [42].

Embora a denominação *Paradidático* signifique que não há uma correlação direta entre as atividades do laboratório e as atividades acadêmicas, a comunicação entre a coordenação do curso e o laboratório é permanente e existe um elo de realimentação contínuo sobre o conteúdo demonstrado na prática pelos estudantes durante a realização das suas atividades. Caso o estudante demonstre o desconhecimento sobre um conteúdo que já deveria ter sido visto, a coordenação do curso é imediatamente informada. Este mecanismo interno de realimentação é uma ferramenta importante para saber se o conteúdo

das disciplinas está adequado à formação esperada, oferecendo um mecanismo rápido de atualização e correção, ainda dentro da Universidade.

O modelo paradidático se baseia também na participação voluntária de estudantes e professores tutores. O Mentor/*Coach* pode ser voluntário ou contratado especialmente para esta função, em ambos os casos ele deve ser um profissional com *experiência em engenharia*. O envolvimento dos professores é extremamente importante em uma iniciativa deste tipo, pois conhecem muito bem pelo menos uma área específica na qual poderiam efetivamente contribuir, contudo, na maioria das vezes, alguns acabam não participando dos projetos por receio de uma *exposição*, de serem vistos como não tendo a competência necessária para contribuir diretamente em um projeto. Na verdade este problema tem sua origem na ausência de uma educação para o trabalho em equipe, onde *o todo* é formado a partir de contribuições individuais [57]. Por isso, optou-se pela participação voluntária do professor no papel consultivo na sua área de atuação didática ou especialização acadêmica. Não existe, no entanto, nenhum empecilho à participação dos professores nos projetos.

A participação dos professores tutores é feita sob demanda dos estudantes, quando estes necessitam de informação especializada em uma área na qual estejam trabalhando em um projeto no Laboratório Paradidático. A participação dos estudantes também é voluntária, porque é preciso que eles tenham um desejo real de aprendizado e não por uma imposição acadêmica.

O Laboratório Paradidático também atua como um Sistema Local de Inovação (termo introduzido na literatura em 1985 por Bengt-Åke Lundvall [58]). Não existe uma definição precisa para o termo, porém o seu conceito diz respeito às interações e ao fluxo de informações, entre os diversos atores, instituições e estruturas, necessários para transformar uma ideia em um produto, processo, ou serviço e leva-lo ao mercado. O objetivo da atuação como Sistema Local de Inovação é ser o ponto de convergência de professores, pesquisadores, estudantes, engenheiros e representantes da indústria para a realização de projetos reais. Estes projetos visam transformar os resultados da pesquisa básica, trabalhos de iniciação científica ou trabalhos de final de curso em aplicações práticas na forma de: i) processos; ii) produtos; iii) serviços; iv) ferramentas; e v) propriedade intelectual. Cabe ao Laboratório Paradidático oferecer recursos humanos,

infraestrutura e uma metodologia, concentrados e integrados em um só ambiente, permitindo não apenas a realização dos projetos, mas o aprendizado de conceitos e processos que normalmente estão dispersos em infraestruturas de grande escala. Isso permite que os estudantes possam conhecer os atores, compreender os meios e incorporar os métodos utilizados no processo de inovação, ainda dentro da Universidade. O ambiente multidisciplinar do Sistema Local de Inovação enriquece ainda mais a formação dos estudantes.

3.3.2 Os Motivos para a Utilização de Projetos Reais

A escolha do uso de projetos reais como forma de complementar o conteúdo e desenvolver as habilidades e competências necessárias foi baseada nas necessidades do mercado apontadas na introdução desta tese e também motivada por duas publicações da Confederação Nacional da Indústria, IEL e CNI e do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, SENAI: *Inova Engenharia em 2006* e *Engenharia para o Desenvolvimento* em 2010.

3.3.2.1 Inova Engenharia

Inova Engenharia é um documento que contém uma avaliação dos cursos de engenharia em 17 instituições privadas e públicas no país. A publicação sugere políticas e ações para a promoção da modernização do ensino reconhecendo-o como mola propulsora do processo de inovação tecnológica [59]. Abaixo alguns trechos importantes do documento.

Os cursos devem garantir que o aluno aprenda a fazer, com criatividade e ousadia, o que implica em ser capaz de estudar, pesquisar, projetar e produzir, integrando todas essas fases do processo. O aluno deve ser ainda, desafiado a fazer, a exercitar o engenheirar não apenas na escola como no setor produtivo, mediante estágios supervisionados [59].

Os recentes métodos industriais que envolvem cadeias de produção constituídas por médias, pequenas e até microempresas, sublinham a necessidade de engenheiros empreendedores capazes de perceber o problema que precisa ser resolvido. O engenheiro que resolve problemas identificados por outros está sendo substituído pelo engenheiro que resolve problemas que ele mesmo descobre. Os cursos de engenharia, portanto, precisam preparar estudantes com visão de mercado e que aprendam na escola a formular questões relevantes [59].

3.3.2.2 Engenharia Para o Desenvolvimento

No documento Engenharia para o Desenvolvimento de 2010, está relatada a continuidade dos problemas verificados na pesquisa de 2006 e está descrita uma proposta de agenda que pudesse contribuir para o desenvolvimento econômico e social do País tomando como base o conhecimento tecnológico, e como referência a Engenharia e a Inovação como vetores da competitividade, da responsabilidade social e da sustentabilidade ambiental. Abaixo alguns trechos importantes do documento [60].

“[...]De nada adianta uma agenda que não seja integrada e orientada para a inovação com resultados concretos na forma de um bem competitivo ou de nova forma de prestar serviços[...].”

[...] O programa *Por uma Plataforma para o Desenvolvimento - Um Plano de Ação*, visava contribuir para a passagem do campo das considerações e do planejamento estratégico para a ação. Possui três pilares básicos, a saber [60]:

- i. Um instrumento permanente, conformado a uma rede multi-institucional, identificador de desafios, detector de possíveis ameaças e que proponha soluções estratégicas;
- ii. Um mecanismo contínuo de busca de novas competências essenciais ao profissional moderno;
- iii. Um processo sistemático de atualização curricular capaz de promover a formação de um perfil de profissional de Engenharia com responsabilidade social;
- iv. Um foco orientado para o desenvolvimento de protótipos e de soluções inovadoras, adequadas à demandada indústria e do setor de serviços e compatíveis com as necessidades da sociedade. Seu foco pragmático reforça portanto, a importância da parceria Indústria-Universidade, fomentada pelo governo, capaz de produzir soluções e gerar vantagens competitivas para a nação.

Em ambos os documentos está descrita a situação do ensino de engenharia no Brasil no contexto mundial, e são propostas uma série de mudanças no setor educacional, de modo a incentivar uma melhor relação da academia com a indústria, e com isto criar um caminho mais profícuo para as ações que levem à criação de riqueza por meio da inovação [60].

Desde o lançamento destes manifestos, muito pouco aconteceu em termos de soluções concretas nesta área, devido principalmente ao fato da grande quantidade de

entraves burocráticos para a implantação de qualquer mudança deste tipo, e nesta magnitude.

3.3.2.3 Alinhamento com as Diretrizes do MEC CNE/CES 11

As atividades do Laboratório Paradidático visam complementar as atividades acadêmicas e portanto, devem estar alinhadas com os requisitos da Resolução do MEC CNE/CES 11, de 11 de março de 2002. Este documento institui as Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Graduação em Engenharia. No seu Art. 4º trata sobre a formação do engenheiro no que diz respeito a dotar o profissional dos conhecimentos requeridos para o exercício das competências e habilidades gerais [61].

A lista da resolução do MEC CNE/CES 11 contém 13 itens. O Laboratório Paradidático tem a missão de complementar a educação dos estudantes, com uma ênfase no desenvolvimento das competências e habilidades necessárias para a realização da síntese original com foco na inovação, por isso, dos 13 itens originais, foram escolhidos os nove que impactam mais diretamente nesta formação:

- i. Aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia;
- ii. Projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados;
- iii. Conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos;
- iv. Identificar, formular e resolver problemas de engenharia;
- v. Desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas;
- vi. Comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica;
- vii. Atuar em equipes multidisciplinares;
- viii. Compreender e aplicar a ética e responsabilidade profissionais;
- ix. Assumir a postura de permanente busca de atualização profissional.

Os critérios contidos na Resolução do MEC CNE/CES 11 são bastante parecidos com os critérios da *Accreditation Board of Engineering and Technology, ABET*, órgão de acreditação e regulação Americano para a Engenharia [62].

3.3.2.4 A Lista dos Atributos Desejados em um Engenheiro

Procuramos também uma referência na indústria com critérios para a formação do perfil ideal do engenheiro. Na ausência de um documento nacional, utilizamos como referência um documento que tem sido usado por muitas Universidades nos EUA, mostrado na Fig. 3.5. *A Lista dos Atributos Desejados em um Engenheiro*, elaborada pela empresa americana *Boeing* [63].

- Boeing List of “Desired Attributes of an Engineer”:***
1. *A good understanding of engineering science fundamentals:*
 - i. *Mathematics (including statistics)*
 - ii. *Physical and life sciences*
 - iii. *Information technology (far more than “computer literacy”)*
 2. *A good understanding of design and manufacturing processes (i.e. understands engineering)*
 3. *A multi-disciplinary, systems perspective*
 4. *A basic understanding of the context in which engineering is practiced*
 5. *Economics (including business practice)*
 6. *History*
 7. *The environment*
 8. *Customer and societal needs*
 9. *Good communication skills*
 10. *Written*
 11. *Oral*
 12. *Graphic*
 13. *Listening*
 14. *High ethical standards*
 15. *An ability to think both critically and creatively - independently and cooperatively*
 16. *Flexibility. The ability and self-confidence to adapt to rapid or major change*
 17. *Curiosity and a desire to learn for life*
 18. *A profound understanding of the importance of teamwork.*

Figura 3.5 – *A Lista dos Atributos Desejados em um Engenheiro* da empresa *Boeing*

A lista da *Boeing* contém também de maneira direta e indireta muitos dos critérios da Resolução do MEC CNE/CES 11 e da *ABET* e é usada de modo *informal* no Laboratório Paradidático fixada nas bancadas de trabalho.

3.3.3 A Arquitetura dos Projetos

Baseado nas metodologias pedagógicas descritas, o modo de realizar os projetos deve proporcionar oportunidades de aprendizado experiencial e oportunidades para reflexão e apropriação do conhecimento. Consolidando o material adquirido em sala de aula e no estudo dirigido, com o obtido sob demanda com os tutores voluntários e com o conhecimento profissional tácito vindo dos Mentores/*Coaches*, pelos processos de: i) *Conversação Reflexiva com a Situação Problemática*; ii) *Reflexão na Ação* ; iii) *Reflexão sobre a Ação*.

As demandas de mercado apontadas na introdução desta tese, bem como as pesquisas realizadas pela CNI/SENAI reforçam a necessidade de ações específicas para complementar a educação dos estudantes com o objetivo de formar profissionais preparados com a real capacidade de engenheirar ainda dentro dos domínios da Universidade. No Laboratório Paradidático, resolvemos implementar estas ações na forma de realização de projetos reais ou simulações de projetos reais, como forma de motivação e oportunidade de aprendizado profissional para os estudantes.

Na realização dos projetos, o problema proposto é dividido em blocos gerenciáveis onde os estudantes são provocados a colocar o conhecimento já disponível em prática e adquirir novos a partir de estudo dirigido ou da consulta aos professores tutores voluntários, progredindo a cada estágio. Este modo de trabalho tira o estudante do processo convencional passivo de *Educação Bancária* [15]. Onde o estudante tem de aguardar que o conhecimento chegue até ele em um determinado ponto do curso, na maioria das vezes, sem nenhum contexto prático. O estudante torna-se então um *coautor* da sua própria educação.

Os blocos gerenciáveis de projetos propostos aos estudantes oferecem graus de dificuldade progressiva para que eles possam ficar motivados usando a teoria do Fluxo. À medida que o tempo passa, eles consolidam os conhecimentos anteriores passando pelos *Quatro quadrantes para o aprendizado de uma nova competência* de Noel Burch. Com estes conhecimentos apropriados e tornados tácitos, eles podem andar cada vez mais rápido ao longo do projeto.

Durante todas as fases, eles acompanham junto ao Mentor/*Coach* o modo como os problemas, os impasses, as dificuldades, e com principal ênfase os erros e falhas são gerenciados. Ao longo de todo o processo são feitos comentários e descrições do que está acontecendo (*reflexão na ação* e *reflexão sobre a ação*). Para que os estudantes possam ir ao mesmo tempo imitando, praticando e incorporando o conhecimento tácito de modo a poder desenvolver o seu próprio estilo de resolução de problemas e de trabalho.

3.3.3.1 O Repertório Mínimo de Competências

A área de conhecimento relativa a técnicas de execução de projetos em engenharia ou criação de produtos é ampla e estas técnicas não estão presentes na maioria dos currículos de Engenharia Elétrica. Na proposta do Laboratório Paradidático de envolver os estudantes em projetos reais sem que eles tenham o conhecimento ou experiência necessários para tanto, enfrentamos o *paradoxo do aprendizado de uma nova competência* [39]. Onde o estudante tem de aprender algo que ainda não pode entender a utilidade, precisa então realizar processo de *suspensão de descrenças* em favor do *Coach* e se permitir iniciar uma jornada por águas desconhecidas [39], [41].

Com o intuito de facilitar ao máximo o processo, elencamos e simplificamos as estratégias comuns aos métodos de execução de projetos, e criamos uma sequência que auxiliasse na organização das atividades para a solução dos problemas propostos aos estudantes. Esta sequência é um guia básico e visa criar um repertório mínimo de competências que o estudante deve adquirir para enfrentar os primeiros problemas. Com a prática e por meio da incorporação de novas habilidades e competências, ele pode seguir ampliando este conjunto mínimo até poder desenvolver seu próprio estilo de atuação na solução de problemas. Este repertório mínimo é necessário para que eles tenham um ponto de partida que minimize as frustrações e os erros inerentes à fase de *Incompetência Consciente*. As fases propostas para o repertório mínimo de competências utilizado para resolver os primeiros problemas são: i) utilização de *Logbook (Lab Notebook)*; ii) coleta de informações; iii) necessidade de consultores; iv) busca de anterioridade; v) levantamento dos requisitos do sistema; vi) geração de propostas para solução do problema; vii)

brainstorming; viii) criação de *sketches/napkin sketches*; ix) criação de *storyboards*; x) criação de Provas de conceito/Protótipos/Simulação.

3.3.3.1.1 A Utilização de Logbook (Lab Notebook)

Logbook, *Lab Notebook* ou ainda Caderno de Laboratório são denominações dadas aos cadernos utilizados para a o registro e documentação em laboratórios de pesquisa ou de projetos. O *Logbook* normalmente é um caderno com capa dura, folhas pautadas e páginas numeradas. Além de uma ferramenta de documentação diária das atividades profissionais, o *Logbook* é também um instrumento jurídico importante no caso de disputas na área de propriedade intelectual [64]. Além destes aspectos, o *Logbook* é um elemento importante no processo de criação de uma cultura de inovação, pois sendo um registro histórico de todas as atividades realizadas durante os projetos, é uma fonte de referência interna importante para futuros projetos. Permitindo que outras pessoas compartilhem dos erros e acertos ao longo do desenvolvimento dos projetos [65].

Abaixo algumas regras importantes para a utilização correta deste instrumento:

- i. O *Logbook* é um instrumento pessoal;
- ii. Toda a informação deve ser registrada no *Logbook*;
- iii. As anotações devem ser feitas com uma caneta e nunca deve ser utilizado corretivo. Erros devem ser riscados, nunca apagados;
- iv. O início de uma nova entrada no *Logbook* deve ser precedida da data/hora e título da atividade;
- v. Não devem existir espaços em branco entre dois textos. Caso seja necessário, cruze o espaço em branco;
- vi. Material impresso como figuras ou textos devem ser colados.

3.3.3.1.2 Coleta de Informações

No início de todo projeto é necessário primeiramente coletar todas as informações possíveis que permitam uma perfeita compreensão do problema a ser resolvido. Este processo é implementado por meio de entrevistas com as partes interessadas: i) contratante do projeto; ii) usuários; iii) fabricantes; iv) distribuidores; v) fornecedores de serviços ou de

matéria prima; e ainda visitas, fotos etc. É preciso ter o cuidado de entender perfeitamente a demanda. Estas informações devem gerar um documento que deverá ser revisado pelo demandante do projeto e que servirá de referência para todas as fases do desenvolvimento. Existem casos onde o demandante do projeto não tem os detalhes do que gostaria de ver desenvolvido, mas apenas uma necessidade que gostaria de ter satisfeita, nestes casos, a fase de coleta de informações se prolonga abrangendo um período de estudo que possa oferecer algumas sugestões de solução usando algumas técnicas que serão descritas aqui.

3.3.3.1.3 Necessidade de Consultores

A partir das áreas abrangidas pelo projeto identificadas na fase de coleta de informações é verificada a necessidade de busca de competências que não estejam presentes na equipe que irá realizar o projeto. Poderão ser contratados consultores externos ou professores tutores que ainda não tenham sido contatados, que possam oferecer conhecimento especializado de modo voluntário sem necessidade de ligação formal ao projeto, caso assim o desejem.

3.3.3.1.4 Busca de Anterioridade/Busca no Estado da Técnica

A busca de anterioridade ou busca no estado da técnica, visa coletar informações já disponíveis sobre uma determinada tecnologia. Esta busca deve ser realizada antes do início de *todos* os projetos, e pode ser feita a partir de mecanismos de buscas, como *Google*, *Yahoo* e em Bancos de Patentes como o do INPI no Brasil ou do *USPTO* nos EUA.

A palavra patente vem do Latim *patere*, cujo significado é tornar disponível para inspeção pública [56]. Uma patente é uma licença concedida pelo Estado a um inventor para a exploração exclusiva de uma invenção em troca da divulgação dos seus detalhes construtivos e tecnológicos. Esta divulgação de informações detalhadas permite que terceiros possam saber se um conceito já se encontra protegido ou não, e ao mesmo tempo, possam ter acesso a um manancial riquíssimo de informações que podem ser utilizadas para solucionar outros problemas. É preciso criar o hábito da busca por informações que possam confirmar ou não o ineditismo da proposta que esta sendo desenvolvida, e principalmente

que possa trazer informações tecnológicas que tragam aprendizado e facilitem o processo de desenvolvimento do projeto, para que não se dispenda tempo ou recursos materiais, reinventando ou redescobrimdo o que já está feito e disponível na literatura.

O fato de se descobrir durante a busca de anterioridade que a ideia não é inédita não a invalida, mas deixa claro o máximo que se pode chegar com ela. É possível entretanto, continuar desenvolvendo a ideia como um exercício didático, com o objetivo de aprender algum processo ou tecnologia necessária para alcançar outras fases. O maior objetivo é habituar o estudante a realizar buscas em bancos de patentes e aprender a extrair informações destes documentos.

3.3.3.1.5 Levantamento dos Requisitos do Sistema

Esta fase utiliza os resultados das fases anteriores para gerar uma lista inicial de requisitos que o sistema proposto deve atender. Ela é realizada após a busca de anterioridade, porque as informações coletadas nesta fase sobre produtos concorrentes ou tecnologias correlatas, permitem obter por analogia uma série de informações que podem ajudar a construir uma ideia inicial das características que a solução inicial poderia ter. Esta fase deve contemplar também uma análise de requisitos pelo ponto de vista do usuário, ou seja, o estudante deve se imaginar na posição de quem irá utilizar o equipamento ou produto e criar uma lista com as características que iriam facilitar ou melhorar a sua utilização.

3.3.3.1.6 Geração de Propostas de Solução para o Problema

Uma vez que o problema esteja mais claro e seus requisitos pontuados, a próxima fase é a de propor soluções a partir de reuniões de *Brainstorming*.

3.3.3.1.6.1 Brainstorming

Brainstorming é um termo cunhado pelo publicitário Alex Faickney Osborn no seu livro de 1953 “*Applied Imagination*” [66]. O método foi desenvolvido a partir da constatação por Osborn de que era possível gerar uma maior quantidade de ideias em uma reunião em grupo, onde não existissem mecanismos inibidores como hierarquia ou críticas.

Basicamente em uma reunião de *Brainstorming*, um problema é apresentado e todos podem sugerir ideias para sua solução, as ideias não podem ser criticadas, mas podem ser combinadas e melhoradas até que se chegue a algumas soluções práticas.

Normalmente uma reunião de *Brainstorming* é acompanhada de anotações rápidas no formato de rascunhos. Esta forma de documentação rápida é conhecida por *Sketch*, ou *Napkin Sketch* (a expressão equivalente em português é *Rascunho de Guardanapo*, porque às vezes as ideias aparecem em locais como aviões ou restaurantes onde o único meio de documentação são guardanapos de papel). É ideal que todos os estudantes aprendam a utilizar os seus *Logbooks* durante as sessões de *Brainstorming*.

3.3.3.1.6.2 Sketches/Napkin Sketches

Os *sketches* são formas gráficas simplificadas para facilitar a organização do pensamento, do fluxo de informações ou a representação de ideias, são ferramentas muito práticas por permitirem ao usuário manipular uma grande quantidade de informação na forma gráfica, externando conceitos muitas vezes complexos na forma visual com rapidez. Por mais simples que seja, o *sketch* contém muita informação que pode ser transmitida, comparada, criticada ou melhorada [67-68].

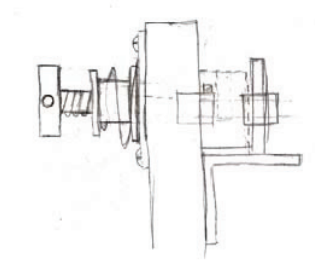


Figura 3.6 – Exemplo de *sketch* de um sensor de pressão

Por meio do uso de *sketches*, é possível ter uma visão completa de um sistema, dividi-lo em partes, depois expandir cada parte em subpartes com o seu maior detalhamento. O mais importante é que se consiga ver um conceito como um todo formado de partes que interagem umas com as outras como um quebra cabeças.

O campo de utilização dos *sketches* é amplo podem ser usados para a representação de partes e sistemas mecânicos, elétricos, eletrônicos e de *software*. No caso do *software*, não apenas a maneira como o sistema é organizado ou o fluxo do programa pode ser representado, mas também as telas, janelas, ícones e toda a interação gráfica. A Fig.3.6 mostra um exemplo de uso de um *sketch* ilustrando um sensor de pressão.

3.3.3.1.6.3 Storyboard

O *Storyboard* é uma técnica que utiliza uma sequencia de imagens e foi originalmente desenvolvida com a finalidade de se obter uma pré-visualização de cenas em filmes e animações. Foi criada pelos Estúdios *Disney* e aplicados pela primeira vez na animação do curta-metragem *Three Little Pigs* [69]. As técnicas de *storyboard* se popularizaram e hoje encontram aplicações em vários setores como propaganda, negócios e *software*. A Fig.3.7 mostra um exemplo de uso de um *Storyboard*.



Figura 3.7 – Exemplo de *Storyboard* do uso de um retrovisor ativo anticolisão

Na área de engenharia as aplicações mais comuns são na demonstração de funcionamento, uso ou operação de dispositivos ou equipamentos, visualização de sequencia de montagens ou de desmontagens, e na confecção ou no desenvolvimento de interfaces gráficas para comunicação do usuário com dispositivos eletrônicos. O *storyboard* pode ser uma simples sequencia de *sketches*, ou de imagens mais precisas e detalhadas a depender do seu objetivo final. Os *sketches* ou *storyboards* são normalmente feitos à mão, porém, *softwares* simples como o *Paint* ou mais sofisticados como o *Corel Draw* ou *Illustrator* podem ser utilizados. Existem no mercado também *softwares* especialmente voltados para o desenvolvimento de *storyboards*, como o *ToonBoom StoryBoard Pro*.

Enfatizamos o uso de *sketches* e *storyboards* em todas as fases de um projeto, desde a sua proposição, desenvolvimento até na sua documentação final. Para o desenvolvimento de uma cultura de inovação a memória do como e do por que é fundamental.

3.3.3.1.6.4 Provas de Conceito/Protótipos/Simulação

Prova de Conceito do inglês *Proof Of Concept* (POC) é uma realização simplificada de um método ou ideia para demonstrar a sua factibilidade, o seu potencial. Uma prova de conceito é geralmente de pequena escala e não necessita ser completa. Normalmente a Prova de Conceito transmite a informação de que algo pode ser feito.

Um protótipo, é uma amostra ou modelo de um produto, é construído para testar o conceito ou processo, ou para atuar como se fosse a coisa a ser replicada. O protótipo possui características bem mais próximas do produto real [70].

Os protótipos podem ser virtuais ou reais. Os protótipos virtuais utilizam programas especiais que simulam a aparência e o comportamento destes materiais ou componentes na tela de um computador. Os protótipos reais são feitos a partir de materiais e componentes reais como: i) papelão; ii) metal; iii) plástico; iv) rolamentos; v) motores; vi) lâmpadas.

Existe atualmente uma infinidade de ferramentas para criar protótipos virtuais de sistemas eletrônicos, mecânicos, computacionais e de interface. É sempre aconselhável que o estudante procure utilizar uma versão estudantil de uma ferramenta profissional para investir melhor o seu tempo de aprendizado. A criação de modelos virtuais e de simulação é importante para evitar desperdício de material e tempo. Os modelos virtuais e a simulação permitem detectar erros sem a necessidade de construção de partes físicas, após os testes, os protótipos físicos podem ser construídos para a validação [70].

Dentre os programas que podem ser utilizados para a prototipagem rápida mecânica estão: i) *Solid Works*; ii) *Inventor*; iii) *Catia*. Estes programas permitem a criação de sistemas mecânicos com alto grau de complexidade e detalhamento, permitindo também a simulação de sua operação. Para a prototipagem e simulação de sistemas eletrônicos, o *Proteus*. Para a prototipagem de interfaces gráficas, o *Adobe Flash Catalyst*.

É importante que o estudante possa ter conhecimento da existência destas diversas técnicas e ferramentas para que possa fazer uso de algumas delas ao longo do desenvolvimento dos projetos.

3.3.3.1.6.5 O Fluxograma

Tomando como ponto de partida a lista com o repertório mínimo de competências descrita acima, e a experiência da realização de projetos no Laboratório Paradidático, os procedimentos e métodos foram compilados e organizados, compondo um Produto Minimamente Viável (do inglês *Minimum Viable Product, MVP*) [78-79] na forma de um fluxograma, que descreve os principais passos e em que sequencia deveriam ser realizados para a solução de um problema em engenharia. O fluxograma não contempla todos os passos necessários à execução de um projeto real, mas como um PMV, o seu objetivo é mostrar um caminho natural e eficiente por meio de um processo integrado e coerente, onde é possível para o estudante seguir um trajeto claro da ideia inicial até o produto final com o mínimo de iterações. Isto compõe uma ferramenta que o estudante pode utilizar para enfrentar os primeiros problemas em engenharia e continuar desenvolvendo para enfrentar problemas mais complexos. O Fluxograma Guia é mostrado na Fig. 3.8 no final deste capítulo.

3.3.4 Engenharia Reversa

“Engenharia é o processo de projetar, fabricar, montar e manter produtos e sistemas” [85]. Existem dois tipos de engenharia, Engenharia Direta e Engenharia Reversa. A engenharia direta é a mais conhecida e se baseia na transformação de uma ideia ou conceito em uma implementação prática que pode ser tangível, ou não (*software*). A Engenharia Reversa é o processo de se obter informações que levem à compreensão dos princípios de funcionamento de um componente ou dispositivo sem ter acesso direto à sua documentação original. O nível de compreensão do funcionamento bem como o as informações obtidas no processo, permitiriam em alguns casos, criar uma cópia do dispositivo original [85]. A Engenharia reversa é amplamente utilizada na indústria atual e

é mais uma ferramenta que pode ser utilizada na educação dos estudantes, para que possam aprender rapidamente não apenas o princípio de funcionamento de diversos dispositivos, mas também a variedade de aplicações que um mesmo componente pode ter. Esta técnica pode ser aplicada na área de *hardware* (mecânico, elétrico ou eletrônico), ou na área de *software*.

3.3.5 Comunicação Oral e Escrita

Existe uma grande necessidade de que os estudantes aprendam a se comunicar bem de modo oral e escrito. A realização prática da solução para estas demandas na parte escrita é feita com a utilização dos *Logbooks* e com a documentação das atividades realizadas. A comunicação oral é estimulada durante as reuniões e apresentações dos resultados dos projetos a potenciais clientes ou visitantes.

Uma oportunidade para a prática da comunicação tanto oral quanto escrita são os concursos de empreendedorismo e de ideias inovadoras, onde o candidato deve apresentar a sua proposta de projeto a uma banca que irá analisar a viabilidade técnico/econômica da sua proposta. A banca é externa à Universidade e normalmente composta por profissionais das áreas de investimento em capital de risco. O treinamento e a exposição do estudante para a apresentação dos trabalhos nestes eventos é importante porque a análise, as críticas e as sugestões fornecidas por estes profissionais são de extremo valor para a formação profissional do estudante. Uma vez que os membros da banca estão ensinando exatamente os métodos e procedimentos utilizados no dia a dia de suas atividades profissionais no mundo real.

3.3.6 Propriedade Intelectual

A propriedade intelectual é um item de fundamental importância no que diz respeito à inovação e como consequência na manutenção da competitividade econômica. Os estudantes são iniciados neste processo por meio das seguintes ações:

- i. Estimulo ao uso correto do *Logbook*;

- ii. Seguir padrões de conduta ética e de sigilo com relação ao trabalho nos projetos;
- iii. A participação em treinamentos fornecidos no modo online pelo INPI e pela OMPI;
- iv. Exercícios de busca em banco de patentes e leitura dos documentos encontrados, com o objetivo de habituar o estudante com a estrutura destes documentos.
- v.

3.3.7 Gerenciamento de Falhas.

O estudante típico chega à universidade vindo de uma tradição escolar que penaliza fortemente os erros, e isto tem um peso muito grande na sua capacidade de assumir riscos. É um paradoxo interessante, o estudante é penalizado por cometer erros, não é incentivado a assumir riscos e depois é solicitado a realizar uma atividade que tem o risco e a tolerância ao erro como premissas, que é a inovação [71]. O exemplo de tolerância a falhas sempre citado nestas situações é o de Thomas Edison.

É uma vergonha, disse o jovem de modo petulante, que nós tenhamos trabalhado todas estas semanas sem ter conseguido qualquer resultado!
Resultados! Gritou Edison, surpreso, Nenhum resultado? Por que homem? Eu consegui muitos resultados! Eu sei de muitos milhares de coisas que não irão funcionar [72].

Um exemplo clássico de gerenciamento de falhas é o do produto *Post-it*® da 3M. Spence Silver, um cientista da 3M descobriu uma cola que não colava, em vez de encarar o acontecido como um erro resolveu continuar pesquisando, o que o levou à criação de uma folha de papel para mensagens que não precisava de uma fita adesiva para ser fixada. A 3M como empresa teve também um grande mérito nesta invenção por permitir o investimento de tempo e recursos em algo que estava na direção completamente oposta ao portfólio de produtos que desenvolvia (adesivos que funcionavam) [73]. Não existe progresso tecnológico nem inovação sem riscos. É preciso portanto, uma postura ativa no incentivo ao risco calculado, e à tolerância aos erros [74-75].

3.3.8 Proposta de Avaliação

No Laboratório Paradidático não existe uma metodologia de avaliação formal da absorção do conteúdo ou do aprendizado durante as suas atividades. A mensuração do progresso do estudante, pode ser feita com base nos resultados práticos de suas intervenções nos projetos segundo a lista de habilidades e competências a serem adquiridas constantes na lista da resolução MEC CNE/CES 11 [61]. Por serem resultados práticos, são muito fáceis de mensurar se estarão presentes ou não, porém é necessário levar em consideração os resultados do aprendizado reflexivo que são igualmente importantes e que não são tangíveis e portanto, bastante subjetivos [76]. Sugerimos os seguintes critérios:

- i. Verificar o quanto o estudante é capaz de analisar uma situação problemática, realizando uma conversação reflexiva para a construção de um problema de modo autônomo;
- ii. Verificar o quanto o estudante é capaz de usar de modo tácito as ferramentas e metodologias vistas até ali;
- iii. Verificar o quanto o estudante já é capaz de resolver um problema com pouca ou nenhuma intervenção do Mentor/*Coach* usando os conhecimentos explícitos e tácitos;
- iv. E finalmente, verificar se o estudante é capaz de contribuir. Entender, refletir, utilizar os seus novos conhecimentos e ferramentas de análise e resolver um problema de modo autônomo dando uma contribuição real ao projeto.

3.3.9 Conclusão

Neste capítulo foram apresentadas a fundamentação pedagógica e as motivações e critérios utilizados para criar a metodologia que tem como objetivo principal complementar a formação dos estudantes de Engenharia Elétrica, para que eles possam aprender a engenheirar ainda dentro dos domínios da Universidade. A metodologia empregada na complementação da formação dos estudantes consiste das seguintes ações:

- i. Implementação de um ambiente adequado a aplicação da metodologia denominado de Laboratório Paradidático;
- ii. Complementação do conteúdo dado em sala de aula com estudos dirigidos e com o apoio de professores tutores voluntários que oferecem conhecimento consultivo sob demanda, nas suas áreas de especialidade;
- iii. Transmitir os conhecimentos profissionais tácitos de um Mentor/*Coach* da área de engenharia, enquanto ele atua em conjunto com os estudantes na realização de projetos reais.

Foram descritas as razões que levaram à criação do Laboratório Paradidático como local adequado à aplicação da metodologia, e como ponto de convergência de professores, engenheiros e pesquisadores e representantes da indústria para a realização de projetos que possam transformar os resultados da pesquisa básica em aplicações práticas. Foi também descrita a metodologia de realização de projetos guiada por um Mentor/*Coach* para transmitir os seus conhecimentos profissionais tácitos e como estes conhecimentos são complementados por meio da atuação de professores tutores voluntários no papel consultivo que oferecem conhecimento sob demanda, nas suas áreas de especialidade.

A proposta descrita nesta tese não possui qualquer conexão oficial ou apoio das agências de fomento e foi implementada por meio da política de *Pensar Globalmente e agir Localmente* [77]. Por uma coincidência, o Laboratório Paradidático iniciou as suas atividades exatamente no ano em que o documento Inova Engenharia foi publicado, 2006, embora suas atividades de modo ainda incipiente datem de 2002 motivadas pela observação dos problemas citados na introdução desta tese. Exemplos práticos de aplicação da metodologia serão vistos no Capítulo 4 Estudos de Casos e no Capítulo 5 Adaptação da Metodologia para uso em sala de aula.

3.3.10 O Fluxograma Guia

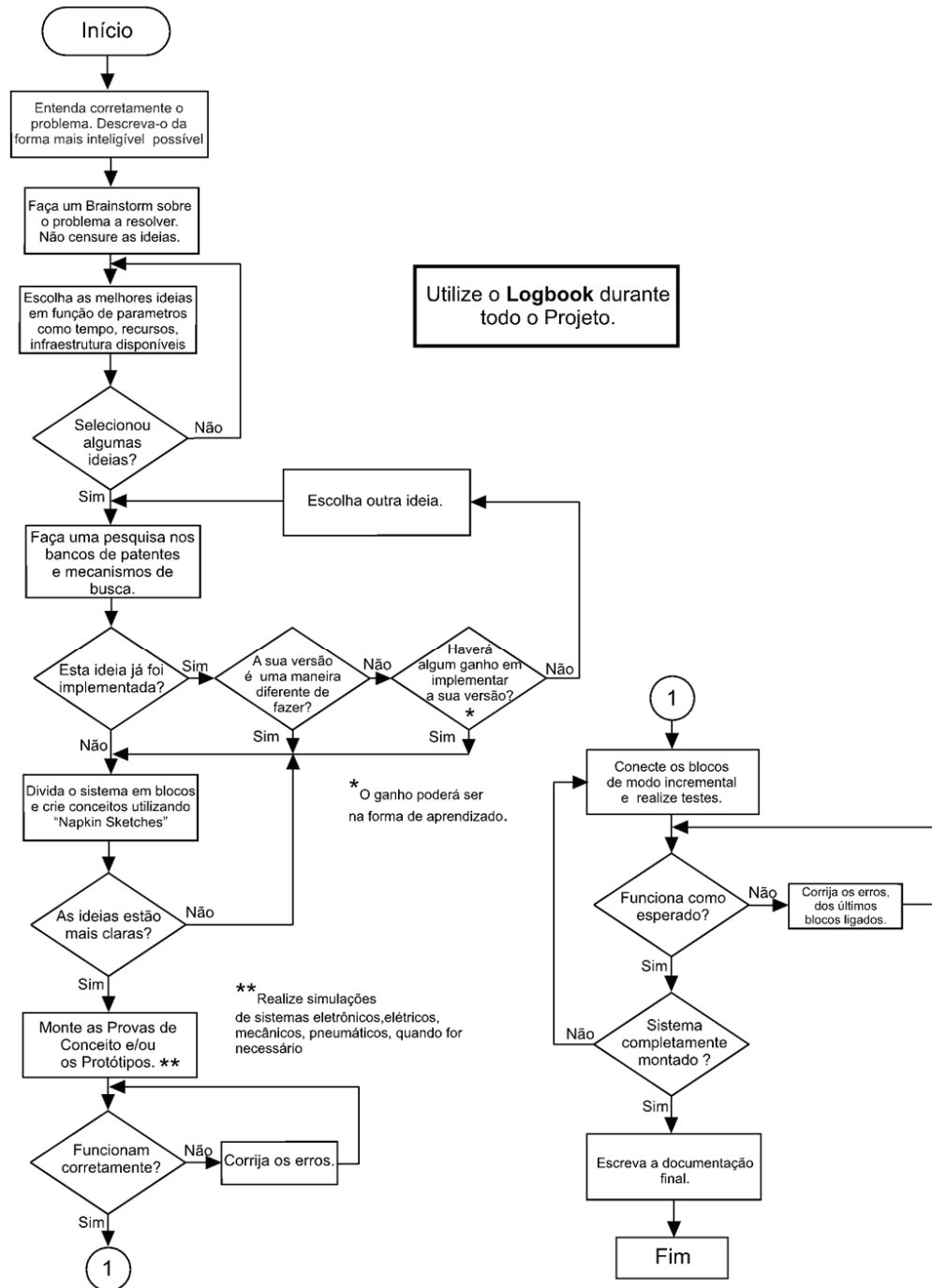


Figura 3.8 – Fluxograma guia

Capítulo 4

Estudo de Casos

4.1 Introdução

Neste capítulo descrevemos dois projetos que foram realizados no Laboratório Paradidático, o primeiro é o de um *Equipamento automático de solda que utiliza o método da chapa quente*. Este projeto foi solicitado pelo Prof. Dr. Alberto Borges do Departamento de Construção e Estruturas da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia em parceria com a empresa *Policarbonatos do Brasil* e foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia, FAPESB, com o programa PAPPE/Bahia Inovação. Neste projeto trabalharam diretamente os estudantes de Engenharia Elétrica Thiago Brasileiro, 2º semestre, Paulo Andrade Souza, 2º semestre e Filipe Ramos Rios, 4º, semestre. O autor desta tese atuou como o Mentor/*Coach*, e o Prof. MSc. Marcelo Machado Cad, a Profa. MSc. Mônica V.C. de Aguiar e o Prof. MSc. Eduardo Allatta atuaram como tutores.

O produto resultante deste projeto teve patente depositada no INPI sob o número **BR1120130319372**. Os estudantes envolvidos neste projeto foram listados como inventores e como depositantes desta patente.

O segundo projeto é o de um *Equipamento automático de solda por ar quente*. Este projeto também foi solicitado pelo Prof. Alberto Borges do Departamento de Construção e Estruturas da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia em parceria com a empresa *Ativo Engenharia*, e foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia, FAPESB, com o programa PAPPE/Bahia Inovação. Este projeto foi realizado em duas etapas e é a segunda etapa que está sendo descrita aqui. Neste projeto trabalhou diretamente o estudante do 10º semestre do curso de Engenharia Elétrica Filipe Ramos Rios. O autor desta tese atuou como Mentor/*Coach*. O produto resultante deste

projeto teve patente depositada no INPI sob o número **BR1020130319406**. O estudante envolvido neste projeto foi listado como inventor e como depositante desta patente.

4.2 Equipamento Automático de Solda que Utiliza o Método da Chapa Quente

Nesta seção descreveremos o projeto do equipamento automático de solda que utiliza o método da chapa quente.

4.2.1 A Técnica de Solda por Chapa Quente.

A soldagem é uma técnica que visa unir peças normalmente constituídas de materiais como termoplásticos ou metais, por meio da fusão de parte de suas estruturas, com ou sem a adição de material constitutivo ou aditivo de modo a formar uma junção entre estas peças. No processo de soldagem é importante que o resultado final da junção entre as peças continue exibindo características mecânicas as mais próximas possíveis do material virgem. A operação de soldagem é normalmente uma etapa de um processo de fabricação e existem várias técnicas para a sua realização, cada uma delas adequada ao tipo de material e a aplicação final do produto. A solda por chapa quente é uma das técnicas utilizadas para juntar partes constituídas por materiais termoplásticos ou outros materiais que possam ser fundidos pelo calor. Esta técnica é bastante adequada para juntar partes que possuem uma área de solda complexa. A soldagem por chapa quente é classificada como *autógena* por não utilizar materiais de adição. A Fig. 4.1 ilustra a técnica de solda por chapa quente. De maneira geral, no processo de soldagem por chapa quente as partes a serem soldadas são fixadas em dois suportes especiais, em lados opostos de um mecanismo que opera no mesmo princípio que uma prensa, para que mantenham um alinhamento entre elas.



Figura 4.1– Técnica de solda por chapa quente

Em uma primeira fase, uma chapa com a forma adequada e aquecida é colocada entre as partes a serem soldadas, os dois suportes da prensa movem as partes a serem soldadas de modo que elas entrem e se mantenham em contato com a chapa aquecida até que as regiões a serem soldadas sejam amolecidas pelo calor. Em uma segunda fase, os dois suportes se movem na direção oposta, afastando as partes a serem soldadas da chapa aquecida, a qual é removida para uma posição distante da região de soldagem. Em uma terceira fase, os ditos suportes voltam a se mover aproximando as partes a serem soldadas, pressionando uma contra a outra, de modo que as regiões que foram aquecidas e fundidas, ou amolecidas previamente se interpenetrem e esfriem formando uma região de solda, criando deste modo uma conexão permanente entre as partes.

A técnica de soldagem por chapa quente é amplamente utilizada em diversos materiais e em produtos dos mais variados tamanhos e formas, criando junções que apresentam resistência a esforços mecânicos e à pressão, próximas às do material virgem. Entre os produtos fabricados com esta técnica estão vários dispositivos utilizados na área automotiva como: tanques para o armazenamento de líquidos como água, combustível ou fluido para freios ou ainda componentes que necessitem de vedação contra intempéries como faróis e lanternas traseiras. Esta técnica de soldagem também é utilizada para a emenda de tubos e neste campo, é conhecida como soldagem por termo-fusão ou soldagem de topo.

Para a utilização de um material termoplástico na manufatura de um produto que necessite utilizar a tecnologia de soldagem por chapa quente, é preciso criar e submeter corpos de prova do material soldado com esta técnica a ensaios, um destes é o ensaio de tração. Neste tipo de ensaio, um corpo de prova é submetido a um esforço em sua direção axial de modo a alongá-lo até que se rompa. Este ensaio visa levantar características mecânicas da junta soldada de modo a prever como esta se comportará quando submetida a esforços.

Os equipamentos automáticos disponíveis comercialmente para a realização da soldagem utilizando a técnica da chapa quente são na sua grande maioria de grande porte, alguns chegando a ter massa de quase uma tonelada e direcionados para aplicações industriais, necessitando de instalações especiais para a sua operação. No estado da técnica não existia um equipamento automático de solda utilizando a técnica da chapa quente que seja leve, robusto, de fácil operação, transporte e que possa ser utilizado especificamente para realizar a soldagem de materiais termoplásticos, para aplicações em ensaios, pesquisa ou uso didático.

4.2.2 Os Objetivos do Projeto

Este projeto tinha o objetivo principal de prover um equipamento automático de bancada, de fácil operação, oferecendo clara visualização da sua estrutura e funcionamento e ser completamente programável, de modo a controlar todos os parâmetros no processo de soldagem pela técnica da chapa quente, para realizar a solda de topo de componentes feitos a partir de materiais termoplásticos para uso em ensaios. Uma vez determinados os parâmetros ótimos para soldagem de um material específico, estes parâmetros poderiam ser utilizados em equipamentos de soldagem automáticos, para a fabricação de produtos utilizando o material aprovado nos ensaios. Este equipamento também tinha como objetivos a sua utilização na área de pesquisa e também finalidades didáticas no ensino de técnicas de soldagem, e no ensino dos princípios de funcionamento, e de técnicas de projeto de equipamentos automáticos.

4.2.3 As Especificações do Equipamento

Este projeto era do tipo aberto, não havia sido realizado antes e as especificações foram construídas por meio de entrevistas com o Prof. Dr. Alberto Borges Vieira Jr. que é pesquisador na área de soldagem e que se utilizou de sua experiência e das necessidades da empresa Policarbonatos do Brasil para definir os parâmetros que foram utilizados como requisitos de projeto.

O equipamento a ser desenvolvido deveria soldar placas de material polimérico com até 6mm de espessura e com um tamanho de 115mm de comprimento por 125mm de largura. Para tanto o equipamento deveria oferecer suportes para a fixação das placas a serem soldadas. A temperatura da chapa quente deveria atingir até 300°C e ser controlada em $\pm 5\%$ de precisão, (estes são dados do processo de solda por chapa quente). O sistema deveria ser capaz de comprimir as placas com valores de forças programáveis de até 300N, ao mesmo tempo medir estas forças em tempo real em cada fase da solda. A máquina deveria executar o procedimento de soldagem de modo automático, possuir uma interface homem-máquina para entrada de dados, um computador embarcado e uma interface serial para comunicação com um computador para atualização de firmware.

4.2.4 O Projeto

Nesta seção serão descritos os passos necessários para a realização do projeto. A partir do estudo dos requisitos iniciais o projeto foi dividido em três partes:

- i. Desenvolvimento do *hardware* mecânico;
- ii. Desenvolvimento do *hardware* eletrônico;
- iii. Desenvolvimento do *software* de controle.

4.2.4.1 Busca no Estado da Técnica

A primeira etapa do projeto consistiu em uma busca no *Estado da Técnica* para verificar as tecnologias já desenvolvidas nesta área. Foram encontradas referências ao princípio utilizado na soldagem aplicado a uma série de problemas específicos por meio da descrição de equipamentos, automáticos, semiautomáticos e manuais. As patentes

examinadas ofereceram várias informações sobre mecanismos e técnicas utilizadas para a execução deste tipo de solda. Não foram encontradas referências específicas ao tipo de equipamento que iria ser desenvolvido.

4.2.4.2 Napkin Sketches

A segunda etapa envolveu a concepção da estrutura do equipamento a partir das especificações, com a criação de alternativas utilizando *Napkin Sketches*. Infelizmente, neste projeto, não foi possível a utilização de modelagem 3D durante o projeto, já que não havia na equipe nenhum estudante de Engenharia Mecânica. Foi decidido que os estudantes de Engenharia Elétrica não seriam treinados nesta tecnologia devido à complexidade do projeto e ao tempo disponível para a sua conclusão. Os modelos 3D mostrados aqui, foram criados *a posteriori* pelo estudante André Felipe Souza Batista do 5º semestre do curso de Engenharia Mecânica da UFBA. A Fig. 4.2 mostra algumas das soluções propostas utilizando *sketches*.

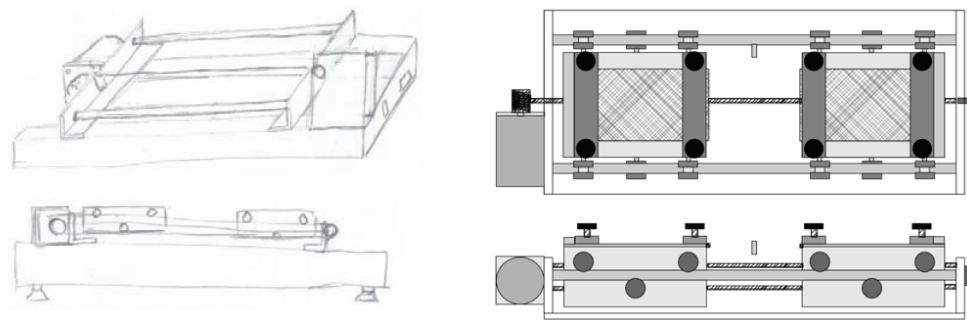


Figura 4.2 – *Sketches* do equipamento de solda por chapa quente

4.2.4.3 Desenvolvimento do Hardware Mecânico

A estrutura mecânica do equipamento foi completamente fabricada durante o projeto sem nenhum serviço externo, os estudantes não participaram diretamente destas atividades porque estava fora do escopo do que estava previsto. Porém, eles acompanharam passo a passo o desenho, a solução de todos os problemas, a fabricação de cada componente e a montagem do sistema. Para a fabricação das peças foram utilizadas várias

ferramentas manuais e de bancada e alguns protótipos de soluções intermediárias foram construídos. A Fig. 4.3 mostra um desenho do equipamento com a sua cobertura de proteção removida e alguns componentes de suporte tornados transparentes para facilitar a visualização. O equipamento consiste em uma estrutura horizontal onde são montados dois eixos paralelos que atuam como guias. Nestes eixos paralelos são montados dois suportes de fixação na forma de mesas que podem deslizar ao longo dos eixos paralelos com auxílio de rolamentos. Os suportes de fixação são utilizados para a montagem das placas planas de material termoplástico a serem soldadas. As placas planas são posicionadas nos suportes de fixação e mantidas em suas posições, por meio de um arranjo de guias e limites e de um sistema de travamento. Os suportes de fixação são montados de forma solidária a um sistema com meios que permitem a sua movimentação sincronizada, criando um movimento relativo entre os suportes de fixação, de aproximação ou de afastamento um do outro.

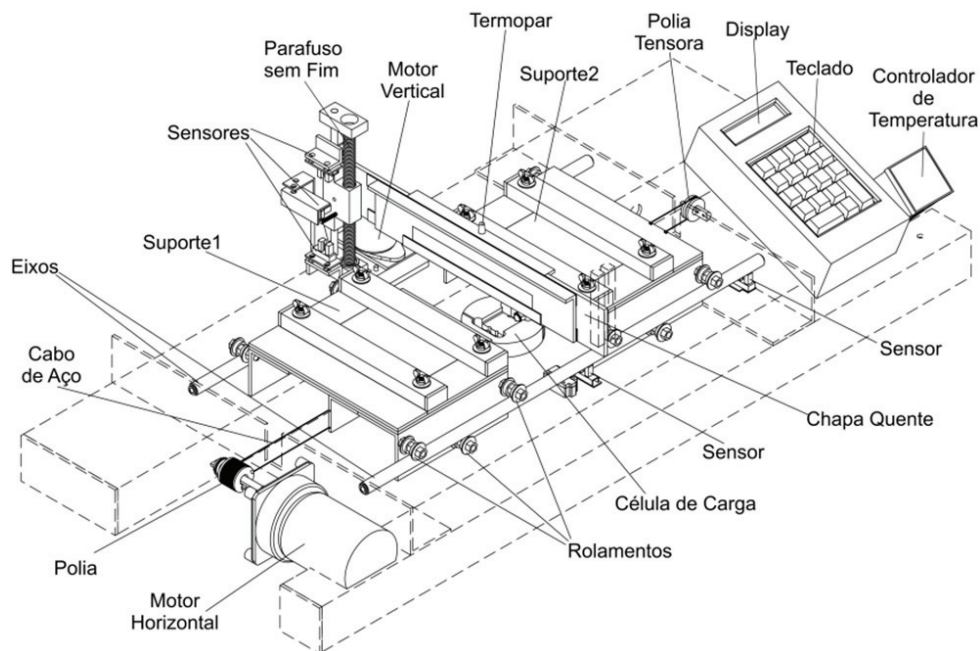


Figura 4.3 – Desenho esquemático da máquina de solda por chapa quente.

No centro da estrutura mecânica horizontal, foi montado um mecanismo de posicionamento da chapa quente na forma de um sistema elevador. Este sistema utiliza um

parafuso sem fim que permite movimentar a chapa quente no plano vertical de modo que esta possa ser posicionada no caminho entre as placas de material termoplástico a serem soldadas durante a primeira fase da soldagem, ou ser retirada deste caminho durante a segunda fase da operação de soldagem. A chapa quente é mantida aquecida por uma resistência elétrica montada em seu interior. A sua temperatura é mantida na faixa adequada à soldagem por meio de um termopar montado diretamente na sua superfície e de um controlador de temperatura externo.

A posição da chapa quente no plano vertical é determinada por três sensores montados ao longo da estrutura do mecanismo elevador, de modo que a chapa quente pode parar em três posições distintas sendo elas:

- i. Na parte superior do mecanismo elevador;
- ii. No ponto intermediário ao longo da altura mecanismo elevador, mas fora do caminho entre os suportes de fixação;
- iii. Na parte inferior do mecanismo elevador, exatamente no meio do caminho entre os suportes de fixação.

O Equipamento mostrado no diagrama esquemático da Fig.4.3 utiliza dois motores de corrente contínua como acionadores, o primeiro (motor vertical) controla o posicionamento da chapa quente no plano vertical, o segundo (motor horizontal) movimenta os suportes de fixação por meio de um sistema de cabos de aço e polias.

1.2.4.4 O Desenvolvimento do Hardware Eletrônico

O desenvolvimento do *hardware* eletrônico foi realizado com dois estudantes do segundo semestre do curso de Engenharia Elétrica em um processo contínuo de *mentoring* e *coaching*. Como se tratava de um projeto real, em algumas fases, os estudantes apenas acompanharam a sua execução. Os estudantes já possuíam conhecimentos de programação na linguagem C e estavam cursando outras disciplinas de programação. Por não terem o conhecimento técnico necessário na área de *hardware*, os estudantes foram orientados por um professor-tutor voluntário durante um período anterior ao projeto de aproximadamente 90 dias. Neste período, os estudantes fizeram um estudo dirigido com experimentos dos seguintes temas:

- i. Eletrônica analógica;
- ii. Eletrônica digital, portas lógicas, circuitos combinacionais;
- iii. Microcontroladores.

4.2.4.4.1 Projeto dos Blocos

Como o equipamento era bastante complexo, e os estudantes não dispunham de experiência anterior, o projeto foi dividido em blocos gerenciáveis que poderiam funcionar isoladamente, e que poderiam ser adicionados um ao outro de modo incremental. Todo o processo foi documentado em um *Logbook* que mostra em forma de diário, tanto a evolução do projeto, quanto a do aprendizado dos estudantes, Fig.4.4. Toda a documentação dos *datasheets* e informações sobre componentes foi organizada em um arquivo de projeto.

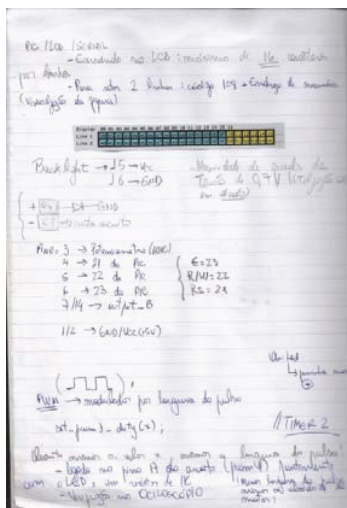


Figura 4.4 – Página do *Logbook* relativa ao controle do LCD.

Os estudantes já conheciam a matriz de contato como ferramenta de prototipagem. Embora existam outras alternativas para a montagem de protótipos eletrônicos, este dispositivo foi mantido por apresentar problemas que iriam contribuir para o aprendizado.

O primeiro bloco implementado foi o de um circuito que permitisse a comunicação serial com um Computador Pessoal (PC), já que o equipamento final iria utilizar esta

interface para comunicação. Para esta tarefa, os estudantes realizaram uma busca no estado da técnica por exemplos de circuitos, *datasheets* e componentes que realizassem esta função. Um circuito foi montado e testado usando o programa terminal do Windows®. Um *display* de LEDs de sete segmentos foi então conectado à interface serial recém construída. Caracteres ASCII eram enviados por meio do teclado do Computador Pessoal por meio da sua interface serial e eram exibidos na forma de números no *display* de LEDs.

O bloco seguinte foi o de um sistema mínimo baseado no micro controlador PIC16F877. Este sistema continha apenas o *hardware* necessário para uma aplicação simples, o micro controlador, um cristal e alguns resistores. A este sistema mínimo foram anexados a interface serial e o controlador de *display* de LED de sete segmentos já desenvolvidos. Este novo circuito permitia que um usuário no PC pudesse enviar dados ao micro controlador via interface serial, estes dados eram então processados e exibidos no *display* de sete segmentos. Uma primeira rotina de *software* foi escrita para controlar este conjunto.

O bloco seguinte foi o de um acionador para motor de passo, este novo circuito foi anexado ao bloco anterior e testado. O equipamento final iria utilizar motores de corrente contínua. A utilização do motor de passo, por ser um dispositivo de acionamento e controle mais simples, serviu como uma etapa intermediária para demonstrar o princípio do acionamento e controle de motores.

O *software* escrito para controlar o novo conjunto permitia acionar o motor de passo por meio da interface serial. Era possível enviar valores numéricos pelo teclado do PC para controlar a rotação do eixo do motor de passo. Nesta fase, os estudantes já começaram a guardar as rotinas escritas na linguagem C de forma independente, de modo que da próxima vez que necessitassem de uma rotina como esta, pudessem recorrer a esta biblioteca sendo construída.

A tarefa seguinte foi substituir o *display* de LEDs sete segmentos por um *display* de cristal líquido no circuito já construído. O novo conjunto permitia agora usar o teclado do PC para enviar dados pela interface serial, recebê-los no micro controlador PIC16F877, decodificá-los e escrevê-los no *display* de LCD. A Fig. 4.5 mostra em detalhe a montagem do *display* de LCD no novo circuito.

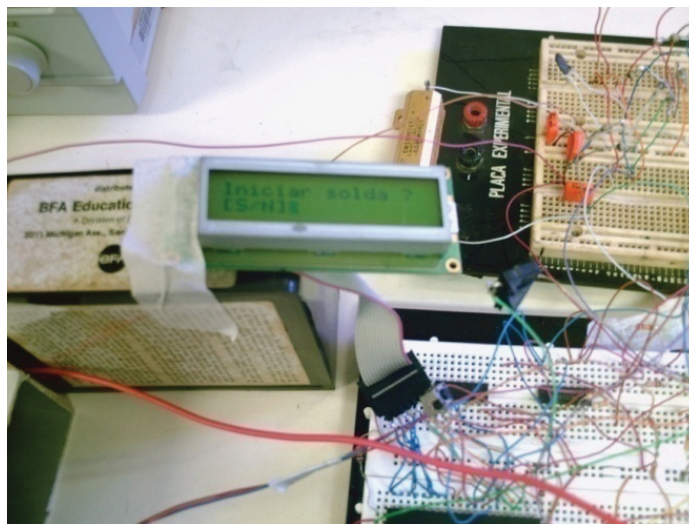


Figura 4.5 – Detalhe das conexões do *display* de LCD

Com a finalidade de iniciar os estudantes no processo de criar um *diálogo reflexivo com uma situação problemática* [35], construir o problema e resolvê-lo. Foi dado a eles o desafio de *inventar* o teclado de varredura, a partir da condição de uso de um número limitado de pinos de Entrada e de Saída (E/S) do micro controlador disponível para esta interface. Embora o teclado de varredura seja uma solução clássica entre os projetistas de sistemas embarcados, para os estudantes do segundo semestre de Engenharia Elétrica era algo completamente desconhecido. Foi aproveitado o contexto, para servir de motivação para a busca de uma solução para o problema de criar um teclado com quinze teclas, a partir da disponibilidade de apenas oito linhas de entrada e saída disponíveis no micro controlador. Os estudantes conseguiram *inventar* a solução para o problema sem nenhuma intervenção e implementaram também a rotina de *software* de controle. Neste contexto foi também apresentada a necessidade de filtragem para o ruído gerado pela ação de apertar as teclas (*debounce*).

O sistema até então realizado, consistia então de: i) um micro controlador que dispunha de interface serial; ii) um mostrador de cristal líquido de duas linhas por 16 caracteres; iii) um teclado numérico com quinze teclas; iv) um acionador para motor de passo. A rotina de *software* escrita para este sistema, permitia ao usuário escrever no

display de cristal liquido utilizando o teclado numérico de varredura recém construído, o número de passos requeridos para movimentar o eixo do motor de passo, e logo em seguida realizar o deslocamento desejado.

O aprendizado continuou com o estudo de: i) conversão Analógica/Digital e Digital/Analógica; ii) princípios de funcionamento de motores de corrente contínua e a utilização de pontes H para o acionamento eletrônico destes motores; iii) métodos de controle utilizando Modulação por Largura de Pulso (PWM). Estes conhecimentos foram obtidos por meio de estudo dirigido e de montagens práticas, as dúvidas que surgiam eram resolvidas pelos professores tutores que se dispunham a ajudar em questões relativas aos conteúdos dos cursos por eles ministrados.

O aprendizado das técnicas de conversão Analógica/Digital e Digital/Analógica e das técnicas de controle utilizando Modulação por Largura de Pulso (PWM) seria importante para o tratamento dos sinais dos sensores e para o controle de motores de corrente contínua que iriam ser usados no projeto.

4.2.4.4.2 Montagem de um Simulador

Como vários blocos do equipamento final já haviam sido desenvolvidos. Foi solicitado aos estudantes que interligassem estes blocos de modo que o resultado constituísse um simulador do funcionamento do equipamento final. Foram acrescentados ao circuito três botões de contato momentâneo para simular os três sensores principais do equipamento. Com isto foram aprendidas técnicas de definição de estado inicial para os botões por meio de resistores de *pull up* e de *pull down*. Os sensores que iriam ser utilizados no equipamento real seriam do tipo chave óptica, porém, a montagem com os botões permitiria verificar o funcionamento do *hardware* e as rotinas de *software* bem como realizar modificações, sem a necessidade de conexão com a parte mecânica para evitar danos.

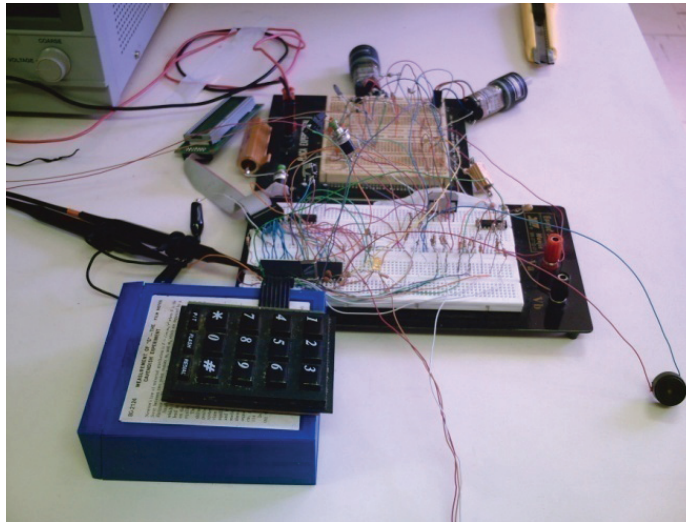


Figura 4.6 – Simulador do sistema de controle.

A Fig. 4.6 mostra o protótipo do sistema de controle completo constituindo um simulador para o equipamento final. O simulador consistia então de:

- i. Um teclado de varredura, para inserção dos dados de processo;
- ii. Um *display* de cristal líquido para comunicação com o usuário e confirmação dos dados inseridos;
- iii. Um sinalizado sonoro;
- iv. Dois pequenos motores de corrente contínua para simular a movimentação dos motores reais;
- v. Três botões para simular os sensores principais.

Este simulador de bancada permitia testar todas as rotinas de *software* implementadas até então. A Fig 4.7 abaixo mostra o esquemático eletrônico do sistema completo.

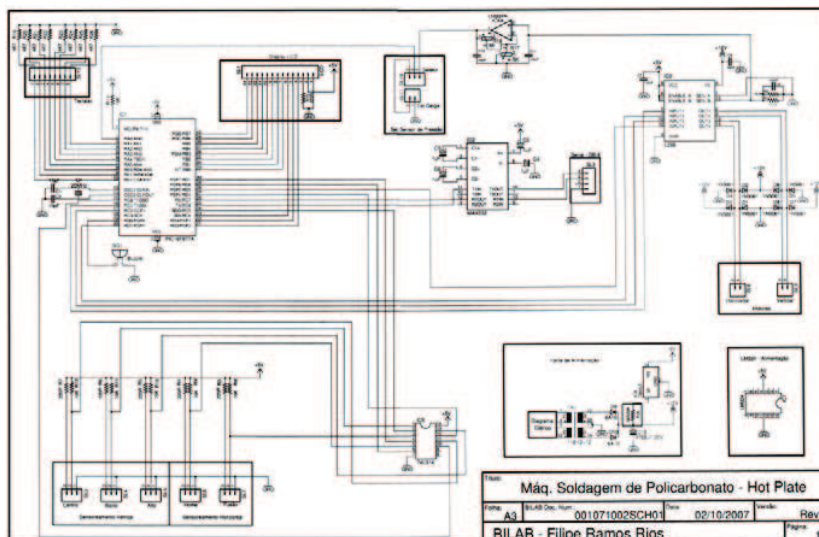


Figura 4.7 – Esquemático do sistema de controle completo

4.2.4.4.3 Controle de Temperatura da Chapa Quente

Para o sistema de controle do aquecimento da chapa quente foi decidido pela utilização de um controlador de temperatura comercial. O sistema utilizado foi um controlador MC-94138-201J da Metaltex e como elemento sensor um termopar do tipo J. A interface entre a resistência elétrica aquecedora da chapa quente e o controlador de temperatura foi feita por um relé do estado sólido do tipo THOLZ RSR075N para uma corrente de até 25 A. Com o propósito de minimizar o *Efeito Aladim* foi realizada a Engenharia Reversa do relé de estado sólido para que os estudantes pudessem entender o seu princípio de funcionamento. O dispositivo foi desmontado, o circuito eletrônico levantado e um circuito equivalente montado e testado.

4.2.4.4.4 Teste do Hardware Mecânico

Uma vez que o circuito de controle já havia sido testado e otimizado, foi feita a conexão do simulador com o *hardware* mecânico para verificar o funcionamento do sistema em sua totalidade. A Fig. 4.8 mostra o teste do sistema mecânico integrado com a eletrônica de controle.

O sistema de controle do motor principal era do tipo proporcional e foi implementado em duas versões. Na primeira versão, utilizava como elemento sensor um resistor que media a corrente nos enrolamentos do motor horizontal. Na segunda versão, uma célula de carga foi incluída no circuito mecânico e permitia medir a força que as placas a serem soldadas exerciam sobre a chapa quente durante a fase de fusão, e a força que uma placa exercia sobre a outra, durante a fase de solda.



Figura 4.8 – Teste do sistema mecânico real com o simulador da eletrônica de controle

4.2.4.4.5 Prototipagem Rápida de Circuito Impresso

O próximo passo foi a familiarização dos estudantes com a versão estudantil do programa *Eagle* para desenho de placas de circuito impresso, e o aprendizado da utilização de um equipamento de prototipagem rápida proprietário para a confecção destas placas. O fato de usar um equipamento proprietário foi importante, porque era uma demonstração clara de que era possível criar ferramentas complexas como equipamentos de controle numérico. A ferramenta foi produzida por pessoas conhecidas utilizando ferramentas e técnicas que eles estavam vivenciando, uma iniciativa para reduzir o *Efeito Aladim*. A Fig. 4.9 mostra os estudantes usando o programa *Eagle* para o projeto da placa de circuito impresso de duas camadas do computador embarcado da versão final do equipamento.



Figura 4.9 – Os estudantes usando o *Eagle* para o projeto da placa de circuito impresso

O sistema de controle completo do equipamento consistiu em: i) um computador embarcado baseado em um micro controlador PIC16F877; ii) uma interface de comunicação serial para atualização do *firmware* e parâmetros de controle; iii) circuitos de controle para dois motores de corrente contínua; iv) um relé de estado sólido (externo); v) controlador de temperatura (comercial); vi) um amplificador para a célula de carga (externo).

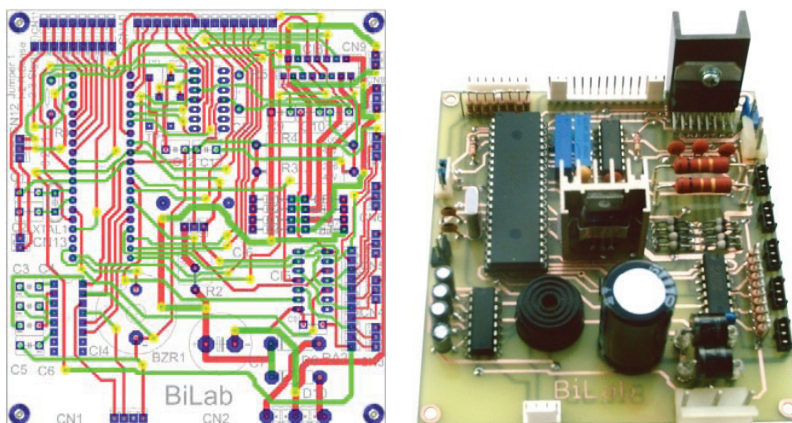


Figura 4.10 – *Layout* da placa de circuito impresso e placa finalizada

Durante o processo de *layout* da placa de circuito impresso pelos estudantes, foram disponibilizadas algumas placas de circuito impresso de equipamentos comerciais para que eles pudessem desenvolver o processo de *Apreciação* [38]. O objetivo era que eles ao observarem produtos feitos por profissionais e comparar com o trabalho que estivessem executando, pudessem desenvolver o senso do que seria, *bonito*, *elegante* ou *perfeito*. A placa de circuito impresso mostrada na Fig.4.10 possui duas camadas e foi projetada pelos estudantes utilizando uma versão estudantil do *software Eagle*. A confecção da placa também foi realizada pelos estudantes utilizando um equipamento de prototipagem rápida desenvolvido pelo autor desta tese, pelo Bel. em Matemática, programador e desenvolvedor de sistemas Daniel Roseno da Silveira e pelo Eng. MSc. Paulo Libonati.

4.2.4.4.6 O Software de Controle

O *software* de controle da máquina foi sendo desenvolvido ao longo do projeto. Para cada bloco montado era escrita uma rotina de controle que ia se juntando às rotinas dos outros blocos já prontos, se adequando e se expandindo. Ao longo do projeto eram comuns as interações com os professores tutores para tirar dúvidas sobre os problemas que surgiam. O projeto foi uma oportunidade para a consolidação não apenas do material já visto em sala de aula, mas do material que estava sendo visto naquele momento em outras disciplinas de programação. A parte mais interessante desta fase era quando os estudantes necessitavam utilizar ferramentas ou conceitos que ainda não haviam sido vistos em sala de aula, isto fazia com que eles tivessem que buscar informações de modo autônomo e depois fossem procurar os professores tutores para tirar dúvidas sobre implementação prática do material recém aprendido. O *software* de controle nesta fase chegou até a versão 5.0.

4.2.4.4.7 Instalação de uma Célula de carga

O estudante Filipe Rios, fez a atualização do *firmware* para melhorar o desempenho da interface homem-máquina e para incluir a operação de uma célula de carga para medida da força. Ele também implementou rotinas de calibração da medida de força e de manutenção e alinhamento de partes mecânicas da máquina.

4.2.4.4.8 Equipamento Completo

A Fig. 4.11 mostra o equipamento completo na sua versão final. Do lado direito da imagem pode se ver a interface homem-máquina e o controlador de temperatura. A chapa quente fica localizada na parte central máquina sob uma proteção especial. O sistema de controle eletrônico fica também do lado direito da máquina, atrás da interface homem-máquina protegido por uma placa de policarbonato.

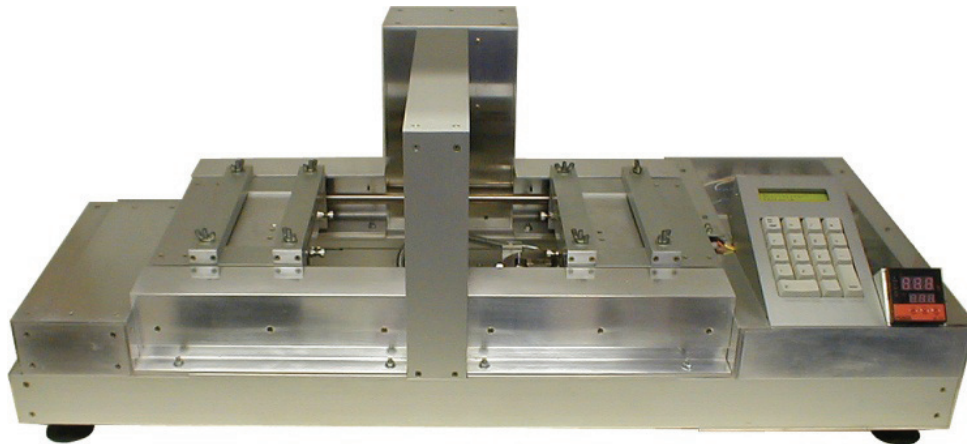


Figura 4.11 – Equipamento de solda por chapa quente na sua versão final

4.3 Spin Offs

Durante todo o tempo de projeto, foi solicitado aos estudantes que o conhecimento adquirido pudesse se transformar em componentes de reuso tanto para o *hardware* quanto para o *software*. No caso do *software*, as rotinas desenvolvidas para cada bloco foram separadas de modo que pudessem funcionar de modo autônomo. Este processo visava criar uma biblioteca de rotinas que permitiria implementar uma prova de conceito ou protótipo de um novo projeto em muito pouco tempo. A tarefa se resumiria a dividir o projeto em blocos, associar uma rotina a cada bloco e depois fazer os ajustes para que tudo funcionasse como um conjunto.

No que diz respeito ao *hardware*, a filosofia era a mesma, sempre que possível, foram criados blocos de *hardware* responsáveis pelas funções mais usadas, como: i)

teclado; ii) controlador de motor de passo; iii) controlador de motor de corrente contínua; iv) relé de estado sólido, (Engenharia Reversa); v) interface para célula de carga.

Também foi destacada a importância dos problemas e barreiras que surgem ao longo do projeto como fortes motivadores para a criação de soluções inovadoras. Neste projeto um forte motivador para a criação de ferramentas para auxílio ao desenvolvimento foi a utilização de matrizes de contato para a montagem dos protótipos de *hardware*. A matriz de contato facilita a prototipagem por ser literalmente um dispositivo *plug and play*, porém, possui a desvantagem de poder apresentar problemas de mau contato ou conexões intermitentes.

4.3.1 As Ferramentas Desenvolvidas

Durante a montagem dos protótipos eletrônicos, era comum o aparecimento de problemas de mau contato devido ao grande número de conexões de alguns dispositivos como o *display* de LCD (14 pinos) e o teclado (8 pinos), Fig.4.5. Se uma das conexões falhava tornava-se um problema de solução complexa. Uma vez que o sistema envolvia a interação entre *software* e *hardware*, era difícil saber onde estava localizado o problema. Estes problemas de conexões intermitentes se tornavam cada vez mais pronunciados à medida que o sistema ficava mais complexo e a montagem envolvia uma quantidade maior de componentes. Embora existissem maneiras mais *seguras* de montagem de protótipos, o uso da matriz de contatos foi incentivado para que os estudantes aprendessem sobre as *imperfeições da prática*.

Os estudantes foram incumbidos da montagem e teste dos protótipos e ficavam incomodados com as constantes falhas. Como parte do treinamento, os estudantes eram incentivados a estabelecer *diálogos reflexivos com as situações problemáticas* que surgiam, a construir problemas e propor soluções [38]. Ao longo do projeto e à medida que os problemas surgiam várias ferramentas foram criadas para resolvê-los, entre elas, diversos adaptadores que permitem conectar dispositivos diretamente à matriz de contato, evitando fiação intermediária.

A matriz de contatos possui a distancia entre os furos padronizada em décimos de polegadas, 2.54 mm (0.1"), tanto na horizontal quanto na vertical o que facilita a montagem de conectores ou barra de pinos.

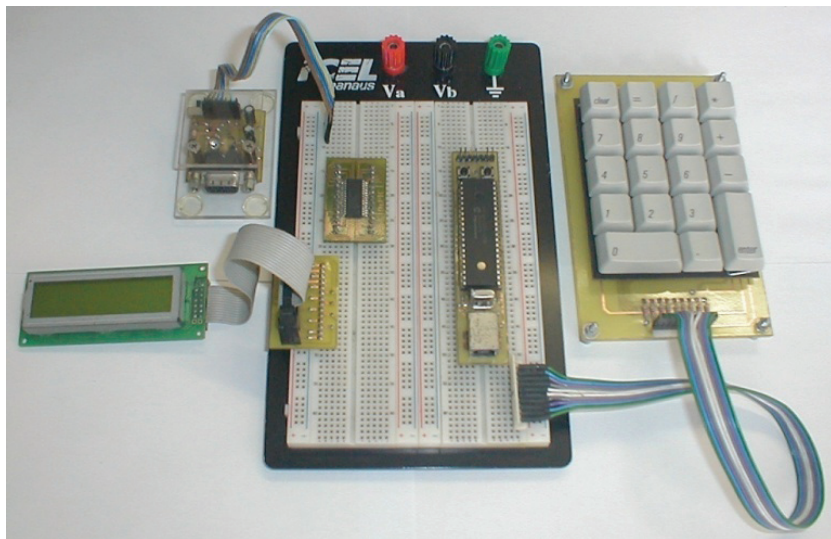


Figura 4.12 – Ferramentas criadas pelos estudantes

A Fig. 4.12 mostra as ferramentas que foram criadas e desenvolvidas pelos estudantes para resolver problemas surgidos durante o projeto do equipamento descrito. As ferramentas são:

- i. Adaptador para conector para *display* de LCD para inserção em matriz de contatos;
- ii. Teclado de varredura alfanumérico com conector para inserção em matriz de contatos;
- iii. Programador serial para micro controladores da linha PIC.

As ferramentas foram idealizadas, desenvolvidas e construídas pelos estudantes, utilizando o conhecimento acumulado durante o projeto. Todas as ferramentas desenvolvidas possuem conectores que se encaixam na matriz de contatos, facilitando a montagem e a desmontagem, bem como oferecendo conexões mais confiáveis. A Fig. 4.13 mostra um detalhe do conector para *display* de LCD de duas linhas x 16 caracteres.

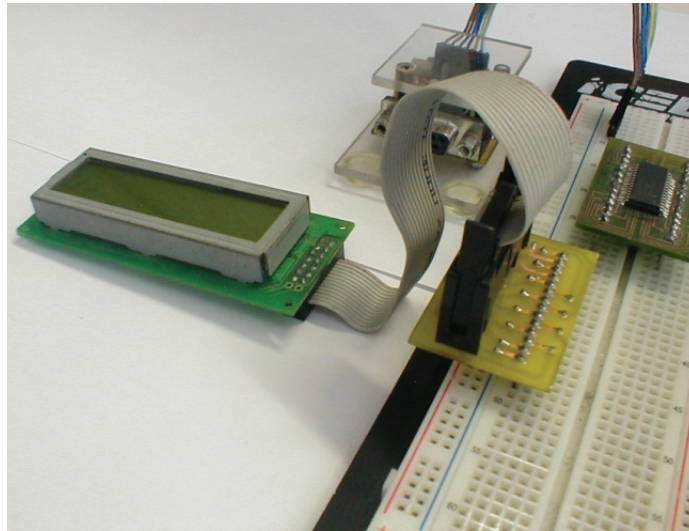


Figura 4.13 – Detalhe do conector para *display* de LCD de duas linhas x 16 caracteres

4.3.2 O Princípio da Balança Digital

O princípio de medida de força por meio de uma célula de carga e a sua exibição em tempo real em um *display* de cristal líquido é o mesmo utilizado em equipamentos de pesagem eletrônicos, portanto, um dos *spin-offs* de aprendizado foi o princípio de funcionamento de uma balança digital.

4.4 Consolidação

Os estudantes conversavam muito entre si durante a execução das tarefas sobre o andamento do projeto ou sobre problemas que estavam enfrentando. Durante o projeto do sistema de controle proporcional que é linear, eles deveriam encontrar os coeficientes angular e linear de uma reta com as características do sistema e programar estes parâmetros no *firmware* do micro controlador. Durante este processo um deles mencionou que finalmente havia entendido a razão e a utilidade do assunto *equação de uma reta*, aprendido durante o segundo grau, pois até então, ele achava que *para nada servia*.

4.5 O Mecanismo de Interno de Realimentação

Durante a confecção do *firmware* de controle, foi observado que os estudantes não sabiam elaborar um fluxograma convencional, embora eles já tivessem um bom

conhecimento de programação na linguagem C. Esta ferramenta era fundamental para a prototipação execução e documentação dos programas de controle e eles já deveriam ter visto o assunto em sala de aula. Foi feito o contato com o coordenador do curso e reportada a observação.

4.6 Equipamento Automático de Solda por Ar Quente

Nesta seção descreveremos o projeto do equipamento automático de solda por ar quente.

4.6.1 A Técnica de Solda por Ar Quente

A solda por ar quente é uma das técnicas utilizadas para juntar peças constituídas por materiais termoplásticos ou por outros materiais que possam ser fundidos pelo calor. Esta técnica é bastante adequada para juntar filmes, tecidos, lonas, ou ainda materiais mais espessos como chapas e paredes de tubos, os quais necessitam de material de adição.



Figura 4.14 – Técnica de solda usando uma ferramenta de ar quente

De maneira geral, o processo de soldagem por ar quente se divide em duas fases: i) uma ferramenta especial produz um jato de ar quente que aquece regiões determinadas das peças a serem soldadas até próximo dos seus pontos de fusão ou amolecimento; ii) as regiões previamente aquecidas são posicionadas e pressionadas uma contra a outra, e

esfriadas, criando deste modo uma conexão permanente entre as peças. Na ferramenta especial utilizada no processo de solda por ar quente, o ar é aquecido e transformado em um jato por meios normalmente elétricos. Na saída do jato de ar, existe normalmente uma terminação onde podem ser encaixados vários tipos de bocais adequados a cada tipo ou forma do material a ser soldado.

No caso de filmes, tecidos ou lonas, a saída de ar quente contempla além de um bocal adequado, um mecanismo que realiza a prensagem das duas peças a serem soldadas, após terem parte de sua estrutura fundida ou amolecida pelo jato de ar quente. Em materiais mais espessos como chapas ou ainda paredes de tubos como mostrado na Fig. 4.14, normalmente um material de adição é utilizado na forma de uma vareta ou de um fio, ambos constituídos preferencialmente do mesmo material que as peças a serem soldadas. Os bocais utilizados neste caso possuem além da saída do ar quente com a forma adequada, um local para a inserção manual do material de adição.

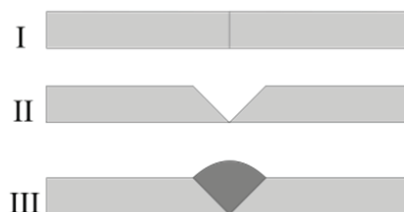


Figura 4.15 – Conformação do material das chapas para solda por ar quente

No caso da soldagem de placas ou chapas, as peças a serem soldadas devem passar primeiramente por um tratamento de limpeza e usinagem para a conformação dos lados onde a solda será executada. As placas são então fixadas de forma que uma fique adjacente à outra e que os lados usinados previamente se encontrem, formando um espaço adequado, normalmente um chanfro em forma de V, para acomodar o cordão que será formado pelo material de adição fundido. A Fig. 4.15 mostra as placas a serem soldadas: i) no seu estado natural; ii) após a usinagem para formação dos chanfros; iii) após a operação de solda.

A saída de ar quente do bocal utilizado neste caso deve possuir um formato adequado para aquecer as regiões das placas a serem soldadas, fundir ou amolecer o material de adição, e também pressionar o cordão de solda resultante com a finalidade de

aumentar a qualidade e o acabamento final da solda. Os bocais utilizados nas ferramentas de ar quente possuem formas e medidas diversas para a entrada e a saída de ar quente, bem como para a entrada de material de adição, os ângulos e as distâncias entre estas passagens podem variar para cada tipo de bocal.

A técnica da solda por ar quente é amplamente utilizada em diversos materiais e em produtos dos mais variados tamanhos e formas, e a junção resultante entre as peças pode atingir uma resistência mecânica próxima à do material virgem.

Para a utilização de um material na manufatura de um produto que necessite utilizar a tecnologia de solda por ar quente, é preciso criar e submeter corpos de prova do dito material soldado com esta técnica a ensaios, como o ensaio de tração. Neste tipo de ensaio, um corpo de prova é submetido a um esforço em sua direção axial de modo a alongá-lo até que se rompa. Este ensaio visa levantar características mecânicas da junta soldada de modo a prever como esta se comportará quando submetida a esforços. Normalmente as dimensões dos corpos de prova utilizados neste tipo de ensaio seguem algum tipo de padronização para fins de comparação ou reprodutibilidade.

Os equipamentos disponíveis comercialmente para a realização da soldagem utilizando a técnica do ar quente são equipamentos totalmente manuais ou semiautomáticos para aplicações específicas como a soldagem de tecidos, filmes e lonas. No caso da soldagem de materiais mais espessos como chapas ou paredes de tubos, existem apenas ferramentas manuais com inserção também manual do material de adição. Não sendo possível portanto fixar a inclinação da ferramenta de ar quente em relação ao material sendo soldado, ou fixar com precisão valores de parâmetros de soldagem tais como velocidade no deslocamento da ferramenta e pressão sobre a vareta de material de adição.

No estado da técnica não existia um equipamento automático de solda utilizando a técnica do ar quente que fosse leve, robusto, de fácil operação, transporte e que pudesse ser utilizado para realizar a soldagem de chapas de materiais termoplásticos para aplicações em ensaios, pesquisa ou o uso didático.

4.6.2 Os Objetivos do Projeto:

Este projeto tinha o objetivo principal de prover um equipamento automático de bancada, de fácil operação, oferecendo clara visualização da sua estrutura e funcionamento.

Deveria também ser completamente programável, de modo a controlar todos os parâmetros do processo de soldagem pelo método do ar quente, com a inserção automática do material de adição, para realizar a solda de componentes na forma de chapas constituídas de materiais termoplásticos para uso em ensaios. Uma vez determinados os parâmetros ótimos para soldagem de um material específico, estes parâmetros poderiam ser posteriormente utilizados em equipamentos de soldagem automáticos ou semiautomáticos para a fabricação de produtos utilizando o material aprovado nos ensaios.

Este equipamento também tinha como objetivos a sua utilização na área de pesquisa e finalidades didáticas, no ensino de técnicas de soldagem e no ensino dos princípios de funcionamento e de técnicas de projeto de equipamentos automáticos.

4.6.3 A Especificação do Equipamento:

As especificações para este projeto foram construídas por meio de entrevistas com o Prof. Dr. Alberto Borges Vieira Jr. que é pesquisador na área de soldagem e que se utilizou de sua experiência e das necessidades da empresa *Ativo Engenharia* para definir os parâmetros que foram utilizados como requisitos de projeto.

Já havia sido desenvolvido anteriormente, um equipamento na forma de uma mesa linear com a finalidade de obter o controle de velocidade da soldagem executada manualmente por um operador. O *hardware* mecânico mostrado na Fig. 4.16 era controlado por um computador pessoal por meio da sua interface paralela, e oferecia um suporte mecânico para o posicionamento e fixação de placas de material polimérico com até 6mm de espessura e com um tamanho máximo de 300mm de comprimento por 150mm de largura.

Embora a velocidade de desolcamento da mesa pudesse ser controlada com bastante precisão, o posicionamento manual da ferramenta de soldagem por ar quente era instável e não repetitivo. O motor de passo instalado nesta versão possuía torque suficiente para a utilização de fios de solda de até 1/8 de diâmetro que foi o requisito inicial deste projeto. Porém à medida que o projeto evoluiu, fios de solda com maior diâmetro se tornaram necessários e o torque do motor se mostrou insuficiente.

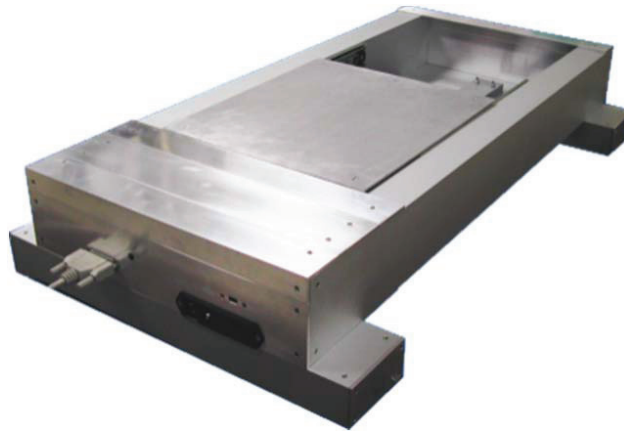


Figura 4.16 – Estrutura mecânica já desenvolvida

O novo equipamento deveria ser completamente programável de modo a controlar todos os parâmetros do processo de soldagem pelo método do ar quente. Como a ferramenta utilizada, fazia uso de vários bocais diferentes para saída do ar quente e para a entrada da vareta de solda, e cada um destes bocais possuía uma inclinação diferente adequada ao tipo de material a ser soldado. Seria necessário também ter um suporte mecânico que pudesse oferecer a possibilidade de ajustar a inclinação da ferramenta em relação ao plano de soldagem para o uso adequado de cada bocal. O novo equipamento deveria contemplar também um mecanismo automático para inserção da vareta de solda.

O sistema de acionamento instalado no projeto anterior não era adequado para trabalhar com todos os diâmetros de vareta de solda, portanto, deveria ser substituído por um de maior potência. E o sistema de controle por meio de computador pessoal se tornou inadequado no novo ambiente onde o equipamento estava sendo usado. Era necessário um sistema de controle menor e embutido no próprio equipamento. O novo sistema deveria então contemplar as seguintes alterações ou inclusões:

- i. Substituição do motor de acionamento por um de maior potência;
- ii. Um sistema de controle embarcado com interface USB para atualização de *firmware*;
- iii. Operação da máquina por meio de uma interface homem-máquina;
- iv. Um suporte ajustável para uma ferramenta comercial de ar quente;
- v. Desenvolvimento de um sistema de inserção automática da vareta de solda.

4.6.4 O Projeto

Nesta seção serão descritos os passos necessários para a realização do projeto. A partir do estudo dos requisitos iniciais o projeto foi dividido em três partes:

- i. Desenvolvimento do *hardware* mecânico;
- ii. Desenvolvimento do *hardware* eletrônico;
- iii. Desenvolvimento do *software* de controle.

4.6.4.1 Busca no Estado da Técnica

A primeira etapa do projeto consistiu em uma busca no Estado da Técnica para verificar as tecnologias já desenvolvidas nesta área. Foram encontrados vários fabricantes de ferramentas manuais e semiautomáticas de solda por ar quente. Também foram encontradas várias referências ao princípio utilizado na soldagem, aplicado a uma série de problemas específicos. Não foram encontradas referências diretas ao suporte que iria ser desenvolvido, nem ao conjunto formado pelo suporte e pela mesa de acionamento linear. Foram encontradas algumas patentes que ofereceram várias informações sobre mecanismos e técnicas utilizadas para a execução deste tipo de solda.

4.6.4.2 Napkin Sketches

A segunda etapa envolveu a concepção da estrutura do produto a partir das especificações, com a criação de alternativas utilizando *napkin sketches*. Infelizmente não foi possível a utilização de modelagem 3D durante o projeto. Os modelos 3D mostrados aqui foram criados *a posteriori* pelo estudante André Felipe Souza Batista do 5º semestre do curso de Engenharia Mecânica da UFBA. A Fig. 4.17 mostra alguns conceitos na forma de *sketches* para o suporte da ferramenta de ar quente. O primeiro *sketch* foi feito a mão livre e o segundo usando um software de desenho simples.

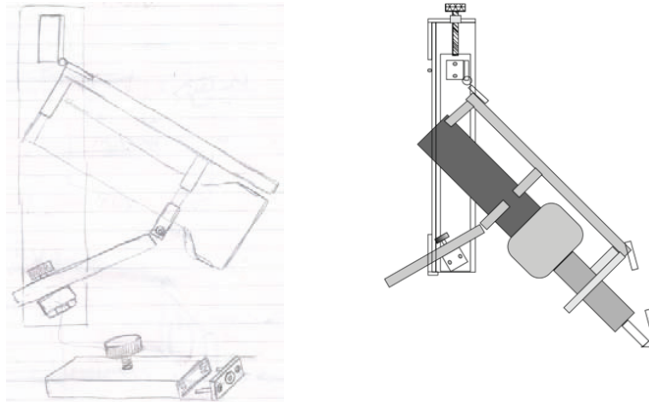


Figura 4.17 – *Sketches* do suporte da ferramenta

4.6.4.3 Desenvolvimento do Hardware Mecânico

O novo equipamento utilizou como base o mecanismo da mesa linear já desenvolvido que é composto por uma estrutura mecânica horizontal onde são montados dois guias lineares que são iguais e paralelos entre si. Mostrados na parte inferior da Fig.4.18.

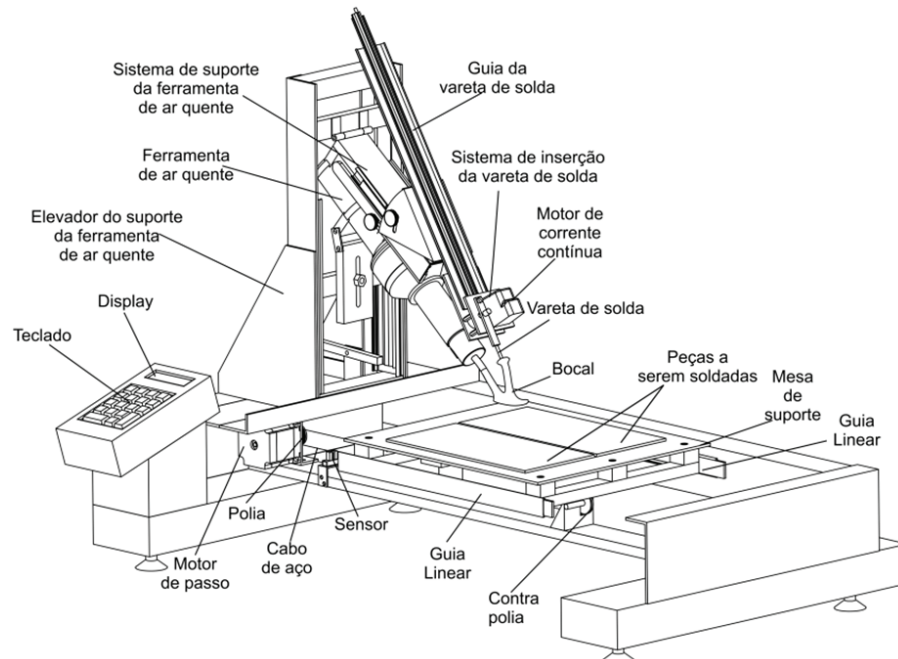


Figura 4.18 – Desenho esquemático da máquina de solda por ar quente

As partes fixas dos guias lineares são presas em lados opostos internos da estrutura horizontal por meios adequados. As partes móveis dos guias lineares são fixadas em lados opostos de um suporte em forma de mesa. Este arranjo visa permitir o deslizamento deste suporte ao longo da direção horizontal. Sobre a superfície do suporte podem ser fixados os componentes a serem soldados por meio de uma fita adesiva especial. Um motor de passo é montado na estrutura horizontal e utiliza um sistema de polias e cabos para movimentar o suporte de fixação.

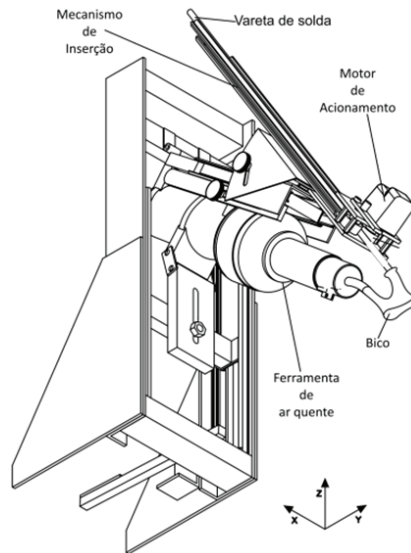


Figura 4.19 – Detalhe do suporte para a ferramenta de ar quente visto por baixo

O sistema que foi desenvolvido nesta fase do projeto é mostrado na Fig.4.19. É composto por um mecanismo elevador, que por sua vez consiste em uma estrutura fixa e uma estrutura móvel em forma de moldura. A estrutura móvel repousa apoiada na extremidade de uma alavanca de elevação que é fixada na base do mecanismo elevador. Na estrutura móvel do mecanismo elevador é montado um suporte para uma ferramenta de ar quente. Na saída da ferramenta de ar quente existe uma terminação onde é encaixado um bocal. A ferramenta de ar quente pode ser movida em relação à estrutura móvel por meio de um sistema de ajuste de inclinação, de modo a permitir um ajuste do ângulo que o bocal faz com relação aos componentes a serem soldados.

Na parte superior do corpo da ferramenta de ar quente, é instalado um sistema de inserção para a vareta de solda que consiste em um guia de inserção que é suportado por um mecanismo de avanço, um mecanismo de ajuste angular e um sistema de tração.

O guia de inserção consiste em um dispositivo que permite acomodar uma vareta de solda ao longo do seu comprimento. Para cada diâmetro de vareta de solda deve ser instalado um guia compatível. Estes guias são em forma de régua e são instalados facilmente em um suporte adequado para esta finalidade. O mecanismo de avanço permite mover o sistema de inserção para frente ou para trás, com relação ao bocal da ferramenta, de modo a permitir que a extremidade inferior da vareta de solda coincida com o segundo orifício do bocal.

O mecanismo de ajuste angular visa permitir o ajuste do ângulo que o guia de inserção faz em relação ao segundo orifício do bocal da ferramenta, de modo a permitir que a extremidade inferior da vareta de solda possa ser inserida corretamente através deste orifício. O mecanismo de tração é composto por um motor de tração de corrente contínua com uma redução mecânica interna. No eixo do motor de tração é instalada uma polia de tração com uma superfície rugosa. Do lado oposto à polia de tração, é instalada uma polia de oposição montada em uma alavanca, uma mola mantém a polia de oposição pressionada contra a polia de tração. A vareta de solda é posicionada entre a polia de tração e a polia de oposição.

4.6.4.4 Desenvolvimento do Hardware Eletrônico

Este projeto foi realizado com o estudante do 10º semestre do curso de Engenharia Elétrica Filipe Rios que já havia participado do projeto anterior, onde pode desenvolver várias competências. Este projeto iria servir como uma consolidação dos conhecimentos já adquiridos e para avaliar a sua capacidade de enfrentar um novo problema de modo mais autônomo. O estudante foi o corresponsável pelo projeto de confecção do computador embarcado e o responsável pelo desenvolvimento do *firmware* de controle e testes. Coube ao autor desta tese a orientação do estudante na forma de *mentoring/coaching* e a execução do projeto conceitual e mecânico. O desenvolvimento do *hardware* deveria contemplar as seguintes etapas:

- i. Substituição do motor de acionamento por um de maior potencia;
- ii. Desenvolvimento de um sistema de controle embarcado com interface USB para atualização de *firmware*;
- iii. Criação de uma interface homem-máquina.

O motor de passo era do tipo NEMA 23 e foi substituído por outro motor equivalente com o dobro do torque. Como acionador foi utilizado uma placa *driver* do tipo *chopper* já desenvolvida no laboratório anteriormente em outro projeto. O sistema de controle embarcado deveria ter as seguintes características:

- i. Interface USB para atualização de *firmware*;
- ii. Interface homem-máquina por meio de um *display* de LCD de duas linhas x 16 caracteres e teclado de 15 teclas;
- iii. Saída para placa controladora de motor de passo;
- iv. Sinalizador sonoro para confirmação dos comandos;
- v. Entrada para dois sensores, um do tipo chave óptica para o posicionamento inicial da mesa de fixação das amostras e outro do tipo *microswitch*, para evitar danos ao sistema mecânico no caso de deslocamento ser maior que o permitido

A partir da especificação dos dispositivos de entrada e saída, bem como número de sensores. O projeto do computador embarcado e a sua programação foram realizadas. Optou-se pelo projeto completo do computador no lugar da compra de um *hardware* disponível no mercado por uma questão didática e minimização do *Efeito Aladim*.

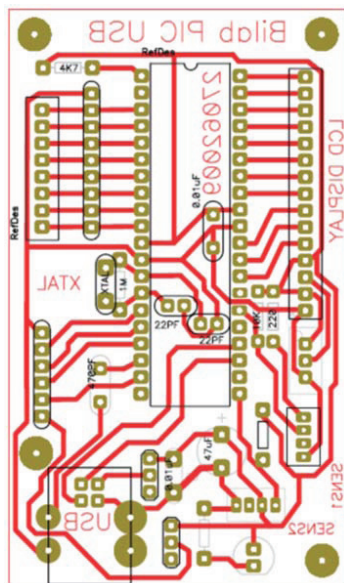
O computador embarcado foi baseado em um micro controlador da linha PIC18F4550 que já possui portas reservadas para comunicação via USB. O *firmware* foi escrito na linguagem C. A função deste programa era: i) ler os dados inseridos por meio de um teclado; ii) armazenar estes dados em uma memória; iii) realizar a comunicação com o usuário por meio de um *display* de cristal líquido, para que fosse possível a confirmação ou correção dos dados inseridos; iv) processar os dados inseridos; v) aceitar comandos de

operação; vi) ler os sinais provenientes dos sensores. O sistema possuía também um sinalizador sonoro para confirmação dos dados teclados.

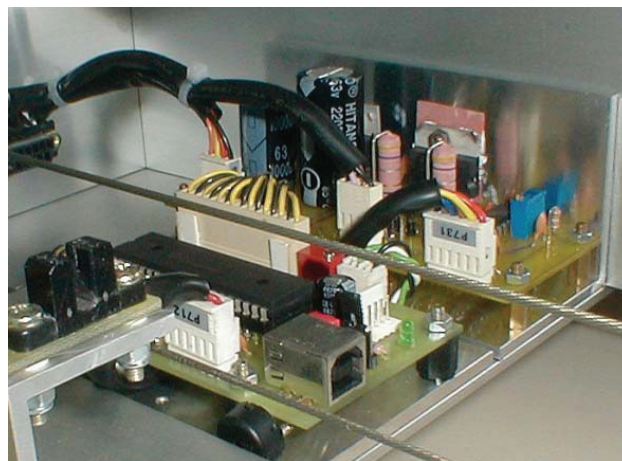
O controlador do motor de acionamento faz a interface entre o computador embarcado e o motor de acionamento que por sua vez aciona o suporte de fixação. O motor de tração da vareta de solda é controlado por uma fonte de alimentação externa.

A ferramenta de ar quente possui um controlador de temperatura interno para manter a sua temperatura de operação dentro de uma faixa especificada pelo usuário.

A tarefa do estudante envolveu o entendimento da operação do sistema e a criação de diagrama de blocos e dos fluxogramas de operação. Posteriormente foi realizado o *layout* de uma placa de circuito impresso de duas camadas. A Fig.4.20a mostra o *layout* da placa de circuito impresso do computador embarcado, a Fig.4.20b mostra a placa finalizada montada dentro do equipamento (em segundo plano). A placa controladora de motor de passo já havia sido desenvolvida em outro projeto e estava na biblioteca de *hardware* (em terceiro plano). Em primeiro plano, aparece o sensor do tipo chave óptica utilizado para a inicialização do sistema.



a



b

Figura 4.20 – *Layout* da placa do computador embarcado e a placa finalizada

A placa de circuito impresso possui duas camadas e foi projetada pelo autor da tese e pelo estudante de engenharia utilizando um programa para desenho de circuitos impressos desenvolvido pelo Eng. MSc. Paulo Libonati.

A confecção da placa foi realizada utilizando um equipamento de prototipagem rápida desenvolvido pelo autor desta tese, pelo Bel. em matemática, programador e desenvolvedor de sistemas, Daniel Roseno da Silveira e pelo Eng. MSc. Paulo Libonati.

4.6.4.5 Equipamento Completo

A Fig. 4.21 mostra o equipamento completo na sua versão final. Do lado esquerdo da imagem pode se ver a interface homem-máquina em primeiro plano. O sistema de posicionamento da ferramenta de ar quente está em segundo plano. A ferramenta de ar quente é um produto comercial da marca *Leister* Modelo TRIAC PID e possui controlador de temperatura embutido.

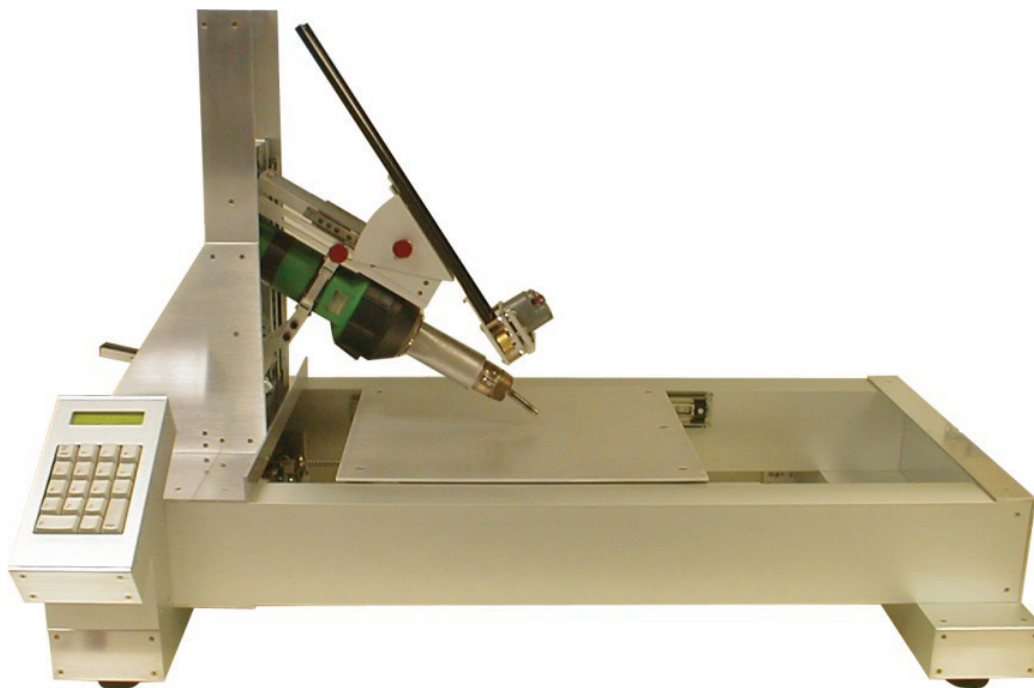


Figura 4.21 – Equipamento de solda por ar quente na sua versão final

4.7 Spin offs

Além do projeto do computador embarcado e do desenvolvimento do *firmware*, o estudante desenvolveu em paralelo algumas ferramentas de *hardware* a partir de demandas deste projeto e de outros que aconteceram concomitantemente, são elas:

- i. Placa de desenvolvimento para micro-controladores da linha PIC que possuem interface USB, para encaixe em matriz de contatos;
- ii. Micro controlador DSPIC montado para inserção em matriz de contatos.

4.8 Gerenciamento de Falhas

Nos dois projetos descritos tanto para o projeto do *hardware* mecânico quanto do eletrônico, foram propostas e implementadas algumas soluções que foram adotadas e outras que se mostraram inadequadas. As soluções que se mostraram inadequadas abriram a possibilidade de discussão sobre a importância da convivência com os erros e falhas durante o processo criativo. Foi visto claramente pelos estudantes como estes eventos considerados negativos são os passos intermediários para se chegar a uma solução. Os erros desempenham o papel de uma ponte, sem a qual não seria possível chegar à solução considerada adequada. Ficou claro por meio de experiências reais que é preciso ficar atento não apenas ao projeto em si, mas também às oportunidades que surgem ao longo da sua realização. Os problemas surgidos ao longo dos projetos motivaram os estudantes a criarem soluções que acabaram se transformando em novas ferramentas.

4.9 Alinhamento com as Diretrizes do MEC CNE/CES 11

Conforme mencionado no capítulo 3, o Laboratório Paradidático procurou se adequar às Diretrizes Curriculares do MEC CNE/CES 11 [61], contribuindo para complementar a educação dos estudantes atuando nos nove itens da lista que impactam mais diretamente no desenvolvimento das competências e habilidades necessárias para a realização da síntese original com foco na inovação.

- i. Aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia;

- ii. Projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados;
- iii. Conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos;
- iv. Identificar, formular e resolver problemas de engenharia;
- v. Desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas;
- vi. Comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica;
- vii. Atuar em equipes multidisciplinares;
- viii. Compreender e aplicar a ética e responsabilidade profissionais;
- ix. Assumir a postura de permanente busca de atualização profissional.

Nos dois projetos descritos aqui, apenas o critério de número IX - atuar em equipes multidisciplinares e o critério de número X - compreender e aplicar a ética e responsabilidade profissionais, não são citados explicitamente na descrição dos projetos. O critério de número IX foi satisfeito com a interação entre os estudantes e os tutores de outras áreas, como computação. O critério de número X foi satisfeito ao longo de todo o projeto por meio das posturas profissionais do Mentor/*Coach* e dos Tutores.

4.10 Prêmios

Nem todos os projetos realizados no Laboratório Paradidático foram de demandas externas. Também foram realizados alguns projetos internos que visavam desenvolver nos estudantes o aprendizado de temas específicos como: i) prototipagem rápida; ii) utilização de *storyboards*; iii) técnicas de manufatura em grande escala; iv) apresentação de projetos a prováveis financiadores. Escolhemos aqui alguns projetos que além do aprendizado trouxeram aos estudantes premiações e algumas oportunidades de exposição a avaliações externas.

4.10.1 1º Concurso de Ideias Inovadoras da FAPESB

O estudante Bruno Cavalcanti do 2º semestre do curso de Engenharia Mecatrônica foi inscrito como *Inventor Livre* no 1º Concurso de Ideias Inovadoras da FAPESB, Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia realizado em 2008, tendo competido

com dois projetos na forma de protótipos. Bruno foi preparado para apresentação de projetos e foi inscrito na categoria *Inventor Livre* como uma forma de desafio. Bruno foi submetido a arguições por duas bancas diferentes e foi classificado até a fase final com os dois projetos. Foi premiado em 3º lugar com o projeto *Suporte-Balança para botijões de GLP*, sendo que as duas primeiras colocações foram para dois *Professores* Doutores, Fig.4.22. Bruno utilizou os serviços de um consultor para criar o *Storyboard* utilizado em um de seus projetos, Fig.4.23.



Figura 4.22 – Bruno Cavalcanti recebendo a premiação da Diretora da Fapesb em 2008



Figura 4.23 – *Storyboard* de um dos projetos de Bruno Cavalcanti para o CII 2008

4.10.2 2º Concurso de Ideias Inovadoras da FAPESB

O estudante Filipe Rios no 8º semestre do curso de Engenharia Elétrica foi inscrito na modalidade graduandos no 2º Concurso de Ideias Inovadoras da FAPESB, Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia, realizado em 2009, tendo competido com o projeto *Sistema de Monitoramento Cardíaco com Aviso de Emergência por SMS*, Fig.4.23. Filipe Rios ficou com a terceira colocação tendo sido o único candidato a não apresentar um protótipo, mas apenas um plano de negócios e de fabricação do produto em grande escala. Embora um dos componentes da banca que avaliou Filipe, não concordasse com a utilização do método de fabricação proposto por questões ideológicas, aprovou a apresentação pelo fato do candidato demonstrar domínio do conteúdo durante a apresentação.



Figura 4.24 – Filipe Rios e o autor da tese recebendo a premiação no CII 2009

4.10.3 Concurso I2P Latin America 2010 na FGV em São Paulo

O estudante Bruno Cavalcanti no 6º semestre do curso de Engenharia Mecatrônica foi premiado com a sua equipe em 1º lugar em sua chave (Boticário), Fig.4.24. E em 2º lugar na fase final com o projeto *Impressora Braille de Baixo Custo*, este projeto foi

completamente idealizado e implementado por Bruno e sua equipe. Neste concurso o autor desta tese atuou como Mentor/*Coach* convidado, atuando nas reestruturações do plano de negócio durante o concurso. O primeiro lugar do concurso ficou com uma equipe de mestres e graduados com um projeto na área de petróleo financiado pela FINEP.



Figura 4.25 – Bruno Cavalcanti, sua equipe³ e o autor da tese na premiação do I2P 2010

4.11 Conclusão

Neste capítulo foram descritos dois projetos que foram executados pelo autor desta tese acompanhados por alguns estudantes de Engenharia Elétrica em um processo contínuo de *mentoring/coaching*. Esta colaboração visou transmitir os conhecimentos profissionais tácitos do Mentor/*Coach* aos estudantes. Os conhecimentos técnicos necessários à execução dos projetos foram complementados por estudos dirigidos e fornecidos sob demanda, por tutores voluntários em suas respectivas áreas de atuação didática. Os projetos foram divididos em blocos gerenciáveis que iam se complementando ao longo do tempo e formando sistemas mais complexos. As rotinas de *software* e os blocos de *hardware* desenvolvidos foram armazenados em um repositório de modo que pudessem vir a compor uma biblioteca de soluções para futuros projetos. Os estudantes também foram estimulados

³ A Equipe era composta por Bruno Cavalcanti, Daniel Veiga e Lucas Costa.

a estabelecer *diálogos reflexivos com situações problemáticas*, construir problemas a partir das informações obtidas e resolvê-los [38].

O processo de convivência pacífica com os erros e falhas inerentes ao processo de inovação, se materializou na criação de soluções que não apenas resolveram os problemas originais, mas se tornaram ferramentas que tiveram uso imediato no segundo projeto descrito. De modo já inconsciente, os estudantes utilizavam os conhecimentos técnicos e de uso de ferramentas que estavam obtendo ainda no caminho, para resolver os problemas que surgiam ao longo do projeto em um processo de coautoria da própria competência.

Também foram descritos nestes capítulos alguns projetos que participaram de competições de inovação e empreendedorismo. Vemos nestas competições uma oportunidade para que os estudantes aprendam a apresentar seus projetos a potenciais clientes ou investidores, colocando na prática as suas habilidades de comunicação e a capacidade de argumentação, utilizando os conhecimentos já adquiridos.

Capítulo 5

Adaptação da Metodologia para a Sala de Aula

5.1 Introdução

Depois de seis anos trabalhando ao lado dos estudantes em projetos práticos, ficou claro que, mesmo não sendo o foro ideal, deveríamos encontrar um modo de adaptar a experiência acumulada no Laboratório Paradidático para ser usada em sala de aula.

A metodologia proposta para ser usada na sala de aula ganhou a forma de um seminário, onde o fluxograma descrito no Capítulo 3 e mostrado na Fig. 3.8 foi utilizado em conjunto com a descrição de um projeto do tipo aberto, escolhido especialmente para servir de exemplo de desenvolvimento de um novo produto.

O seminário descreve os passos necessários à implementação deste projeto exemplo: i) coleta de informações; ii) contratação de consultoria; iii) realização de busca no estado da técnica iv) *brainstorming* com geração de ideias; v) criação de propostas por meio de *napkin sketches/storyboards*/diagramas de blocos; vi) criação de modelos virtuais 3D; vii) modelagem de sistemas e simulação viii) criação de provas de conceito ou protótipos reais de *hardware* e *software*; ix) uso de prototipagem rápida de *hardware* e *software*; x) multidisciplinaridade. O projeto exemplo é completamente funcional e embute os conceitos listados acima. O seminário inclui uma demonstração do produto no seu encerramento.

O seminário também enfatiza a atitude mental que o profissional deve ter ao longo do desenvolvimento de um novo produto, uma atitude positiva na direção da solução dos problemas e falhas temporárias que acontecem durante o processo criativo. São mostradas e discutidas versões e conceitos que não deram certo e como foram melhorados, bem como os erros que foram cometidos e como foram tratados. Os conceitos que não deram certo e os erros são muito importantes, porque muitas vezes eles são oportunidades de tomar outros caminhos que podem levar a melhores soluções não contempladas previamente, ou a conceitos completamente revolucionários.

O erro é fortemente penalizado no processo educacional convencional e esta penalização cria em consequência uma aversão ao risco [71]. Não existe inovação sem risco, inovar pressupõe correr riscos, portanto é preciso reverter este processo de penalização e o seminário chama a atenção para este grave problema.

Os objetivos finais do seminário são:

- i. Demonstrar o uso do fluxograma guia que descreve quais os principais passos e em que sequencia devem ser realizados para a solução de um problema em engenharia;
- ii. Capacitar os estudantes a terem uma imagem muito clara de um produto como um sistema, composto de partes integradas de uma maneira harmônica como em um quebra cabeças dinâmico;
- iii. Preparar os estudantes para enfrentar um problema do tipo aberto;
- iv. Mostrar claramente o que um engenheiro faz, e como é feito.

5.2 Emprego da Metodologia em Sala de Aula

O Laboratório Integrado VII, (componente Curricular: ENGC55 do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Bahia), é uma disciplina que existe desde 2009 e é implementado no modelo de *Laboratório Livre*, acontece normalmente com os alunos do 8º semestre. O seu objetivo é ambientar os estudantes a uma situação profissional de como lidar com um problema do tipo aberto. Os estudantes, agrupados em equipes, são solicitados a escolherem um tema de projeto ou serviço na área de engenharia. Após a escolha do tema, eles devem confeccionar e entregar uma proposta contendo um cronograma de execução com as metas parciais e a meta final. Avaliações preliminares são realizadas a cada quinze dias após a entrega da proposta de projeto, e os estudantes devem utilizar este tempo para apresentar resultados parciais ou solicitar orientação.

Ao final do projeto, os estudantes devem realizar uma apresentação do produto ou serviço, e entregar um documento no formato de um projeto para captação de recursos de um órgão de fomento ou de um investidor, ou ainda na forma de um relatório técnico para um cliente.

5.2.1 Objetivos da Disciplina ENGC55, Laboratório Integrado VII

- i. Desenvolver projetos multidisciplinares;
- ii. Aliar teoria à prática;
- iii. Estimular os estudantes a desenvolverem projetos utilizando conhecimentos adquiridos nas disciplinas já cursadas;
- iv. Estimular a busca de novos conhecimentos por meio da pesquisa para a resolução de problemas.

O ambiente da disciplina Laboratório Integrado VII era perfeitamente adequado para a validação da utilização do fluxograma guia. A proposta de projeto é resolver um problema com um tema livre a ser escolhido pelos estudantes que, não haviam recebido nenhum treinamento anterior em como criar um novo produto ou serviço, dispunham de um tempo determinado para entrega dos resultados do projeto e não receberiam orientação continua. Os estudantes então enfrentariam um problema do tipo aberto, sem terem tido um treinamento específico para tanto.

Por meio de um processo voluntário e informal, o Prof. Dr. Jês de Jesus Fiais Cerqueira, que é Co-orientador desta tese e tem sido o responsável pela disciplina Laboratório Integrado VII desde a sua criação, permitiu que os seminários fossem realizados no início dos semestres letivos para turmas de Engenharia Elétrica. Como forma de avaliação, ao final dos seminários, os estudantes preenchiam um questionário contendo sete questões utilizando uma Escala *Likert* [80]. Ao final do semestre, durante a apresentação dos trabalhos realizados, um segundo questionário era preenchido com as mesmas questões e a mesma escala. O objetivo dos questionários era mensurar a mudança entre o entendimento do processo de projeto durante o seminário e a absorção, validação e consolidação deste processo durante o semestre, ao longo do desenvolvimento dos projetos. A apresentação final dos projetos e o conteúdo dos relatórios finais também foram parâmetros fundamentais para a validação da metodologia.

5.3 Estudo de Caso: Desenvolvimento de um Projeto Exemplo usando a metodologia proposta, na disciplina ENGC55, Laboratório Integrado VII

Para os seminários em sala de aula foi escolhido um projeto que fosse um problema do tipo aberto, atraente e que ao mesmo tempo englobasse a maior parte dos conceitos presentes no fluxograma proposto.

O projeto escolhido foi o de um instrumento musical robotizado que pudesse ser utilizado em demonstrações para Popularização da Ciência. Como instrumento a ser automatizado, foi escolhido um de construção simples e ao mesmo tempo bem conhecido, o *berimbau* [81], de modo que os estudantes pudessem entender rapidamente o seu funcionamento e concentrar a atenção no processo de fazê-lo tocar de modo autônomo.

A partir do objetivo de se criar um Instrumento Musical Robotizado batizado de *Berimbot*, os passos necessários para a concretização do projeto são explicados, iniciando com o entendimento do problema a ser resolvido e depois com a descrição das técnicas utilizadas na sua solução.

5.3.1 Coleta de Informações Sobre o Instrumento Musical

Nesta seção descrevemos a coleta das informações necessárias ao entendimento do funcionamento do instrumento musical a ser automatizado. Os elementos que compõem o instrumento e como eles são utilizados, o modo como o instrumento é tocado e os sons emitidos por ele, e finalmente o processo de notação musical.

5.3.1.1 O Instrumento Musical

Um berimbau convencional mostrado na Fig.5.1 é composto basicamente de um arco, feito de uma madeira chamada *biriba*, com cerca de 1.20m a 1.50m de comprimento, um fio de aço esticado e preso entre as extremidades do arco e uma cabaça, presa na parte inferior do arco por um laço de barbante.

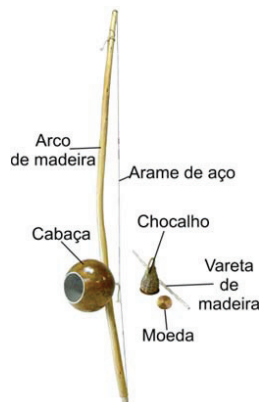


Figura 5.1 – Um Berimbau convencional e os seus componentes

A cabaça possui uma abertura do lado oposto ao arco e atua como um ressonador. Para tocar o instrumento são utilizados: i) um pequeno chocalho chamado *caxixi*, contendo conchas ou sementes em seu interior; ii) uma vareta, (também chamada de baqueta) normalmente feita do mesmo material do arco; iii) uma pequena pedra achatada ou uma moeda.

Para fazer o instrumento tocar de modo autônomo, é necessário saber como o instrumento é tocado normalmente, e como introduzir, armazenar, recuperar, ler e interpretar a informação musical necessária à realização dos movimentos dos diversos elementos que produzem os sons. Estes são conhecimentos especializados, portanto, ficou claro que seria necessário convidar pessoas com estes conhecimentos para fornecer as informações necessárias.

5.3.1.2 Os Consultores

Foi verificada a necessidade de conhecimento especializado, por isso, foram convidados como consultores, um mestre de capoeira para demonstrar como o instrumento é tocado, e um músico profissional para ensinar como a informação musical é normalmente codificada.

5.3.1.3 Como o Instrumento é Tocado

O Prof. Luiz Cláudio Santana Professor de Educação Física e Mestre de capoeira, forneceu as informações necessárias ao toque do instrumento e descreveu o formato da música que ele toca. A Fig. 5.2a abaixo mostra o modo de segurar o instrumento durante seu toque.

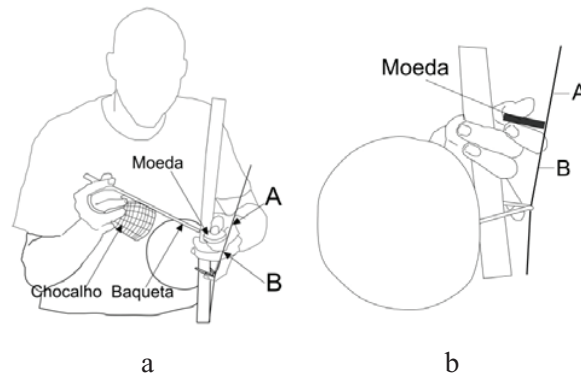


Figura 5.2 – Como segurar o instrumento (a) pontos de percussão no fio de aço (b)

Para tocar o instrumento, o músico o segura com uma das mãos, envolvendo o arco de madeira com o dedo médio e o anular, e colocando o dedo mindinho abaixo do laço de barbante que prende a cabaça ao arco de madeira.

Uma pequena pedra ou moeda é segura entre o dedo indicador e polegar da mesma mão que mantém o instrumento em sua posição de toque. Na mão oposta, o músico segura a vareta de madeira e o pequeno chocalho. Para produzir os sons, o músico percute o arame de aço com a vareta de madeira. O chocalho acompanha o movimento da vareta de madeira, ou pode ser tocado separadamente, apenas sacudindo a mão. A Fig. 5.2b mostra os pontos de percussão no fio de aço em relação à posição da moeda.

A moeda pode ser movida para frente ou para trás em relação ao fio de aço e é usada de três maneiras: i) afastada do fio de aço, de modo que ele pode vibrar livremente ao longo de todo o seu comprimento; ii) pressionando o fio de aço, de modo que o comprimento do fio que pode vibrar diminui, e portanto a altura do som produzido pelo berimbau aumenta; iii) levemente encostada no fio de aço para amortecer as suas vibrações criando um som em forma de chiado.

O músico pode alterar o som emitido pela cabaça de duas maneiras: i) fechando a sua abertura com o abdômen para reforçar os sons graves [82]; ii) movendo a abertura da cabaça para frente ou para trás em relação ao seu abdômen, para produzir um efeito sonoro

do tipo *wah-wah*⁴. Estes movimentos são realizados pelo músico movendo todo o berimbau para frente ou para trás em relação ao seu corpo.

5.3.1.3.1 Notas Básicas Produzidas por um Berimbau

Existem três notas básicas produzidas por um berimbau:

- i. Nota baixa - Para tocar esta nota, o músico segura a moeda afastada do fio de aço, utilizando a vareta de madeira para percutir o fio em um ponto abaixo da posição onde a moeda normalmente entra em contato com ele, Fig. 5.2b(B). A cabaça é mantida afastada do abdômen durante a execução desta nota;
- ii. Nota alta - Para tocar esta nota, o músico segura a moeda pressionada contra o fio de aço, utilizando a vareta de madeira para percutir o fio em um ponto acima da posição onde a moeda normalmente entra em contato com ele, Fig. 5.2b(A). A cabaça é mantida afastada do abdômen durante a execução desta nota;
- iii. Nota Zumbido - Para tocar esta nota, o músico segura a moeda levemente encostada no fio de aço, utilizando a vareta de madeira para percutir o fio em um ponto acima da posição onde a moeda normalmente entra em contato com ele, Fig.5.2b(A). A moeda é utilizada neste caso para amortecer a vibração do fio de aço, gerando um ruído em forma de chiado. Ao tocar esta nota, a cabaça é mantida pressionada contra o abdômen, tendo a sua abertura coberta e deste modo reforçando os sons mais graves [82].

5.3.2 Como Funciona a Notação Musical

Para entender o processo de codificação musical convidamos como consultor o músico e produtor musical Ivan Huol, que nos explicou como a música é codificada em uma partitura, o modo como notas musicais são escritas como símbolos, em uma sequência sobre algumas linhas. A notação musical tradicional visa especificar duas das características mais importantes da música, a nota a ser tocada e a sua duração.

⁴ Wah-wah é uma onomatopéia que diz respeito a um efeito aplicado ao som de um instrumento musical por meio de um pedal eletrônico ou das mãos no caso de um instrumento de boca como uma gaita. No caso do berimbau, é obtido aproximando-se ou afastando-se a abertura da cabaça do abdômen. Wikipedia, disponível em: [http://en.wikipedia.org/wiki/Wah-wah_\(music\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Wah-wah_(music)), em 14/03/2014 às 10:48



Figura 5.3 – Símbolos utilizados na linguagem musical

O sistema de notação musical moderno utiliza alguns símbolos, como mostrados na Fig.5.3, escritos sobre um Pentagrama mostrado na Fig.5.4, que é uma pauta de cinco linhas paralelas que guardam quatro espaços iguais entre si. Os símbolos musicais podem ser escritos sobre as linhas ou no espaço entre elas [83].

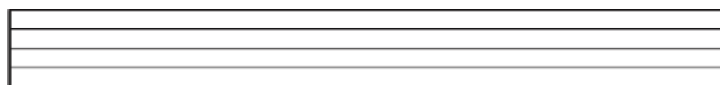


Figura 5.4 – O pentagrama, cinco linhas paralelas guardando quatro espaços entre si

Os símbolos escritos no pentagrama fornecem informação sobre as notas a serem tocadas, bem como das pausas entre estas notas como mostrados na Fig.5.5.



Figura 5.5 – Posicionamento das notas no pentagrama

O elemento base do sistema musical é a nota, representando um único som com suas características, altura e duração.



Figura 5.6 – Símbolos musicais usados para representar a pausa

A componente temporal da nota, a duração do som, é quem determina o ritmo da música, o quão lenta ou rápida ela será. O silêncio entre notas é chamado de pausa, a Fig.5.6 mostra alguns dos símbolos usados para representá-la. No berimbau a componente

temporal das notas não pode ser controlada, de modo que a duração do som emitido em cada nota é dada pelo seu próprio amortecimento no tempo, ou sua terminação brusca pela execução de outra nota em seguida.

5.3.3 O Projeto do Instrumento Musical Robotizado

Nesta seção são apresentadas as etapas necessárias ao projeto do Instrumento musical Robotizado.

5.3.3.1 Busca no Estado da Técnica

O projeto é iniciado com uma busca no Estado da Técnica que visou coletar informações sobre projetos correlatos, trabalhos publicados e patentes que tratam do tema instrumentos musicais robotizados. A busca foi realizada no *Google*, *Google Scholar* e nos Bancos de Patentes do INPI no Brasil e do USPTO nos EUA.

Foram encontrados na busca vários equipamentos musicais robotizados, como guitarras, saxofones, tambores e até gaitas de fole. Durante esta busca não foi encontrada nenhuma referência sobre a automação do instrumento tema deste projeto.

5.3.3.2 Os Requisitos do Sistema

A partir dos resultados da análise de documentos de patente e de outras informações sobre projetos correlatos fica claro que para se automatizar um instrumento musical são necessários:

- i. Meios para realizar os movimentos de cada um dos elementos necessários à geração dos diversos sons;
- ii. Meios para identificar a posição ou estado dos elementos necessários ao toque do instrumento;
- iii. Uma maneira de introduzir, armazenar e recuperar as músicas a serem tocadas pelo instrumento;
- iv. Um sistema de comunicação com o usuário do equipamento.

A busca no Estado da Técnica revelou várias patentes de instrumentos musicais automatizados, onde eram descritos vários tipos de acionadores, sensores e mecanismos

cujos princípios de funcionamento poderiam ser utilizados no projeto do Instrumento Musical Robotizado.

5.3.3.3 Instrumento Musical Robotizado pelo Ponto de Vista do Usuário

Para utilizar o Instrumento Musical Robotizado, o usuário deverá poder inserir uma música já conhecida ou poder compor uma nova em um sistema construído para esta finalidade. Pelo ponto de vista do usuário o sistema deve ter os seguintes requisitos:

- i. O sistema deve ser capaz de interagir com o usuário de modo simples permitindo que ele possa criar ou introduzir músicas para serem tocadas pelo instrumento musical robotizado;
- ii. O sistema deve ser capaz de armazenar e recuperar estas informações introduzidas pelo usuário.

5.3.3.4 Propostas de Solução para o Problema

Uma vez que os requisitos do sistema estejam cada vez mais claros, a próxima fase é a de proposta de soluções.

5.3.3.4.1 Brainstorming

As reuniões de Brainstorming têm a função de gerar a maior quantidade de ideias possível, as ideias não podem ser criticadas, mas podem ser combinadas e melhoradas até que se chegue a algumas soluções práticas. Existem outras técnicas de geração de ideias como *Design Thinking* [84], que também são muito interessantes, mas que não exploramos no seminário. Nestas reuniões foram geradas várias propostas de solução para o problema que serão mostradas a seguir.

5.3.3.4.2 Sketches/Napkin Sketches/ Storyboard

A importância da utilização de *sketches* em projetos é ilustrada no seminário por meio de exemplos. A Fig.5.7 mostra propostas para a automação do sistema. Na Fig.5.7a

pode ser vista a distribuição dos mecanismos ao redor do corpo do instrumento para preservar a sua originalidade e na parte inferior diagramas de blocos mostrando as necessidades de atuadores e sensores para estes diversos mecanismos. Na Fig.5.7b podemos ver um primeiro detalhamento, mostrando elementos já separados com as suas funções determinadas, sistemas de controle, sistemas de comunicação, sistemas de programação, etc.

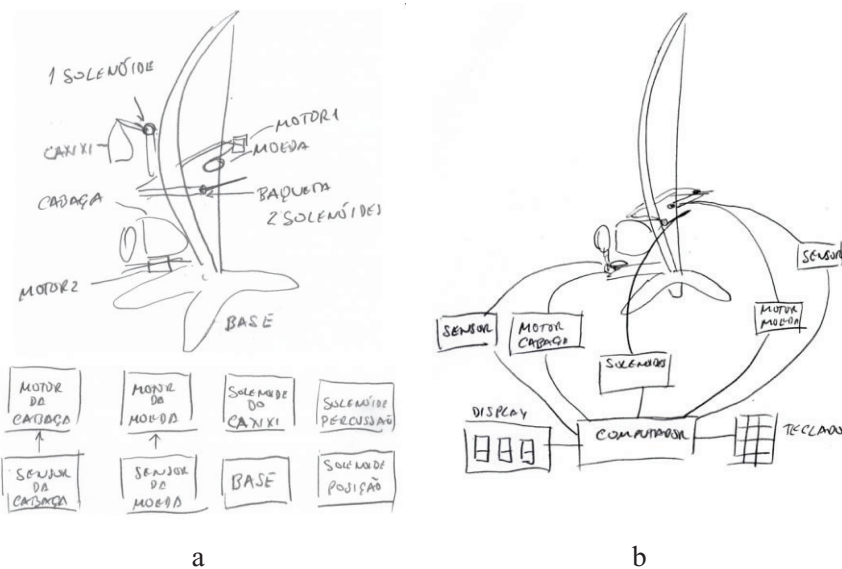


Figura 5.7 – Propostas de arquitetura do sistema

Cada um destes blocos pode ser subdividido de modo recorrente, de modo a iniciar o processo com uma visão panorâmica e ter no final uma visão muito detalhada de cada componente ou função necessária a sua realização. A Fig. 5.8abc mostra alguns conceitos para o posicionamento dos diversos elementos necessários ao toque, bem como a sua fixação ao redor do corpo do instrumento original.

A Fig.5.8a e a Fig.5.8b mostram o mesmo conceito por vistas diferentes. A Fig.5.8c é um conceito mais próximo da versão final. É interessante comparar estas dois conceitos e ver como o último é bem mais *elegante*. Esta é exatamente a função do *sketch*, explorar todas as possibilidades de evolução e simplificação ainda no papel.

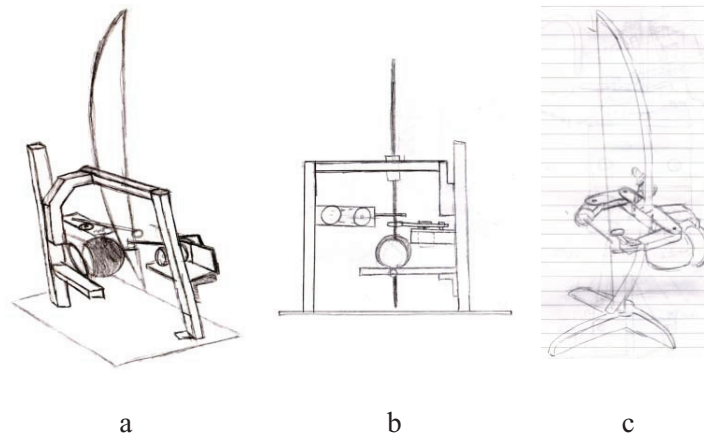


Figura 5.8 – Exemplos de *sketches* de algumas concepções para o instrumento

A Fig.5.9 mostra estudos para a aparência gráfica dos ícones utilizados no desenvolvimento das interfaces gráficas para interação com o usuário para programação do dispositivo.



Figura 5.9 – Exemplos de *sketches* dos ícones para a interface de programação

5.3.3.4.3 Provas de Conceito/Protótipos

Uma vez definidos as melhores soluções para os diversos blocos constituintes do projeto, foi necessário criar Provas de Conceito e depois protótipos destas partes para verificar o seu funcionamento individual e em conjunto. A Fig. 5.10 mostra uma prova de conceito do sistema de acionamento do chocalho que foi construída em 30

minutos. Normalmente a Prova de Conceito transmite a informação de que algo pode ser feito.

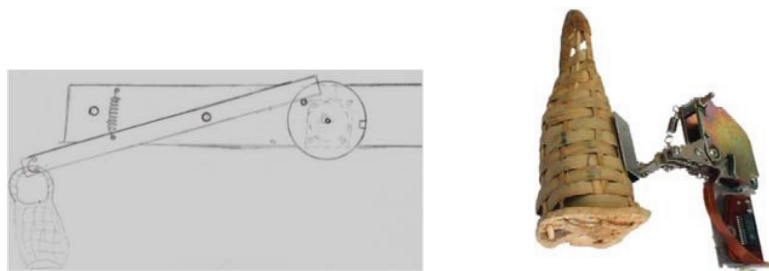


Figura 5.10 – *Napkin Sketch* e Prova de Conceito (POC) do mecanismo do chocalho

Os protótipos podem ser virtuais ou reais. Os protótipos virtuais utilizam programas especiais que simulam a aparência e o comportamento destes materiais ou componentes na tela de um computador. Os protótipos reais são feitos a partir de materiais e componentes reais. A Fig. 5.11 mostra dois protótipos virtuais para o acionador do chocalho com diferentes graus de realismo. O protótipo da Fig.5.11a foi realizado sem muito detalhamento em uma versão estudantil do programa *Solid Works*, já o protótipo virtual da Fig.5.11b foi realizado com maior detalhamento com uma versão estudantil do programa *Autodesk Inventor*.

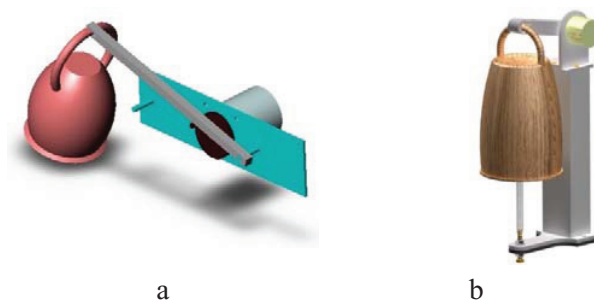


Figura 5.11 – Exemplos de protótipos virtuais com diferentes graus de realismo

Existe atualmente uma infinidade de ferramentas para criar protótipos virtuais de sistemas eletrônicos, mecânicos, computacionais e de interface. É sempre aconselhável que o estudante procure utilizar uma versão estudantil de uma ferramenta profissional para investir melhor o seu tempo de aprendizado.

A criação de modelos virtuais e simulação são importantes para evitar desperdício de material e tempo. Os modelos virtuais e a simulação permitem detectar erros sem a necessidade de construção de partes físicas, após os testes, os protótipos físicos podem ser construídos para a validação [70].

É importante que o estudante possa ter conhecimento da existência destas diversas técnicas e ferramentas para que possa fazer uso de algumas delas durante o desenvolvimento do trabalho no Laboratório Integrado e na sua vida profissional.

No seminário são apresentadas várias imagens de modelo em 3D feitos em CAD de vários componentes do Instrumento Musical Robotizado. Para fins de comparação, são mostrados os *sketches*, os modelos em 3D os protótipos e as versões finais dos dispositivos construídos.

5.3.3.5 Componentes

Uma vez que as funções necessárias ao toque do instrumento são detalhadas nos diagramas de blocos e as suas arquiteturas são desenvolvidas, são necessários componentes para a sua implementação. No seminário são discutidos os critérios de escolha dos componentes usados no projeto. Como exemplos de critérios estão a velocidade de resposta e a precisão no posicionamento dos diversos sistema. O Instrumento Musical Robotizado possui quatro sistemas que acionam os quatro componentes necessários ao toque do instrumento musical. Nem todos necessitam ter a mesma velocidade de resposta ou precisão no posicionamento. É preciso entender portanto, como cada elemento deverá se comportar, para escolher de modo apropriado os atuadores e os sensores quando necessários. A Fig. 5.12 mostra os acionadores e sensores utilizados no projeto.

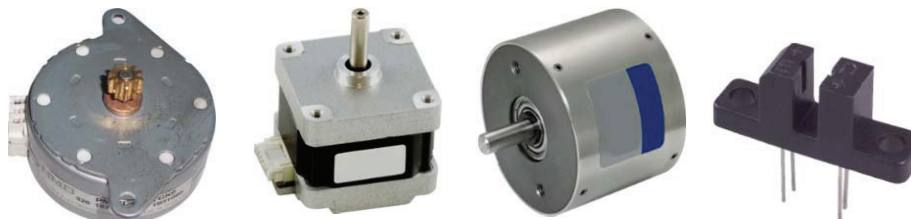


Figura 5.12 – Acionadores e sensor utilizados no projeto

Durante o seminário são mostrados os acionadores que foram utilizados no projeto, motores de passo de 1.8° e 7.5° de resolução e *voice coils* e explicados porque foram escolhidos. Neste ponto também é comentado que durante a fase de prova de conceito, outros tipos de acionadores foram testados e não ofereceram o desempenho adequado. Portanto, o processo de escolha de componentes envolve alguns critérios iniciais e a fase de teste serve como mais um filtro na escolha do componente adequado. Parte-se de uma escolha inicial baseada em critérios sólidos, mas ainda é preciso uma fase de validação, pois estamos lidando com um projeto do tipo aberto. A busca no estado da técnica feita no início de todo projeto ajuda a poupar muito tempo e recursos, indicando componentes utilizados em aplicações análogas que poderão ajudar a resolver os problemas do projeto de maneira muito mais rápida.

5.3.3.6 Os Mecanismos

No caso da automação do berimbau, existem três diferentes elementos e uma ação necessária para tocar o instrumento. Os elementos são: i) a pedra ou moeda; ii) a vareta de madeira; iii) o chocalho. A ação é cobrir ou descobrir a abertura da cabaça, o que normalmente é feito pelo abdômen do músico. Para cada um destes elementos e para a ação deverá ser projetado um mecanismo que possa reproduzir o movimento necessário à obtenção dos sons que compõem o toque do instrumento. Como o projeto possui finalidades didáticas na Popularização da Ciência, seria importante que o instrumento preservasse as suas características originais. Os mecanismos então deveriam ser montados ao redor do instrumento em uma estrutura que simulasse o modo como o instrumento é tocado normalmente pelo músico.

5.3.3.6.1 O Mecanismo da Moeda

O mecanismo da moeda mostrado na Fig.5.13 deve ser projetado para posicionar este elemento a distancias precisas e repetitivas como relação ao fio de aço. O mecanismo consiste em um motor de passo como atuador e uma plataforma com rolamentos montada sobre um trilho usado como um guia linear.

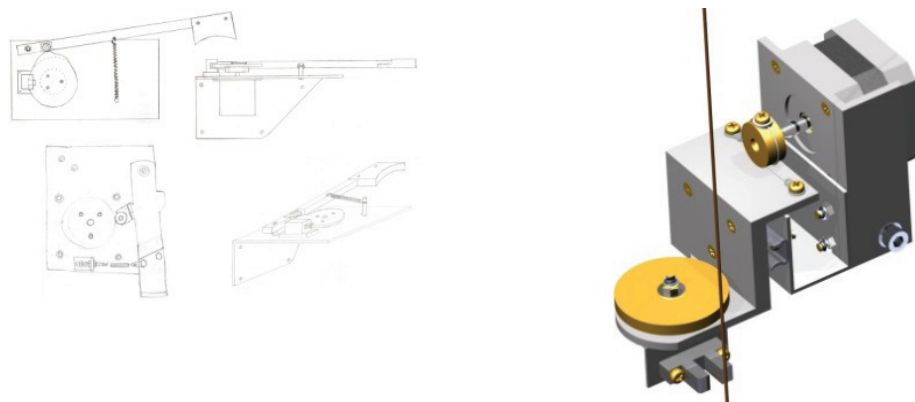


Figura 5.13 – *Sketches* iniciais e modelo 3D final do mecanismo da moeda

Uma polia montada no eixo do motor de passo atua como cabrestante. Ao redor da polia é enrolado um cabo de aço cujas extremidades são fixadas na plataforma. A rotação do eixo do motor de passo é transformada em movimento linear pelo sistema formado pelo cabrestante e pelo guia linear. A moeda é montada sobre a plataforma. Um sensor óptico é montado logo abaixo da parte da moeda que entra em contato com o fio de aço. A zona ativa do sensor está localizada um pouco a frente do ponto de contato entre a moeda e o fio, de modo que o sensor detecta a presença do fio antes do contato com a moeda. Este ponto é utilizado como a origem deste sistema.

5.3.3.6.2 O Mecanismo da Cabaça

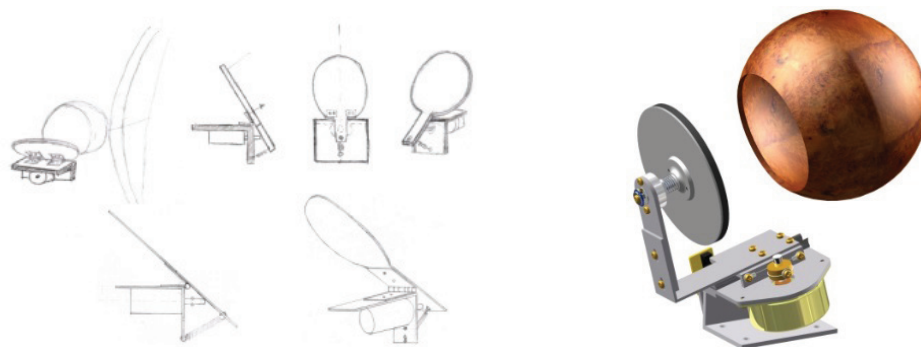


Figura 5.14 – *Sketches* iniciais e modelo 3D final do mecanismo da cabaça.

Para fechar ou abrir a abertura da cabaça, em vez de mover todo o berimbau para frente ou para trás em relação ao corpo do músico como normalmente é feito, outra abordagem é utilizar um mecanismo obturador. O mecanismo proposto move um disco coberto com um material macio para frente ou para trás em relação à abertura da cabaça.

O mecanismo obturador mostrado na Fig.5.14, é capaz de abrir ou fechar a abertura da cabaça de modo controlado. O mecanismo consiste em um motor de passo como acionador e um sistema linear semelhante ao utilizado no mecanismo da moeda.

O sistema linear é composto de uma plataforma, com rolamentos que são montados ao redor de um trilho. No eixo do motor de passo é montado um cabrestante com um cabo de aço enrolado ao seu redor. As extremidades do cabo de aço são presas à plataforma, de modo que uma rotação do eixo do motor de passo é transformada em um movimento linear da plataforma e consequentemente do disco obturador.

O disco obturador é montado sobre a plataforma e pode ser movido para frente ou para trás em relação à abertura da cabaça. Um sensor óptico é instalado na parte de trás do sistema como um sensor de início. Na posição inicial o disco obturador é posicionado afastado da abertura da cabaça.

5.3.3.6.3 O Mecanismo do Chocalho

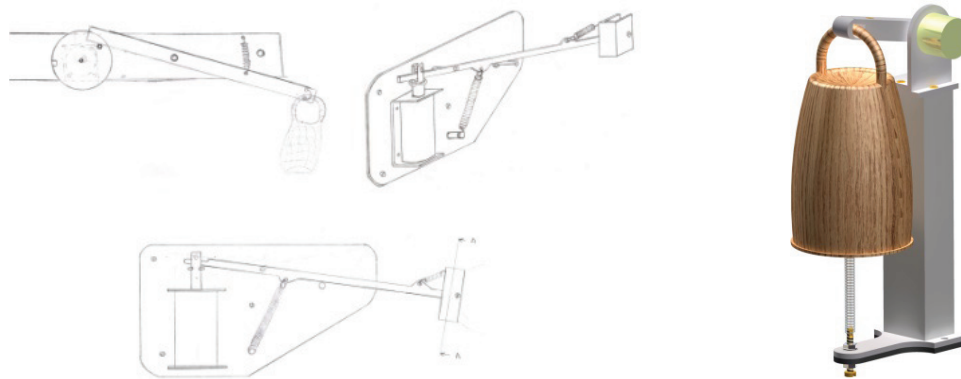


Figura 5.15 – *Sketches* iniciais e modelo 3D final do mecanismo do chocalho

O mecanismo do chocalho mostrado na Fig.5.15, foi projetado para mover o chocalho no plano vertical, de modo sincronizado e com uma aceleração compatível com o movimento da vareta de madeira.

O chocalho é montado na extremidade de uma alavanca conectada ao eixo de um *voice coil*. Uma pequena mola é fixada entre a parte inferior do chocalho e a base deste sistema para limitar ao máximo o movimento do chocalho ao plano vertical.

5.3.3.6.4 O Mecanismo de Percussão

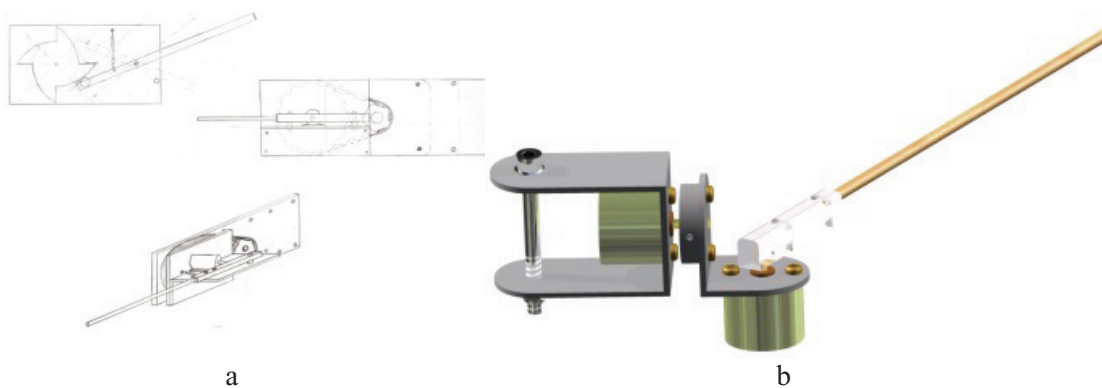


Figura 5.16 – *Sketches* iniciais e modelo 3D final do mecanismo de percussão

O mecanismo de percussão mostrado na Fig.5.16 possui duas funções, em primeiro lugar posicionar a vareta de madeira perto dos pontos A e B mostrados na Fig. 2b, em segundo lugar, gerar a energia cinética necessária de modo que a vareta de madeira possa percutir o arame de aço e produzir o som com a intensidade correta.

O mecanismo compreende um suporte para a vareta de madeira, conectado ao eixo de um primeiro *voice coil*, este atuador possui a função de gerar a energia cinética para percutir o arame de aço. Para mudar o ponto de percussão de A para B, como mostrado na Fig.5.2b, um segundo *voice coil* é usado, montado de forma que o seu eixo esteja perpendicular ao eixo do primeiro *voice coil*, como pode ser visto na Fig.5.16b. Os *voice coils* possuem uma faixa limitada de rotação de modo que calibrações devem ser feitas para

garantir que a vareta de madeira atinja o ponto desejado corretamente. Dois parafusos são providos para este propósito.

A Fig. 5.17 mostra o modelo 3D do sistema completo. Nesta figura podemos ver o instrumento original preservado montado sobre uma base em forma de tripé. Os atuadores e sensores foram montados ao redor do corpo do instrumento utilizando um suporte especial.

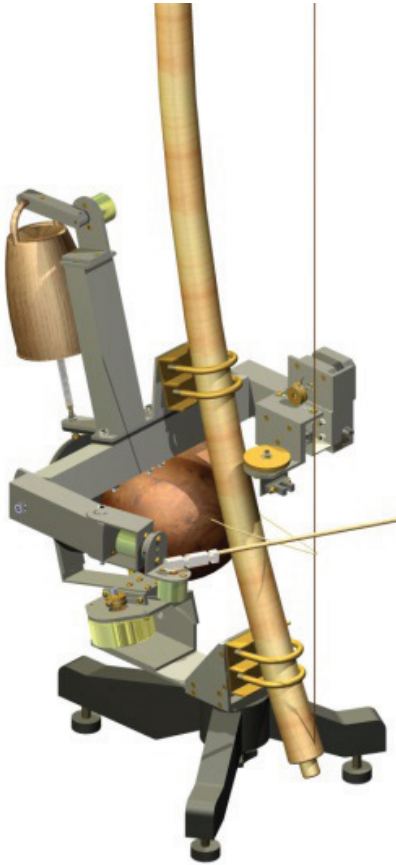


Figura 5.17 – Modelo 3D do sistema completo

5.3.3.7 O Sistema de Controle

Para fazer o instrumento tocar de modo autônomo, uma estrutura foi montada ao redor do corpo do instrumento como mostrado na Fig.5.17. Esta estrutura contém motores de passo e *voice coils* como atuadores que acionam os diversos elementos necessários para

a produção dos sons, e possui sensores para fornecer informação sobre a posição ou estado destes elementos. Para controlar estes dispositivos um sistema baseado em computador e pelo menos um programa são necessários. Para *ensinar* a máquina a tocar, uma ferramenta de programação também foi desenvolvida.

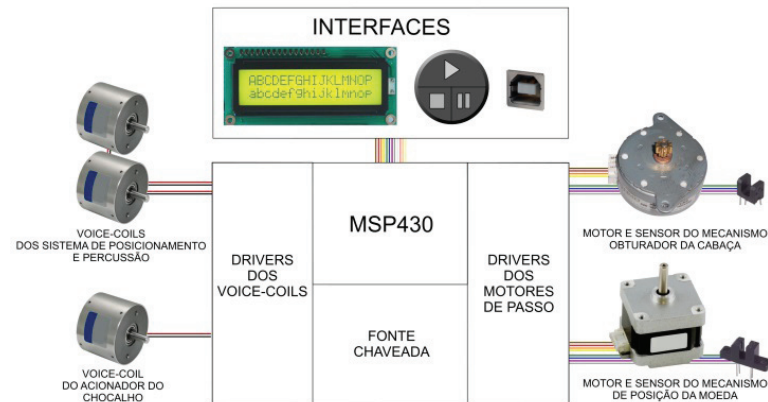


Figura 5.18 – Arquitetura do sistema de controle local

O sistema computadorizado foi dividido em duas partes por razões didáticas, um controlador eletrônico local e um computador pessoal para programação do sistema. A Fig. 5.18 mostra a arquitetura do sistema de controle local. O controlador eletrônico local é baseado em um micro controlador MSP 430 com um *firmware* embutido. O micro controlador não possui capacidade para fornecer as correntes necessárias ao funcionamento dos diversos atuadores, por isso é preciso ligar cada atuador ao micro controlador por meio de uma interface. O controlador local se comunica com o usuário por meio de um *display* de cristal líquido e de um teclado simples.

A ferramenta de programação das músicas roda em um computador pessoal e foi desenhada para ser bastante intuitiva, de modo que qualquer pessoa, sem conhecimento de programação ou habilidades musicais pode inserir, compor musicas, ou simplesmente interagir diretamente com o Instrumento Musical Robotizado. O computador pessoal se comunica com o controlador local por meio de uma interface USB.

5.3.3.8 O Berimbot Composer⁵

Para facilitar o processo de introdução de músicas sem o conhecimento de programação de um computador, foi criada uma interface gráfica inspirada nos conceitos utilizados na escrita de uma partitura: i) símbolos representando notas musicais; ii) o posicionamento dos símbolos musicais nas linhas e espaços do pentagrama; iii) o conceito de pausa. Para esta finalidade foi criada uma IDE⁶ cujas telas são mostradas na Fig. 5.19 (a,b). A tela na Fig.5.19a mostra quatro linhas horizontais representando o pentagrama, do lado esquerdo de cada linha horizontal está o símbolo de um elemento utilizado para tocar o berimbau representado por uma imagem do ícone a ser utilizado para preencher esta linha. Por exemplo, a primeira linha é destinada ao posicionamento dos ícones que representam as posições que a moeda pode assumir, a segunda linha é destinada ao posicionamento dos ícones que representam as posições que a vareta pode assumir, e assim por diante.

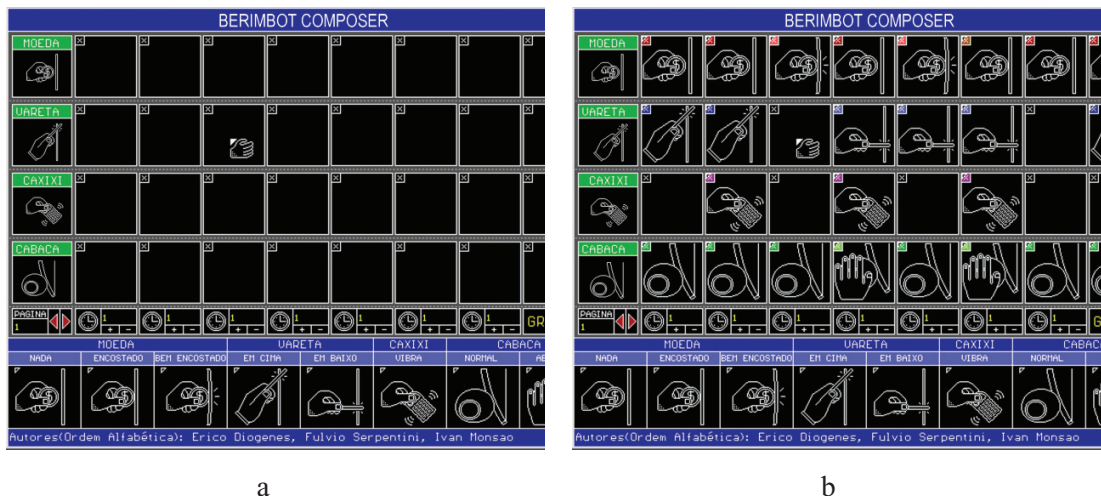


Figura 5.19 – Telas do *Berimbot Composer*

⁵ O *Berimbot* atualmente possui um sistema de programação que não é adequado aos objetivos do seminário. Descrevemos no seminário o sistema de programação desenvolvido anteriormente que é mais adequado.

⁶ IDE - *Integrated Development Environment*, Ambiente de desenvolvimento integrado, é um programa de computador que reúne características e ferramentas de apoio com o objetivo de facilitar o processo de desenvolvimento de *softwares*. Wikipedia, disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Graphical_user_interface, em 14/03/2014 às 10:59

Na parte inferior da tela estão os mesmos elementos, na forma de ícones, cada um deles mostrando as diversas variações que cada elemento pode assumir durante o seu uso. Os três primeiros ícones mostram as variações no posicionamento da moeda.

O programa *Berimbot Composer* foi escrito na linguagem C. Consiste em uma GUI⁷ com uma tela em forma de grade e ícones simbolizando os diversos elementos (com as suas diversas variações) utilizados para tocar um berimbau. Cada linha horizontal pode ser comparada a uma linha no pentagrama (Fig. 5.4) da notação musical convencional e nela são montados os respectivos ícones do mesmo tipo que os indicados do lado esquerdo da tela, que equivaleriam a símbolos musicais na notação musical citada anteriormente. A Fig.5.20 mostra os ícones representando as variações de posicionamento dos diversos elementos usados para se tocar um berimbau.

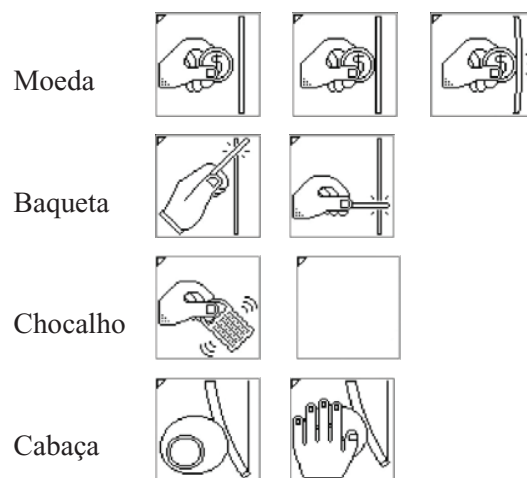


Figura 5.20 – Ícones representando as variações de posicionamento dos diversos elementos usados para se tocar um berimbau

⁷ GUI- *Graphical User Interface* - Interface Gráfica do Usuário é um tipo de interface de interação entre usuários e dispositivos digitais, visando facilitar a utilização ou programação por meio do uso de elementos gráficos ou ícones. Wikipedia ,disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Graphical_user_interface, em 14/03/2014 às 10:49

Na Fig. 5.21 abaixo são mostrados os apontadores utilizados para o processo de montagem dos ícones, bem como o relógio simbolizando a pausa entre as notas.



Figura 5.21 – Ícones para apontadores para manipulação (a), e pausa entre as notas (b)

A montagem dos ícones na tela difere do modo como os símbolos musicais são escritos na partitura. No *Berimbot Composer*, os ícones são montados nas linhas verticais com o auxílio do *mouse* por meio de operações de arrastar e soltar, onde cada ícone fica preso ao quadrado na linha relativa ao seu tipo. Cada coluna depois de montada representa uma nota, de modo que os ícones montados representam os movimentos ou posições que os elementos devem assumir para que o berimbau toque esta nota. Abaixo de cada coluna existe um ícone em forma de relógio, mostrado na Fig.5.21b, que é utilizado para definir o valor da pausa entre notas. Ao lado deste ícone, existem dois sinais que representam incremento ou decremento no valor do tempo de pausa, que pode ser padrão, ou alterado para mais ou para menos, a critério do usuário.

No *Berimbot Composer* o ponteiro do *mouse* assume a forma de uma mão normalmente aberta, mostrado na Fig. 5.21a, quando o botão esquerdo do *mouse* é acionado, a mão se fecha simulando a apreensão de um objeto. A mão volta a se abrir quando o botão esquerdo do *mouse* é liberado, simulando a liberação do objeto apreendido.

Na parte superior esquerda de cada quadrado da grade existe um pequeno quadrado que se torna colorido quando um ícone é encaixado nele, mostrado na Fig.5.19b, cada linha possui sua própria cor, no caso da linha da moeda, a cor é vermelha. Caso o usuário deseje desmontar um dos ícones já montados, basta posicionar o ponteiro do *mouse* sobre o pequeno quadrado na parte superior esquerda do ícone e clicar com o botão esquerdo, esta ação é equivalente a soltar um tipo de fecho que libera o ícone e o apaga em seguida.

Para compor uma nova música, inserir uma já conhecida, ou apenas observar a movimentação de cada elemento no *Berimbot*, o usuário precisa apenas clicar sobre cada

um dos ícones desejados localizados na parte inferior da tela, arrastá-lo até a sua respectiva linha e coluna desejada, e liberar o botão do mouse para que o ícone se encaixe.

Como um exemplo, a primeira coluna da Fig.5.19b mostra a moeda em uma posição afastada do fio de aço, a baqueta posicionada para percutir o fio de aço na posição acima da moeda (Fig.5.2b posição A) e a cabaça na condição aberta.

Quando cada coluna na tela estiver preenchida, o usuário pode mover a tela para a esquerda, para obter mais colunas vazias do lado direito, utilizando os botões em forma de seta, mostrado na Fig.5.22a.



Figura 5.22 – Ícones para avanço de página (a), e gravação da partitura (b)

Uma vez que a composição esteja completa, o usuário pressiona o botão Gravar, Fig. 5.22b, para gerar um arquivo texto que contem uma sequência de comandos que irá ser usada como partitura por uma segunda aplicação.

5.3.3.9 O Berimbot Player

A aplicação *Berimbot Composer*, poderia tocar diretamente a música recém composta, mas por razões didáticas e para minimizar o *Efeito Aladim*, foi feita a opção de construir um aplicativo separado para a operação de ler e interpretar a partitura obtida na primeira fase da operação.

O programa *Berimbot Player* cuja tela é mostrada abaixo na Fig.5.23 foi escrito na linguagem C, possui uma tela que também foi inspirada no pentagrama utilizado na notação musical convencional. Possui quatro linhas horizontais com os símbolos dos elementos utilizados para o toque do berimbau localizados do lado esquerdo. As linhas possuem divisões ao longo do seu comprimento e representam os estados de cada um dos elementos durante a progressão no tempo da música sendo tocada.

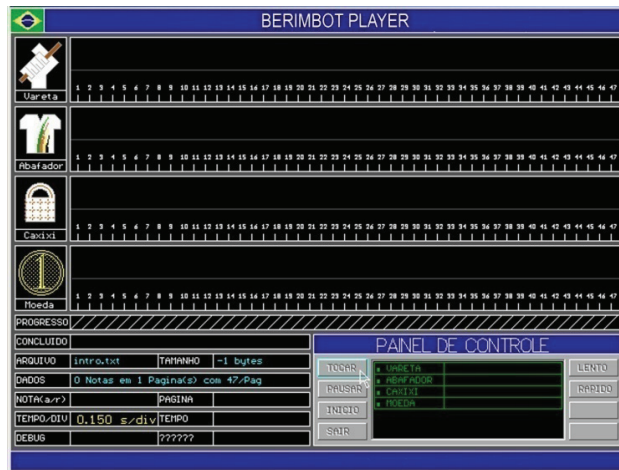


Figura 5.23 – A tela do *Berimbot Player*

O usuário pode carregar o arquivo gerado pelo *Berimbot Composer*, que agora seria o equivalente a uma partitura da musica desejada, por meio de um painel de controle, mostrado na Fig.5.24. Este mesmo painel pode ser utilizado para iniciar, parar ou pausar a musica a ser executada.



Figura 5.24 – Painel de controle do *Berimbot Player*

Dois outros botões localizados do lado direito do painel de controle (Lento, Rápido), permitem acelerar ou retardar o metrônomo para que o usuário possa obter variações da melodia composta.

5.4 A Conclusão do Seminário

A apresentação do seminário é concluída com uma apresentação de um vídeo mostrando o *Berimbot* em ação.

5.5 Aplicação dos Questionários

Ao final do seminário no início do semestre, foi aplicado um questionário contendo sete afirmações com respostas no formato da escala *Likert* (Esta escala é utilizada em questionários para obter de um entrevistado o seu grau de preferência ou de concordância com uma ou mais afirmações [80]). O questionário visava aferir o grau de entendimento do estudante das informações apresentadas durante o seminário. No final do semestre, durante as apresentações dos projetos, o mesmo questionário foi aplicado, desta vez visando mensurar, o quanto das informações apresentadas anteriormente foram úteis para a realização do projeto. A escala das respostas ia de 1 a 5 distribuídos da seguinte forma:

i	Discordo muito	1
ii	Discordo	2
iii	Neutro	3
iv	Concordo	4
v	Concordo muito	5

O questionário apresentado consistia das seguintes afirmações:

A palestra sobre desenvolvimento de produtos no início do semestre:

1. Me ajudou a entender que um produto é constituído de várias partes integradas.
2. Me ajudou a entender a importância do trabalho em equipe e a busca de consultores ou auxílio externo no caso do conhecimento dos membros da equipe não ser suficiente.
3. Me ajudou a entender o processo de busca por informação na literatura, internet, ou banco de patentes antes de iniciar o projeto.
4. Me ajudou a dividir o meu projeto em blocos de modo que a tarefa ficasse mais clara.
5. Me ajudou a entender a importância de criar modelos 3D ou de uma simulação.
6. Me ajudou a compreender a importância da integração de várias disciplinas como *software*, *hardware* e tecnologia da informação no projeto de um produto.
7. Me ajudou a compreender a importância da documentação durante o projeto.

Os questionários foram aplicados em duas turmas do curso de Engenharia Elétrica do primeiro e segundo semestre de 2013 e os resultados são mostrados abaixo.

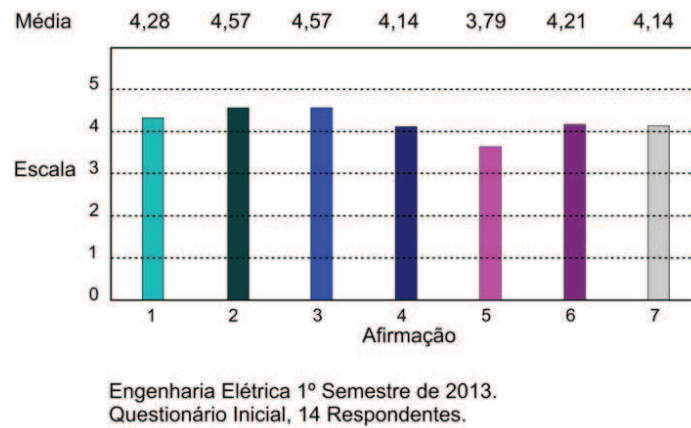


Figura 5.25 – Questionário inicial para a turma do 1º semestre de 2013

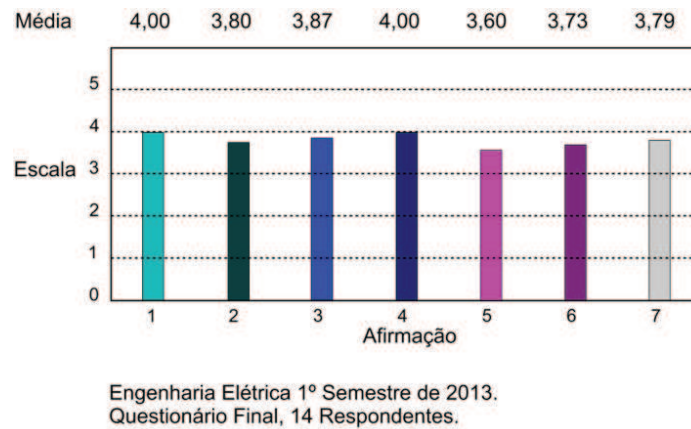
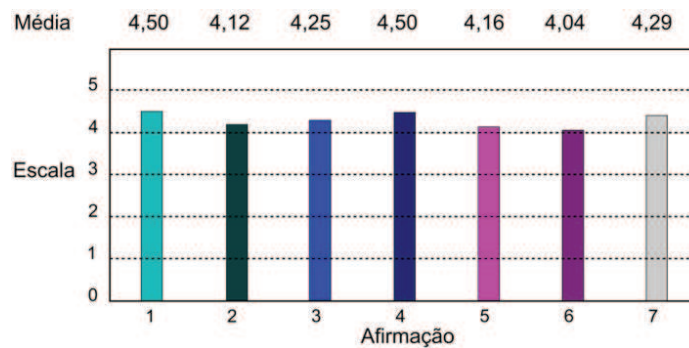
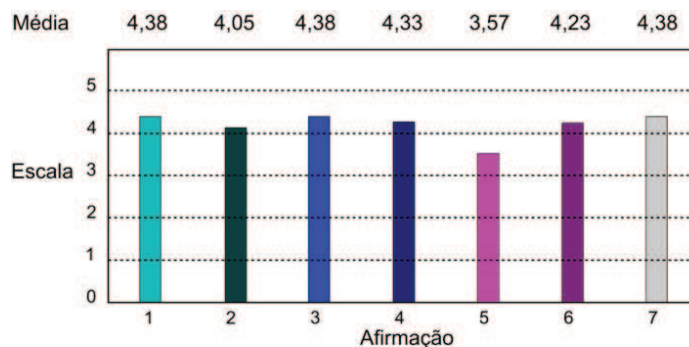


Figura 5.26 – Questionário final para a turma do 1º semestre de 2013



Engenharia Elétrica 2º Semestre de 2013.
Questionário Inicial, 24 Respondentes.

Figura 5.27 – Questionário inicial para a turma do 2º semestre de 2013



Engenharia Elétrica 2º Semestre de 2013
Questionário Final, 21 Respondentes

Figura 5.28 – Questionário final para a turma do 2º semestre de 2013

5.6 Análise dos Questionários

Todos os gráficos indicam uma média em torno da resposta *Concordo* em todas as afirmações, indicando a compreensão das informações apresentadas durante o seminário bem como a sua posterior utilização durante a execução dos projetos práticos. As variações das médias dos questionários iniciais para os questionários finais foram atribuídas ao fato de que a disciplina Laboratório Integrado VII é implementada no modelo de *Laboratório Livre* e os estudantes podem optar pelo projeto de um produto ou de um serviço. A

metodologia apresentada é mais adequada para o *projeto de produtos*, embora alguns conceitos possam ser utilizados para a criação de serviços também.

Analisando os questionários finais em relação aos iniciais, pode-se inferir uma diferença de opinião na média das repostas que reflete uma maior ou menor aplicabilidade dos conceitos nos projetos.

O questionário aplicado contém um campo abaixo de cada afirmação para o preenchimento de alguma observação que o estudante julgue pertinente. Em alguns questionários estes campos foram preenchidos com observações relativas à aplicabilidade ou não daquele conceito no projeto realizado. Um caso que está mostrado nos gráficos das Figuras Fig. 5.25 e Fig.5.26 foi o relativo ao item 5, *Me ajudou a entender a importância de criar modelos 3D, ou de uma simulação*. Para alguns estudantes que haviam optado pelos projetos de criação de um novo serviço, este item não se aplicava e a nota atribuída era menor, influenciando a média.

Uma outra possível fonte de discrepância foi o fato de que durante as versões iniciais do seminário a sequência de ações ainda não estava na forma gráfica de um fluxograma, o que impediu que os estudantes tivessem recebido uma cópia para consulta ao longo do semestre, fazendo com que alguns conceitos não tenham ficado bem fixados.

5.7 Os Projetos Realizados na Disciplina Laboratório Integrado VII

Das equipes que optaram por apresentar o projeto de um novo produto, os projetos que se destacaram foram aqueles que utilizaram o fluxograma descrito no seminário. Escolhemos os três projetos mais representativos, para descrever de forma resumida aqui.

5.7.1 Robô Tele Operado

O primeiro projeto é intitulado “Robô Tele Operado com Transmissão de Vídeo em Tempo Real para Monitoramento em Ambientes Adversos”. O projeto foi orientado pelo Prof. Dr. Jês de Jesus Fiais Cerqueira e pelo Prof. Dr. Paulo Cesar Farias.

A autoria é dos estudantes: Henrique Baqueiro, Tadeu Leone e Victor Sobral.

O objetivo deste projeto foi o de criar um protótipo de um *Rover* tele operado para o aprendizado e demonstração das tecnologias envolvidas na criação de um equipamento para inspeção de locais insalubres. Foi projetado e construído um *Rover* controlado por um sistema baseado em um microcontrolador DSPIC 30F3013. O sistema de controle se comunicava via *Bluetooth* com um telefone celular com sistema operacional *Android* que funcionava como um *joystick* de controle remoto. O *Rover* dispunha de um celular a bordo que capturava e transmitia as imagens via *Wi-Fi* para um *Notebook*.

Para a realização dos projetos os estudantes utilizaram as seguintes técnicas:

- i. Pesquisa no Estado da Técnica sobre as tecnologias e componentes necessários para viabilizar o projeto;
- ii. Criação de diagramas de blocos para o *hardware* mecânico, eletrônico e para a interface gráfica;
- iii. Criação de modelo em 3D para a estrutura mecânica e *sketches* para a interface gráfica com o usuário e para as rotinas do *software* de controle;
- iv. Utilizaram técnicas de prototipagem rápida para a construção da estrutura mecânica;
- v. O servomotor utilizado para movimentar o *Rover* foi modificado de sua condição original, o que exigiu a sua desmontagem e entendimento do seu funcionamento (Engenharia Reversa), minimizando o *Efeito Aladim*.

5.7.2 Protótipo de Controlador para Sistema de Irrigação Automática

O projeto foi orientado pelo Prof. Dr. Jês de Jesus F. Cerqueira e pelo Prof. Dr. Eduardo Simas.

A autoria é dos estudantes: Bruno Freire Macedo e João Manoel.

O projeto consistiu em um protótipo de um controlador para um sistema de irrigação automática que utilizava sensores para avaliar as condições do solo para decidir a quantidade de água a ser utilizada na irrigação.

Para a realização do projeto os estudantes utilizaram as seguintes técnicas:

- i. Pesquisa no estado da técnica;

- ii. Criação de uma lista de requisitos para o projeto;
- iii. Construção de um diagrama de blocos e de um modelo em 3D do sistema;
- iv. Simulação do sistema;
- v. Criação uma interface gráfica do usuário;
- vi. Construção de um simulador em *hardware*.

5.7.3 Automação do Processo de Pós-Resfriamento de Bombonas de 50L

O projeto foi orientado pelo Prof. Dr. Jês de Jesus F. Cerqueira e pelo Prof. Dr. Eduardo Simas.

A autoria é dos estudantes: Bruno Schettini Soares Pereira, Emilly Reale, Jauliver Sousa, Moisés Pereira Silva de Deus.

O objetivo deste projeto era o de resolver o problema real de uma linha de fabricação de bombonas de plástico de 50L. O Produto após moldado era submetido a um jato de ar comprimido para resfriar a sua parte interna. O processo era manual e não possuía nenhum tipo de controle de temporização do sistema de resfriamento. Um equipamento automático foi construído pela empresa e automatizado pelos estudantes utilizando relés e cilindros pneumáticos.

Para a realização dos projetos os estudantes utilizaram as seguintes técnicas:

- i. A teoria dos *Quatro estágios da competência* de Noel Burch;
- ii. A criação de *napkin sketches* e *sketches* utilizando um programa de desenho simples;
- iii. Realização de simulações utilizando o *EasyPLC* e o *Fluidsim*.

5.8 Conclusão

Neste capítulo foi apresentada a aplicação em sala de aula da metodologia que foi adaptada a partir experiência acumulada no Laboratório Paradidático. Os procedimentos e métodos comuns a todos os projetos foram compilados e organizados na forma de um fluxograma guia, que descreve quais os principais passos e em que sequencia deveriam ser realizados para a solução de um problema em engenharia. A metodologia proposta para ser

usada na sala de aula, ganhou a forma de um seminário onde os procedimentos foram explicados em conjunto com a descrição de um projeto do tipo aberto, escolhido especialmente para servir de exemplo de desenvolvimento de um novo produto. O projeto escolhido foi o de um instrumento musical robotizado que pudesse ser utilizado em demonstrações para Popularização da Ciência. A partir do objetivo de se criar um Instrumento Musical Robotizado, os passos necessários para a concretização do projeto foram explicados, iniciando com o entendimento do problema a ser resolvido e depois das técnicas utilizadas na sua solução.

O Seminário foi apresentado no início do semestre letivo na disciplina Laboratório Integrado VII, componente Curricular: ENGC55 do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Bahia. Esta disciplina é implementada no modelo de *Laboratório Livre*, (os estudantes escolhem um problema a ser resolvido ao longo do semestre). O seu objetivo é ambientar os estudantes a uma situação profissional de como lidar com um problema do tipo aberto. Ao final do semestre, os estudantes devem realizar uma apresentação do produto ou serviço, e entregar um documento no formato de um projeto para captação de recursos de um órgão de fomento, de um investidor, ou ainda na forma de um relatório técnico para um cliente. Como forma de avaliação, ao final dos seminários e no final do semestre, durante a apresentação dos trabalhos realizados, os estudantes preencheram um questionário contendo sete questões utilizando uma Escala *Likert* [80]. Os questionários foram processados e geraram gráficos que foram analisados. Concluímos pelos resultados da análise dos questionários que estes não refletem corretamente o aprendizado dos estudantes. Por outro lado, a apresentação dos projetos no final do semestre demonstrou claramente o emprego da metodologia e que ela contribuiu para uma melhora substancial dos resultados dos projetos.

Capítulo 6

Conclusões e Perspectivas

6.1 Conclusões

Uma nova metodologia para o ensino de Engenharia Elétrica por meio do uso de um Laboratório Paradidático é proposta nesta tese. A metodologia tem como objetivo principal transmitir os conhecimentos profissionais tácitos de um Mentor/*Coach* da área de engenharia, enquanto ele atua em conjunto com os estudantes na realização de projetos reais. O conhecimento técnico dos estudantes, necessário à execução dos projetos, é complementado por estudo dirigido, e por meio da atuação de professores tutores voluntários no papel consultivo, os quais oferecem conhecimento sob demanda, nas suas áreas de especialidade. Foram apresentadas também as motivações que levaram à proposição desta metodologia e descritas teorias pedagógicas que embasam o seu emprego. Foram mencionadas as razões para a criação de um ambiente adequado para a aplicação desta metodologia no formato de um Laboratório Paradidático e apresentados os motivos para a escolha do formato dos projetos e do modo de aplicação da metodologia.

A aplicação da metodologia foi exemplificada por meio de estudos de casos, onde ela foi empregada na execução de dois projetos realizados em conjunto com alguns estudantes. Os projetos foram concretizados seguindo a metodologia proposta onde os estudantes puderam ainda no *segundo semestre* aprender e colocar em prática conhecimentos nas seguintes áreas:

- i. Trabalho em equipe;
- ii. Eletrônica analógica;
- iii. Eletrônica digital;
- iv. Prototipagem rápida de hardware;
- v. Construção e programação de sistemas embarcados;
- vi. Projeto construção e programação de interfaces homem-máquina;
- vii. Layout de circuitos impressos;

- viii. Manufatura e montagem de circuitos impressos por meio de prototipagem rápida;
- ix. Construção e operação de simuladores;
- x. Documentação de projetos;
- xi. Projeto e construção de um sistema de controle proporcional;
- xii. Ética e sigilo.

Cabe salientar que além da participação e contribuição efetiva nos dois projetos descritos, os estudantes foram capazes de detectar problemas de engenharia de modo autônomo, propor e implementar as soluções, o que além de resolver os problemas, levou à criação de novas ferramentas.

Os projetos descritos nos dois estudos de caso, geraram dois depósitos de patentes onde os estudantes são listados como depositantes e inventores.

Foi também descrita a adaptação da metodologia utilizada no Laboratório Paradidático para ser utilizada em sala de aula. Foram observados quais os procedimentos e métodos eram comuns a todos os projetos, estes foram compilados e organizados na forma de um fluxograma guia, que descreve quais os principais passos e em que sequência devem ser realizados para a solução de um problema em engenharia.

A metodologia proposta para ser usada na sala de aula ganhou a forma de um seminário, onde o fluxograma foi utilizado em conjunto com a descrição de um projeto do tipo aberto, escolhido especialmente para servir de exemplo de desenvolvimento de um novo produto. Como forma de avaliação, foram aplicados questionários, logo após o seminário e ao final do semestre, antes das apresentações dos projetos. Foi constatado que os resultados dos questionários não refletiram corretamente o aprendizado do material descrito no seminário.

Acreditamos que no caso do Laboratório Integrado VII os melhores mecanismos de avaliação são o relatório final, a apresentação oral e a apresentação do projeto. Nas futuras versões do seminário, no lugar do questionário, iremos solicitar aos estudantes a utilização de um formulário para marcar a presença dos itens apresentados no fluxograma no texto do relatório e a citação destes mesmos itens na apresentação oral. Deste modo poderemos

construir uma estatística com o número de projetos, quantos deles utilizaram o fluxograma, quais dos seus passos foram utilizados durante a realização do projeto e se efetivamente contribuíram para facilitar a sua execução.

6.2 Contribuições desta Tese

As contribuições trazidas por este trabalho são as seguintes:

1. Proposta de uma nova metodologia de ensino de Engenharia Elétrica, que tem como objetivo principal transmitir os conhecimentos profissionais tácitos de um Mentor/*Coach* da área de engenharia, enquanto ele atua em conjunto com os estudantes na realização de projetos reais.
2. Proposta de criação de um ambiente adequado para aplicação da citada metodologia na forma de um Laboratório Paradidático.
3. Criação de um mecanismo interno de realimentação com a coordenação do curso de Engenharia, para reportar eventuais faltas de conteúdo técnico demonstradas na prática pelos estudantes durante a realização dos projetos.
4. Adaptação dos resultados obtidos da aplicação da metodologia no Laboratório Paradidático, para serem aplicados na sala de aula, visando auxiliar os estudantes na execução de seus projetos.
5. Chamar a atenção para o efeito negativo do *encapsulamento da tecnologia* chamado aqui de *Efeito Aladim*.

6.3 Perspectivas futuras

Como perspectivas futuras, pretendemos divulgar os resultados obtidos no Laboratório Paradidático e nos seminários em sala de aula, em publicações e na forma de um livro. Pretendemos continuar aplicando a metodologia na forma de seminários e criar versões otimizadas do fluxograma guia. No caso da avaliação do conteúdo absorvido nos seminários em sala de aula, vemos como perspectivas futuras a inclusão do fluxograma nos relatórios finais, e a marcação de cada etapa ao longo do desenvolvimento do projeto, de

modo que haja uma correspondência entre o que foi aprendido, o que foi realizado e o que foi relatado. Como o ambiente do Laboratório Paradidático é multidisciplinar, já iniciamos a algum tempo a aplicação desta metodologia em outros campos da Engenharia, como a Mecatrônica que possui uma afinidade natural com Engenharia Elétrica, e também com a Engenharia Mecânica e a Engenharia Química com resultados bastante promissores.

6.4 Considerações Finais

A origem deste trabalho, de forma mais sistemática, data do ano de 2002 quando foram realizados alguns projetos com os estudantes, com um formato mais voltado às aplicações práticas dos conhecimentos já adquiridos em sala de aula. Na época, o objetivo já era a complementação da formação de sala de aula com os conhecimentos obtidos durante a realização dos projetos, por isso, embora vários trabalhos tenham sido realizados, apenas dois foram publicados. Foi verificado que a proposta de um projeto com um cunho mais prático e real criava no estudante não apenas uma maior motivação para sua realização, mas também um grande interesse pela busca por mais conhecimento. Foi também verificado, que muitas vezes a formação dada em sala de aula não era adequada para que o estudante pudesse ter o conhecimento suficiente para a realização de um projeto real, mesmo ele estando nos últimos semestres do curso. Isto mostrou a necessidade de se buscar uma maneira de suprir aquela demanda por meio de um trabalho de tutoria voluntária, sob demanda, por parte dos professores. Ficou também claro que a informação de que o conhecimento repassado não era o suficiente, ou não possuía o formato adequado para uma aplicação prática deveria chegar a quem poderia de alguma forma interferir para efetuar uma correção em tempo hábil. Com o tempo, este formato inicial acabou tomando a forma da proposta apresentada nesta tese.

O Laboratório Paradidático descrito nesta tese foi implementado na prática na forma do BiLab - *Business and Innovation Lab* no ano de 2006 em uma Universidade privada e ficou em operação até o ano de 2013.

BIBLIOGRAFIA

- [1] W. Brian Arthur, *The Nature of Technology, What It Is and How It Evolves*, Free Press, a division of Simon & Schuster, Inc. 2009, ISBN: 978-0-14-195768-5.
- [2] Frederick E. Terman, *A Brief History of Electrical Engineering Education*, Proceedings of the IEEE, September 1976, pp. 1399-1407.
- [3] Seely, B., “The Other Re-engineering of Engineering Education, 1900-1965, *Journal of Engineering Education*, July, pp. 285-294, 1999.
- [4] Silveira, Marcos Azevedo da, *A formação do engenheiro inovador: uma visão internacional – Rio de Janeiro*, PUC-Rio, Sistema Maxwell, 2005. 147 p.: il. ISBN 85-905658-2-3.
- [5] Ernest A. Lynton, *The Changing Nature of Universities*, New England Journal of Public Policy, Volume 10 | Issue 1 Article 21, 1994.
- [6] Gerald G. Udell, *Academe and the Goose that Lays its Golden Egg*, Business Horizons Volume 33, Issue 2, March–April 1990, Pages 29–37.
- [7] Alberto Rodriguez, Carl Dahlman, Jamil Salmi, *Knowledge and Innovation for Competitiveness in Brazil*, The International Bank for Reconstruction and Development, World Bank, 2008. ISBN 978-0-8213-7438-2.
- [8] Roberto Leal Lobo e Silva Filho, “Para que devem ser formados os novos engenheiros?”, www.estadao.com.br/noticia_imp.php?req=vidae,artigo-para-que-devem-ser-formados-os-novos-engenheiros,838027,0.htm 1/14, 19 de fevereiro de 2012, 15h 57.
- [9] Lopez-Martin, A.J.: *Attracting Prospective Engineering Students in the Emerging European Space for Higher Education*. IEEE Trans. on Education 53 (2010).
- [10] Ruiz-del-Solar, J. “Robotics-Centered Outreach Activities: An Integrated Approach” IEEE Transactions on Education Vol. 53 Issue: 1 Feb. 2010.
- [11] Committee on the Engineer of 2020, Phase II, *Educating the Engineer of 2020: Adapting Engineering Education to the New Century*, National Academy of Engineering ISBN: 0-309-55008-4.
- [12] Joseph Bordogna, Eli Fromm, Edward W. Ernst, *Engineering Education: Innovation Through Integration*, 1993 Journal of Engineering Education.

- [13] Wayne S. Brown, A Proposed Mechanism for Commercializing University Technology, *Technovation*, Vol 3. pp. 19-25, 1985, Elsevier Science Publishers B.V.
- [14] OECD, *Fostering Entrepreneurship*, Brookings Institution, 1998, ISBN-10: 9264161392, ISBN-13: 978-9264161399.
- [15] Paulo Freire, *Pedagogia do Oprimido*, Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1970.
- [16] Pedro Demo, *Educar pela Pesquisa*, 7ª Ed., Campinas, Autores Associados, 2005, ISBN 85-85701-21-8.
- [17] Gordon E. Moore, "Cramming More Components Onto Integrated Circuits", *Electronics Magazine*, April 1965.
- [18] Ian de Vere, *Developing Creative Engineers: A Design Approach to Engineering Education* International Conference of Engineering and Product Design Education 10, 11 september 2009, University of Brighton.
- [19] Richards, L.G., *Stimulating Creativity: Teaching Engineers to be Innovators*. 1998 FIE Conference, pp. 1034-1039, 1998).
- [20] Marcos A. da Silveira, Jose A. R. Parise, Reinaldo C. Campos, Nival N. Almeida, *Projeto LAPIN: Um Caminho para a Implementação do Aprendizado Baseado em Projetos*, COBENGE: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2008.
- [21] The Harvard Innovation Lab, disponível em <http://i-lab.harvard.edu/about> acesso em:29/01/2014 às 14:22.
- [22] The Student Space Programs Laboratory (SSPL), disponível em <http://php.scripts.psu.edu/dept/sspl/index.php?/pages/about.html>, acesso em: 29/01/2014 às 16:22.
- [23] About the Digital Convergence Lab, disponível em <http://www.dcl.niu.edu/index.php/about/about-the-dcl>, acesso em:29/01/2014 às 10:23
- [24] The Alfred West Jr. Learning Lab | Exploring Creative New Approaches to Learning, disponível em <http://beacon.wharton.upenn.edu/learning/>, acesso em:29/01/2014 às 11:20.
- [25] Edward F. Crawley, Johan Malmqvist, Sören Östlund, Doris R. Brodeur, *Rethinking Engineering Education, The CDIO Approach*, 2007 Springer, ISBN 978-0-387-38287-6.
- [26] Sherra E. Kerns, Richard K. Miller, David V. Kerns, *Designing from a Blank Slate—The Development of the Initial Olin College Curriculum*, *Educating the Engineer of 2020*:

Adapting Engineering Education to the New Century. pp.98-113, Washington, DC: The National Academies Press, 2005.

[27] Craig M. Vogel, Jonathan Cagan, John H. Mather, Teaching Integrated Product Development: Educational Innovation at Carnegie Mellon University, *Design Management Journal*, Fall, pp. 58-65, 1997.

[28] F. De Crescenzo, M. Fantini, F. Lucchi, Teaching Methods for Concept Design and Prototyping, Proceedings of the IMProVe 2011 International conference on Innovative Methods in Product Design June 15th – 17th, 2011, Venice, Italy.

[29] Wrigley, Cara & Bucolo, Sam, A Design Approach to Teaching New Product Development, International Conference of Education, Research and Innovation 2011 (ICERI2011), 14 - 15 November 2011, Melia Castilla Convention Centre, Madrid.

[30] Pedro Demo, *Educar pela Pesquisa*, 7ª Ed., Campinas, Autores Associados, 2005, ISBN 85-85701-21-8.

[31] Piaget's theory. In P. H. Mussen (Ed.), *Carmichael's Manual of Child Psychology* (Vol. 1). New York: Wiley.

[32] Brainerd, C. J., Jean Piaget Learning, Research, and American Education, in Zimmerman, B. J., and Schunk, D. H., *Educational Psychology: A Century of Contributions*, Lawrence Erlbaum Associates, London, 2003.

[33] A Conversation with Jean Piaget, *Psychology Today*, 3(12), 25-32.

[34] Flavell, John Hurley, *A Psicologia do Desenvolvimento de Jean Piaget*, Ed. Biblioteca Pioneira, 1986.

[35] David A. Kolb, *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*, New Jersey Prentice-Hall, 1984.

[36] What is Experiential Education? para.2. Disponível em <<http://www.aee.org/about/whatIsEE>>. Acesso em: 16 jan. 2014 11:07.

[37] Alice Y. Kolb, David A. Kolb, *Experiential Learning Theory: A Dynamic, Holistic Approach to Management Learning, Education and Development*, *Handbook of Management Learning, Education and Development*. London: Sage Publications 2008.

[38] Donald A. Schön, *The Reflective Practitioner: How Professionals Think In Action*, Basic Books, 1984, ISBN-10: 0465068782, ISBN-13: 978-0465068784.

- [39] Donald A. Schön, *Educating the Reflective Practitioner: Toward a New Design for Teaching and Learning in the Professions*, Jossey-Bass 1990, ISBN-10: 1555422209, ISBN-13: 978-1555422202.
- [40] John Dewey on Education: Selected Writing, (R.D. Archambault, ed.) Chicago: University of Chicago Press, 1974.
- [41] Coleridge, S.T., *Biographia Literaria*, J. Engell, W. J. Bates, eds., Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1983, (Originally published 1817).
- [42] Donald Schön, *The Design Studio an Exploration of its Traditions and Potentials*, RIBA Publications Limited , 1985, ISBN 0947877452.
- [43] Linda Adams, *Learning a New Skill is Easier Said than Done*, Disponível em: <<http://www.gordontraining.com/>> Acesso em: 17/01/2014 às 9:00
- [44] Four Stages of Competence, Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Four_stages_of_competence> Acesso em: 17/01/2014, às 9:05
- [45] Jeanne Nakamura, Mihaly Csikszentmihalyi, *The Concept of Flow*, *Handbook of Positive Psychology*, C. R. Snyder, Shane J. Lopez, Eds., pp.89-105, Oxford University Press, 2002, ISBN 0-19-513533-4.
- [46] de Charms, R. (1968). *Personal Causation*. New York: Academic Press.
- [47] Deci, E. (1975). *Intrinsic Motivation*. New York: Plenum.
- [48] White, R. (1959). Motivation Reconsidered: The Concept of Competence. *Psychological Review*, 66, 297-333.
- [49] Getzels, J. W., & Csikszentmihalyi, M. (1976). *The Creative Vision*. New York: Wiley.
- [50] Deci, E., & Ryan, R. (1985). *Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior*. New York: Plenum.
- [51] Csikszentmihalyi, M. (1996). *Creativity*. New York: HarperCollins.
- [52] Csikszentmihalyi, M. (1985). Emergent Motivation and the Evolution of the Self. *Advances in Motivation and Achievement*, 4, 93-119.

- [53] Csikszentmihalyi, M. (1978). Attention and the Holistic Approach to Behavior. In K. S. Pope & J. L. Singer (Eds.), *The stream of consciousness* (pp. 335–358). New York: Plenum.
- [54] Csikszentmihalyi, M. (1997). *Finding Flow*. New York: Basic.
- [55] Csikszentmihalyi, M., & Rathunde, K. (1998). The Development of the Person: An Experiential Perspective on the Ontogenesis of Psychological Complexity. In R. M. Lerner (Ed.), *Handbook of Child Psychology* (pp. 635–685). New York: Wiley.
- [56] Merriam-Webster's Dictionary of Law, Merriam-Webster, 2011, ISBN-10: 0877797196, ISBN-13: 978-0877797197.
- [57] Robert Lingard, Shan Barkataki, Teaching Teamwork in Engineering and Computer Science, Frontiers in Education Conference (FIE), 2011, ISBN:978-1-61284-468-8 E-ISBN : 978-1-61284-467-1.
- [58] B.-Å. Lundvall, Product innovation and User-Producer Interaction, Industrial Development, Research Series 31, Aalborg: Aalborg University Press, 1985.
- [59] Inova Engenharia, Confederação Nacional da Indústria CNI, IEL – Núcleo Central e SENAI – Departamento Nacional. 2006 ISBN 85-87257-21-8.
- [60] Engenharia para o Desenvolvimento, Confederação Nacional da Indústria CNI, SENAI – Departamento Nacional 2010 ISBN 978-85-7519-319-8
- [61] Resolução CNE/CES 11/2002. Diário Oficial da União, Brasília, 9 de abril de 2002. Seção 1, p. 32.
- [62] Criteria for Accrediting Engineering Programs, Effective for Reviews During the 2013-2014 Accreditation Cycle Incorporates all changes approved by the ABET Board of Directors as of October 27, 2012, disponível em www.abet.org
- [63] John H. McMasters, Narayanan Komerath, Boeing-University Relations - A Review and Prospects for the Future, Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, Copyright ASEE 2005, American Society for Engineering Education.
- [64] Howard M. Kanare, Writing the Laboratory Notebook, American Chemical Society 1985, ISBN 9780841209336.

- [65] John B. McCormack, Robert K. Morrow, Jr., Harold F. Bare, Robert J. Burns, James L. Rasmussen, The Complementary Roles of Laboratory Notebooks and Laboratory Reports, IEEE Transactions on Education, VOL. 34. NO. 1., pp.133-137 February 1991.
- [66] Alex F. Osborn, Applied Imagination, Scribner (June 1979), ISBN-10: 0023895209, ISBN-13: 978-0023895203.
- [67] Barbara Tversky, Masaki Suwa, Thinking with Sketches, Tools for Innovation, Chap.4, Arthur B. Markman and Kristin L. Wood eds., Oxford University Press, 2009.
- [68] Goel, V. (1995). Sketches of Thought, Cambridge, Mass.: MIT Press.
- [69] The Story of Walt Disney, Henry Holt&Co., New York, 1956.
- [70] Monica Bordegoni, Caterina Rizzi Eds., Innovation in Product Design From CAD to Virtual Prototyping, Springer-Verlag, 2011 ISBN 978-0-85729-774-7 e-ISBN 978-0-85729-775-4.
- [71] Tony Wagner, Educating the Next Steve Jobs: How can schools teach students to be more innovative? Offer hands-on classes and don't penalize failure, Wall Street Journal Essay, April 14th, 2012.
- [72] Thomas Commerford Martin, Edison, His Life and Inventions, Volume 2, Nabu Press, 2010, ISBN-10: 1148097775, ISBN-13: 978-1148097770.
- [73] Nayak and Kettringham, Breakthroughs, Pfeiffer & Co, (October 1993), ISBN-10: 0893842508, ISBN-13: 978-0893842505.
- [74] Paul J. H. Schoemaker, Brilliant Mistakes: Finding Success on the Far Side of Failure, Wharton Digital Press, 2011, ISBN-10: 1613630123, ISBN-13: 978-1613630129.
- [75] Cannon, M. D., and A. C. Edmondson. "Failing to Learn and Learning to Fail (Intelligently): How Great Organizations Put Failure to Work to Innovate and Improve." *Long Range Planning* 38, no. 3, Elsevier, (June 2005): 299–319.
- [76] Tom Bourner, (2003) "Assessing Reflective Learning", Education + Training, Vol. 45 Iss: 5, pp.267 – 272 ISSN: 0040-0912.
- [77] David Brower, Obituary, The Guardian, 8 November 2000.
- [78] Eric Ries, The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses, Crown Business, 2011, ISBN-10: 0307887898, ISBN-13: 978-0307887894.

- [79] Eric Ries, March 23, 2009, Venture Hacks interview: "What is the minimum Viable Product?" ([http:// startuplessonslearned. blogspot. com/ 2009/ 03/ minimum-viable-product. html](http://startuplessonslearned.blogspot.com/2009/03/minimum-viable-product.html)), Lessons Learned.
- [80] Rensis Likert, A Technique for the Measurement of Attitudes, Archives of Psychology vol 22, pp5-55, 1932.
- [81] Kay Shaffer, "The Berimbau-de-Barriga and its Toques" Monografias Folclóricas 2, Ministério da Educação e Cultura, Funarte, 1977.
- [82] Alejandra Kandus, Friedrich Wolfgang Gutmann, Caio Mário Castro de Castilho, The Physics of Mechanical Oscillations in Musical Instruments: Example of Berimbau, Rev. Bras. Ensino Fís. vol.28 no.4, São Paulo 2006.
- [83] Jonathan Harnum, Basic Music Theory How to Read, Write and Understand Written Music, Sol-Ut Press, 2001 ISBN: 0-9707512-9-X.
- [84] Kelly, Tom, Ten Faces of Innovation, London: Profile, 2006.
- [85] Vinesh Raja and Kiran J. Fernandes (Eds.), Reverse Engineering an Industrial Perspective, Springer-Verlag London Limited 2008, ISBN-13: 9781846288555.