



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO,  
FILOSOFIA E HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS**

**DIALÉTICA OSTENSIVA E NÃO OSTENSIVA NO ENSINO POR MEIO DE  
SITUAÇÕES PROBLEMA OU PROBLEMAS ABERTOS: UMA ENGENHARIA  
DIDÁTICA PARA CIRCUITOS ELÉTRICOS**

**JOSÉLIA FRANÇA DE HOLANDA CAVALCANTI**

**Salvador - BA  
Junho/2020**

**JOSÉLIA FRANÇA DE HOLANDA CAVALCANTI**

**DIALÉTICA OSTENSIVA E NÃO OSTENSIVA NO ENSINO POR MEIO DE  
SITUAÇÕES PROBLEMA OU PROBLEMAS ABERTOS: UMA ENGENHARIA  
DIDÁTICA PARA CIRCUITOS ELÉTRICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências da Universidade Federal da Bahia, como requisito final para obtenção do Grau de Doutora em Ensino, Filosofia e História das Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Marcio Santos Farias.

**Salvador - BA  
Junho/2020**

Cavalcanti, Josélia França de Holanda.

Dialética ostensiva e não ostensiva no ensino por meio de situações problema ou problemas abertos : uma engenharia didática para circuitos elétricos / Josélia França de Holanda Cavalcanti. – 2020.

223 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Marcio Santos Farias.

Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Educação, Salvador, 2020.

Programa de Pós-Graduação em convênio com a Universidade Estadual de Feira de Santana.

1. Circuitos elétricos – Estudo e ensino (Superior). 2. Aprendizagem por atividades. 3. Didática (Ensino superior). 4. Conceitos - Estudo e ensino (Superior). I. Farias, Luiz Marcio Santos. II. Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Educação. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDD 621.3192 – 23. ed.

**JOSÉLIA FRANÇA DE HOLANDA CAVALCANTI**

**DIALÉTICA OSTENSIVA E NÃO OSTENSIVA NO ENSINO POR MEIO DE  
SITUAÇÕES PROBLEMA OU PROBLEMAS ABERTOS: UMA ENGENHARIA  
DIDÁTICA PARA CIRCUITOS ELÉTRICOS**

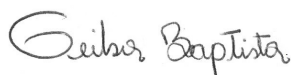
Tese de Doutorado apresentada como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutora em Ensino, Filosofia e História das Ciências no Programa de Pós Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências da Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:



Luiz Marcio Santos Farias - Orientador v  
Doutor em Didática das Ciências e Matemática – U. Montpellier 2/França  
Universidade Federal da Bahia – UFBA



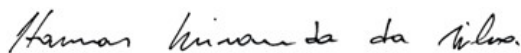
Hélio da Silva Messeder Neto – examinador interno  
Doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências.  
Universidade Federal da Bahia – UFBA



Geilsa Costa Santos Baptista – examinadora interna  
Doutora em Ensino Filosofia e História das Ciências – UFBA/UEFS  
Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS



José Valério Gomes da Silva- examinador externo  
Doutor em Educação Matemática  
Universidade de Pernambuco – UPE Campus Garanhuns



Itamar Miranda da Silva – examinador externo  
Doutor em Educação em Ciências e Matemática – UFPA  
Universidade Federal do Acre – UFAC

Salvador, 19 de junho de 2020.

## **Agradecimentos e dedicatória**

Em primeiro lugar a Deus, de quem busquei forças para em meio a tantas barreiras continuar em frente. Minha gratidão especial ao professor Dr. Luiz Marcio Santos Farias, por uma orientação pautada com paciência e, sobretudo, pela pessoa e profissional que é. Obrigada por sua dedicação, incentivo, tranquilidade, atenção e pela disponibilidade constante em orientar-me, na pesquisa e para além dela, por ter dedicado grande parte de seu tempo para que esse trabalho fosse viabilizado.

Meus sinceros agradecimentos aos professores doutores Hélio da Silva Messeder Neto, Geilsa Costa Santos Baptista, José Valério Gomes da Silva e Itamar Miranda da Silva por aceitarem o convite para fazer parte da banca examinadora e contribuírem com suas valiosas observações ao nosso trabalho. Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências na figura do professore Luiz Marcio Santos Farias, e todos os outros pelos valiosos momentos de reflexões que propuseram em suas aulas.

Aos colegas do programa, especialmente Edmo Fernandes Carvalho que tem dividido os momentos finais do trabalho e contribuído com suas impressões a respeito dele, aos colegas membros do grupo de pesquisa NIPEDCTM pelas contribuições dadas, aos alunos que aceitaram o convite para participar dessa investigação e principalmente pelo comprometimento com o compromisso assumido, tornando possível a concretização deste projeto, a gestão do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, campus Salvador, na pessoa do Professor Albertino Nascimento. E, finalmente aos meus familiares, especialmente a Eraldo, meu esposo, Diego meu amado filho pelos momentos de ausências e pelo esforço para que eu pudesse superar cada obstáculo em meu caminho e chegar até aqui, às minhas irmãs, irmão, e sobrinhos pois sem o apoio familiar tenho certeza que não seria possível realizar esse trabalho. Obrigada por desejarem sempre o melhor para mim

A todos, que não foram nomeados, mas que direta ou indiretamente contribuíram com a realização desta pesquisa, o meu reconhecido agradecimento.

Dedico esse trabalho à memória dos meus pais, Isaura e Luiz.

## Resumo

A disciplina “Circuitos Elétricos I” utiliza as inter-relações matemática e física para construção de seus conceitos. Considerando que matemática e física são disciplinas ministradas separadamente antes do estudo em Circuitos Elétricos I, são necessários dispositivos didáticos para compreender as restrições de ensino e criar condições no processo de ensino e aprendizagem. A pesquisa foi desenvolvida com alunos do 5º semestre do curso de Engenharia Industrial Elétrica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, campus Salvador. Os saberes matemáticos e físicos requeridos e desenvolvidos durante os trabalhos em Circuitos Elétricos I vêm sinalizando por uma mudança no processo de ensino e aprendizagem na tentativa de aquisição de novos conceitos. O objetivo deste trabalho, enquanto um estudo alicerçado nos princípios da Didática da Matemática, em particular da Engenharia Didática, é de forma geral analisar, constituir, experimentar e apresentar sequências didáticas através da disciplina Circuitos Elétricos I que considerem as inter-relações da matemática e da física, bem como fornecer elementos empíricos encontrados no trabalho dos estudantes no estudo de circuitos elétricos com resistor e capacitor, resistor e indutor e resistor indutor e capacitor em regime de corrente contínua. Especificamente investigamos as inter-relações entre matemática e física evocadas através das praxeologias em jogo na construção dos conceitos de indutores e capacitores presentes nos circuitos em estudo. A pesquisa tem uma abordagem qualitativa por possibilitar o estudo de características, situações e comportamentos desconhecidos ou pouco conhecidos de determinado grupo dentro de uma conjuntura social. A análise das atividades didáticas realizadas pelos participantes ocorreu conforme os pressupostos da Teoria Antropológica do Didático, desenvolvida por Yves Chevallarde seguidores, Marianna Bosch, Josep Gascón e Berta Barquero; nos estudos em Didática das Ciências, presente nos trabalhos de Jean Pierre Astolfi, António Cachapuz, Michel Develay, Daniel Gil-Pérez, Áttico Chassot. Como metodologia utilizamos a Engenharia Didática clássica ou de 1ª geração, e nossa escolha parte da concepção de que tal proposta metodológica se constitui em organizar pesquisas a partir da construção de uma sequência de aulas planejadas com a finalidade de obter informações que permitam interpretar processos de ensino e aprendizagem. Conforme os pressupostos teóricos estudados, constatou-se a necessidade da participação do estudante no processo de ensino e aprendizagem para aquisição de novos conceitos. É necessário que o processo de ensino e aprendizagem através do desenvolvimento de organizações didáticas novas, permita a participação do estudante na construção do conhecimento.

**Palavras-Chave:** Sequência didática. Praxeologia. Teoria Antropológica do Didático. Situações-problema. Ensino de Circuitos Elétricos.

## Abstract

The course “Electrical Circuits I” uses mathematical and physical interrelations to construct its concepts. Since mathematics and physics are subjects taught separately before studying in Electrical Circuits I, didactic devices are required to understand teaching constraints and create conditions in the teaching and learning process. The research was developed with students from the 5th semester of the Industrial Electrical Engineering course, from the Federal Institute of Education, Science and Technology of Bahia, Salvador campus. The mathematical and physical knowledge required and developed during the work in Electrical Circuits have been signaling a change in the teaching and learning process in the attempt to acquire new concepts. The aim of this paper, as a study based on the principles of Mathematics Didactics, in particular Didactic Engineering, is to analyze, constitute, experiment and present didactic sequences through the subject Electrical Circuits I that consider the interrelationships of mathematics and of physics, as well as providing empirical elements found in the work of the students in learning of electrical circuits with resistor and capacitor, resistor and inductor and inductor and capacitor resistor in direct current regime. Specifically we investigate the interrelationships between mathematics and physics evoked through the praxeologies involved in the construction of the concepts of inductors and capacitors present in the circuits under study. The research has a qualitative approach by allowing the knowledge of characteristics, situations and behaviors unknown or little known of a particular group within a social conjuncture. The analysis of the didactic activities performed by the research subjects occurred according to the assumptions of the Anthropological Theory of Didactics, developed by Yves Chevallard and followers Marianna Bosch, Josep Gascón and Berta Barquero; in the studies in Didactics of Sciences, present in the works of Jean Pierre Astolfi, António Cachapuz, Michel Develay, Daniel Gil-Pérez, Attico Chassot. As a methodology we use classical or 1st generation Didactic Engineering, and our choice starts from the conception that such methodological proposal consists in organizing research based on the construction of a sequence of planned classes in order to obtain information that will allow the interpretation of teaching processes and learning. According to the theoretical assumptions studied, it was found the need for student participation in the teaching and learning process to acquire new concepts. It is necessary that the process of teaching and learning through the development of new didactic organizations, allows the student participation in the construction of knowledge.

**Keyword:** Following teaching. Praxeology. Anthropological Theory of Didactics. Problem-situations. Electrical Circuit Teaching.

## Résumé

Le cours «Circuits Électriques I» utilise des interrelations mathématiques et physiques pour construire ses concepts. Comme les mathématiques et la physique sont des matières enseignées séparément avant d'étudier dans les Circuits Électriques I, des dispositifs didactiques sont nécessaires pour comprendre les contraintes de l'enseignement et créer des conditions propices au processus d'enseignement et d'apprentissage. La recherche a été développée avec les étudiants du 5ème semestre du Cours d'Ingénierie Industrielle Électrique de l'Institut Fédéral de l'Éducation, des Sciences et de la Technologie de Bahia, à Salvador. Les connaissances mathématiques et physiques requises et développées au cours des travaux sur les Circuits Électriques I ont marqué un changement dans le processus d'enseignement et d'apprentissage dans le but d'acquérir de nouveaux concepts. L'objet de cet article, en tant qu'étude basée sur les principes de la Didactique de la Mathématique, en particulier l'Ingénierie Didactique, est généralement d'analyser, de constituer, d'expérimenter et de présenter des séquences didactiques à travers la discipline Les circuits Électriques I qui tiennent compte des corrélations entre mathématiques et de physique, ainsi que de fournir des éléments empiriques trouvés dans le travail des étudiants dans l'apprentissage de circuits électriques avec résistance et condensateur, résistance et inductance et inductance et résistance et condensateur en régime de courant continu. Plus précisément, nous étudions les interrelations entre mathématiques et physique évoquées à travers les praxéologies en jeu dans la construction des concepts d'inductances et de condensateurs présente dans les circuits étudiés. La recherche a une approche qualitative en permettant la connaissance de caractéristiques, de situations et de comportements inconnus ou peu connus d'un groupe particulier au sein d'une conjoncture sociale. L'analyse des activités didactiques des sujets de recherche s'est faite selon les hypothèses de la Théorie Anthropologique de la Didactique, développé par Yves Chevallard et suivants Marianna Bosch, Josep Gascón et Berta Barquero; dans les études de didactique des sciences, présentes dans les travaux de Jean Pierre Astolfi, António Cachapuz, Michel Develay, Daniel Gil-Pérez, Attico Chassot. En tant que méthodologie, nous utilisons l'Ingénierie Didactique classique ou de 1ère génération, et notre choix part de la conception qu'une telle proposition méthodologique consiste à organiser une recherche basée sur la construction d'une séquence de classes planifiées afin d'obtenir des informations permettant d'interpréter les processus d'enseignement et apprentissage. Selon les hypothèses théoriques étudiées, la nécessité de faire participer les étudiants au processus d'enseignement et d'apprentissage est apparue nécessaire pour acquérir de nouveaux concepts. Il faut que le processus d'enseignement et d'apprentissage, à travers le développement de nouvelles organisations didactiques, permette aux étudiants de participer à la construction du savoir.

**Most-clés:** Séquence d'enseignement. Praxéologie. Théorie Anthropologique de la Didactique. Situations-problématiques. Enseignement des Circuits Électriques.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Triângulo didático.....	28
Figura 2 - (a) e (b) Gráficos de carga; (c) e (d) gráficos de que descarga do Capacitor. ....	54
Figura 3 - Correspondência entre OM e os níveis de C-DD .....	83
Figura 4 - Diferença de potencial nos terminais do capacitor .....	84
Figura 5 - Circuito elétrico rl.....	85
Figura 6 - Circuito elétrico rlc com capacitor carregado.....	86
Figura 7 - Mapa localizacional de Salvador - BA. Barbalho.....	95
Figura 8 - Mapa localizacional das unidades do IFBA, na BA .....	95
Figura 9 - Circuitos da Atividade 1 .....	99
Figura 10 - Circuitos da atividade 2 .....	105
Figura 11 - Circuito da Atividade 3.....	107
Figura 12 - (a) Corrente no capacitor; (b) Tensão no capacitor. ....	107
Figura 13 - Circuito rlc série - Atividade 4 .....	108
Figura 14 - Atividade 1, onde se identifica três tipos de tarefas (T1, T2 e T3).....	116
Figura 15 - Tabelas $v(t) \times t$ e $i(t) \times t$ - construída pelas equipes.....	118
Figura 16 - Circuito da atividade 2.....	122
Figura 17 - Atividade 2- solução da equipe 1.....	124
Figura 18 - Atividade 3.....	125
Figura 19 - Atividade 3 - solução da equipe 1.....	126
Figura 20 - Atividade 3 - solução da equipe 3.....	127
Figura 21 - Atividade 4.....	128
Figura 22 - Respostas a e b da Atividade 4, elaboradas pelas equipes.....	130
Figure 23 - Solução da tarefa (c) Atividade 4: elaborada pela equipe 1. ....	131
Figura 24 - a e b Obras analisadas.....	146
Figura 25 - Circuito rc sem fonte.....	155
Figura 26 - Resposta natural do circuito rc .....	159
Figura 27 - Circuito rl sem fonte .....	159
Figura 28 - Resposta em corrente do circuito rl .....	160
Figura 29 - Circuito rlc em serie se fonte de energia.....	161

Figura 30 - Circuito superamortecido de resposta natural rlc .....	164
Figura 31 - Circuito rlc criticamente amortecido .....	165
Figura 32 - A resposta natural de um circuito rlc .....	167

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dificuldades conceituais dos estudantes nos circuitos rl, rc e rlc. ....	25
Quadro 2 - Descrição de Tarefa, Técnica, Tecnologia e Teoria.....	36
Quadro 3 - Tarefa realizada pelos alunos. ....	38
Quadro 4 - Escala dos níveis de codeterminação didática. ....	48
Quadro 5 - Correspondência entre OM e os níveis de C-DD ....	48
Quadro 6 - Fatores a serem comparados: os níveis de codeterminação, praxeologia e documentos oficiais do IFBA. ....	49
Quadro 7 - Abordagem ecológica da TAD.....	51
Quadro 8 - Elementos da Transposição Didática ....	58
Quadro 9 - Sistema didático e trajetória do Saber na Transposição Didática. ....	62
Quadro 10 - Relação tensão-corrente, para capacitores, resistores e indutores.....	100
Quadro 11 - Relação de tensão e corrente em capacitor e indutor. ....	102
Quadro 12 - Questões aplicadas aos alunos.....	110
Quadro 13 - Atividade 1 em termos de tipos de tarefa (T) e tarefas (t).....	116
Quadro 14 - Atividade 1 em termos de técnicas e tecnologias.....	117
Quadro 15 - Atividade 2 em termos de tipo de tarefa (T) e tarefas (t) ....	123
Quadro 16 - Atividade 2 em termos de técnicas e do tecnológico-teórico.....	123
Quadro 17 - Atividade 3 em termos de tipo de tarefa (t) e tarefas (t) ....	125
Quadro 18 - Atividade 3 em termos de técnicas e do tecnológico-teórico.....	126
Quadro 19 - Atividade 4 em termos de tipo de tarefa (T) e tarefas (t) ....	129
Quadro 20 - Atividade 4 em termos de técnicas e do tecnológico-teórico.....	129
Quadro 21 - Atividade 5 - Questionário. ....	132
Quadro 22 - Disciplinas iniciais do curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA.....	139
Quadro 23 - Grade curricular do curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA - Frente	140
Quadro 24 - Grade curricular do curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA - Verso .	141
Quadro 25 - Estruturas organizacionais do livro didático. ....	144

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Estrutura organizacional Global do Livro didático A .....	148
<b>Tabela 2</b> - Estrutura organizacional Global do Livro didático B .....	148
<b>Tabela 3</b> - Estrutura organizacional Regional do Livro didático A.....	151
<b>Tabela 4</b> - Estrutura organizacional Regional do Livro didático A.....	152
<b>Tabela 5</b> - Estrutura organizacional Regional do Livro didático B.....	152
<b>Tabela 6</b> - Estrutura organizacional Regional do Livro didático B.....	153

## LISTA DE SIGLAS

CC – Corrente constante  
CA - Corrente alternada  
C-DD – Níveis de Codeterminação Didática  
DNC – Diretrizes Nacionais Curriculares  
ED – Engenharia Didática  
EDO – Equação Diferencial Ordinária  
HFC – História e Filosofia da Ciência  
IES – Instituições de Educação Superior  
IFBA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia  
LD – Livros Didáticos  
LTC - Livros Técnicos e Científicos  
LKC – Lei de Kirchhoff para corrente  
LKV – Lei de Kirchhoff para tensão  
MEC – Ministério da Educação do Brasil  
MD – Momento Didático  
ME – Momento de Estudo  
OD – Organização Didática  
OM – Organização Matemática  
OP – Organização Praxeológica  
PPI – Plano Pedagógico Institucional  
PUC-SP – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo  
PUC – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais  
RL – Circuito resistivo e indutivo  
RC – Circuito resistivo e capacitivo  
RLC – Circuito resistivo, indutivo e capacitivo  
SE – Sessões de Estudo  
TAD – Teoria Antropológica do Didático  
TD – Transposição Didática  
TSD – Teoria das Situações Didáticas  
TTD – Teoria da Transposição Didática  
TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

UEL – Universidade Estadual de Londrina

UFBA – Universidade Federal da Bahia

UEFS – Universidade Estadual de Feira de Santana

UFPA – Universidade Federal do Pará

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

## SUMÁRIO

<b>Introdução.....</b>	<b>17</b>
<b>1 Problemática e referencial teórico.....</b>	<b>23</b>
1.1 Problemática.....	23
1.2 A Teoria das Situações didática.....	26
1.2.1 Tipos de situações didáticas.....	28
1.2.2 O contrato didático.....	30
1.3 A teoria antropológica do didático – TAD.....	31
1.3.1 Relações institucionais.....	34
1.3.2 A abordagem praxeológica.....	36
1.3.3 Praxeologia.....	41
1.3.4 Praxeologia matemática ou organização matemática – OM.....	44
1.3.5 Organização praxeológica didática e Níveis de codeterminação didática – CDD.....	46
1.4 Abordagem ecológica.....	50
1.5 Abordagem ostensivos e não ostensivos.....	52
1.6 Transposição didática.....	57
1.6.1 Noosfera.....	60
1.6.2 As esferas do saber.....	63
1.7 Um olhar voltado para Circuitos Elétricos.....	64
<b>2 Interações entre matemática e física no ensino de circuitos elétricos rc, rl e rlc em cc.....</b>	<b>68</b>
2.1 Inter-relação entre a matemática e a física.....	68
2.2 Definição de equação diferencial ordinária.....	75
2.2.1 Ordem e grau de uma equação diferencial.....	75
2.2.2 Solução de uma Equação Diferencial Ordinária – EDO.....	76
2.2.3 Equações diferenciais ordinárias de primeira ordem.....	76
2.2.4 Equações de primeira ordem.....	76
2.2.5 Modelos matemáticos e equações diferenciais.....	77
2.2.6 Equações Exatas de primeira ordem.....	78
2.2.7 Equações lineares diferenciais ordinárias de segunda ordem.....	78
2.2.8 Equações lineares homogêneas de segunda ordem.....	79
2.2.9 Raízes complexas conjugadas.....	80
2.3 Equação diferencial ordinária em circuitos elétricos.....	80
2.4 Elementos de eletricidade.....	81
2.4.1 Circuito rc.....	82
2.4.2 Circuito rl.....	84
2.4.3 Circuitos Elétricos rlc.....	86
<b>3 Delineamento metodológico.....</b>	<b>89</b>
3.1 Abordagem qualitativa.....	89

3.2	Engenharia Didática de primeira geração: uma metodologia de pesquisa.....	91
3.3	Caracterização da pesquisa: local, participantes e dados.....	94
3.3.1	Local da Pesquisa.....	95
3.3.2	Participantes.....	96
3.4	Sequência de Atividades.....	97
3.4.1	Análise a priori da Atividade 1.....	99
3.4.2	Análise a priori da Atividade 2.....	105
3.4.3	Análise a priori da Atividade 3.....	106
3.4.4	Análise a priori da Atividade 4.....	108
3.4.5	Atividade 5 – Questionário.....	110
<b>4</b>	<b>Experimentação, resultados e discussões.....</b>	<b>113</b>
4.1	Análise praxeológica.....	113
4.2	Primeira sessão de estudo – Atividade 1.....	116
4.3	Segunda sessão de estudo – Atividade 2.....	122
4.4	Terceira sessão de estudo – Atividade 3.....	125
4.5	Quarta sessão de estudo – Atividade 4.....	128
4.6	Quinta sessão de estudo – Atividade 5.....	132
<b>5</b>	<b>Análise curricular, projeto pedagógico e livros didáticos.....</b>	<b>136</b>
5.1	Estrutura curricular do curso de Engenharia Elétrica.....	136
5.2	Análise dos objetos circuitos rl, rc e rlc em cc nos livros didáticos.....	143
5.3	Organização dos livros didáticos – LD.....	147
5.4	Estrutura organizacional global dos livros didáticos.....	147
5.5	Estrutura organizacional regional do livro didático.....	151
5.6	Análise local do livro didático: circuitos rl, rc e rlc.....	154
5.7	Circuito rl sem fonte.....	159
5.8	Circuito rlc em série sem fonte.....	160
5.9	Organização Praxeológica.....	167
5.10	Objetos ostensivos e não ostensivos propostos pela TAD.....	169
5.11	Aspectos ecológicos do saber no LD.....	170
	<b>Conclusões e perspectivas futuras.....</b>	<b>172</b>
	<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>178</b>
	<b>Anexos.....</b>	<b>184</b>



## INTRODUÇÃO

Durante duas décadas atuando profissionalmente na área educacional do ensino superior, ministrando o conteúdo da disciplina 'Circuitos Elétricos I'<sup>1</sup>, foi possível perceber as restrições de ensino que levam o estudante a não articular os conceitos envolvidos nesse componente curricular. Diante das minhas inquietações, surgiu o interesse pelo tema aqui pesquisado o qual está relacionado à minha trajetória profissional e ao interesse que possuo pela pesquisa em Ensino de Ciências e que atualmente é cenário das minhas reflexões. Os saberes matemáticos e físicos requeridos e desenvolvidos durante os trabalhos desse componente curricular vêm sinalizando por uma mudança no processo de ensino e aprendizagem, visto que o estudante apresenta dificuldades na aquisição de novos conceitos.

A partir deste contexto, surgiu o interesse em pesquisar como o ensino do componente curricular circuitos elétricos, poderia despertar nos estudantes interesse em adquirir novos saberes. Nessa ocasião, sendo de formação técnica sem conhecimentos em didática, para minimizar a lacuna de minha formação acadêmica, busquei realizar um curso em Planejamento e prática do Ensino para aquisição de métodos e técnicas de ensino, que repercutissem no resultado semestral dos estudantes durante o trabalho com a disciplina, fazendo com que os mesmos obtivessem os saberes sobre as leis e os conceitos dos circuitos elétricos.

Se não contribui da forma esperada, auxiliou no meu crescimento como professora e me levou a uma nova etapa profissional através do doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (PPGEFHC/UFBA/UEFS).

O componente curricular Circuitos Elétricos I faz parte do núcleo profissionalizante do curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA, integra as disciplinas do quinto semestre e é de fundamental a importância para as demais unidades curriculares da área de engenharia elétrica. Sua carga horária semestral são 90 horas/aula e 06 horas/aulas semanais. Nesta disciplina, o ensino se processa, muitas vezes pelo uso de fórmulas, tornando fundamental a discussão sobre objetos ostensivos e não ostensivos, conceitos esses abordados na Teoria Antropológica do Didático referencial teórico desse trabalho.

Bosch e Chevallard (1999) discutem os objetos ostensivos e os objetos não ostensivos presentes no desenvolvimento do conhecimento matemático. Os ostensivos são objetos materiais quaisquer que podem ser manipuláveis, tais como: sons, grafismos e os gestos; os não ostensivos são todos os objetos não materiais como as ideias, as intuições ou conceitos

---

<sup>1</sup> Conjunto de dispositivos elétricos conectados com um determinado propósito.

que vivem institucionalmente, no sentido que lhes são atribuídas existências, sem poder ser vistos, ditos, mostrados, percebidos por si mesmo, mas, podem ser evocados ou invocados pela manipulação adequada de certos ostensivos associados.

Partimos dessas noções na discussão dos ostensivos e dos não ostensivos envolvidos no ensino dos conceitos dos circuitos elétricos estudados, sobre os quais discorreremos posteriormente.

Neste contexto, encontramos apoio para estudo na Didática da Matemática, mais precisamente na TAD (Chevallard, 1992), teoria que surgiu com a evolução da Teoria da Transposição Didática (TTD) rediscutida por Chevallard em seu livro *La Transposition Didactique*, e, insere a Didática no campo Antropológico.

A TAD em seus pressupostos situa a atividade matemática e o seu estudo no contexto das práticas humanas e sociais, estuda as organizações praxeológicas didáticas voltadas para a aprendizagem de organizações matemáticas, físicas e outras ciências, e, hoje no campo de pesquisa educacional, se destaca na investigação em Didática da Matemática e Didática da Física.

Nesse contexto e considerando que para a aprendizagem do componente curricular Circuitos Elétricos I é necessária a inter-relação entre matemática e física, observou-se a possibilidade da TAD no âmbito do ensino do componente curricular Circuitos Elétricos I.

Para realizar nossa pesquisa buscamos as contribuições de dois importantes marcos da Educação Matemática: a Teoria das Situações Didáticas (TSD) de Brousseau (1996), que se desdobra na metodologia da Engenharia Didática, aplicada nessa investigação.

A Engenharia Didática vem contribuindo com as pesquisas no cenário nacional e considerando que a mesma consiste em organizar pesquisas a partir da construção de uma sequência didática planejadas com a finalidade de obter informações que permitam interpretar processos de aprendizagem, nos questionamos sobre **quais são os impactos que uma engenharia didática que considera articulação dos ostensivos e não ostensivos, no processo de matematização da Física na resolução de tarefas sobre circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc?**

Na resolução de tarefas, o aluno é desafiado a solucioná-las através de uma sequência didática a serem executadas, para atingir um objetivo. Podendo ser observada quando o estudante ao procurar solucioná-las não chega ao objetivo de forma imediata ou automática, envolvendo-se, necessariamente, em um processo de reflexão e de tomada de decisões, culminando no estabelecimento de ações, isto é, o estudante evoca os objetos ostensivos e não

ostensivos, dispõe de elementos da matemática e da física necessários à construção de um novo saber para que durante a resolução da tarefa a aprendizagem se realize.

Considerando esses elementos, a pesquisa traz como hipótese: se uma modelização e análise de situações de aprendizagem a partir da Teoria Antropológica do Didático (TAD), potencializa o desenvolvimento de atividades mais significativas para os estudantes do quinto semestre do curso de Engenharia Elétrica do (IFBA).

Como professora do ensino superior, com a responsabilidade de contribuir com a formação de engenheiros eletricitas, vivendo uma experiência cada vez mais singular e destacada no percurso histórico da educação tecnológica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), trilhamos por um caminho que se renova e se reestrutura paralelamente à transformação por que passa a sociedade, perseguindo estrategicamente os caminhos que possibilitem responder pelas questões e demandas da comunidade na missão de formar cidadãos críticos.

O contato com o ensino e aprendizagem, ocorreu no início da carreira como profissional de ensino, ministrando aulas e supervisionando estágios. Na disciplina Estágio Supervisionado percebi a dificuldade dos alunos em associarem o conhecimento teórico adquirido em sala de aula, com as atividades práticas exercidas através do estágio, motivo pelo qual busquei a pesquisa acadêmica, por meio do Doutorado no ensino de Ciências.

Para desenvolver nosso estudo bibliográfico, delineamos os procedimentos a seguir utilizando os pressupostos da Teoria Antropológica do Didático proposta por Yves Chevallard e colaboradore:

- Levantamento de teses, dissertações e artigos para compor a revisão de literatura e a fundamentação teórica;
- Estudo dos documentos oficiais Projeto Pedagógico da Instituição (PPI) e Currículo de curso;
- Levantamento e estudo dos livros didáticos e das atividades que compõem seus capítulos
- Levantamento de teses, dissertações e artigos para compor a revisão de literatura e a fundamentação teórica;
- Estudo dos documentos oficiais Projeto Pedagógico da Instituição (PPI), Guia de Parâmetros Curriculares Nacionais, Conselho Nacional de Educação, Plano do IFBA campus Salvador, as Diretrizes Nacionais Curriculares (DNC) para os Cursos de Engenharia, currículo e ementa do curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA e Livros didáticos (LD)

- Levantamento e estudo dos livros didáticos, análise das organizações praxeológicas globais, regionais e locais: tipos de tarefas, tipos de técnicas e o discurso teórico-tecnológico (praxeologias) presentes nas atividades selecionadas nos livros didáticos;

Os trabalhos consultados foram coletados através do banco de teses dissertações da CAPES, sítios das revistas científicas brasileiras: Educação Matemática Pesquisa, e Zetetiké, visto que, na busca “on line” referente ao referencial teórico da pesquisa eram revelados artigo nessas duas revistas e sítios de Programas de Pós-Graduação:

Programa de Educação em Ciências e Matemáticas da Universidade Federal do Pará (UFPA); Programa Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP); Programa de Educação Matemática da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP); Programa de Educação e Programa de Ensino de Ciências e Matemática da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas); Programa de Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina (UEL) e Programa em Ensino, Filosofia e História das Ciências UFBA/UEFS. Foi inventariado um total de vinte e dois trabalhos, sendo quinze do “tipo” artigo, duas do “tipo” dissertação e cinco do “tipo” tese.

Salientamos que dos trabalhos encontrados, apenas um deles aborda a matemática inter-relacionada à física e uma tese aborda a física no ensino superior. Duas teses e 10 artigos estão relacionados às fontes de consultas para a fundamentação teórica.

Diante desse cenário, na perspectiva de superar a incompletude na aprendizagem do estudante, uma vez que os mesmos sentem dificuldades em construir conceitos referentes ao objeto de estudo dessa pesquisa, entramos em contato com a TSD e a TAD teorias de base dessa investigação, mediante a participação nos estudos do Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa, Ensino e Didática das Ciências, Matemática e Tecnologias (NIPEDICMT), coordenado pelo Prof. Dr. Luiz Marcio Santos Farias, estudioso e pesquisador em Didática da Matemática, hoje meu orientador.

Quanto ao objetivo dessa pesquisa, enquanto um estudo alicerçado nos princípios da Didática da Matemática a pesquisa traz como objetivo geral:

Analisar, constituir, experimentar e apresentar sequências didáticas através da disciplina Circuitos Elétricos I que considerem as inter-relações da matemática e da física, bem como fornecer elementos empíricos encontrados no trabalho dos estudantes na aprendizagem de circuitos elétricos com resistor e capacitor, resistor e indutor e resistor indutor e capacitor em regime de corrente constante (CC).

Trazendo como objetivos específicos:

- Analisar a priori, definindo as variáveis globais e locais e as sequências didáticas utilizadas, com base nos dados da análise preliminar;
- Construir e experimentar sequência didática, a partir das ações de ensino, devidamente acompanhada com a observação das ações dos sujeitos;
- Avaliar a posteriori, as informações coletadas com as observações da aplicação da sequência didática;
- Apresentar uma engenharia didática que possa ser utilizada no curso de Engenharia Industrial Elétrica para o componente curricular Circuitos Elétricos I;
- Analisar os impactos da utilização da engenharia didática em uma turma do 5<sup>o</sup> semestre de Engenharia Industrial Elétrica no IFBA.

Tendo em vista que nossa investigação se pauta nos princípios e pressupostos da TAD, a qual surgiu no campo da Educação Matemática francesa, propomos, inicialmente, realizar observações e reflexões sobre a origem da mesma, relacionando-a ao nosso objeto de estudo.

De acordo com considerações, sobre a Didática, buscamos na TAD, o suporte epistemológico para nossa pesquisa, considerando que a mesma possibilite a compreensão dos ‘obstáculos epistemológicos’<sup>2</sup> enfrentados pelos estudantes, à medida que questiona e analisa o saber científico, saber a ensinar, saber ensinado e saber aprendido.

Assim, os saberes à luz da TAD servem como lente para investigar as práticas docentes relativas ao ensino de circuitos elétricos e, a partir deste estudo, desenvolver uma análise de como os saberes são apresentados na prática pedagógica do professor.

Nesse percurso, iniciamos a tese com o *Capítulo 1*. Esse capítulo expõe uma discussão de caráter teórico, que subsidia conceitualmente o pensamento e as ações realizadas no planejamento ao longo do estudo realizado.

Na sequência, no *Capítulo 2*, realizamos estudos de elementos históricos e epistemológicos evidenciando as inter-relações entre a matemática e a física, condição necessária para a aprendizagem de circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc.

No processo de aprendizagem, é condição *sine qua non* conhecer os motivos e as necessidades que levaram ao desenvolvimento dos conceitos a serem transmitidos e por meio

---

<sup>2</sup> Obstáculos epistemológicos são inerentes ao processo de conhecimento, constituindo-se em acomodações ao que já se conhece, e estas acabam por representar uma resistência à construção do conhecimento científico Bachelard (1996).

da inter-relação entre matemática e física, busca-se dar mais sentido a aprendizagem dos circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc.

A matemática e a física, necessárias à aprendizagem de circuitos elétricos, após o processo de Transposição Didática (TD) (Chevallard, 1991), fazem uma transformação do conteúdo a ser ensinado, a fim de tornar acessível o conhecimento e juntamente com outros recursos didáticos e metodológicos da TAD, oferecem uma importante contribuição ao processo de aprendizagem dos conteúdos de circuitos elétricos.

Já o *Capítulo 3* apresenta os delineamentos metodológicos da pesquisa, tais como métodos de análise dos momentos didáticos, delimitação do material instrucional analisado, local e público para aplicação, e estratégias para expor, de maneira organizada e estruturada, as organizações praxeológicas identificadas, nas atividades didáticas.

Em seguida, o *Capítulo 4* discute os principais resultados alcançados provenientes da análise praxeológica dos documentos institucionais e das aplicações em sala de aula, onde foi observada a construção do conhecimento através dos momentos didáticos. Tratamos dos processos desenvolvidos na produção dos dados, procurando atender os objetivos traçados à luz do referencial teórico que subsidia conceitualmente o pensamento e as ações realizadas no planejamento ao longo do estudo realizado.

No *Capítulo 5* analisamos o Projeto Pedagógico Institucional (PPI), as Diretrizes Nacionais Curriculares (DNC) para os Cursos de Engenharia, os Referenciais Nacionais dos cursos de Engenharia, o currículo do curso, a ementa e o livro didático (LD), a partir de referenciais teóricos: organizações praxeológicas, a retomada dos objetos ostensivos e não ostensivos e a ecologia do saber da TAD da Didática; e da Didática das Ciências Naturais, verificando a forma de abordagem, a proposição de exercícios e se suas abordagens são contextualizadas e realizadas de forma dinâmica, apresentados através de histórias ou exemplos do cotidiano, no intuito de motivar o aluno para novas descobertas e despertar o interesse pelo conteúdo.

Para finalizar o trabalho, apresentamos a conclusão da pesquisa, as contribuições inerente a aprendizagem dos conceitos de circuitos elétricos rc, rl e rlc em cc necessários à formação de futuros engenheiros eletricitas do IFBA, podendo ser aplicado a outras unidades de ensino superior da engenharia elétrica ou áreas afins. Nos anexos da tese são apresentados: transcrição da interação das equipes, produção dos estudos e demais documentos.

## Capítulo 1

### Problemática e referencial teórico

Neste capítulo apresentamos a problemática que deu origem a esta pesquisa e o referencial teórico onde são discutidas as bases teóricas que sustentam conceitualmente o estudo realizado, a saber: Teoria das Situações Didática (TSD) de Guy Brousseau (1991) e a Teoria Antropológica do Didático (TAD) de Yves Chevallard (1999).

#### 1.1 Problemática

No IFBA, a disciplina Circuitos Elétricos I, é ministrada no 5º semestre acadêmico e tem carga horaria de 90 horas de aulas teóricas, no entanto, suas aulas práticas são ministradas no 7º semestre acadêmico, na disciplina Laboratórios Integrados I, o que se constitui um obstáculo epistemológico para a aprendizagem. Além do mais o estudante está habituado a exercer a teoria mecanicamente sem pensar conceitualmente e dessa forma não cria um ambiente de soluções possíveis antes de efetuar qualquer cálculo.

A disciplina de Circuitos Elétricos I é a essência da Engenharia Industrial Elétrica nas ênfases: Controle e Automação, Eletrotécnica e Telecomunicações, e em suas respectivas grades curriculares se constitui como uma das primeiras disciplinas de contato com o exercício da engenharia industrial elétrica. Até então, o estudante teve contato majoritariamente com disciplinas do núcleo básico: (i) disciplinas onde aprendeu ferramentas matemáticas necessárias à operacionalização das soluções de problemas de engenharia - Cálculo, Álgebra, Computação, etc.; (ii) disciplinas onde aprendeu os princípios físicos que explicam o que acontece na natureza e que irão estabelecer as condições de limite que o engenheiro deve considerar na solução dos problemas de engenharia (Física, Química, etc.); (iii) Disciplinas instrumentais que dão ao estudante as ferramentas necessárias para a comunicação com os demais engenheiros e com a sociedade em geral (Português, Desenho Técnico, etc.).

Porém, a forma desassociada no ensino da física e da matemática não proporciona ao estudante o uso do conhecimento das várias técnicas de análise, associado ao conhecimento da física e das ferramentas matemáticas para identificar a melhor forma de encaminhar a solução de um problema de circuitos elétricos e como analisar o comportamento dos seus

componentes, o que deixa os estudantes sentindo-se como que "perdidos" na solução de problemas, o que é um grande desafio para os mesmos.

Pretendemos com essa pesquisa apresentar uma nova dimensão para a disciplina Circuitos Elétricos I, a partir de agora serão realizadas atividades que não têm mais uma única técnica de resolução. Cada atividade pode ser resolvida com diferentes técnicas, todas elas corretas. A melhor forma de encaminhar e resolver uma atividade de circuitos elétricos irá sempre depender de diversos fatores. O estudante deverá usar o seu conhecimento das várias técnicas de análise, associado ao conhecimento da física e das ferramentas matemáticas para identificar a melhor forma de encaminhar a solução de uma atividade. Desaparece aqui a possibilidade de estudar técnicas associadas à solução de "tipos" de atividades. Não dá mais para compilar uma lista de atividades e de soluções e fazer analogias.

É válido supor, que a falta de um olhar científico para o modo pelo qual a disciplina vem sendo desenvolvida, contribua também para o insucesso dos estudantes, ademais, desde a década de 90, por exemplo, que esse componente curricular vem sendo oferecido nos mesmos modos, esse "gap" e a ausência muitas vezes do entendimento dos princípios fundamentais da matemática e da física para que o aluno saiba sempre como deduzir a nova teoria a partir destes princípios, repercutem no resultado semestral dos estudantes durante o trabalho com essa disciplina.

O Quadro 1, reproduz as principais dificuldades conceituais dos estudantes na construção do conhecimento dos circuitos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$  em  $cc$  e aponta a necessidade de novas abordagens didáticas no ensino desse componente curricular.

Neste contexto, buscamos analisar e construir o trabalho dos professores e estudantes previstos para este componente curricular, ou seja, como desenvolver métodos que sirvam de parâmetros significativos para a aprendizagem dos alunos, que possam articular e identificar os tipos de tarefas, as técnicas de resolução dessas tarefas, bem como o bloco tecnológico teórico presentes nas aulas em que se discutem os conteúdos apresentados.



**Quadro 1** - Dificuldades conceituais dos estudantes nos circuitos rl, rc e rlc.

Circuitos	Conceitos	Dificuldades
Resistivos	Corrente elétrica	<p>Compreender que a intensidade da corrente elétrica em um circuito depende da característica da fonte, mas também da resistência equivalente do que foi acoplado entre os seus terminais.</p> <p>Considerar a conservação da corrente elétrica.</p> <p>Reconhecer que a intensidade da corrente elétrica não depende da ordem em que se encontram os elementos no circuito e nem do sentido da corrente.</p>
	Diferença de potencial	<p>Diferenciar o conceito de diferença de potencial e corrente elétrica.</p> <p>Diferenciar o conceito de diferença de potencial e potencial elétrico.</p> <p>Calcular a diferença de potencial entre pares de pontos ao longo do circuito.</p>
	Resistência Elétrica	<p>Considerar a conservação da corrente elétrica.</p> <p>Distinguir resistência equivalente de uma parte do circuito e a resistência elétrica de um elemento individual.</p> <p>Compreender que as divisões de correntes elétricas em um ponto de junção do circuito dependem da configuração do circuito.</p> <p>Entender a associação em série de resistores como um impedimento à corrente; e a associação em paralelo como um caminho alternativo para a passagem da corrente.</p> <p>Identificar associação série e paralelo.</p>
rc rl	Corrente elétrica e Tensão elétrica	<p>Compreender que durante o processo de carga e descarga a intensidade da tensão elétrica decai exponencialmente no circuito rc e corrente elétrica decai exponencialmente no circuito rl.</p> <p>Considerar a conservação espacial da corrente elétrica.</p>
	Carga elétrica	<p>Compreender o processo de carga e descarga do indutor e do capacitor.</p> <p>Entender a relação entre carga elétrica e corrente elétrica.</p>
	Diferença de potencial	<p>Relacionar a diferença de potencial no capacitor com a quantidade de carga armazenada e a diferença de potencial no resistor com a intensidade de corrente elétrica.</p>

rlc	Carga elétrica e Corrente elétrica	Relacionar a intensidade de corrente elétrica com a quantidade de carga elétrica armazenada no capacitor em função do tempo. Identificar o sentido das linhas de campo magnético no indutor, durante o processo de carga e descarga do capacitor.
	Campo magnético	Compreender o comportamento das energias elétricas, magnéticas e eletromagnética, durante uma oscilação completa.

Fonte: NETO (2013).

É pertinente observar, que o Programa Epistemológico, teve início com os estudos em micro didática, ou seja, o estudo de uma ciência específica de um conhecimento preciso (BROUSSEAU, 1998a), por meio da Teoria das Situações Matemáticas e a Teoria das Situações Didáticas em Matemática, propostas nas décadas de 1970/1980 por Brousseau. Esses estudos foram acrescidos pela Teoria da Transposição Didática (TTD) e a Teoria Antropológica do Didático (TAD), nas décadas de 1980/1990, idealizadas por Chevallard.

Segundo CHEVALLARD (2005), "[...] as didáticas nascem dominadas pela parte do mundo que 'estudam', aceitando sem outra forma de processos as descrições que partem do mundo [...]", no caso das áreas de conhecimento, "[...] as matemáticas, a biologia, a física, a química, a literatura, etc." (CHEVALLARD, 2005, p.7).

De acordo com considerações, sobre a Didática, buscamos na TAD, o suporte epistemológico para nossa pesquisa, considerando que a mesma pode possibilitar a compreensão das dificuldades enfrentadas pelos estudantes, à medida que questiona e analisa o saber científico, saber ensinar, saber ensinado e saber aprendido.

## 1.2 A Teoria das Situações Didática

A Teoria das Situações Didáticas (TSD), proposta pelo pesquisador Guy Brousseau (1986) estabelece que "cada conhecimento ou saber pode ser determinado por uma situação", em que haja uma ação entre duas ou mais pessoas. Para que a ação seja solucionada, é preciso que os alunos mobilizem conhecimentos prévios correspondentes.

Brousseau coloca como princípio básico equiparar o trabalho do aluno ao trabalho de um pesquisador, formulando e testando hipóteses, provando, construindo modelos, conceitos, teorias e socializando os resultados, com o devido auxílio do professor, que deverá providenciar situações favoráveis para que o aluno aja sobre o saber, transformando-o em um novo conhecimento.

As características da TSD são vivenciadas, quando sequências didáticas são elaboradas para permitir a autonomia do estudante na construção de seus saberes. Essa teoria condiciona de forma favorável ao professor para, entre outras tarefas, elaborar, aplicar, acompanhar e realizar análises. É necessário que o mesmo elabore uma sequência didática na qual o aluno é convidado a construir saberes relativos a um conteúdo, sem a interferência direta dele nessa construção. O professor e os alunos firmam um contrato didático, pelo qual se comprometem, tendo o professor como mediador, a se apropriarem de saberes propostos aos mesmos na execução das atividades apontadas na sequência didática.

Um conceito de relevante importância na TSD é o conceito de "*milieu*" palavra em francês que traduzida para o português significa meio. O *meio* é tudo que interage com o aluno de forma antagônica, ou seja, a vida cotidiana e a vida acadêmica do educando.

Considerando que o objeto central da TAD é a situação didática na qual são identificadas as interações estabelecidas entre professor, aluno e saber, Almouloud (2007), apresenta as hipóteses:

1) O aluno aprende adaptando-se a um Milieu que é fator de dificuldades, de contradições [...] 2) O Milieu não munido de intenções didáticas é insuficiente para permitir a aquisição de um conhecimento matemático pelo aprendiz [...] 3) Esse Milieu e essas situações devem engajar fortemente os saberes matemáticos envolvidos no processo de ensino e aprendizagem. 4) No fundo, o ato de conhecer dá-se conta um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo à espiritualização. (Almouloud, 2007, p.32).

De acordo com o pensamento teórico de Brousseau, uma situação pode ser: a) didática, é uma situação que ocorre de forma abrangente onde um problema escolhido pelo professor envolve o aluno e o seu meio, quando há a intenção de aprendizagem, b) adidática, é uma situação didática que pode ser vivida pelo aluno como pesquisador de um problema matemático.

Para Brousseau, uma situação adidática caracteriza-se por momentos do processo de aprendizagem<sup>3</sup> nos quais o aluno trabalha de forma independente sem o controle direto do professor; é uma situação pedagógica sem relação específica de um saber, caracterizado por um trabalho em grupo ocorrido fora do contexto escolar.

Segundo Brousseau (1996):

Uma situação didática é um conjunto de relações estabelecidas explicitamente e ou implicitamente entre um aluno ou um grupo de alunos, num certo meio, compreendendo eventualmente instrumentos e objetos, e um sistema educativo (o professor) com a finalidade de possibilitar a estes alunos um saber constituído ou em vias de constituição [...]. O trabalho do aluno deveria, pelo menos, em parte,

<sup>3</sup> Aprendizagem é um processo de mudança de comportamento obtido através da experiência construída por fatores emocionais, neurológicos, relacionais e ambientais. Aprender é o resultado da interação entre estruturas mentais e o meio ambiente.

reproduzir características do trabalho científico propriamente dito, como garantia de uma construção efetiva de conhecimentos (BROUSSEAU, 1996, p.8).

Uma situação didática é formada pelas múltiplas relações pedagógicas estabelecidas pelo tríptico relação professor, alunos e saber, com a finalidade de desenvolver atividades relacionadas ao ensino e a aprendizagem de um conteúdo específico, para modelar a TSD. Brousseau (1996, p. 12), propõe o triângulo didático composto pelos elementos, o aluno, o professor e o saber, partes da construção de uma relação dinâmica e complexa ‘a relação didática’ que considera as interações entre professor e alunos mediadas pelo saber, que determina a forma como tais relações irão se desenvolver (Figura 1).

**Figura 1 - Triângulo didático**



**Fonte:** Brousseau (1986, p.12)

É necessário que a resolução de problemas forneça ao aluno situações do seu cotidiano e possa favorecer maneiras de expressar diferentes estratégias, verbalmente ou por diversas representações, de encontrar respostas ao desafio proposto.

### 1.2.1 Tipos de situações didáticas

Brousseau na teoria das situações didática, reconhece cinco fases diferentes na análise do processo de aprendizagem a luz da TSD, a saber: devolução<sup>4</sup>, ação, formulação, validação e institucionalização.

Brousseau na teoria das situações didática, reconhece cinco fases diferentes na análise do processo de aprendizagem a luz da TSD, a saber: devolução<sup>5</sup>, ação, formulação, validação e institucionalização.

<sup>4</sup> Assista ao que Guy Brousseau fala sobre a devolução: (clique aqui para acessar entrevista com Brousseau: <http://vimeo.com/user4831399/review/96489500/1256608701>)

- Situação didática de devolução é o ato no qual o professor repassa ao aluno parte da responsabilidade pela aprendizagem, incluindo-o no processo e assumindo as consequências desta ação. É nessa fase que o professor coloca o aluno em situação adidática;
- Situação didática de ação é aquela em que há uma interação entre o aluno e o meio físico, na qual o aprendiz que se encontra ativamente empenhado na busca de um método de resolução de um determinado problema, realiza sem a intervenção do professor, graças à retroação do meio;
- Já na situação didática de formulação, o aluno troca informações teóricas de uma forma bem mais elaborada com uma pessoa ou um grupo de pessoas. É, na verdade, a fase de criação de condições que propicia ao aluno a construção progressiva de uma linguagem mais apropriada para viabilizar esse uso da teoria;
- Na situação didática de validação o aluno tenta “convencer” aos outros sobre a validade do modelo criado durante as discussões efetuadas, através de demonstrações, visto que, embora a comunicação empírica do que afirmam esteja correta, faz-se necessário explicar o porquê do modelo criado; as situações de devolução, ação, formulação e validação determinam a situação adidática, em que o professor concede ao aluno buscar os caminhos da descoberta, sem revelar sua intenção didática, e sendo apenas mediador;
- A situação de institucionalização consiste no momento de estabelecer o carácter de objetividade e universalidade do conhecimento. Na consolidação dessa situação, procura-se que o coletivo dos alunos participantes da atividade, se apropriem do significado social instituído do saber que foi vivenciado por eles, nas situações anteriores (ação, formulação e validação), referendada pelo professor que procede a transposição do conhecimento construído pelos alunos, ao nível de conhecimento científico, a ser incorporado como património histórico e cultural.

Para Brousseau (1986) as etapas das situações adidáticas, tem a finalidade de analisar o processo de aprendizagem, nas situações de ação, de formulação e de validação, as quais são atribuídas como responsabilidade do aluno. Segundo Artigue (1988), para que seja dado um estatuto cultural ao conhecimento em jogo, foi necessário introduzir a situação de institucionalização que, junto à devolução, é considerada uma das principais atividades do professor numa situação de ensino.

---

<sup>5</sup> Assista ao que Guy Brousseau fala sobre a devolução: (clique aqui para acessar entrevista com Brousseau: <http://vimeo.com/user4831399/review/96489500/1256608701>)

O professor assume o controle retomando a responsabilidade atribuída aos alunos, certificando-lhes o estatuto de saber. É na institucionalização que se manifesta o papel explícito do professor: o objeto de estudo é oferecido ao aluno de forma clara para que não haja dúvidas, havendo, portanto, uma aprendizagem efetiva, reconhecida pelo professor.

Segundo Almouloud (2007, p.40), a institucionalização deve ser realizada no momento adequado, para o qual faz algumas ressalvas:

Se feita muito cedo, a institucionalização interrompe a construção do significado, impedindo uma aprendizagem adequada e produzindo dificuldades para o professor e os alunos; quando feita após o momento adequado, ela reforça interpretações inexatas, atrasa a aprendizagem, dificulta as aplicações; é negociada numa dialética (Almouloud, 2007, p.40).

### 1.2.2. O contrato didático

Brousseau (1986) define contrato didático, como “o conjunto de comportamentos específicos do professor esperados pelos alunos, e o conjunto de comportamentos dos alunos esperados pelo professor”.

Segundo Brousseau, é por meio da devolução que o professor coloca o aluno em situação adidática e, além disso, exemplifica a devolução de uma situação adidática por meio de cinco etapas, definindo as suas diferentes componentes. A saber, primeira etapa: abordagem puramente lúdica; segunda etapa: devolução de uma preferência; terceira etapa: devolução de uma responsabilidade e de uma causalidade; quarta etapa: devolução da antecipação e quinta etapa: devolução da situação adidática.

A situação adidática de devolução, se caracteriza pelo ato no qual o professor cede ao aluno uma parte da responsabilidade pela aprendizagem de um novo saber, é a etapa do processo que fomenta a pesquisa no aluno por meio de discussões com outros alunos, por exemplo. Nessa etapa, o que o aluno aprendeu não é descrito como procedimentos “fixos”. Assim, a devolução não diz respeito ao objeto do ensino, mas às situações que o caracterizam (BALDINI, 2004).

Esses comportamentos regulam o funcionamento da aula e as relações entre o triângulo didático professor-aluno-saber, definindo dessa forma os papéis que cada um exerce. Assim, é possível observar uma situação de ensino por meio das relações que permeiam entre os três polos descritos por Brousseau: professor, aluno e saber.

Segundo Brousseau, as escolhas pedagógicas das atividades e estratégias de ensino têm influências sobre o contrato didático. Trata-se da situação problema proposta, a avaliação, o contexto, o tipo de trabalho e os objetivos do curso, dentre outros fatores. Daí serão

estabelecidas ou construídas determinadas regras, explícitas ou implícitas, e os pontos de ruptura. Por exemplo, quando um professor propõe uma atividade ou uma situação problema em sala de aula com a intenção de introduzir um conceito novo. Então, propõe aos educandos que iniciem a resolução do problema.

Após afirmar que eles resolverão sozinhos, uma inquietação é generalizada porque os mesmos não têm certeza que podem resolver, uma vez que, normalmente, estão acostumados ao professor desenvolver esse tipo de atividade antes deles. Podendo, então, haver quebra de contrato, negociações, rupturas e efeitos de contrato didático que podem surgir durante a aula.

### 1.3 A teoria antropológica do didático (TAD)

Neste item abordamos sobre os pressupostos da teoria de base que sustenta a análise da nossa pesquisa, a TAD, teoria com estruturas conceituais e metodológicas próprias surgida no campo da Educação Matemática francesa, originada do pensamento teórico de Yves Chevallard, matemático francês. Após a realização do 4º Congresso Internacional sobre a TAD ocorrido entre os dias 21 e 26 de abril de 2013, na cidade de Toulouse – França, após tratamento dos fundamentos teóricos e epistemológicos, passou a liderar o papel de protagonista no cenário científico da pesquisa didática.

Segundo MACHADO (2011, p.31), “trata-se de uma teoria oriunda de um programa de investigação denominado Programa Epistemológico, que teve como ponto de partida os trabalhos de Guy Brousseau”, pesquisador francês, que desde a década de 1960 tem se destacado no desenvolvimento dos estudos sobre a Didática da Matemática.

Convém destacar, que numerosas análises sobre o ensino das ciências têm mostrado que o ensino transmite visões da ciência que se afastam notoriamente da forma como se constroem e evoluem os conhecimentos científicos (FERNÁNDEZ et al., 2002; GIL-PÉREZ et al., 2001; McCOMAS, 1998). Visões empobrecidas e distorcidas que geram o desinteresse, quando não mesmo o abandono, de muitos estudantes, e se convertem num obstáculo para a aprendizagem.

Tal está relacionado com o fato de que o ensino científico incluindo o universitário está reduzido basicamente à apresentação de conhecimentos já elaborado, sem dar ocasião aos estudantes de tomarem contato com as atividades características da actividade científica (GIL-PÉREZ et al., 1999).

Em seu trabalho, o cientista está sujeito a virtudes, defeitos, preconceitos, dogmas e aos sentimentos que caracterizam o envolvimento do ser humano em qualquer atividade que

realiza. Segundo Ostermann e Moreira (1999), “na prática, muitas vezes, o cientista procede por tentativas, vai numa direção, volta, mede novamente, abandona hipóteses por falta de equipamento adequado, faz uso da intuição, dá “chutes”, se deprime, se entusiasma, se apega a uma teoria”. Entretanto, conseguir uma melhor compreensão do trabalho científico requer, esforço e interesse, dos professores que são responsáveis, pela educação científica universitária, principalmente de futuros engenheiros de um mundo onde a ciência e a tecnologia são os principais fatores de progresso e de desenvolvimento.

É pertinente observar, que o Programa Epistemológico, teve início com os estudos em micro didática, ou seja, o estudo de uma ciência específica de um conhecimento preciso (BROUSSEAU, 1998). Esses estudos foram complementados pela Teoria da Transposição Didática (TTD) e a teoria antropológica do didático (TAD), nas décadas de 1980/1990, criadas por Chevallard. Brousseau (2006) considera que o objeto primeiro de uma investigação didática deva ser a atividade matemática, no interior das diferentes instituições, e cujos conhecimentos produzidos (úteis) fossem difundidos na sociedade.

Chevallard desenvolveu a TAD e desde então junto aos seus colaboradores vêm realizando estudos sobre sua evolução que são apresentados e discutidos na “Escola de Verão de Didática da Matemática”<sup>6</sup>. Essas discussões eleva a TAD a patamares que abrange uma diversidade de elementos conceituais que permitem:

- Análise dos aspectos epistemológicos específicos da Matemática;
- Análise aos elementos que constituem as práticas e os saberes<sup>7</sup> envolvidos na atividade matemática;
- Proporciona uma abordagem metodológica compatível com as práticas e com os saberes envolvidos.

É importante enfatizar, que Chevallard desde o início do desenvolvimento da TAD, busca incessantemente formas de [...] libertar o estudo do ensino e da aprendizagem da matemática, da sujeição aos códigos da escola (CHEVALLARD, 1986, p. 1-2), pois o maior contingente desses códigos determinam práticas centradas, apenas, no processo de ensino e de aprendizagem, e não no estudo como ele preconiza.

Analisando as proposições da TAD, observamos que o termo estudo, assume regras de processos didáticos, que tem no ensino um meio para o estudo (mas não o único) e na aprendizagem o objetivo do estudo a ser alcançado, (CHEVALLARD et al., 2001;

<sup>6</sup> École d'Été de Didactique des Mathématiques

<sup>7</sup> Para Chevallard (1985; 1997) não faz sentido falar de saber no singular, mas de saberes. Visto que, a noção de TD traz em sua essência, que todo saber é um saber de uma instituição. De modo que os processos de transformação sofridos por esse saber para que ele venha a fazer parte e viver em dada instituição, compõe o objeto principal da TD.



CHEVALLARD, 2005a). Além disso, ele não ocorre somente na escola, em sala de aula, ele existe fora dela, no cotidiano do estudante na sociedade.

De acordo com Chevallard et al. (2001, Prefácio), [...] o estudo hoje, é um elo perdido entre um ensino, que parece querer controlar todo o processo didático, e uma aprendizagem cada vez mais frágil, pela exigência quase instantânea do ensino. A teoria aponta que o projeto educacional da sociedade humana, deve ter como eixo central do projeto educacional da sociedade humana, o estudo e a TAD se propõe, justamente, a encontrar e resgatar esse elo.

Verificamos que no Brasil a TTD foi fortemente difundida, não só no do âmbito da Educação Matemática, como em outros campos de conhecimento, como é o caso da Educação em Ciências (Biológicas, Físicas e Químicas). Oriunda da TTD, a TAD é um arcabouço teórico que não se encerra no saber e na atividade matemática, podendo ser utilizado em outras áreas como é o caso de Machado (2011) que utilizou a TAD para investigar saberes ligados ao conteúdo de digestão humana e Schivani (2014) que utilizou a TAD para investigar saberes ligados ao conteúdo da física robótica.

A utilização da TTD no meio educacional (formal e não formal), dentro e fora da França, acarretou em alguns casos uma descaracterização das noções contidas nos pressupostos dessa teoria, gerando críticas e colocando em dúvida, em alguns momentos, a sua legitimidade. (CHEVALLARD, 2005b, Pós-fácio). Isso ocorreu pelo fato de alguns pesquisadores, em Educação, não terem compreendido, da forma como Chevallard idealizou, o significado do termo transposição.

De acordo com Anhorn (2003),

Chevallard insiste que o termo transposição deve ser apreendido no sentido de reconstrução, recriação de saberes, ações necessárias quando ocorre mudança de *habitus* ou esferas de problematização, isto é, quando os saberes mudam, são transpostos de um tipo de instituição de saber a outro (ANHORN, 2003, p.40).

Face às críticas levantadas à TTD, Chevallard teve a oportunidade, de posteriormente, por meio de seus estudos e escritos, esclarecer os conceitos que envolvem essa teoria, e as dúvidas de interpretação referentes a ela. No texto do Pós-fácio, segunda edição, do livro —*La transposición didáctica - del sábio al saber enseñado* (1991), ele esclarece, dentre outras questões, o embate entre as didáticas-particulares (disciplinares) e uma mencionada didática geral (CHEVALLARD, 2005b, p. 149), que para ele nada mais é do que a luta pela sobrevivência das disciplinas escolares (matemática, francês, física etc.), que se negam a abrir mão de sua [...] existência e legitimidade epistemológica.

Só para nos situarmos, Chevallard começou a esboçar as noções de uma teoria formal do didático, ou melhor, da antropologia do didático (que originaria a TAD), em meados da

década de 1980, no momento em que desenvolvia a sistematização de noção da transposição didática, cujo objetivo, naquela ocasião, era o de buscar a emancipação epistemológica e institucional do campo educacional da matemática (CHEVALLARD, 2007), conforme já vimos. Nesse período, ele já demonstrava a preocupação em assegurar certa cientificidade à Didática, ou melhor, já esboçava a sua intenção de trabalhar em prol de uma Ciência da Didática.

A TAD, apesar de ter sido gestada no contexto da TTD, como observamos, passou a fazer parte do cenário de pesquisa em educação a partir do final da década de 1990, por pesquisadores brasileiros. Começou a ser difundida no Brasil mais recentemente, tendo por base os estudos de Chevallard (1999, 2001a, 2001b, 2005a); Chevallard, Bosch e Gascón (2001); Chevallard e Bosch (1999); Bosch (2000); Gascón (2003); Bosch e Gascón (2001, 2003), Barquero, Bosch e Gascón (2007), dentre outros.

Nesses trabalhos, tanto Chevallard como seus seguidores, puderam esclarecer, ampliar e aprofundar noções e conceitos da TTD e da TAD, o que possibilitou que algumas arestas fossem aparadas, relativas às críticas recebidas à sua estrutura e sistematização, não só no campo da Educação Matemática, como, também, em outros campos de conhecimento.

No Brasil, atualmente (século XXI), encontramos teses e dissertações em Educação Matemática cuja base teórica se assenta na TAD, porém, a sua utilização em outros campos do conhecimento, pelo que pudemos apurar, ainda é tímida, mas aparece em alguns textos, como por exemplo, na área de Educação a Distância (EaD) – Informática (BARBOSA, 2008), dissertação/UFPA); na área de Biologia (MACHADO, 2011) tese/ UFMS) e na área de Física (SCHIVANI, 2014) tese/ FEUSP). Com fulcro nessa possibilidade de expansão usamos a TAD para investigar saberes ligados ao conteúdo da matemática inter-relacionado ao conteúdo da física, para obtenção dos saberes dos circuitos elétricos. Para alcançar os objetivos dessa pesquisa, utilizaremos como marco teórico da TAD as abordagens a seguir que discutiremos ainda neste capítulo:

- Praxeológica;
- Ecológica;
- Objetos ostensivos e não ostensivos.

### 1.3.1 Relações institucionais

Na TAD, Chevallard (1989), discute sobre Institucionalização, relações institucionais e pessoais com os objetos institucionais. Para ele, um objeto (*O*) do saber é institucionalizado ou reconhecido institucionalmente, se existe a relação institucional denotada por  $R(I,O)$  da instituição *I* com o objeto *O*.

Além disso, como as instituições admitem pessoas, Chevallard (1992) versa também sobre relações pessoais, de um indivíduo  $X$  com um objeto  $O$  da instituição denotado por  $R(X,O)$  e afirma que essa relação só pode ser estabelecida quando  $X$  entra na instituição  $I$  onde vive  $O$  com certas finalidades, por exemplo, realizar um determinado curso, que reconhece esse objeto.

Segundo Henriques, Nagamine, e Nagamine (2012) o estudo da relação  $R(X,O)$  é frequente nas pesquisas em Educação Matemática e consiste, naturalmente, no estudo das práticas efetivas de indivíduos de determinadas instituições de referências. Por exemplo, investigar o que os estudantes aprendem na referida instituição em torno de  $O$ . Assim, podemos afirmar que  $R(X,O)$  é uma relação de grandes interesses em pesquisas na Educação, e pode ser analisada utilizando-se uma *Sequência Didática* (SD) organizada com base nas praxeologias desenvolvidas em torno de  $O$  na instituição de aplicação.

Vale sublinharmos que a *relação institucional* é, particularmente, ligada às atividades institucionais que são solicitadas aos estudantes, e é de certa maneira, caracterizada por diferentes tipos de *tarefas* que os estudantes devem efetuar e por razões que justificam tais tipos de tarefas.

A *relação institucional* com um objeto  $R(I,O)$  é descrita por um conjunto de práticas sociais que funcionam numa instituição, envolvendo esse objeto do saber. De acordo com Chevallard (1992), o *saber matemático*, enquanto forma particular do conhecimento, é fruto da ação humana institucional, é algo que se: produz, utiliza, ensina ou de uma forma geral, que transita nas instituições.

Com efeito, Chevallard (1992) propôs a noção de organização praxeológica ou simplesmente praxeologia (como conceito chave) para estudar as práticas institucionais relativas a um objeto  $O$  do saber, em particular as práticas sociais em matemática. Ele se propôs a distinguir as *praxeologias* que podem ser construídas numa sala de aula, onde se estuda esse objeto, analisar a maneira que se pode construir o estudo de  $O$ , assim como as condições de realização.

Porém, além dos conceitos próprios das *relações institucionais e pessoais com objetos do saber*, é conveniente entendermos o desenvolvimento das práticas de ensino desses *objetos* nas *instituições*. Nesse contexto, Chevallard (1992) propõe um modelo de análise característico das práticas que se desenvolvem nas instituições. Tal modelo é entendido como uma das vertentes da TAD o qual resumimos a seguir.

### 1.3.2. A abordagem praxeológica

A TAD considera que, a *abordagem praxeológica* é um modelo para atividade humana institucional, e consiste em resolver uma tarefa  $T$  que pode ser desmembrada em tarefas  $t$ , por meio de uma técnica  $\tau$ , justificada por uma tecnologia  $\theta$  que é justificada por uma teoria  $\Theta$ . Em seu contexto, a TAD classifica que toda atividade humana implementa uma organização praxeológica ou praxeologia.

A palavra praxeologia em grego, significa práxis “ação, prática”, referente ao bloco prático-técnico  $[T, \tau]$ , e logos significa “razão”, “conhecimento”, referente ao bloco tecnológico-teórico  $[\theta, \Theta]$ . Chevallard (1999) designa uma praxeologia, simbolizada pelo conjunto dos quatro “t’s”  $[T, \tau, \theta, \Theta]$ <sup>8</sup> como uma organização do saber, descrita no Quadro 2.

A TAD leva em conta dois aspectos complementares da atividade humana: o aspecto estrutural, descrito em termos de praxeologias e o aspecto funcional, que pode ser analisado por meio da teoria dos momentos didáticos, indicando as situações em que o professor pode intervir para propiciar ou ampliar, a vivência de determinado momento didático.

**Quadro 2** - Descrição de Tarefa, Técnica, Tecnologia e Teoria.

Postulado	Simbologia	Significado
Tipo de tarefa	$T$	Tipos de tarefas a serem cumpridas, a qual pode se ramificar em inúmeras tarefas $t$ .
Técnica	$\tau$	Para o cumprimento das tarefas são necessárias as técnicas.
Tecnologia	$\theta$	As técnicas são legitimadas através das tecnologias.
Teoria	$\Theta$	Justificam as tecnologias.

**Fonte:** Chevallard (1999) adaptado pela autora.

A noção de tarefa é a raiz da noção de praxeologia (Chevallard), uma tarefa é um tipo de “tarefa principal”, a qual pode se ramificar em inúmeras tarefas  $[t]$  e é expressa por um verbo: ler um livro, resolver uma equação diferencial ordinária, etc. Yves Chevallard destaca

<sup>8</sup>  $T$  (tau maiúsculo);  $\tau$  (tau minúsculo);  $\theta$  (teta maiúsculo) e  $\Theta$  (teta minúsculo).

três características imediatamente notadas para o conceito de tarefa: primeiro, o conceito de tarefa ou tipos de tarefas é amplo, qualquer ação humana como ligar o motor do carro já é considerado uma tarefa. No entanto, algumas tarefas podem servir (ou não) de procedimento para a realização de alguma atividade que responda a uma determinada situação problema.

O conceito de tarefa, ou melhor de tipo de tarefa, requer um propósito relativamente específico (CHEVALLARD, 1998); segundo, um tipo de trabalho apenas existe na forma de diferentes tipos de tarefas e o seu conteúdo é rigidamente especificado. Exemplo: a tarefa - calcular a corrente total em um circuito elétrico - em determinado nível de escolaridade (médio ou técnico) pode ter grau de dificuldade no mesmo nível de ensino ou acentuado para outro nível maior (graduação), se aprimoradas as tarefas: determinar, mostrar, projetar, etc.; terceiro, tarefas e tipos de tarefas são produções, “artefatos”, “obras” humanas, construções intencionadas.

Partindo desses três referenciais, a tarefa estaria relacionada ao “fazer coisas”. Para Chevallard a tarefa é um elemento de organização praxeológica estática, visto que, a ação necessária para a sua execução é, a princípio, não revelada. Na dinâmica de ações podem ocorrer caminhos diferentes de realizar, de executar tais tarefas, que Chevallard chama de técnica. Esta é considerada como a “arte”, uma espécie de saber comum relacionada à maneira de realizar determinada tarefa pertencente a T, surgida do grego techne.

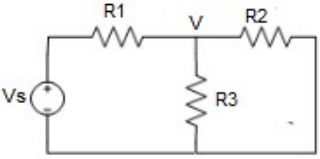
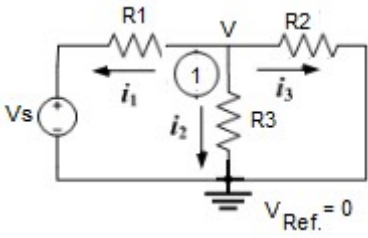
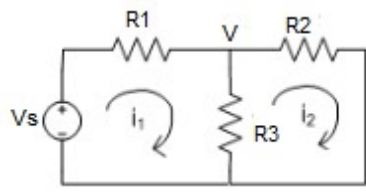
Assim, uma praxeologia sobre um tipo de tarefa T contém, em princípio, uma técnica  $\tau$  em T. Estes dois elementos da organização praxeológica é definido por Chevallard (1998) como sendo um “bloco” [T,  $\tau$ ] chamado bloco prático-técnico (práxis) ou “saber-fazer”, que genericamente é constituído como saber comum.

Para que a técnica  $\tau$  possa exercer, executar, realizar determinados tipos de tarefas três pontos devem ser considerados (CHEVALLARD, 1998): primeiro, uma técnica é o “como fazer” de determinado tipo de tarefa. Ocorre apenas uma parte P( $\tau$ ) do tipo de tarefa que se refere ao escopo da técnica. Exemplo: A resistência R1 do circuito da figura (a) é a resistência equivalente a um ferro elétrico de passar roupas. Calcule o valor da tensão V, necessária para o aquecimento do ferro elétrico.

Os alunos X e Y utilizam técnicas diferentes, para realizarem a mesma Tarefa t - **determinar a tensão V no circuito elétrico** (Quadro 3). A técnica generalizada é identificada como “saber comum”, os alunos aplicam a técnica mais adequada para o tipo de circuito (Tarefa) e cada instituição é livre para trabalhar técnicas diferentes ou iguais a outras

instituições, uma instituição pode ignorar ou até mesmo não (re) conhecer uma técnica utilizada por outra instituição.

**Quadro 3** - Tarefa realizada pelos alunos.

Tarefa	A resistência R1 do circuito abaixo é a resistência equivalente a um ferro elétrico de passa roupas. Calcule o valor da tensão V, necessária para o aquecimento do ferro elétrico.	
Sujeito	Aluno X	Aluno Y
Técnica	Análise nodal	Análise de malhas
Circuito	 <p><math>R1 = 1\Omega</math>; <math>R2 = 32\Omega</math>; <math>R3 = 32\Omega</math> e <math>V_s = 105\text{ V}</math></p>	
Técnica	<p>Análise nodal</p>  <p>Nó 1:</p> $i_1 + i_2 + i_3 = 0$ $\frac{V_s - V}{R1} + \frac{V - 0}{R3} + \frac{V - 0}{R2} = 0$ $\frac{V - 105}{1} + \frac{V}{32} + \frac{V}{32} = 0$	<p>Análise de malhas</p>  <p>Malha 1:</p> $-V_s + V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} = 0$ $-105 + 1 \cdot i_1 + 32(i_1 - i_2) = 0$ $33 \cdot i_1 - 32 \cdot i_2 = 105 \quad (1)$ <p>Malha 2:</p> $R3(i_2 - i_1) + R2 \cdot i_2 = 0$ $32(i_2 - i_1) + 32 \cdot i_2 = 0$ $-32 \cdot i_1 + 64 \cdot i_2 = 0 \quad (2)$ <p>Resulta no sistema de equações com duas variáveis:</p>

	$(-105 \times 32) = -32V - 2V$ $V = \frac{3360}{34}$ $V = 98,823 \text{ volts}$	$33.i1 - 32.i2 = 105 \quad (1)$ $-32.i1 + 64.i2 = 0 \quad (2)$ <p>Que pode ser solucionada usando:</p> <p>o método da adição;</p> <p>o método da substituição ou por matrizes.</p> <p>Após manipulação algébrica:</p> $i1 = 6,17647 \text{ amperes}$ $i2 = 3,08823 \text{ amperes}$ $V = 32.(6,17647 - 3,08823)$ $V = 98,823 \text{ volts}$
Tecnologia	Análise de circuitos	
Teoria	Lei de Kirchhoff para correntes	Lei de Kirchhoff para tensão

Fonte: elaborado pela autora.

Quando sugerimos atividades aos estudantes devemos nos preocupar com o tipo de tarefa solicitada, a técnica que será utilizada, a tecnologia correspondente e por último a teoria que dá sustentação a tecnologia

Para realizar a Tarefa t, o aluno X utilizou análise nodal e o aluno Y análise de malhas, legitimada pelas Leis de Kirchhoff como técnicas justificadas pelas teorias do eletromagnetismo.

Partindo desses pressupostos referentes à técnica, esta estaria relacionada ao “como fazer coisas”, maneira de realizar, de executar as coisas, as tarefas. Por outro lado, uma pessoa poderia perguntar por que o aluno x usou análise nodal. Ele poderia responder: para cada nó do circuito existe determinada tensão e cada tensão desconhecida gera uma equação como no circuito da tarefa solicitada, existe apenas um nó com tensão desconhecida. Teremos apenas uma equação visto que, o número de equações é igual ao número de nós com tensão desconhecida, desta forma há uma única equação matemática o que facilita a resolução do problema proposto.

Essa justificativa e explicação da técnica utilizada pelo aluno  $x$  são consideradas por Chevallard como outro elemento de organização praxeológica, chamado de tecnologia. O termo tecnologia é um discurso racional (logos) sobre a técnica  $\tau$ . É a explicação e justificação, de maneira racional, da técnica. De tal forma que a técnica garanta executar, realizar a tarefa do tipo T de maneira eficiente e lógica.

Chevallard (1998) destaca três pontos referentes ao entendimento de tecnologia: primeiro, a função da tecnologia é justificar a técnica; segundo, a função da tecnologia é explicar, de maneira inteligível determinada técnica. Assim, a primeira função da tecnologia seria necessária para garantir a eficiência da técnica e a segunda função seria necessária para poder explicar o seu porquê; terceiro, existem tecnologias potenciais, técnicas pendentes que são poucas técnicas. Partindo daqueles três pontos referentes à tecnologia, esta estaria relacionada ao “porque fazer coisas de determinada maneira”.

A tecnologia é o como fazer as coisas de maneira racional. Ela é intrínseca, entrelaçada com a técnica. É a justificação e a explicação de funções das técnicas utilizadas para realizar determinadas tarefas ou tipos de tarefas. Por outro lado, uma pessoa ainda poderia perguntar por que conhecer a tensão de um nó diminui o número de equações matemática. Uma explicação ainda racional dessa justificação poderia ser dada pela Lei de Kirchhoff para correntes, onde fazemos o somatório das correntes no nó e obtemos como incógnita as tensões.

Assim, o discurso tecnológico contém afirmações que pode conter porquês. E a partir destes porquês, ao maior nível de explicação dela, surge mais um elemento da organização praxeológica chamada por Chevallard (1998) de teoria  $\Theta$ . Ou seja, a teoria  $\Theta$  é o porquê das tecnologias utilizadas nas explicações e justificações das técnicas. “A teoria refere-se a um conjunto mais abstrato de conceitos e argumentos dispostos em um discurso geral que justifica a tecnologia em si”. A teoria é entrelaçada a tecnologia e ambas são definidas por Yves Chevallard como sendo um bloco tecnológico-teórico [ $\theta$ ,  $\Theta$ ].

A praxeologia ou organização praxeológica é constituída por um bloco prático-técnico [ $T_i$ ,  $\tau$ ] e por um bloco tecnológico-teórico [ $\theta$ ,  $\Theta$ ]. Segundo Chevallard (1998), o primeiro bloco é normalmente identificado como conhecimento enquanto que o segundo bloco é normalmente identificado como saber comum.

O aprofundamento, estudo de problemas técnicos relacionados com o mesmo tipo de técnica que a partir daí, a própria técnica poderá ser um procedimento para resolver o problema deste tipo. Segundo Chevallard (1998), geralmente um tipo de tarefa é definido em relação a um ambiente tecnológico-teórico previamente desenvolvido ou estimulado para criar



um ambiente dialético com o surgimento das justificações e explicações eficientes de determinada técnica (tecnologia).

A partir daquele ambiente dialético existente de estímulo ao estudo de criações de técnicas mais eficientes do que as já existentes, para executar um tipo de tarefa, parte do processo de institucionalização, Chevallard (1998). A partir daqui surge a criação de regras, de critérios, de normas, de interesses, de objetivos que especificam o que deve ou não ser organizado (matemática e fisicamente). Etapa que irá definir o que são prioridades, o que são levados, matemática e fisicamente, em segundo, terceiro plano.

### 1.3.3. Praxeologia

Uma Teoria  $[\Theta]$  pode propiciar várias tecnologias  $\theta_j$ , as quais podem vir a justificar e tornar inteligíveis Técnicas  $\tau_{ij}$  necessárias a Tipos de tarefas  $T_{ij}$ . Assim, é quase inevitável a ocorrência de junções entre os constituintes elementares, formando diferentes níveis de praxeologias.

Chevallard (1998) define quatro categorias de organizações praxeológicas: praxeologia pontual, praxeologia local, praxeologia regional e praxeologia global.

A praxeologia pontual  $[T_i, \tau, \theta, \Theta]$ , elementar, significando que esta é uma praxeologia formada ao redor de um único Tipo de tarefa  $[T]$ . Esse nível de praxeologia é mais raro de se verificar, uma vez que, em uma dada instituição, uma teoria propicia várias tecnologias, cada uma das quais, por sua vez, justificam e tornam inteligíveis várias técnicas, responsáveis pela realização dos tipos de tarefas.

Quando uma organização praxeológica é obtida pela integração de um determinado conjunto de *organizações pontuais*, de tal maneira que todas elas podem ser explicadas utilizando o mesmo discurso tecnológico, trata-se então de praxeologias locais  $[T_i, \tau_i, \theta, \Theta]$ . Em outras palavras, trata-se de vários ‘saber-fazer’ (*práxis*), justificados pelo mesmo ‘saber’ (*logos*).

De acordo com Barbé et al (2005, p. 237), no nível da educação básica, “para calcular o limite de funções racionais no infinito” ou “para demonstrar a existência do limite de uma função usando uma sequência numérica”, pode estar na origem de organizações praxeológicas (nesse caso, matemática) pontuais. Porém, essa praxeologia pontual pode ser integrada em local, quando em torno do cálculo de limites de funções, sob a tecnologia *álgebra de limites*. Ou, então, em diferentes organizações praxeológicas locais, dependendo do discurso

tecnológico usado para descrever e justificar as técnicas e também sobre as diferentes organizações pontuais que estão ligadas entre si (ibidem).

Um exemplo de praxeologia pontual e local, comum em alguns exercícios das disciplinas Física nos cursos universitários, é o cálculo das equações eletromagnéticas, por meio da derivação (técnica) da EDO em relação ao tempo. Dependendo do tipo de função (trigonométrica, polinomial, logarítmica, etc.), uma mesma técnica de derivação (compreendida dentro da tecnologia cálculo numérico) é suficiente para resolver todas essas tarefas, configurando-se numa praxeologia pontual.

Há uma espécie de junção entre uma organização e outra, as organizações pontuais vão assim se agregar, primeiramente em organizações locais  $[T_i, \tau_i, \theta, \Theta]$ , centradas em uma tecnologia própria, em seguida em **praxeologias regionais**  $[T_{ij}, \tau_{ij}, \theta_j, \Theta]$ , formadas no entorno de uma teoria  $\Theta$  que promove múltiplas tecnologias  $[\theta_j]$  (CHEVALLARD, 1999). Podemos citar como exemplo de organização regional a segunda lei de Newton, ao afirmar que a força externa resultante que atua sobre um corpo, em um referencial inercial, corresponde à derivada do momento linear em função do tempo. Essa teoria implica o desdobramento de múltiplas tecnologias, como expressões da variação do momento linear, impulso de uma força que age em um intervalo de tempo, aceleração e velocidade de um corpo sob certas condições, dentre outras, gerando várias técnicas para efetuar diferentes tipos de tarefas.

Um quarto nível, formado por uma organização praxeológica complexa e denominado de praxeologia global  $[T_{ijk}, \tau_{ijk}, \theta_{ik}, \Theta_k]$ , pode também ser verificado quando se reúnem, em uma dada instituição, várias organizações regionais correspondentes as várias teorias  $\Theta_k$ . As áreas e linhas de pesquisa (física de partículas, astrofísica estelar, física de plasmas, dentre outras) e disciplinas (termodinâmica clássica, mecânica clássica, introdução ao eletromagnetismo, etc.) se configuram em praxeologias globais, uma vez que se apoiam em uma gama de teorias que, por sua vez, implicam em múltiplas tecnologias e técnicas na realização de inúmeros tipos de tarefa.

A passagem de uma praxeologia pontual para uma local centra-se na tecnologia ( $\theta$ ), da mesma maneira que a subsequente praxeologia regional terá a teoria ( $\Theta$ ) como primeiro plano. Isso é importante destacar pois, em ambos os casos, o bloco tecnológico-teórico  $[\theta, \Theta]$  ganha mais visibilidade, com possibilidade de ter melhor compreensão e ação sobre o bloco prático-técnico  $[T_i, \tau]$ , (saber-fazer) (ibidem).

Portanto, de acordo com o processo de institucionalização, uma Organização Praxeológica (OP) didática pode ganhar abrangência e deixar de ser pontual (constituída ao redor de um tipo de tarefas e problemas, resolvidos por aplicação de uma única técnica) e passar a ser local (quando se adota uma mesma tecnologia para compreender múltiplas técnicas e tarefas) e até mesmo uma OP regional (centrada numa mesma teoria) ou global (centradas em múltiplas teorias). Desse modo, o processo de estudo vai cada vez mais “abrindo” a OP existente (didática, física, matemática, química, biológica, etc.), modificando-a de modo a enriquecê-la, simplifica-la, etc.

Além disso, é importante destacar que uma OP pode não ser completa, ou seja, não apresentar todos os elementos  $[T, \tau, \theta, \Theta]$  que a compõem em uma determinada Instituição  $[I]$ , eles podem ser desconhecidos, inexistentes ou até mesmo não reconhecidos. Por exemplo: o camponês que abre um buraco na terra da fazenda, que trabalha para fincar uma estaca, pode ser compreendido como uma organização praxeológica. Nesse caso, o tipo de tarefa remete a “fincar estaca”, que demanda uma determinada tarefa, ou seja, “abrir buraco em local determinado para fincar a estaca”. Em seguida, não é qualquer técnica que possibilita cumprir essa tarefa de forma eficaz, ou seja, deve-se saber qual ferramenta apropriada para esse trabalho e como manuseá-la. Ao escolher um enxadão e não uma enxada para abrir o buraco, bem como ao manuseá-lo sem elevar a ferramenta para além do plano vertical de sua cabeça, deixando o enxadão cair basicamente sobre a ação da gravidade, o camponês está se valendo de técnicas, reconhecidas na instituição, que lhe permitem cumprir de forma eficiente a tarefa que lhe foi designada.

Nesse caso, o camponês e a instituição em que está inserido, a fazenda ou o meio rural, por exemplo, podem não ter conhecimento do bloco tecnológico-teórico contido em outra instituição que justifique essa técnica, seu discurso pode remeter a comunidade que “sempre fez assim”, ou ainda que “é um jeito de ter menos trabalho”. Porém, em outra instituição, na Física, por exemplo, podemos identificar elementos da mecânica clássica, como o conceito de energia potencial gravitacional e trabalho, que permitem melhor compreender e justificar as técnicas adotadas na realização dessa tarefa, compondo, assim, o bloco tecnológico-teórico.

Outro exemplo é o caso da patinadora que fecha os braços e se abaixa para aumentar sua velocidade de giro. Ela e seu treinador podem saber muito bem qual (is) técnica(s) adotar para efetuar essa tarefa, porém, podem desconhecer completamente a noção de momento angular e leis de conservação, ou seja, o bloco tecnológico-teórico que compreende o porquê a ação “fechar os braços e se abaixar” causou o aumento da velocidade de giro dela.

Na própria ciência isso também se verifica, por exemplo, na época dos primeiros experimentos do físico e químico Michel Faraday que implicaram no desenvolvimento do motor elétrico, não se conheciam os mecanismos teóricos e os formalismos matemáticos do eletromagnetismo que permitissem melhor compreender seu funcionamento e otimizar as técnicas envolvidas, isso só ocorreu anos mais tarde através dos trabalhos de James Clerk Maxwell (1831-1879). A física de partículas hoje está desenvolvida ao ponto de compreendermos teoricamente os mecanismos que regem a fusão nuclear, como as que ocorrem no sol, por exemplo.

Contudo, sua adoção para produção de energia elétrica de forma controlada e eficiente (tarefa) ainda é um desafio a ser conquistado. Com isso, é interessante notar que as organizações praxeológicas são dinâmicas. Como bem aponta ROSSINI (2006, p. 31), “muitas delas envelheceram, quando seus componentes teóricos e tecnológicos perderam o brilho, a eficiência, quando deixaram de dar respostas satisfatórias para novos problemas. Assim, novas praxeologias surgem.

Os conceitos matemático e físicos de circuitos elétricos emerge dessas praxeologias, que existem em um dado momento histórico, em uma determinada instituição.

#### 1.3.4. Praxeologia matemática ou organização matemática (OM)

Chamaremos de praxeologia matemática ou organização matemática, toda realidade matemática que está envolvida na resolução de um tipo de tarefa T. Para isso, serão exigidas técnicas t, amparadas por um conjunto teórico-tecnológico  $[\Theta; \Theta]$ . A organização matemática tem sua origem nas análises efetuadas pelos professores, dos documentos oficiais existentes (tais como programas e manuais escolares, além do livro didático), dos quais saem os saberes matemáticos escolhidos a serem ensinados.

A partir daí o professor começa a determinar quais os tipos de tarefa que serão os ‘condutores’ no processo de ‘aquisição’ desses saberes escolhidos, trazendo com eles os demais componentes praxeológicos (técnica, tecnologia e teoria). Podemos exemplificar como um tipo de tarefa a seguinte questão: “Como encontrar a tensão de um capacitor?”. Outras questões também permeiam essa atividade praxeológica:

- Há representatividade e clareza nos tipos de tarefas?
- As necessidades matemáticas propostas nos conteúdos curriculares são atendidas por esses tipos de tarefas?

- As técnicas propostas para a resolução dos tipos de tarefas foram efetivamente elaboradas?
- São suficientes para os tipos de tarefas propostos? Poderão sofrer evoluções?
- As tecnologias disponíveis dão conta das técnicas empregadas?
- Esclarecem as técnicas utilizadas?
- Os elementos teóricos são explicitados?
- Justificam a tecnologia empregada?

A princípio, um tipo de tarefa  $T$  é formado por uma técnica  $\tau$ , uma tecnologia  $\theta$  e uma teoria  $\Theta$ , todos estes denotados por praxeologia pontual  $[T_i, \tau, \theta, \Theta]$ . A praxeologia pontual  $[T_i, \tau, \theta, \Theta]$  é assim categorizada quando apenas leva em consideração uma única tarefa  $T$ . A praxeologia local  $[T_i, \tau_i, \theta, \Theta]$  é assim categorizada quando leva em consideração uma determinada tecnologia  $\theta$ . Geralmente uma determinada instituição  $I$  tem uma técnica  $\tau$ , tem várias tecnologias  $\Theta_j$  que cada qual por sua vez justifica e torna-se inteligível. Várias técnicas  $\tau_{ij}$  correspondem ao maior número de tipos de tarefas  $T_{ij}$ . Esse tipo de desenvolvimento em torno de uma única teoria é chamado de praxeologia regional  $[T_{ij}, \tau_{ij}, \theta_j, \Theta]$ . Quando a organização praxeológica é desenvolvida em uma determinada instituição  $I$  pela agregação de várias tarefas  $T$ , técnicas  $\tau$  e tecnologias  $\theta$  a várias teorias  $\Theta$ , é chamada de praxeologia global  $[T_{ijk}, \tau_{ijk}, \theta_{jk}, \Theta_k]$ . Ou seja, a praxeologia global é a agregação de várias organizações praxeológicas regionais atuantes às várias teorias  $\Theta$ .

Segundo Chevallard (1998), em muitos casos o tipo de tarefa  $T$  bloqueia o bloco tecnológico-teórico  $[\theta, \Theta]$ . Ou seja, há, em muitas instituições  $I$ , uma maior visibilidade no bloco prático-técnico  $[T, \tau]$ . Da passagem da praxeologia pontual à praxeologia local a tecnologia é enfatizada. De maneira semelhante, da passagem da praxeologia regional à praxeologia global a teoria é trazida à tona.

Segundo Chevallard (1998), mesmo a organização praxeológica pontual geralmente não é totalmente definida estruturalmente como: a técnica como sendo a forma de fazer, de realizar determinada tarefa, a tecnologia como sendo a justificativa e explicação dessa técnica utilizada para fazer essa tarefa e que a teoria como sendo o porquê desta justificativa para funcionar perfeitamente. Ou seja, esses elementos de organização praxeológica podem não ser tão bem definidos, perceptíveis na prática. O tipo de tarefa em torno do qual foi constituída uma praxeologia pode não estar bem identificado, a técnica associada pode se revelar impraticável.

### 1.3.5 Organização praxeológica didática e níveis de codeterminação didática (C-DD).

A tecnologia pode, por vezes, ser reduzida a uma declaração de princípios e a teoria, pode ser perfeitamente enigmática. Ou seja, a teoria pode não estar explicitada, assim como a tecnologia, a técnica. Vale destacar que a organização praxeológica matemática parte de um tratamento didático para/com a seleção, organização, planejamento, método, entre outras preocupações didáticas que, de maneira imbricada, permeia, também, a existência de organização praxeológica didática.

No momento que determinada instituição ou pessoa (o docente, por exemplo) permite a construção, ou melhor, a transposição de determinado objeto do saber (matemático) em objeto do saber a ser ensinado, articula-se (re) construções de tarefas, de técnicas, de tecnologias e de teorias, assim como em qualquer outra organização praxeológica.

A TAD define o trabalho do objeto (matemático)  $O$  como sendo uma combinação de elementos praxeológicos  $[T, \tau, \theta, \Theta]$ . Didaticamente, o estudo do  $O$  consiste em providenciar alguma análise praxeológica do  $O$ . O sujeito  $k$  (aluno) em fazer algo ajudado por  $w$  (professora) de maneira intencionada, compromete-se ao trabalho didático o que  $w$  requer para tal analisar a estrutura praxeológica do  $O$ , assim como o seu estudo. Além disso, qualquer análise didática implica alguma (re) formulação de organização praxeológica do  $O$  (CHEVALLARD, 2013). O autor da teoria em 1998, sugere seis momentos didáticos ou momentos de estudos, não necessariamente na mesma sequência, para assim possibilitar a análise de organização praxeológica didática:

- Momento de (re) encontro com a praxeologia estudada (no nosso caso a praxeologia matemática e física) de tal maneira que satisfaça o objeto  $O$  com algum tipo de tarefa  $T_i$ ;
- Momento de exploração do tipo de tarefa  $T_i$  e a sua articulação com alguma técnica  $\tau_i$ : constituição de determinadas técnicas de resolução;
  - Momento de constituição do bloco tecnológico-teórico: busca manter uma ligação com os demais momentos. Mantendo assim, justificativas e explicações para tais técnicas;
  - Momento de institucionalização: elaboração de objetivos, decisões, seleções, condições, regras a serem tomadas em qualquer momento didático;
  - Momento de trabalhar a técnica: tanto permeia a exercitação como também a performance de determinada técnica;

- Momento de avaliação: articula o momento de institucionalização, refletindo, questionando, avaliando as relações pessoais e verificando eficiências em cada momento e relações entre os momentos didáticos.

No caso da praxeologia  $O = [T, \tau, \theta, \Theta]$  existem momentos em algumas situações didáticas em que o sujeito  $X$  encontra-se um tipo de tarefa  $T_i$  em um primeiro momento e, em seguida, depara-se, ou melhor, necessita-se de pelo menos uma técnica, atrelada a tarefa, para realizá-la, executá-la. O modelo praxeológico  $[T, \tau, \theta, \Theta]$  é quem dita o modelo de momentos didáticos.

“A didática é a ciência do ensino e, mais amplamente, das condições e das restrições aplicáveis à divulgação de entidades praxeológicas com as instâncias da sociedade”<sup>9</sup> (CHEVALLARD, 2011, p.1) tradução da autora. A necessidade em resolver, responder, realizar tarefas no campo da Matemática, de maneira imbricada, e até muitas vezes imperceptível, parte da organização praxeológica didática. Esta, por sua vez, é de natureza didática que nasce da necessidade de estudar e de como estudar determinada tarefa, como estudar determinado objeto do saber matemático. Sendo assim, a praxeologia didática possibilita (re) construir transposições de determinada praxeologia matemática podendo também ser aplicada a física e conseqüentemente aos circuitos elétricos.

Chevallard (2002) define como fenômeno de codeterminação a relação entre as organizações matemática e didática. Assim localiza um determinado saber numa escala hierárquica na qual cada nível se refere a uma realidade e determina a ecologia dessas organizações, seu nicho e habitat. Chevallard faz uso desses termos como metáfora. Nos termos da TAD, habitat é o lugar onde há objetos matemáticos nos quais se encontram um saber. Nichos são as funções que eles exercem. “O autor busca nos termos da ecologia essas ideias para tentar explicar as relações entre os objetos e o estudo desses objetos em si mesmo” (ALMOULOU, 2007, p 113).

Os desenvolvimentos recentes na teoria antropológica (Chevallard, 2002, 2004, 2005) fornecem, sob o nome de codeterminação didática, uma modelagem que engloba essas condições e restrições segundo as quais se determinam mutuamente as organizações matemática e didática. (CHACÓN, 2008, p 73, tradução nossa)

Segundo Bosch (2018), são nove níveis que se inter-relacionam mutuamente, vão desde os níveis genéricos (os níveis indexados por Chevallard -3, -2, -1, 0) para os níveis específicos no âmbito da matemática (níveis, 1, 2, 3, 4 e 5). Assim os identificamos: os da

---

<sup>9</sup> La didactique est la science du didactique et, plus largement, des conditions et des contraintes gouvernant la diffusion des entités praxéologiques auprès des instances de la société.

civilização, da sociedade, da escola, da pedagogia, da disciplina, do domínio, do setor de estudo, do tema e do assunto conforme mostra a Quadro 4.

**Quadro 4** - Escala dos níveis de codeterminação didática.



Fonte: (BOSCH, 2018)

Conforme Chacón (2008, p.73) há uma correspondência entre as OM e os níveis de C-DD Quadro 5. Os níveis que se encontram abaixo do nível da disciplina estão organizados de forma agregada a uma organização matemática OM complexa crescente (pontual, local, regional e global). Desta forma, a organização matemática Pontual está associada ao Assunto, em nossa pesquisa, por exemplo, pode-se considerar a praxeologia em torno do tipo de tarefa T, Calcular tensão.

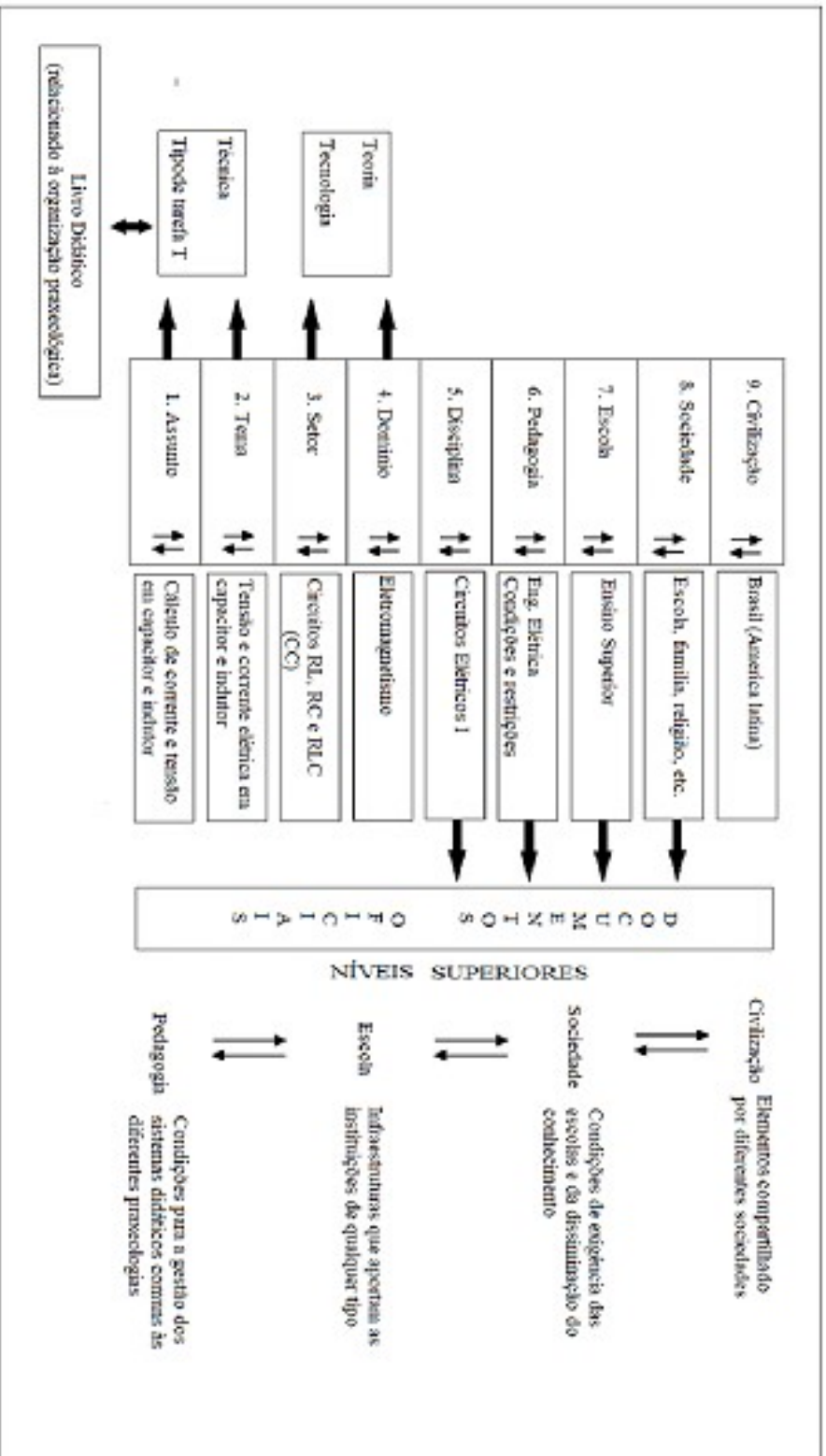
**Quadro 5** – Correspondência entre OM e os níveis de C-DD

2 Domínio .....	OM Global
3 Setor.....	OM Regional
4 Tema.....	OM Local
5 Assunto.....	OM Pontual

Fonte: CHACÓN (2008).



Quadro 6 - Fatores a serem comparados: os níveis de codeterminação, praxeologia e documentos oficiais do IFBA.



Fonte: Carvalho 2012. Adaptado por Cavalcanti (2019).

Conforme Chacón (2008, p.73) há uma correspondência entre as OM e os níveis de C-DD Quadro 5. Os níveis que se encontram abaixo do nível da disciplina estão organizados de forma agregada a uma organização matemática OM complexa crescente (pontual, local, regional e global). Desta forma, a organização matemática Pontual está associada ao Assunto, em nossa pesquisa, por exemplo, pode-se considerar a praxeologia em torno do tipo de tarefa T1 Calcular tensão. A organização matemática Local vista no Quadro 6 é o amalgama das OM Pontuais e tem o estatuto do Tema (tensão em capacitor). No nível 3 Setor (circuitos rl, rc e rlc) corresponde a uma organização maior após a fusão das OM Local e Pontual tem uma organização matemática Regional. Finalmente a organização matemática global refere-se ao Domínio de estudo, que em nossa pesquisa é Eletromagnetismo.

#### 1.4 Abordagem ecológica

A análise ecológica de um objeto de saber é organizada em torno de dois conceitos: o habitat que significa o lugar onde o objeto vive e ambiente conceitual desse objeto de saber; o nicho que se refere à função do objeto. Nessa análise buscamos responder as questões: o objeto de saber faz parte das recomendações curriculares para o Ensino de Engenharia Elétrica? Está presente nos livros didáticos? Como é apresentado e com qual finalidade? Esse objeto de saber é efetivamente trabalhado na Universidade? Se sim, em quais condições?

Esse objeto de saber é efetivamente trabalhado na Universidade? Se sim, em quais condições?

A ecologia dos saberes tem em SANTOS (2005) a sua maior referência, que a define como uma forma de extensão ao contrário, de fora da universidade para dentro da universidade. Consiste na promoção de diálogos entre o saber científico ou humanístico que a universidade produz e saberes leigos, populares, tradicionais, urbanos, camponeses, provindo de culturas não ocidentais (indígenas, de origem africana, oriental, etc..) que circulam na sociedade. (SANTOS, 2005, p. 76)

SANTOS (2008) estabelece que é o “lugar de enunciação da ecologia de saberes são todos os lugares onde o saber é convocado a converter-se em experiência transformadora”. Nesta linha de raciocínio, passamos a tratar do relacionamento da Ecologia com a Educação Matemática, mais precisamente com a Didática da Matemática que se desenvolveu mais sistematicamente a partir do final dos anos 50 e início dos anos 60, devendo ser entendida não como metodologia de ensino de matemática, como é comum se perceber, mas como uma tendência da educação matemática.

A ecologia de uma organização praxeológica associa-se às condições que pesam sobre sua construção e sua “vida”, normalizadas tanto nas instituições de ensino como nas de produção, sua utilização e/ou transposição. Para a Didática da Matemática, a Ecologia Didática do Saber e do Didático relaciona-se às ideias de habitat, como o lugar de vida e o ambiente conceitual de um objeto do saber, e de nicho, como o lugar funcional ocupado pelo objeto do saber no sistema ou praxeologia dos objetos com os quais interage.

**Quadro 7 - Abordagem ecológica da TAD**

Trajetória do objeto		
Habitat	Nicho	
	Semestre Acadêmico	
	4 <sup>o</sup> semestre	5 <sup>o</sup> semestre
Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Industrial Elétrica.	Física Geral e Experimental III Circuitos resistivos Eletromagnetismo	Circuitos Elétricos I
Currículo do curso	Cálculo Integral e Diferencial III Equação Diferencial Ordinária	Circuitos RC RL RLC
Livro Didático		

Fonte: elaborado pela autora.

Abordagem ecológica da TAD Quadro 6, de uma organização praxeológica associa-se às condições que pesam sobre sua construção e sua “vida”, normalizadas tanto nas instituições de ensino como nas de produção, sua utilização e/ou transposição. Para a Didática da Matemática, a Ecologia Didática do Saber e do Didático relaciona-se às ideias de habitat, como o lugar de vida e o ambiente conceitual de um objeto do saber, e de nicho, como o lugar funcional ocupado pelo objeto do saber no sistema ou praxeologia dos objetos com os quais interage.

Os circuitos rc, rl e rlc em cc, são usados como ferramenta nas disciplinas técnicas do curso de engenharia elétrica nas ênfases:

- Automação e controle;
- Eletrotécnica e
- Telecomunicações

### 1.5 Dialética dos ostensivos e não ostensivos

Segundo os pressupostos da TAD a atividade matemática é realizada recorrendo a uma diversidade de registro, a saber, a escrita, o gráfico, o verbal, o gestual, a matéria.

A TAD propõe um modelo epistemológico que estabelece uma distinção dentro dos elementos que compõem uma organização matemática. Esses elementos são elaborados de dois tipos de objetos: os objetos ostensivos e os objetos não ostensivos (BOSCH, 2000).

A palavra ostensivo tem sua origem na palavra latina ostendere, que é tudo aquilo que se mostra, que se percebe, que se vê e ouve, dotado de certa materialidade como as escrituras, os gráficos, os desenhos, os experimentos, os sons, os gestos, os discursos, dentre outros, que faz parte da cultura humana corrente, e que pode ser manipulado (BOSCH, 2000). Por outro lado, existem os objetos não ostensivos, que são os objetos que apesar de existirem institucionalmente não podemos percebê-los. Eles não se mostram aos nossos sentidos, pois pertencem ao mundo das ideias, tais quais as ideias, os conceitos, as crenças, etc.

Segundo Bosch (2000), apesar dessa divisão entre objeto ostensivo e não ostensivo, existe uma dialética entre ambos, pois os objetos não ostensivos surgem da manipulação dos objetos ostensivos. Contudo, essa manipulação é sempre direcionada e controlada pelos objetos não ostensivos. Esclarecendo essa dialética, Bosch e Chevallard (1999, p. 88) afirmam

que “[...] Nossa relação com os objetos ostensivos, em particular a nossa própria capacidade intelectual de identificá-los, antes de manipulá-los, resulta de uma construção institucional”.

São frutos de uma aprendizagem (não ostensivo), visto que a teoria antropológica assume o seu valor semiótico (simbólico).

Assim podemos perceber uma coexistência permanente dos objetos ostensivos e não ostensivos, que, apesar de paradoxal, é estabelecida dentro do que Bosch e Chevallard (1999) chamam de “a dialética do ostensivo e do não ostensivo”.

(...) os objetos não-ostensivos emergem da manipulação de objetos ostensivos. Porém, ao mesmo tempo, tal manipulação está sempre guiada ou controlada por objetos não-ostensivos. O conceito de número inteirou o de função linear não existe sem toda a atividade manipulativa de ostensivos (...). Reciprocamente, toda manipulação de ostensivo vem controlada pela ativação ou evocação de objetos não-ostensivo cujas características podem ver-se modificadas ao longo da atividade (BOSCH e CHEVALLARD, 1999, p. 82).

A ativação simultânea de objetos não ostensivos e ostensivos é sempre presente e aparece em todos os níveis da atividade, bem como em nível da técnica e de seu ambiente técnico-teórico. Os objetos ostensivos estão no nível do saber-fazer, com seus tipos de tarefas e suas técnicas próprias, ao tempo que para os objetivos não ostensivos que englobam os conceitos, as ideias, as noções, etc., cabem a função de explicar e justificar, ou seja, ‘saber’.

Desta forma, à luz da TAD, os objetos ostensivos e os objetos não ostensivos formam praxeologia, a parte prático-técnica que gera o saber fazer e a parte tecnológico-teórica que evidencia o saber.

A TAD com a lente da dialética dos ostensivos e não ostensivos, esclarece sobre a origem dos conceitos matemáticos adquiridos através dos objetos não ostensivos e sua relação com os objetos ostensivos que as representam.

A existência simultânea dos ostensivos e não ostensivos em todos os níveis da OM, deixa claro que não há, em nenhum caso, privilégio dos não ostensivos sobre os ostensivos, segundo Bosch e Chevallard (1999) “não existe manipulação ostensiva (uma escrita ou um discurso) que seja a consequência direta de uma suposta ‘possessão’ ou ‘aquisição’ de um não-ostensivo (uma noção ou um conceito)”. Da mesma forma, não existe manipulação ostensiva regulada que desconsidere o não ostensivo.

Conforme os teóricos da TAD, na atividade/tarefa, os ostensivos constituem a parte visível, que podem ser observados por qualquer pessoa, e, especificamente as envolvidas diretamente com a atividade. Em outras palavras, esses objetos fazem parte do real empírico,

acessível aos sentidos. Bosch e Chevallard (1999) chamam a atenção para a crença, de alguns professores, de que bastaria apresentar um objeto ostensivo para o aluno compreender o seu significado (o não ostensivo).

Esse fato é muito comum no ensino de circuitos elétricos, que lança mão de objetos ostensivos a todo o momento (desenhos, esquemas, gráficos, etc.). Podemos exemplificar o que foi dito por meio de uma atividade/tarefa de circuitos elétricos. Atividade: Analise o circuito da Figura 1 e plote os gráficos de carga e descarga do capacitor.

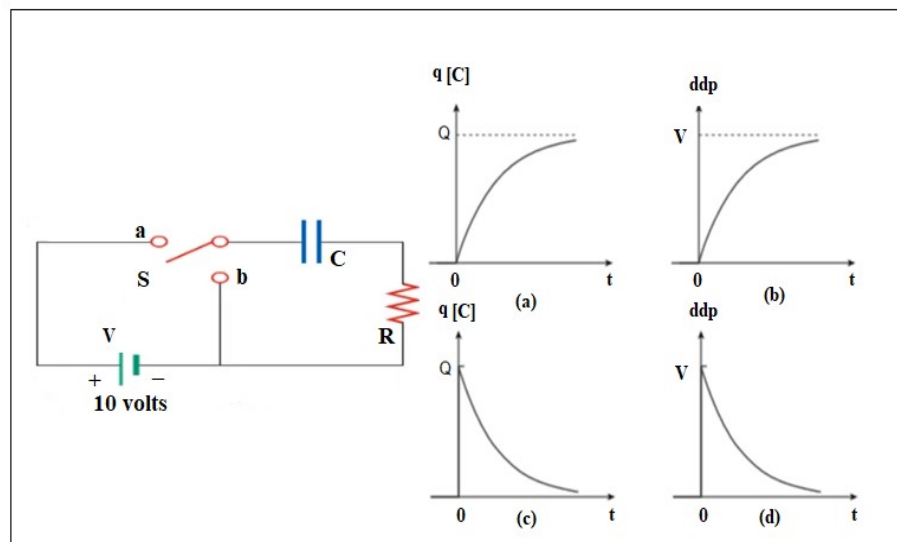
O professor entrega a atividade para os alunos e divide os mesmos em grupos, com o intuito de alunas e alunos analisarem o circuito e plotarem os gráficos de a carga e descarga do capacitor, primeiramente por meio da escrita, e, posteriormente, da oralidade.

Para a resolução da questão, os alunos utilizaram os seguintes ostensivos:

- Desenho esquemático dos gráficos, onde utilizaram as técnicas de analisar do circuito;
- A escrita, com o emprego da técnica pontuando o gráfico de carga e o de descarga do capacitor;
- A oralidade, com técnica de interagir e argumentar coletivamente, e com o professor, sobre o tema, além de apresentar dos resultados do estudo para a classe.

Ao manipularem os ostensivos, os alunos, e o professor, evocam os objetos não ostensivos.

**Figura 2** - (a) e (b) Gráficos de carga; (c) e (d) gráficos de que descarga do Capacitor.



Fonte: SADIKU & ALEXANDER, 2013.

O processo de carga inicia quando fechamos a chave *S* na posição *a*. Acontecerá o processo de carga no capacitor inicialmente descarregado. Nos gráficos *a* e *b* vamos plotar a carga e sua diferença de potencial (ddp) respectivamente. A carga nele armazenada será igual a  $Q$  e sua ddp será igual a ddp (10 volts). Inicialmente como o capacitor se encontra descarregado o processo de carga ocorre rapidamente. A medida que o tempo decorre o capacitor vai sendo carregado e a ddp em seus terminais aumenta dificultando o escoamento de cargas, portanto a eletrização do capacitor ocorre mais lentamente até atingir um valor que a ddp se comporta da mesma forma, cresce muito rapidamente no início, depois cresce mais devagar até atingir o limite  $V=10$  volts que é a tensão da fonte. Nesse instante o fluxo de carga em direção ao capacitor é interrompido sinalizando que está carregado como mostra a Figura 2 *a* e *b*.

Vejam agora o processo de descarga. Iniciamos com o capacitor totalmente carregado com uma tensão  $V=10$  volts e carga  $Q$ , quando nós mudamos a chave para a posição *b* começa o processo de descarga que tem a forma exponencial, depois de um tempo  $t$  decorrido a partir da mudança da chave a carga armazenada no capacitor é aproximadamente zero. Isso ocorre porque o capacitor atua como uma fonte de força eletromotriz com tensão  $V$  que se descarrega através do resistor  $R$  como mostra os gráficos *c* e *d* plotados na Figura 2.

Ao manejarem os objetos ostensivos, observaram que os gráficos *a* e *c*, *b* e *d* (Figura 2) possuem diferenças nas análises físicas e matemáticas, dando origem, então, a ideia e o conceito de carga e descarga de capacitor que são os objetos não ostensivos dessa relação. Esses objetos não ostensivos (a ideia e o conceito), estão presentes no currículo de Engenharia Industrial Elétrica e já estão validados e institucionalizados no IFBA e nos livros didáticos, dessa forma, os elementos tecnológico-teóricos da atividade, controlam e direcionam a preparação das questões e dos ostensivos, utilizados pelo professor em sua OP. Porém, isso não significa que os alunos, mesmo diante do fato de terem tido acesso a esses ostensivos, e desenvolvido a atividade proposta pelo professor, tenham reconhecido e validado a questão, ou seja, compreendido o significado das diferenças entre carga e descarga de capacitor, e compreendido sua aplicação.

Nesse sentido, e baseando-nos na linha de pensamento de Bosch (2000) e Bosch e Chevallard (1999), se considerarmos que os ostensivos citados podem funcionar como símbolos (signos) de Organização Física (OF) e Organização Matemática (OM), que recorrem a objetos ostensivos e não ostensivos, sucessivamente, fica claro que essa combinação semiótica só será possível acontecer no momento da resolução de uma questão problemática,

e de sua validação, para então ser considerado um sistema modelizado, que, posteriormente, poderá servir de modelo para outras OF e OM. Conforme Astolfi e Develay (1991, p. 106-107), em Ciências “[...] pode-se encontrar vários modelos para explicar um mesmo fenômeno e, inversamente, um mesmo modelo pode explicar fenômenos aparentemente muito diversos”.

Reforçando o que já foi dito, os modelos utilizados pela Educação (pedagógicos) para o ensino das Ciências Físicas permitem relacionar “[...] o visível e o invisível, o explícito e o implícito, o manifesto e o escondido, recorrendo a um esforço de abstração, além das realidades materiais observáveis [...]” (ASTOLFI E DEVELAY, 1991, p. 110), conforme o exemplo de carga e descarga de capacitor, não observadas in loco (em laboratório) pelos alunos que utilizaram um modelo (desenho esquemático). O conhecimento científico provém de um vai-e-vem entre situações concretas e um corpus simbólico. Extraímos do pensamento de Astolfi e Develay (1991, p. 109), um ponto importante a ser destacado na nossa aproximação do estudo das Ciências Físicas com a TAD:

Se um modelo conduz a descrição da organização integrada de conceitos, chamaremos de modelo pedagógico o edifício abstrato, articulando, numa coerência que lhe confere sentido, diversos elementos de uma prática tal qual se materialize, entre outros, através dos métodos, das técnicas e das ferramentas.

Na abordagem antropológica, segundo Bosch e Chevallard (1999), a função dos ostensivos é justamente produzir significação (objetos não ostensivos) e validação dos mesmos, por meio da manipulação das técnicas, das tecnologias e das teorias, ferramentas essenciais para construção de modelos para as práticas sociais em geral, e no caso particular dessa pesquisa, na instituição escola. Esse trabalho com os ostensivos deve ser ao mesmo tempo, “eficaz, legível e inteligível”, o que contribui para dar aos ostensivos seu valor instrumental e semiótico.

Porém, Bosch e Chevallard (1999) reconhecem que não existem regras gerais que possam afirmar que objetos ostensivos são mais eficazes, e em que momento o são, uma vez que dependerá da organização praxeológica que o agrega, e da instituição que da vida a essa organização. Verificamos, então, nesse exemplo, a ação de ostensivos sobre não ostensivos e vice-versa. Essa evolução, de objetos ostensivos versus objetos não ostensivos, não ocorre de forma linear, e nem ao mesmo tempo em todas as instituições. Ela dependerá das condições ecológicas de sua produção, que por sua vez determinará a existência ou não de uma organização praxeológica (OP).



## 1.6 Transposição Didática

O termo transposição didática (TD) foi introduzido pelo sociólogo Michel Verret em 1975 e posteriormente difundido na área de Ciências Experimentais e Matemática por Yves Chevallard em seu livro *La Transposition Didactique: du savoir savant au savoir enseigné*, obra de repercussão no cenário da educação. Nela, Chevallard exprime os conceitos de sua teoria: o sistema didático, sistema de ensino, noosfera e mostra as transposições que um saber sofre quando passa do campo científico para o campo escolar e a insere num contexto mais específico, cria regras sistematizadas, estabelece um modelo teórico e a luz da teoria proposta, analisa questões importantes no domínio da Didática da Matemática que se interessa na relação formada pela tríade docente, alunos e um saber. Esses três lugares formam o sistema didático.

Chevallard (1991), na TTD, descreve o percurso epistemológico<sup>10</sup> do saber desde a sua origem até a sala de aula. A TTD é um “instrumento” através do qual analisamos o movimento do saber sábio (saber construído pela comunidade de cientistas, diz respeito ao conhecimento original e se torna público após sua divulgação em artigos e revistas científicas). Dificilmente, esse saber chega à sala de aula, visto que, possui uma linguagem restrita à instituição em que é produzida. Para torná-lo acessível aos alunos é preciso uma adequação de linguagem para que aquelas ideias possam ser entendidas, há a necessidade de uma primeira transformação do conhecimento original para um segundo nível do saber, o saber a ensinar. Essa transformação é chamada por Chevallard de transposição didática externa.

A segunda transformação do saber é o saber ensinado (ocorre dentro da sala de aula pelo professor). O professor se utiliza do conhecimento dos livros didáticos e ajusta aquele conteúdo para construir a sequência das suas aulas. Por se tratar de uma etapa de cunho pessoal e susceptível a algumas variáveis, como o ambiente de sala de aula, a escola onde reside o sujeito o interesse da turma de alunos, em que todas essas variáveis dependem de características particulares da relação didática. Esta etapa de transformação do saber a ensinar em saber ensinado é chamada de transposição didática interna, pois acontece no interior da sala de aula. Os dois processos de transposição estão representados no Quadro 8.

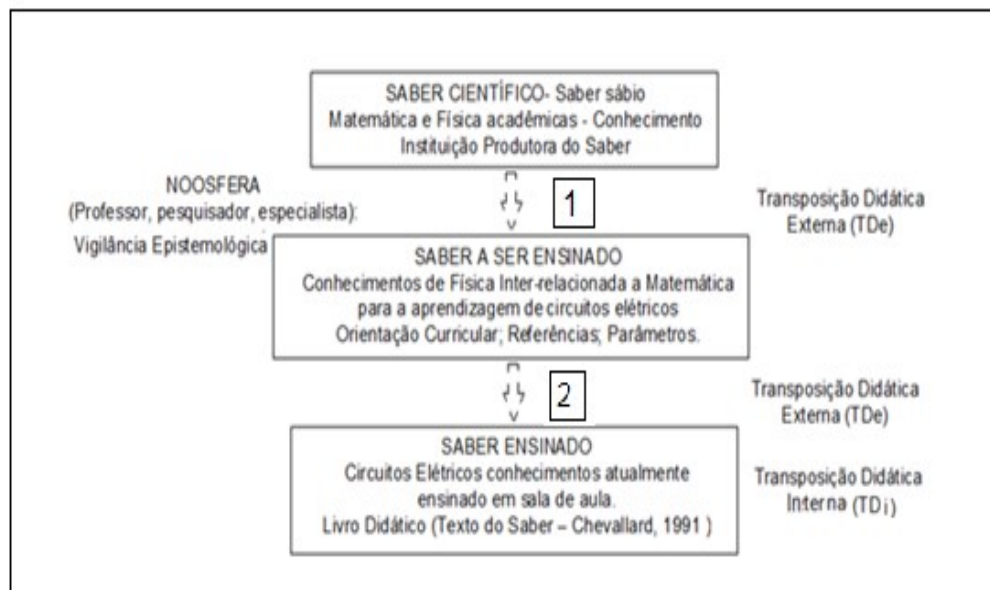
---

<sup>10</sup> Epistemológico relativo à epistemologia é o estudo científico que trata dos problemas relacionados com a crença e o conhecimento e suas relações entre o sujeito e o objeto, sua natureza e limitações. Fonte:

Chevallard (1991) amplia a representação do sistema didático – também referido como “sistema de ensino *stricto sensu*” – para evidenciar sua inserção em um contexto social mais amplo: entorno, sistema de ensino *Stricto sensu* e noosfera. No sistema de ensino encontra-se o entorno social, que podemos denominar de sociedade, onde estão incluídos matemáticos e demais acadêmicos, pais e as instâncias políticas legislativas e executivas; no sistema didático *stricto sensu*, estão incluídos o professor, os alunos e o saber ensinado; a noosfera corresponde a uma instância essencial para o funcionamento didático, onde se opera a interação entre esse sistema e o seu entorno social.

As passagens (1) e (2) (Quadro 8) representam, respectivamente, a transposição externa, onde habitam os manuais e programas didáticos, os livros didáticos e a transposição interna, onde há a atuação do professor como agente de transformação do saber a ensinar contido nos livros didáticos em saber ensinado que ocorre na sala de aula.

**Quadro 8** - Elementos da Transposição Didática



**Fonte:** Brousseau (1986)

Para Marianna Bosch, Yves Chevallard & Josep Gascón (2006, p.2), a abordagem Epistemológica considera que qualquer problema didático contém algumas atividades (*tarefas*) matemáticas que estão sendo produzidas, ensinadas, aprendidas e praticadas. Mesmo se ocorrem em uma instituição concreta (geralmente educacional), sua forma de existência e sua evolução dependem principalmente de restrições educacionais relacionadas ao processo de TD.

O processo de TD atua sobre as mudanças necessárias de conhecimento e seus usos para poder ser aprendidos na escola. Ele introduz uma distinção entre: (1) "original" ou "acadêmico" conhecimento matemático produzido por matemáticos ou outros produtores; (2) conhecimento "a ser ensinado" oficialmente prescrito pelo currículo; (3) conhecimento como são realmente ensinados por professores em suas salas de aula e (4) conhecimento como é na verdade aprendido pelos alunos.

No cenário da pesquisa educacional inúmeras questões vêm despertando interesse dos pesquisadores da educação havendo grande destaque para as que procuram estabelecer uma distinção entre saber e conhecimento. Dentre esses pesquisadores destacamos: Brousseau (1988), Chevallard et al. (2001), Geraldi (2003) e Pais (2010). Para Chevallard et al, (200), um saber ou saberes é um sistema de conhecimento que se relaciona com algo que queremos aprender mais intensamente, que nos possibilita responder questões relacionadas a realidade.

Brousseau (1988) faz uma distinção entre o conhecimento e o saber, enfatizando a dimensão da utilidade e lembrando que essa análise torna-se mais clara através de sua teoria das situações didáticas.

De maneira geral, Chevallard (1991) pretende que os conhecimentos (saberes) presentes no ensino não sejam meras simplificações de objetos tirados do contexto de pesquisas com o objetivo de permitir sua apreensão pelos jovens. Trata-se, pois, de “novos” conhecimentos capazes de responder a dois domínios epistemológicos diferentes: ciência e sala de aula.

Para Chevallard, a relação entre o saber ensinado e o saber sábio é um dos pontos fundamentais em toda a didática. Estas relações ocorrem no ambiente do contexto escolar (o sistema didático); um pequeno universo que se encontra dentro de um ambiente externo (o sistema de ensino), que é tido como “algo” mais amplo. O sistema de ensino pode ser representado pelo sistema educacional e/ou as escolas de um país e, que é responsável por influenciar o Sistema Didático.

O entorno imediato de um sistema didático está constituído inicialmente pelo sistema de ensino, que reúne o conjunto de sistemas didáticos e tem ao seu lado um conjunto diversificado de dispositivos estruturais que permitem o funcionamento didático e que intervém nos diversos níveis (CHEVALLARD, 1991, p.27).

O Sistema de Ensino está contido dentro de um contexto ainda mais amplo e complexo, a Sociedade. De maneira geral, a sala de aula pode ser considerada como um Sistema Didático, a escola, ou a rede de ensino de uma cidade, como o Sistema de Ensino. O

lugar onde se pensa a respeito do funcionamento didático é chamado de esfera e os representantes do Sistema de Ensino constituem a noosfera.

### 1.6.1 Noosfera

A noosfera é definida por Chevallard (1991) como “instituições de transposição de saberes”, espaço de interação entre o sistema didático e ambiente social. É constituído pelos pais de discentes, sindicato dos professores, secretaria de educação, Programa Nacional do Livro Didático, livro didático, Ministérios da Educação (MEC); enfim, pessoas envolvidas no processo educativo e que buscam ajustes ou adequações desse, frente às necessidades sociais, intermediando os saberes para o sistema de ensino.

Cada um destes contribuindo com seus valores, preferências, ideias e objetivos específicos no delineamento dos saberes que chegarão à sala de aula. Cada esfera dos saberes possui seus subgrupos de atores da noosfera, podendo haver ou não uma sobreposição entre grupos de esferas diferentes. Os agentes presentes no processo de mudança e adequação dos saberes são personificados na figura da noosfera. Ela atua como um mediador entre duas instâncias importantes, que são as necessidades e anseios da sociedade e o funcionamento do sistema escolar. Pode-se, então, dizer que:

A noosfera é o centro operacional do processo de transposição, que traduzirá nos fatos a resposta ao desequilíbrio criado e comprovado [entre os ideais e possibilidades dos saberes científicos] (expresso pelos matemáticos, pelos pais, pelos professores mesmos). Ali [na noosfera] se produz todo conflito entre sistema e entorno e ali encontra seu lugar privilegiado de expressão. Neste sentido [do conflito de interesses], a noosfera desempenha um papel de obstáculo epistemológico (CHEVALLARD, 1991, p.34).

Chevallard (1998a) destaca que tanto a esfera como a noosfera não trabalham sozinhas. Apesar de a noosfera possuir poder, responsabilidades, competências, ser “o centro operacional do processo de transposição” (ibidem, p.11), entre outras instâncias delimitadas, qualquer decisão (de ensino, didático, epistemológico, etc.) entre a esfera e a noosfera é tomada em conjunto.

A noosfera é quem seleciona os elementos do saber científico designados como saber a ensinar que por sua vez serão submetidas ao trabalho de transposição. Segundo Chevallard (1998a) esta etapa é visível à sociedade e é chamada de transposição didática externa. A transposição didática interna realiza-se no interior do sistema de ensino geralmente dentro da sala de aula sob as ações dos professores.

É no ambiente da noosfera, onde se encontram aqueles que, ocupam os postos principais do funcionamento didático que ocorrem conflitos e negociações, de produção e discussão de doutrinas sob a necessidade de mudança ou renovação no sistema de ensino e se amadurecem as soluções. A noosfera, geralmente tem suas ações voltadas para o saber a ensinar ou ao conteúdo de ensino, embora nem sempre as razões das crises existentes no contexto escolar, se devam a esses dois fatores e sim, aos métodos aplicados ao ensino.

O sistema didático sempre foi pensado, na pedagogia tradicional, numa composição de apenas dois atores: professor e alunos. Por ser pensado como um sistema contendo apenas seres humanos, analisar os processos de ensino e aprendizagem exclusivamente como fruto das relações humanas limitava tais análises a resultados de natureza sociológica. Desta forma, as falhas e imperfeições humanas eram refletidas no ensino de maneira que os conflitos ali existentes passavam a serem vistos como algo inerente a esse tipo de relações. Porém, para Chevallard, há a necessidade de se inserir o próprio conhecimento como objeto desse sistema, como ator do processo. Com isso, o tratamento sociológico não é suficiente para analisar o Sistema de Ensino, sendo necessário o aporte do conhecimento (o saber, na terminologia da TD).

O saber, assim, torna-se um elemento essencial na relação tida anteriormente como exclusiva entre professor e alunos. Ao fazer isso, Chevallard amplia as possibilidades de análises teóricas desta relação: a epistemologia passa a ser um instrumento poderoso das análises do sistema didático, agora constituído por uma base ternária (professor, aluno, saber). A presença do saber, enquanto ator cria duas novas relações: relação professor-saber e saber-aluno. Assim, para Chevallard, o pensamento e construção do objeto de ensino se configuram na base ternária. Ou seja, essa manufatura do saber escolar acontece numa relação contendo três elementos: o professor, o aluno e o saber.

“[...] uma vez que se torna possível falar desse terceiro termo, tão curiosamente esquecido: o saber pode formular-se uma pergunta que concede à polêmica seu verdadeiro interesse: O que é então aquilo que, no sistema didático, se coloca sob o estandarte de O Saber? O “saber ensinado” que concretamente encontra o observador, que relação estabelece com o que se proclama dele fora desse âmbito? E que relação estabelece então com o “saber sábio”, o dos matemáticos? Quais distâncias existem entre um e outro?”. (CHEVALLARD, 1991, p.15)

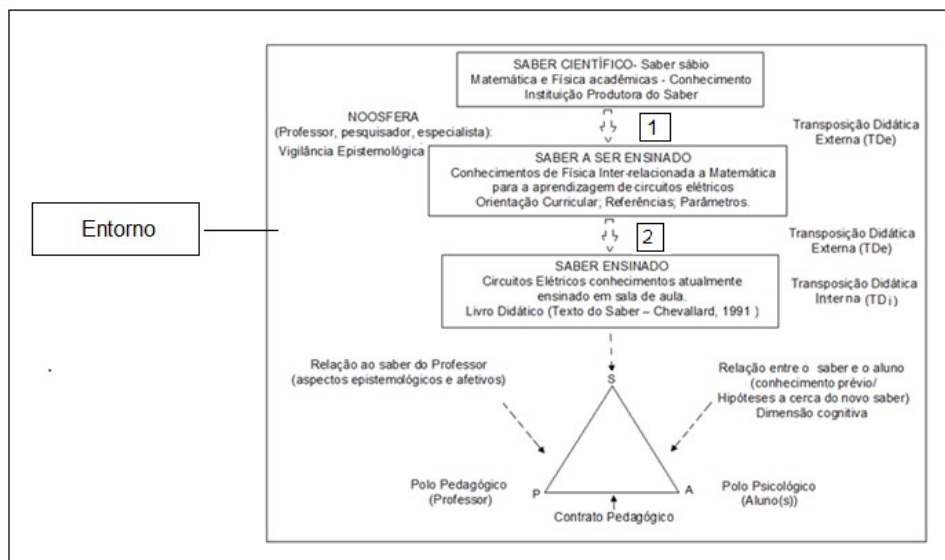
O Quadro 9 ilustra os vários passos que compõem a TD, descrita por Chevallard desde a origem do percurso epistemológico do saber até a sala de aula e o Triângulo Didático, que comporta três elementos – o aluno, o professor e o saber e que modela a TTD,

BROUSSEAU (1996). De acordo com a TD, revela as três esferas ou patamares de saber: saber sábio, saber a ensinar e saber ensinado.

Para Chevallard, na Transposição Didática, os objetos principais tem foco na representação triangular do sistema didático: o saber (S), aquele que ensina/professor (P), aquele que aprende/aluno (A). Nesse processo de transposição didática é o professor que transforma o saber a ser ensinado para os alunos e define junto aos mesmos o papel que cada um assume garantindo que o saber possa ser ensinado e aprendido. Nesse contexto, o professor como protagonista se apropria do saber, reescreve, transforma os conceitos e cria textos (metatexto) <sup>11</sup> didáticos imbuídos pela sua relação ao saber. A Figura 2 representa às respectivas ligações entre eles, correspondentes as dimensões: cognitiva (entre A e S), epistemológica (entre P e S) e sociológica (entre P e A).

Alguns elementos da relação entre professor e aluno (P-A) podem ser compreendidos, por exemplo, pela leitura de Brousseau (1986), em sua teoria do chamado Contrato Didático, que descreve a relação didática como sendo constituída por um conjunto de regras e comportamentos que determinam implícita e explicitamente o que cada participante (professor e aluno) deverá fazer e do que deve prestar conta.

**Quadro 9** - Sistema didático e trajetória do Saber na Transposição Didática.



**Fonte:** Matos Filho et al (2008) – adaptado pela autora.

<sup>11</sup> Segundo Chevallard (1991), um metatexto é um texto criado no momento de realizar o processo de transposição.

A dimensão epistemológica corresponde à relação entre professor e saber (P-S), quando bem estabilizada, pode contribuir de forma significativa para o êxito do processo de ensino e aprendizagem. A dimensão cognitiva é explorada, sempre que há necessidade de encontrar justificativa para as escolhas feitas na dimensão epistemológicas. Na forma como Chevallard (1991) apresenta o papel da noosfera, deve-se admitir que ela se constituía em local de convergência e debate de interesses diferentes.

Os interesses internos da ciência, os ideais de formação dos cidadãos, os objetivos profissionais e de desenvolvimento do indivíduo, entre outros, se encontram nesse espaço de debate, onde os porta-vozes de cada grupo colocam seus argumentos visando à constituição de um consenso. A importância relativa das ações de cada um desses atores num contexto histórico específico determina a forma final do saber a ensinar.

Embora inevitável e legítima, a TD não é, em si, um obstáculo a qualquer tentativa de modificação do saber escolar. A noosfera, por sua vez, desempenha esse papel de obstáculo a toda e qualquer tentativa de alteração, servindo como lastro que tende a manter o projeto educacional em curso, até que ela própria sofra modificações significativas.

#### 1.6.2 As esferas de construção do saber

Chevallard (1991) reflete que a Transposição Didática é feita por uma Instituição ‘invisível’, uma ‘esfera pensante’, uma esfera de construção do saber que ele nomeou de Noosfera, são assim definidas:

##### a) O Saber sábio

Saber sábio é o saber científico, acadêmico que preexiste ao saber a ensinar.

Para um conhecimento científico figurar dentre aqueles apresentados aos alunos é necessário que ele possua um limitador, uma fonte de referência proveniente da comunidade científica. O saber sábio é, portanto, aquele que compõe as revistas especializadas, congressos ou periódicos científicos.

Este saber nasce da produção e trabalho de cientistas e intelectuais que, mesmo pertencentes a diferentes grupos ou tendo diferentes visões de Ciências, pertencem a uma mesma comunidade de pesquisa, com perfil epistemológico bem definido. Trata-se de um saber que é desenvolvido por cientistas nos institutos de pesquisas, e que passa pela análise e julgamento da comunidade científica, com suas normas e regras próprias. Por isso, o Saber Sábio possui especificidades características do ambiente em que ele é produzido.

### b) O Saber a ensinar

Saber a Ensinar constitui-se em modificações do conteúdo e objetivos para atender necessidades de ensino. Ao ser transposto para o ambiente escolar, o Saber transforma-se em outro tipo de saber, passa a integrar novas demandas ajusta-se a elas. Este saber deverá ser revestido de uma forma didática para ser apresentada aos alunos. O saber a ensinar é o saber presente nos programas, livros didáticos e materiais instrucionais. A esfera do Saber a Ensinar é composta por saberes diferenciado. Esta falta de homogeneidade pode gerar conflitos, visto que seus membros lutam em defesa de seus interesses, que nem sempre estão em sintonia entre si.

### c) O Saber ensinado

Saber ensinado é a recontextualização do saber científico e do saber a ensinar é o saber presente nos livros didáticos e programas curriculares e que nem sempre, coincide com o produzido em sala de aula. Ou seja, quando o professor efetivamente ensina em suas aulas, tendo como base o saber a ensinar, ele então produz o saber ensinado. O fato do saber a ensinar estar definido em um programa escolar ou em um livro didático não garante que ele seja apresentado aos alunos desta maneira. Ocorre desta forma a segunda TD, que transforma o saber a ensinar em saber ensinado.

Nessa esfera, é enfatizado o predomínio de valores didáticos, visto que esta transposição está voltada para o trabalho do professor em sua prática diária visando aperfeiçoar as conexões do aluno, frente aos saberes que se deseja ensinar. Na esfera do saber ensinado, os seus membros convivem no mesmo ambiente que é a instituição escolar. Fazem parte desses grupos: alunos, proprietários de estabelecimentos de ensino, supervisores, orientadores educacionais, a comunidade dos pais e, principalmente, professores. Assim, o professor, ao preparar suas aulas, tem que fazer a conexão entre os interesses dos membros desta esfera e os fins didáticos de sua prática de ensino.

## 1.7 Um olhar voltado para circuitos elétricos

A transposição didática que usa a inter-relação da matemática com a física para o ensino de circuito elétricos, pode ser ilustrada em um modelo semelhante à figura 3, porém no ensino de engenharia considerando que a maioria dos professores tem em sua formação em



bacharelado, não possuindo visão acadêmica voltada para o ensino e a aprendizagem, já que, aprendem matemática e física não para ensinar matemática e física, por exemplo, assim, para que a aprendizagem ocorra, é necessário que o professor desenvolva as habilidades pedagógicas, para que transposição didática se efetive, para isso, é preciso que o professor busque a resolução dos problemas, coloque o aluno diante de desafios cognitivos e problematizações, construa conhecimento através de questões partilhadas em sala de aula e ligue os problemas às questões vivenciadas pelos alunos em seus cotidianos.

No entanto, esses subterfúgios pedagógicos por um lado suscitam atrativos e interesse, por outro podem ser perniciosas à aprendizagem. A assimilação de noções inadequadas, sejam elas advindas dos conhecimentos empíricos que o educando vivencia em seu cotidiano ou adquiridas na escola, poderá resultar na constituição que BACHELARD (1996) denomina de obstáculos epistemológicos.

São obstáculos que os professores devem estar atentos, para que não estejam presentes em seu modo de ensinar, no ambiente da sala de aula, o processo de aprendizagem de conceitos científicos é influenciado por diversos obstáculos epistemológicos presentes em métodos de ensino, em materiais e nos recursos didáticos usados, como por exemplo, o livro didático. O professor também precisa estar ciente do que trata obstáculos epistemológicos, pois somente assim poderá identificá-los e superá-los, ou, também, poderá ajudar os seus alunos a superá-los, caso os obstáculos estejam presentes neles próprios.

É crucial que os professores tenham uma visão da TD, analisando as mudanças de conhecimento e prática em atividades matemáticas e físicas, aplicadas aos circuitos elétricos em diferentes contextos: primeiro, porque cria um elo entre circuitos elétricos didáticos e circuitos elétricos escolar; segundo, porque é essencial que os professores adaptem diferentes “tipos” de circuitos elétricos a outros tipos em seu trabalho cotidiano, para obter materiais de ensino de circuitos elétricos e colocá-los em um contexto teórico mais amplo ou para adaptar conceitos dos circuitos elétricos do currículo, proporcionando atividades relevantes para os alunos na Universidade.

Assim, ao nos basearmos no referencial teórico da Didática francesa, principalmente da TAD, percorrido neste capítulo, buscamos encontrar a resposta ao nosso questionamento: **quais impactos de uma engenharia didática, que considera articulação dos ostensivos e não ostensivos, no processo de matematização da Física na resolução de tarefas sobre circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc?**

Esse capítulo, foi desenvolvido à luz da TSD, proposta pelo teórico Brousseau (1986) e da TAD, proposta pelo teórico Chevallard (1991), para melhor entender as atividades didáticas realizadas em sala de aula do componente curricular Circuitos Elétricos I.

A TSD, traz reflexões da forma como podemos arquitetar e expor o conteúdo Matemático e Físico aos educandos, de maneira a se obter uma educação que tenha sentido e contexto para o estudante. Uma situação didática é estabelecida quando ocorrem relações pedagógicas entre a tríade professor, aluno e o saber em situação de aprendizagem, levando em consideração o meio.

Neste trabalho fazemos alusão as situações que consiste na busca do aluno por soluções, de forma autônoma, em uma situação onde o professor atua como mediador e observador apenas efetuando a devolução do problema, situação que Brousseau (1996), denominada de didática.

O uso dos elementos do referencial teórico da TAD, oportunizou que fossem vistas as escolhas didáticas, como o uso de alguns ostensivos e não ostensivos, que ocupam um papel relevante no desenvolvimento dos conceitos do objeto do saber em estudo. Ressaltamos que a TAD fornecer aporte para o estudo das atividades matemáticas e físicas necessárias ao desenvolvimento da construção dos conceitos dos saberes em estudo.

Em vista disso, apresentamos alguns elementos que constituem este referencial, e como o utilizamos para construir os conceitos dos conceitos em referências.

De acordo com considerações, sobre a Didática, buscamos na TAD, o suporte epistemológico para nossa pesquisa, considerando que a mesma pode possibilitar a compreensão das dificuldades enfrentadas pelos estudantes.

Para a Didática da Matemática, a Ecologia Didática do Saber e do Didático relaciona-se às ideias de habitat, como o lugar de vida e o ambiente conceitual de um objeto do saber, e de nicho, como o lugar funcional ocupado pelo objeto do saber no sistema ou praxeologia dos objetos com os quais interage.

A TAD propõe um modelo epistemológico que estabelece uma distinção dentro dos elementos que compõem uma organização matemática e física. Esses elementos são elaborados de dois tipos de objetos: os objetos ostensivos e os objetos não ostensivos (BOSCH, 2000). Objetos ostensivos, é tudo aquilo que se mostra, que se percebe, que se vê e ouve, dotado de certa materialidade como as escrituras, os gráficos, os desenhos, dentre outros e não ostensivos, são os objetos que apesar de existirem institucionalmente não se mostram

aos nossos sentidos, pois pertencem ao mundo das ideias, tais quais as ideias, os conceitos, as crenças, etc.

Segundo Bosch (2000), apesar dessa divisão entre objetos ostensivos e não ostensivos, existe uma dialética entre ambos, pois os objetos não ostensivos surgem da manipulação dos objetos ostensivos.

A TAD considera que, em última instância, toda atividade humana consiste em cumprir uma tarefa  $t$  de certo tipo  $T$ , por meio de uma técnica  $\tau$ , justificada por uma tecnologia  $\theta$  que permite ao mesmo tempo cogitar essa técnica ou mesmo de produzi-la. A tecnologia, por sua vez, é justificada por uma teoria  $\Theta$ . Em suma, ela começa a partir da premissa de que toda atividade humana coloca em jogo uma organização, que Chevallard (1998) indica por  $[T, \tau, \theta, \Theta]$  e a nomeia de praxeologia ou organização praxeológica. A palavra praxeologia descreve a estrutura da organização  $[T, \tau, \theta, \Theta]$ : em grego práxis, que significa "praticar", refere-se ao bloco pratico-técnica (ou práxis)  $[T/\tau]$  e o logos (em grego), que significa "razão", "discurso fundamentado", refere-se ao bloco teórico-tecnológico  $[\theta/\Theta]$ .

Um dos aspectos importantes da TAD é a possibilidade de avaliar as tarefas/técnicas e tecnologias nos processos de aprendizagem de conceitos dos circuitos elétrico, através da inter-relação entre matemática e física.

Diante do conteúdo teórico abordado, na busca da construção de saberes dos estudantes no objeto circuitos rc, rl e rlc em cc, julgamos pertinente abordar sobre as inter-relações entre matemática e física, no Capítulo 2.

## Capítulo 2

### Interações entre matemática e física no ensino de circuitos rc, rl e rlc em cc

O objetivo deste capítulo é dissimular a importância da inter-relação da Matemática com a Física para a aprendizagem do objeto da pesquisa: circuitos rl, rc e rlc em cc, visto que, na aprendizagem desse objeto é necessário que o sujeito mobilize conhecimentos relativos ao conteúdo do eletromagnetismo, ramo da física que estuda os fenômenos da eletricidade e do magnetismo. Nesse conteúdo há conceitos físicos do eletromagnetismo que precisam ser aplicados para realizar atividades contendo os circuitos em estudo e esses conceitos físicos inter-relacionam-se com a matemática como a Equação Diferencial Ordinária (EDO) linear por exemplo. Enfim, intenciona-se fomentar uma aprendizagem que considere e articule esta inter-relação.

#### 2.1 Inter-relação entre a matemática e a física

Segundo Galileu Galilei, a matemática é a linguagem da física, ou seja, a física necessita da matemática para se concretizar e apreciar verdadeiramente os conceitos físicos, ou seja, a física não anda sem a matemática.

A relação entre matemática e física é um tema tratado por filósofo, matemáticos e físicos desde a Antiguidade. Em geral, considerada uma relação de grande intimidade, a matemática já foi descrita como uma *"ferramenta essencial para a física"* e a física já foi descrita como *"uma rica fonte de inspiração e insight para a matemática"*.

No pensamento de um físico, a Física utiliza modelos matemáticos<sup>12</sup> para o estabelecimento das leis da natureza.

Os circuitos elétricos rc, rl e rlc em cc aparecem como os temas “emblemáticos” que alimentam os programas atuais da relação entre matemática e física nos atuais programas de ensino superior de Engenharia Elétrica.

É importante enfatizar que em nível de conhecimento, matemática e física estão intimamente relacionadas desde a mais remota essência do conhecimento científico e esta

---

<sup>12</sup> Segundo Bassanezi (2002), um modelo matemático designa um conjunto de símbolos e relações matemáticas que representam o objeto estudado, o qual expressa e interpreta uma ou mais hipóteses de maneira quantitativa. Assim, a importância de um modelo matemático reside no fato de possibilitar a expressão de nossas ideias de maneira clara, em uma linguagem concisa e universal.

relação de influência mútua além de ter sido fundamental para o desenvolvimento de ambas fizeram evoluir a ciência, prestando-se a um jogo de trocas dialéticas. Isso atesta a proximidade das abordagens entre matemáticos e físicos

O importante papel desempenhado pela matemática no desenvolvimento da física é essencialmente em torno de dois polos: linguagem e ferramentas.

A ideia de uma linguagem matemática para física é introduzida pelo Galileu: a física não pode ser pensada e verdadeiramente entendida sem que se recorra à linguagem precisa da matemática.

Porém, a concepção de superioridade da Matemática, fica evidente nas palavras do matemático/filósofo Bertrand Russel:

A história da ciência prova sobejamente que um corpo de proposições abstratas – mesmo que, como as seções cônicas, fique dois mil anos sem afetar a vida cotidiana – pode, a qualquer momento, ser usado para causar uma revolução nos pensamentos e ocupações habituais de todo cidadão. Só a matemática tornou possível o uso do vapor e da (RUSSEL, 1977, p. 80-81).

Contudo, essas revelações de diferença, de independência de uma área em detrimento da outra, demonstram-se sem embasamento teórico quando são analisadas suas trajetórias epistemológicas. A História da Matemática tem nos revelado que vários conceitos matemáticos têm origens associadas a problemas verdadeiramente físicos. Einstein considera a geometria como a mais antiga das teorias físicas, por exemplo. Segundo Einstein, o princípio criativo da física reside na matemática; a origem do cálculo está intimamente ligada à descrição matemática dos movimentos (BOYER, 1949); Poincaré (1995) destaca que a teoria das equações diferenciais se desenvolveu, sobretudo, pela Física e para a Física. Para Einstein, o princípio criativo da física reside na matemática.

Naturalmente, podemos encontrar exemplos de teorias e experiências na área da física motivadas pelo resultado de expressões/equações matemáticas de acordo com o pensamento de Russel. Podemos evidenciar, a previsão teórica da existência de ondas eletromagnéticas pelas equações de Maxwell, a unificação da óptica com o eletromagnetismo, quando os cálculos matemáticos demonstram que a velocidade das ondas eletromagnéticas é igual à da luz, e a previsão da existência da antipartícula por Paul Dirac em 1928, a partir da admissão de um valor negativo para a solução de sua equação de onda relativística, e a comprovação experimental com a descoberta do pósitron em 1932. Estes casos ilustram claramente a importância do ferramental matemático na previsão de resultados experimentais da física (MACHADO, 2001).

O importante papel desempenhado pela matemática no desenvolvimento da física é essencialmente em torno de dois polos: linguagem e ferramentas. A ideia de uma linguagem matemática para física é introduzida por Galileu, considerado por muitos o pai da ciência moderna porque foi o primeiro a combinar observação experimental com a descrição dos fenômenos num contexto teórico, com leis expressas em formulação matemática. Pode-se dizer que Galileu marcou a transição entre a filosofia natural da Antiguidade e o método científico atual. Estabelece-se entre a Física e a Matemática uma relação de grande proximidade. A Física, conhecimento do mundo material, não se pode fazer sem a Matemática. A Matemática é, sem qualquer dúvida, a linguagem da Física.

Segundo Galileu Galilei, o universo é "um grande livro que continuamente se abre perante nossos olhos", mas "que não se pode compreender antes de entender a língua e os caracteres com os quais está escrito. Ele está escrito em língua matemática, os caracteres são triângulos, circunferências e outras figuras geométricas, sem cujos meios é impossível entender humanamente as palavras; sem eles nós vagamos perdidos dentro de um obscuro labirinto". Isso significa que a linguagem matemática é, para Galileu, fundamental para a explicação dos fenômenos naturais. (POINCARÉ, 1995).

A física não pode ser pensada e verdadeiramente entendida sem que se recorra à linguagem precisa da matemática. Conforme afirmou há cerca de cem anos o alemão Wilhelm Roentgen, o primeiro prémio Nobel da Física: *"O físico precisa de três coisas para o seu trabalho: matemática, matemática e matemática"*.

Contrariando a posição de Russel, encontramos na história exemplos de teorias matemáticas desenvolvidas para responderem questões formuladas experimentalmente, ou seja, o mundo "real" servindo de inspiração para a Matemática. Exaltando a necessidade de associação do cálculo diferencial, com o conceito de derivada, para descrever o movimento e, mais especificamente, o conceito de velocidade; propagação do calor com o desenvolvimento da série de Fourier; a trigonometria com a astronomia; a geometria com a óptica.

Estes são alguns exemplos que comprovam o importante papel da Física para a Matemática, contradizendo os matemáticos que creem não precisar estabelecer vínculos com o que é real. Segundo Machado (2001, p.50), "a Física nos entulha de exemplos de conceitos e teorias matemáticas que surgiram como respostas a questões formuladas pela experiência e não como fruto de mera especulação intelectual".

Henri Poincaré discorre sobre as relações entre a análise pura e a física matemática<sup>13</sup> em uma de suas obras mais consagradas: ‘O Valor da Ciência’ (POINCARÉ, 1995). O livro o valor da ciência é dividido em três partes e trata de assuntos referentes à matemática, à física e à filosofia. Segundo Poincaré (1995, p. 90):

O matemático não deve ser para o físico um simples fornecedor de fórmulas; é preciso que haja entre eles uma colaboração mais íntima. A física matemática e a análise pura não são apenas potências limítrofes, que mantêm relações de boa vizinhança; penetram-se mutuamente, e seu espírito é o mesmo.

Poincaré (1995) ao refletir sobre a importância da Física para a Matemática e da Matemática para a Física, chegou à conclusão de que o matemático depende tanto da Física tanto quanto o inverso. Por isso, Poincaré (1995), na condição de um matemático puro, afirma:

O desejo de conhecer a natureza teve a mais constante e feliz influência sobre o desenvolvimento da matemática. [...] o físico nos propõe problemas cuja solução espera de nós. Mas ao nos propor esses problemas, já pagou com muita antecedência o favor que lhe poderemos prestar, se conseguirmos resolvê-los (POINCARÉ, 1995, p. 94).

Diante dessas reflexões epistemológicas acerca das relações entre Matemática e Física, voltamos a nossa lente para a forma como essas duas disciplinas vêm sendo desenvolvidas no IFBA. Ao longo de nossa trajetória, foi possível perceber que essas duas áreas vêm sendo tratadas de forma independente e que, dessa forma, nossos estudantes não têm percebido suas inter-relações.

Os livros didáticos, por exemplo, não expressam preocupação com uma distribuição de conteúdo que possa conciliar os objetivos de ambas as disciplinas. Também não se costuma pensar em uma abordagem integradora ao se estruturar um currículo. Essa dissociação aparece clara na grade curricular do curso que iniciam com disciplinas matemáticas, como Cálculo e Geometria Analítica, para posteriormente mencionar aplicações das mesmas nas disciplinas da Física. Essa postura, é contrária ao próprio desenvolvimento histórico desses conteúdos.

Ricatti (1676-1754) começou um estudo sério de uma equação em particular, mas foi limitado pelas teorias do seu tempo para casos especiais da equação que leva hoje seu nome. Os Bernoullis, Jakob, Johann, e Daniel, todos estudaram os casos da equação de Ricatti também. Na época, Taylor usou séries para "resolver" equações diferenciais, outros

---

<sup>13</sup> Física matemática é um ramo da física teórica que estuda desde simetrias até modelos integráveis na área de partículas e campos (BUTKOV, 1988).

desenvolveram estas séries as quais Luiz Fernando Provenzano utilizou na construção da obra literária *Introdução às Equações Diferenciais - Um roteiro para estudos*. Contudo, o desenvolvimento de Taylor de diferenças finitas deu início a um novo ramo da matemática intimamente relacionado ao desenvolvimento das equações diferenciais.

No início do século XVIII, este e muitos outros matemáticos tinham acumulado uma crescente variedade de técnicas para analisar e resolver muitas variedades de equações diferenciais. Contudo, muitas equações ainda eram desconhecidas em termos de propriedades ou métodos de resolução. Cinquenta anos de equações diferenciais trouxeram progresso considerável, mas não uma teoria geral (POINCARÉ, 1995).

O desenvolvimento das equações diferenciais precisava de um mestre para consolidar e generalizar os métodos existentes e criar novas e mais poderosas/ técnicas para atacar grandes famílias de equações. Muitas equações pareciam amigáveis, mas tornaram-se decepcionantemente difíceis. Em muitos casos, técnicas de soluções iludiram perseguidores por cerca de 50 anos, quando Leonhard Euler chegou à cena das equações diferenciais. Euler teve o benefício dos trabalhos anteriores, mas a chave para seu entendimento era seu conhecimento e percepção de funções. Euler entendeu o papel e a estrutura de funções, estudou suas propriedades e definições. Rapidamente achou que funções era a chave para entender equações diferenciais e desenvolver métodos para suas resoluções. Usando seu conhecimento de funções, desenvolveu procedimentos para soluções de muitos tipos de equações.

Euler teve muitos sucessores especialistas que refinaram ou estenderam muitas das suas ideias. Em 1728, Daniel Bernoulli usou os métodos de Euler para ajudá-lo a estudar oscilações e as equações diferenciais que produzem estes tipos de soluções. O trabalho de D'Alembert em física matemática envolveu equações diferenciais parciais e explorações por soluções das formas mais elementares destas equações. Lagrange seguiu de perto os passos de Euler, desenvolvendo mais teoria e estendendo resultados em mecânica, especialmente equações de movimento (problema dos três corpos) e energia potencial.

As maiores contribuições de Lagrange foram provavelmente à definição de função e propriedades, o que manteve o interesse em generalizar métodos e analisar novas famílias de equações diferenciais. Lagrange foi provavelmente o primeiro matemático com conhecimento teórico e ferramentas suficientes para ser um verdadeiro analista de equações diferenciais. Em 1788, ele introduziu equações gerais de movimento para sistemas dinâmicos, hoje conhecidas como equações de Lagrange.



O trabalho de Laplace sobre a estabilidade do sistema solar levou a mais avanços, incluindo técnicas numéricas melhores e um melhor entendimento de integração. Laplace claramente reconheceu as raízes de seu trabalho quando escreveu "Leia Euler, leia Euler, ele é nosso mestre". O trabalho de Legendre sobre equações diferenciais foi motivado pelo movimento de projéteis, levando em conta, pela primeira vez, novos fatores tais como resistência do ar e velocidades iniciais. Lacroix foi o próximo a deixar sua marca. Trabalhou em avanços nas equações diferenciais parciais e incorporou ao seu livro, muito dos avanços, desde os tempos de Euler. A principal contribuição de Lacroix foi a Introdução às Equações Diferenciais – Um roteiro para estudos de Luiz Fernando Provenzano que teve o propósito de resumir muitos dos resultados de Euler, Lagrange, Laplace, e Legendre. O próximo na ordem foi Fourier. Sua pesquisa matemática fez contribuições ao estudo e cálculos da difusão de calor e à solução de equações diferenciais. Muito deste trabalho aparece em *The Analytical Theory of Heat (A Teoria Analítica do Calor, 1822)* de Fourier, no qual ele fez uso extensivo da série que leva seu nome.

À medida que o final do século XIX se aproximava, os principais esforços em equações diferenciais se moveram para um plano teórico. Em 1876, Lipschitz (1832-1903) desenvolveu teoremas de existência para soluções de equações diferenciais de primeira ordem.

Poincaré, matemático de sua geração, produziu mais de 30 livros técnicos sobre física matemática e mecânica celeste. A maioria destes trabalhos envolveu o uso e análise de equações diferenciais. Em mecânica celeste, trabalhando com os resultados do astrônomo americano George Hill, conquistou a estabilidade das órbitas e iniciou a teoria qualitativa de equações diferenciais não lineares.

Muitos resultados de seu trabalho foram as sementes de novas maneiras de pensar, as quais floresceram, tais como a análise de séries divergentes e equações diferenciais não lineares. Poincaré entendeu e contribuiu em quatro áreas principais da matemática - análise, álgebra, geometria e teoria de números. Ele tinha um domínio criativo de toda a matemática de seu tempo e foi, provavelmente, a última pessoa a estar nesta posição. No século X, George Birkhoff usou as ideias de Poincaré para analisar sistemas dinâmicos grandes e estabelecer uma teoria para a análise das propriedades das soluções destas equações.

Na década de 1980, a teoria emergente do caos usou os princípios desenvolvidos por Poincaré e seus seguidores. As Equações Diferenciais abrangem um campo da matemática pura e aplicada muito amplo e sua utilização é de suma importância na Física, Engenharia,

entre outras carreiras acadêmicas. Uma Equação Diferencial “[...] tem uma incógnita em função das respectivas derivadas, sendo frequentemente usada para descrever processos nos quais a mudança de uma medida ou dimensão é causada pelo próprio processo” (GUERRINI et al., 2002).

A natureza, de um modo geral, apresenta algumas leis que se expressam matematicamente em termos de Equações Diferenciais, tais como as leis do Eletromagnetismo (equações de Maxwell), da Mecânica dos Fluidos (equações de Euler e de Navier-Stokes), da Mecânica Quântica (equações de Schrödinger, Klein-Gordon e de Dirac), da Teoria da Relatividade Geral (equação de Einstein), entre outras (HALLIDAY, 1996).

Por essas inúmeras aplicações das equações diferenciais na física é que os cursos de Engenharia fazem uso intensivo delas, visto que essa disciplina está presente na grade curricular dos cursos do país. Mas, mesmo assim, existe uma deficiência na conexão de seus conceitos, apesar destas disciplinas e suas aplicações na Engenharia estarem intimamente ligadas, principalmente os conceitos do eletromagnetismo e de circuitos elétricos.

As Equações Diferenciais abrangem um campo da matemática pura e aplicada muito amplo e sua utilização é de suma importância na Física, Engenharia, entre outras carreiras acadêmicas. Uma Equação Diferencial “[...] tem uma incógnita em função das respectivas derivadas, sendo frequentemente usada para descrever processos nos quais a mudança de uma medida ou dimensão é causada pelo próprio processo” (GUERRINI et al., 2002).

A natureza, de um modo geral, apresenta algumas leis que se expressam matematicamente em termos de Equações Diferenciais, tais como as leis do Eletromagnetismo (equações de Maxwell), da Mecânica dos Fluidos (equações de Euler e de Navier-Stokes), da Mecânica Quântica (equações de Schrödinger, Klein-Gordon e de Dirac), da Teoria da Relatividade Geral (equação de Einstein), entre outras (HALLIDAY, 1996).

Por essas inúmeras aplicações das equações diferenciais na física é que os cursos de Engenharia fazem uso intensivo delas, visto que essa disciplina está presente na grade curricular dos cursos do país. Apesar destas disciplinas e suas aplicações na Engenharia estarem intimamente ligadas, existe uma deficiência na conexão de seus conceitos, principalmente os do eletromagnetismo e de circuitos elétricos.

## 2.2 Definição de equação diferencial ordinária

Uma Equação Diferencial Ordinária (EDO) é uma equação da forma  $F(x, y(x), y'(x), y''(x), \dots, y^{(n)}(x)) = 0$ , envolvendo uma função incógnita  $y = y(x)$  e suas derivadas ou suas diferenciais.  $x$  é a variável independente,  $y$  é a variável dependente e o símbolo  $y^{(k)}$  denota a derivada de ordem  $k$  da função  $y = y(x)$ .

Equações diferenciais ordinárias são equações cuja incógnita é uma função. É denominada ordinária pois a função diferenciada possui apenas uma variável sobre a qual se aplica a diferenciação. As equações diferenciais têm inúmeras aplicações práticas em medicina, engenharia, química, biologia e outras diversas áreas de conhecimento. As soluções destas para projetar circuitos elétricos por exemplo. Isso distingue as equações diferenciais ordinárias (EDO) das equações diferenciais parciais, representação simbólica (Equação 2.1 e 2.2).

Equação Diferencial Ordinária:

$$\frac{d}{dx} f(x) dx = kf(x) \quad \text{Equação 2.1}$$

Equação Diferencial Parcial:

$$\frac{d}{dx} f(x, t) dx = f(x)g(x) \quad \text{Equação 2.2}$$

### 2.2.1 Ordem e grau de uma equação diferencial

A ordem da equação diferencial é a ordem da mais alta derivada da função incógnita que ocorre na equação. Grau é o valor do expoente para a derivada mais alta da equação, quando a equação tem a “forma” de um polinômio na função incógnita e em suas derivadas, como por exemplo:  $Ay^{(3)} + By^{(2)} + Cy^{(1)} + Dy^{(0)} = 0$

Uma equação diferencial linear de ordem  $n$  é da forma  $a_0(x)y^{(n)} + a_1(x)y^{(n-1)} + a_2(x)y^{(n-2)} + \dots + a_n(x)y = b(x)$  onde as funções  $b = b(x)$  e  $a_k = a_k(x)$  ( $k = 0, 1, 2, \dots, n$ ), são funções conhecidas sendo  $a_0 = a_0(x)$  não identicamente nula e todas estas funções devem depender somente da variável  $x$ . A função (incógnita) desconhecida é  $y = y(x)$ . Em virtude das informações da seção anterior, é possível definir o operador diferencial linear

$$L = a_0(x)D^{(n)} + a_1(x)D^{(n-1)} + a_2(x)D^{(n-2)} + \dots + a_n(x)I$$

Assim a equação diferencial acima terá a forma simplificada  $L(y) = b(x)$  e este é o motivo pelo qual, a equação diferencial acima recebe o nome de linear.

### 2.2.2 Solução de uma Equação diferencial ordinária - EDO

Uma solução para uma equação diferencial é uma função que satisfaz identicamente à equação. A solução mais geral possível, que uma equação diferencial admite é denominada solução geral, enquanto que outra solução é chamada uma solução particular.

### 2.2.3 Equações diferenciais ordinárias de primeira ordem

Uma grande quantidade de equações diferenciais ordinárias de primeira ordem pode ser escrita na sua forma normal, dada por:  $y' = f(x, y)$  ou quando a função  $f = f(x, y)$  pode ser escrita como o quociente de duas outras funções

$M = M(x, y)$  e  $N = N(x, y)$ , temos:

$$y' = \frac{M(x, y)}{N(x, y)}$$

É vantajoso manter o sinal negativo antes da fração, na forma

$$y' = \frac{M(x, y)}{N(x, y)}$$

pois usando o fato que  $dy = y'(x)dx$ , poderemos escrever

$$M(x, y)dx + N(x, y)dy = 0$$

Exemplos:

1. A equação diferencial  $y' = \cos(x + y)$  está em sua forma normal.
2. A equação diferencial  $y' = \frac{x}{y}$  está em sua forma normal, mas pode ser reescrita na sua forma diferencial  $x dx - y dy = 0$ .

### 2.2.4 Equações de primeira ordem

Dada a equação diferencial

$$M(x, y) dx + N(x, y) dy = 0.$$

Se  $M$  é uma função apenas da variável  $x$ , isto é  $M = M(x)$  e  $N$  é uma função apenas da variável  $y$ , isto é  $N = N(y)$ , então a equação dada fica na forma

$$M(x)dx + N(y)dy = 0$$

e ela é chamada equação separável. Isto é motivado pelo fato que é possível separar as funções de modo que cada membro da igualdade possua uma função com apenas uma variável. Desse modo, podemos realizar a integração de cada membro por um processo “simples”.

Exemplo:

A equação diferencial  $y' = \frac{x}{y}$  na sua forma normal, pode ser reescrita na sua forma diferencial  $x dx - y dy = 0$ . Ou ainda na forma  $x dx = y dy$  integrando cada termo independentemente, teremos:

$$\frac{x^2}{2} + C_1 = \frac{y^2}{2} + C_2$$

E reunindo as constantes em uma constante C, teremos:

$$x^2 - y^2 = C$$

E esta relação satisfaz à equação diferencial dada.

### 2.2.5 Modelos matemáticos e equações diferenciais

Muitos problemas práticos podem ser modelados pela Matemática, de acordo com as quatro etapas abaixo (não muito bem definidas):

1. Construção de um modelo para descrever algum fenômeno físico;
2. Estabelecimento de um procedimento matemático adequado ao modelo físico;
3. Realização de cálculos numéricos aproximados com o uso do Modelo Matemático pré-estabelecido;
4. Comparação das quantidades numéricas obtidas através do Modelo Matemático com aquelas que se esperava obter a partir da formulação do modelo criado para resolver o problema.

Após estas etapas, costuma-se analisar os resultados e na verificação da adequação dos mesmos, se aceita o modelo e na inadequação dos resultados, reformula-se o modelo, geralmente introduzindo maiores controles sobre as variáveis importantes, retirando-se os controles sobre as variáveis que não mostraram importância.

## 2.2.6 Equações exatas de primeira ordem

Na sequência, utilizaremos a notação  $M_x = \frac{\partial M}{\partial x}$  para a derivada parcial da função  $M = M(x, y)$  em relação à variável  $x$ . Uma equação na forma diferencial  $M(x, y)dx + N(x, y) dy = 0$  será exata, se existir uma função  $F = F(x, y)$  cuja diferencial exata  $dF = F_x dx + F_y dy$  coincide com  $M dx + N dy = 0$ , isto é:  $dF = M(x, y) dx + N(x, y) dy$ .

Exigindo algumas propriedades de diferenciabilidade das funções  $M$  e  $N$ , temos outro critério para a garantia que esta equação é exata. Diremos que a

$M dx + N dy = 0$  é exata se  $M_y = N_x$ . Exemplos:

2. A forma diferencial  $x dx + y dy = 0$  é exata.
3. A forma diferencial  $M(x)dx + N(y)dy = 0$  é exata.
4. A forma diferencial  $y dx - x dy = 0$  não é exata.

Método de resolução: Para resolver uma EDO da forma  $M dx + N dy = 0$ , devemos verificar se esta EDO é exata e em caso positivo, garantir que existe uma função  $F = F(x, y)$  tal que:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = M(x, y) \text{ e } \frac{\partial F}{\partial y} = N(x, y)$$

Na sequência, tomamos a relação  $F_x = M(x, y)$  e integramos em relação à variável  $x$  para obter

$$F(x, y) = \int M(x, y) dx + g(y)$$

Onde  $g = g(y)$  é uma função apenas da variável  $y$ . Agora, derivamos parcialmente esta última função  $F = F(x, y)$  em relação à variável  $y$ :

$$\frac{\partial F}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \int M(x, y) dx + g'(y)$$

E identificamos esta derivada com a função  $N = N(x, y)$ , para obter a expressão de  $g = g(y)$ . A solução da EDO exata será dada por  $F(x, y) = C$

## 2.2.7 Equações lineares diferenciais ordinárias de segunda ordem

Uma equação diferencial ordinária linear de segunda ordem é uma equação da forma

$$a(x) y'' + b(x) y' + c(x) y = d(x) \text{ onde:}$$

$$a = a(x), b = b(x), c = c(x) \text{ e } d = d(x)$$

são funções conhecidas somente da variável independente  $x$ . Exemplos de equações diferenciais lineares de segunda ordem:

$$x^2 y'' + \sin(x) y' + e^x y = u(x) \text{ e } y'' - 7y' + 12y = \cos(x)$$

### 2.2.8 Equações lineares homogêneas de segunda ordem

Para equações lineares de segunda ordem, se  $d=d(x)$  é diferente de zero, a equação linear será dita não homogênea e se  $d=d(x) = 0$  a equação linear será dita homogênea. Muito cuidado aqui, pois mudamos a definição de equação homogênea! Exemplos:

As equações diferenciais ordinárias

$$x^2 y'' + \sin(x)y' + e^x y = 0 \text{ e } y'' - 7y' + 12y = 0$$

são lineares e homogêneas.

Observação: Não confundir a palavra homogênea empregada aqui com a homônima usada no estudo de equações diferenciais homogêneas de primeira ordem relacionada às funções homogêneas de grau zero.

Como toda função constante real é contínua, então, dentre as equações diferenciais lineares, existe um grupo de equações muito importante que é formado pelas equações cujas funções coeficientes de  $y$ ,  $y'$  e  $y''$  são constantes e neste caso, escrevemos simplesmente:

$$L(y) \equiv a y'' + b y' + c y = d(x)$$

Para resolver este tipo de equação linear não homogênea:

1. Devemos obter a solução geral  $y_h = y_h(x)$  da equação linear homogênea associada

$$L(y) \equiv a y'' + b y' + c y = 0$$

Assim, devemos ter que  $L(y_h) = 0$ .

2. Por algum processo matemático, obter uma solução particular  $y_p = y_p(x)$  para a equação original, o que significa que  $L(y_p) = d(x)$ .

3. A solução geral  $y = y(x)$  para a EDO dada será, a soma da solução geral da equação homogênea associada, obtida em (1) com a solução particular obtida em (2), isto é:

$$y(x) = y_h(x) + y_p(x)$$

Com esta forma, temos que

$$L(y) = L(y_h + y_p) = L(y_h) + L(y_p) = d(x)$$

### 2.2.9 Raízes complexas conjugadas

Se as raízes são dadas por:  $r_1 = a + bi$ ,  $r_2 = a - bi$  poderíamos tentar usar as funções complexas, como:  $y_1(x) = x^{a+bi}$ ,  $y_2(x) = x^{a-bi}$  mas isto nem sempre é adequado, pois estamos procurando funções reais válidas para  $x > 0$ . Trabalharemos então com as partes real e imaginária do número complexo  $r = a + bi$  para obter a solução da equação de Euler.

Usaremos então

$$y(x) = x^{a+bi} = x^a x^{bi} = x^a \exp(i b \ln x)$$

e pela relação de Euler

$$y(x) = x^a [\cos(b \ln x) + i \sin(b \ln x)]$$

ou seja

$$y(x) = [x^a \cos(b \ln x)] + i[x^a \sin(b \ln x)]$$

Desse modo, tomamos as partes real e imaginária desta última função como sendo as soluções LI procuradas, que são as funções reais:

$$y_1(x) = x^a \cos(b \ln x), y_2(x) = x^a \sin(b \ln x).$$

E a solução geral da equação de Euler homogênea será

$$y(x) = C_1 x^a \cos(b \ln x) + C_2 x^a \sin(b \ln x)$$

ou seja

$$y(x) = x^a [C_1 \cos(b \ln x) + C_2 \sin(b \ln x)]$$

### 2.3 Equação diferencial ordinária em circuitos elétricos

Os cursos de engenharia elétrica abrangem conteúdos de várias áreas das ciências, dentre eles as equações diferenciais e os circuitos elétricos. Para Machado (1999) “o ensino de equações diferenciais, é um tema relevante tanto no ponto de vista matemático como no ponto de vista físico”. Sendo assim, “é importante compreender e descrever fenômenos físicos através de uma linguagem matemática adequada, possibilitando habilitar para uma boa prática” (MEDEIROS & MEDEIROS, 2002).

Observou-se que nos cursos de engenharia elétrica além de conhecer métodos de resolução de equações diferenciais, é importante que sejam estudadas também suas aplicações aos fenômenos físicos. “Mas mesmo assim existe deficiência na maneira que esses conteúdos são trabalhados em sala de aula” (LÜDKE & GOMES, 2011).



Nesses cursos, a conexão entre o ensino desses conteúdos não é clara para os alunos, sendo um desafio para o professor proporcionar atividades que levem à aprendizagem significativa, agregando o ensino entre os conteúdos de cálculo e física. Nesse sentido, trata-se de métodos de ensino aprendizagem de equações diferenciais:

O ensino desta disciplina, nos cursos de graduação, se dá através da apresentação de vários métodos de resolução de tipos de equações diferenciais integráveis, com a aplicação de listas de exercícios, as quais podem ser resolvidas pelos métodos apresentados, tornando-os assim um ensino fundamental (RICHIT, 2009).

A autora ainda completa, “[...] a abordagem que privilegia processos algébricos, determina a solução analítica, e por muitas vezes acaba minimizando a interpretação e o comportamento da solução do modelo analisado [...]”. Esta realidade, onde se trabalha apenas o método analítico, o aluno aprende por execução e repetição de exercícios, não contextualizando o ensino dessas disciplinas, equações diferenciais e conteúdos físicos.

Fisicamente ao analisar um fenômeno, procura-se levantar dados para descrevê-lo sob a forma de um modelo escrito por meio de equações. Para boa parte dos sistemas físicos conhecidos, essas equações que descrevem os fenômenos são as equações diferenciais. Uma área de suma importância para o conhecimento do futuro engenheiro elétrico é a área de circuitos elétricos, na qual os conceitos físicos e matemáticos são aplicados até resultarem em equipamentos usados na construção dos circuitos.

## 2.4 Elementos de eletricidade

Sem a preocupação de aprofundamento nos detalhes relacionados à Eletricidade, iremos apresentar alguns poucos conceitos de Equações diferenciais necessários ao presente trabalho.

Se  $V_A$  e  $V_B$  são, respectivamente, os potenciais elétricos nos pontos A e B de um circuito elétrico, a Diferença de potencial entre os pontos A e B, denotada por  $V_{AB}$  ou  $V(t)$ , pode ser definida como a integral de linha sobre o segmento de reta ligando aos pontos A e B no campo elétrico  $E = E(t)$ . Normalmente, esta diferença de potencial  $V(t)$  será indicada com o sinal negativo, isto é:

$$V_{AB} = - \int_0^t E(u) du = -V(t)$$

1. A Intensidade da corrente elétrica será a taxa de variação da carga elétrica  $Q$  em relação ao tempo  $t$  que atravessa uma seção transversal de um condutor. Em símbolos:

$$I(t) = \frac{dQ}{dt}$$

2. A capacitância  $C$  de um capacitor submetido a uma carga elétrica  $Q$ , com uma diferença de potencial entre as placas indicada por  $V$ , será dada por  $C(t) = Q(t) / V(t)$
4. A lei de Ohm estabelece que a diferença de potencial  $V$  nos terminais de um resistor de resistência  $R$  submetido a uma intensidade da corrente  $I$ , é dada por:

$$V(t) = RI(t)$$

3. A indutância  $L$  de um indutor é uma constante relacionada com a diferença de potencial  $V$  e com a taxa de variação da intensidade da corrente elétrica em relação ao tempo  $dI/dt$ , através da expressão matemática:

$$V(t) = L dI/dt$$

Existem duas leis clássicas de Kirchhoff:

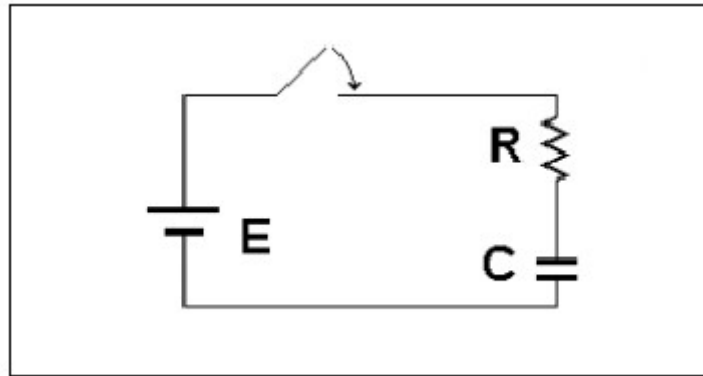
(a) Lei das correntes: A soma algébrica das intensidades de corrente elétrica que chegam a um nó de um circuito elétrico é igual à soma algébrica das intensidades de corrente elétrica que saem do mesmo nó neste circuito elétrico.

(b) Lei das tensões: A soma algébrica das diferenças de potencial em uma malha fechada.

#### 2.4.1 Circuito rc

Vamos considerar um circuito elétrico que possui um resistor de resistência  $R$ , um capacitor de capacitância  $C$  Figura 3, uma fonte de alimentação com voltagem  $E$  constante e  $I = I(t)$  será a intensidade da corrente elétrica.

Figura 3 – Circuito RC



Fonte: elaborado pela autora.

A diferença de potencial nos terminais do resistor é dada por  $V_R = R I(t)$  e a diferença de potencial nos terminais do capacitor Figura 4 é dada por:

$$V_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t I(u) du$$

Pela lei de Kirchhoff das tensões, segue que

$$V_R(t) + V_C(t) = E$$

e a EDO linear homogênea que rege o fenômeno é

$$R I(t) + \frac{1}{C} \int_0^t I(u) du = E$$

Derivando esta equação em relação à variável  $t$ , obtemos

$$R I'(t) + \frac{1}{C} I(t) = 0$$

A solução desta equação é

$$I(t) = K \exp[-t/(RC)] = I(0) \exp[-t/(RC)].$$

Se o capacitor estava descarregado no instante  $t = 0$  e continua descarregado em um átimo após  $t = 0$ , então  $Q(0) = 0$  e desse modo

$$V_C(0) = \frac{1}{C} \int_0^0 I(u) du = 0$$

Logo  $V_R(0) + V_C(0) = E$ , o que garante que  $R I(0) = E$ , assim

$$I(0) = \frac{E}{R}$$

Substituindo  $I(0)$  na solução da equação, obtemos

$$I(t) = \frac{E}{R} \exp[-t/(RC)]$$

Aplicando esta função, podemos obter

$$V_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t I(u) du = \frac{1}{C} \int_0^t \frac{E}{R} \exp[-u/(RC)] du$$

Assim, a diferença de potencial entre os terminais do capacitor ao longo do tempo  $t$ , será dada por:

$$V_C(t) = E [1 - \exp(-t/RC)]$$

#### 2.4.2 Circuito RL

Seja o circuito elétrico da Figura 5 possuindo um resistor de resistência  $R$ , um indutor de indutância  $L$  e uma fonte de alimentação constante  $E$ . Sabemos que

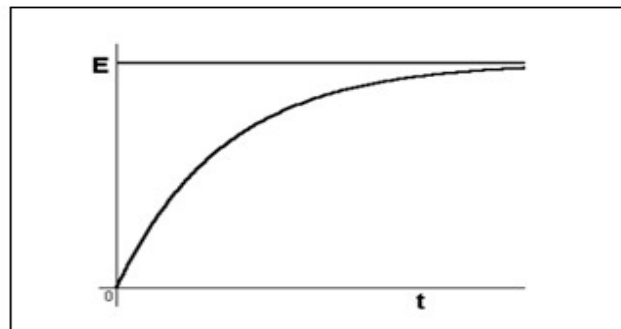
$$V_R(t) = R I(t) \text{ e } V_L(t) = L \frac{dI}{dt},$$

assim usando a lei de Kirchhoff das tensões ao circuito podemos escrever

$$L I'(t) + R I(t) = E$$

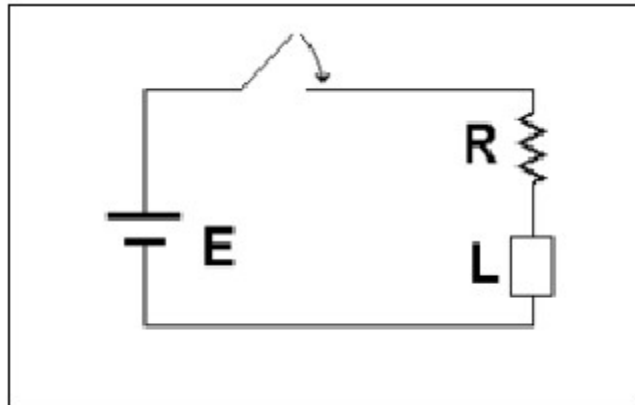
que é uma EDO linear não homogênea de primeira ordem.

**Figura 4** - Diferença de potencial nos terminais do capacitor



**Fonte:** elaborado pela autora.

**Figura 5** - Circuito elétrico RL



**Fonte:** elaborado pela autora.

A solução da equação homogênea associada é:

$$I_h(t) = K \exp(-Rt/L)$$

Como a parte não homogênea da EDO é uma função constante, usamos o método dos coeficientes a determinar para procurar uma solução particular  $I_p = I_p(t)$  que seja constante, assim  $I_p'(t) \equiv 0$  e então,  $R I_p(t) = E$  o que garante que

$$I_p(t) = \frac{E}{R}$$

A solução da EDO é a soma da solução da homogênea associada com a solução particular, logo

$$I(t) = K \exp(-Rt/L) + \frac{E}{R}$$

Se considerarmos que  $I(0) = 0$  então

$$0 = K + \frac{E}{R}$$

logo  $K = -\frac{E}{R}$  assim

$$I(t) = \frac{E}{R} [1 - \exp(-Rt/L)]$$

Esta função tem a mesma forma que a função  $VC = VC(t)$  do circuito RC, apenas que a função horizontal limite deve ser traçada para

$$I = E/R.$$

1. Circuito rc: Se o circuito elétrico possui um resistor de resistência  $R$ , um capacitor de capacitância  $C$  e a fonte de alimentação tem diferença de potencial  $E = E(t)$ , a EDO linear que rege o fenômeno é

$$R I'(t) + \frac{1}{C} I(t) = 0$$

2. Circuito lc: Se o circuito elétrico possui um indutor de indutância  $L$ , um capacitor de capacitância  $C$  e a diferença de potencial  $V_{AB} = -V(t)$ , a EDO linear não homogênea que rege o fenômeno é

$$L Q''(t) + \frac{1}{C} Q(t) = V(t)$$

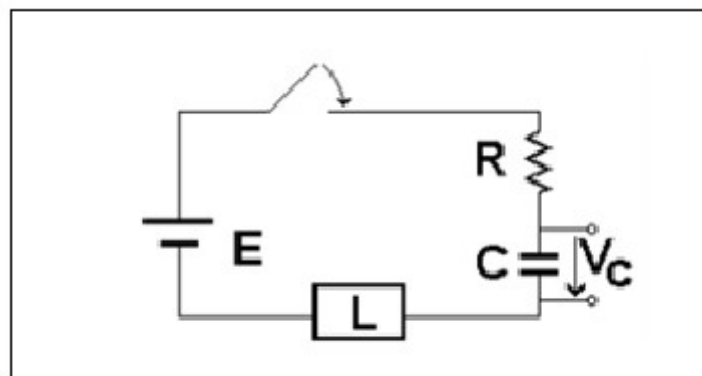
Ao trabalhar a inter-relação entre Matemática e Física, percebe-se que a Física não se resume à Matemática, porém seus conceitos não se concluem sem a aplicação matemática. Dessa forma, compartilhamos com o posicionamento de Paty (1995) quando o mesmo alerta que:

A fecundidade notável da utilização da matemática na física, que vai até permitir a construção da física com a ajuda da matemática, não poderia, portanto, dispensarmos de uma análise detalhada, para cada caso, da natureza dessa imbricação, da distinção dos elementos de correspondência. (PATY, 1995).

#### 2.4.3 Circuitos elétricos rlc

Circuitos elétricos mais complexos (Figura 6) são basicamente formados por resistores de resistência  $R$ , indutores de indutância  $L$ , capacitores de capacitância  $C$ , carregado com uma diferença de potencial  $V_C$  e uma fonte elétrica cuja diferença de potencial é indicada  $E(t)$ .

**Figura 6** - Circuito elétrico RLC com capacitor carregado



Fonte: elaborado pela autora.

Se  $E = E(t)$  é a diferença de potencial da fonte de alimentação e  $I = I(t)$  é a intensidade da corrente elétrica, então

1.  $V_L$  é a diferença de potencial nos terminais do indutor:

$$V_L(t) = L \frac{dI}{dt}$$

2.  $V_R$  é a diferença de potencial nos terminais do resistor:

$$V_R(t) = R I(t)$$

3.  $V_C$  é a diferença de potencial nos terminais do capacitor:

$$V_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t I(u) du$$

Usando as leis de Kirchhoff, quando for fechado o interruptor, obteremos

$$V_L(t) + V_R(t) + V_C(t) = E(t)$$

ou seja

$$L \frac{dI}{dt} + R I(t) + \frac{1}{C} \int_0^t I(u) du = E(t)$$

Se  $E(t)$  é constante e derivarmos em relação à variável  $t$ , teremos

$$L I''(t) + R I'(t) + \frac{1}{C} I(t) = 0 \quad (: L)$$

$$I''(t) + (R/L) I'(t) + (1/LC) I(t) = 0$$

Temos uma equação EDO linear e homogênea que modela o circuito rlc em cc.

Neste capítulo foi destacada a importância da inter-relação entre as disciplinas da Matemática e da Física, para a aprendizagem dos circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc.

Estudos históricos e epistemológicos evidenciam as inter-relações entre a matemática e a física desde a mais remota essência do conhecimento científico. Segundo Galileu Galilei<sup>14</sup>, a matemática é a linguagem da física, ou seja, a física necessita da matemática para se concretizar e apreciar verdadeiramente os conceitos físicos, ou seja, a física não anda sem a matemática.

Porém, dentro no cenário universitário, essas duas disciplinas têm sido tratadas de forma independente e isso tem contribuído para um distanciamento do interesse dos

---

<sup>14</sup> Galileu Galilei (1564-1642) foi um matemático, físico, astrônomo e filósofo italiano. Fundamentou cientificamente a Teoria Heliocêntrica de Copérnico. Desmitificou lendas, estabeleceu princípios e causou uma renovação na história da Ciência. Fonte: [https://www.ebiografia.com/galileu\\_galilei/](https://www.ebiografia.com/galileu_galilei/)

estudantes pela disciplina Circuitos Elétricos I, visto que, para sua aprendizagem é necessário que o estudante mobilize conhecimentos relativos ao conteúdo do eletromagnetismo, ramo da física que estuda os fenômenos da eletricidade e do magnetismo, para a matematização dos circuitos elétricos.

No conteúdo do eletromagnetismo há conceitos físicos que precisam ser aplicados para realizar atividades contendo os circuitos elétricos em estudo, esses conceitos físicos inter-relacionam-se com a matemática para construção dos conceitos dos circuitos elétricos, ou seja, intenciona-se ativar uma aprendizagem que considere e articule esta inter-relação.

No ensino de engenharia não se costuma estruturar um currículo em uma abordagem integradora. Baseando-se na ideia de que seja necessário dominar o ferramental matemático primeiramente, os cursos de engenharia iniciam com disciplinas matemáticas, como Cálculo e Geometria Analítica, para posteriormente trabalhar aplicações das mesmas nas disciplinas da Física. Essa forma independente na condução dessas disciplinas, faz com que os estudantes não percebam suas inter-relações e contraria o próprio desenvolvimento histórico desses conteúdos.

Esse trabalho visa apenas contribuir para que, os estudantes percebam as inter-relações entre as disciplinas de Matemática e Física e sua importância como motivação para o surgimento dos conceitos sobre os saberes circuitos elétricos  $rl$ ,  $rc$ , e  $rlc$  em  $cc$ .



## Capítulo 3

### Delineamento metodológico

O presente capítulo está estruturado para explicar o conjunto de procedimentos metodológicos organizados, a partir dos objetivos traçados, que ajudaram na investigação do problema apresentado pela tese. Sob o ponto de vista da abordagem do problema, a pesquisa é qualitativa com a utilização da Engenharia Didática clássica ou de 1ª geração, e nossa escolha, parte da concepção de que tal proposta metodológica se constitui em organizar pesquisas a partir da construção de uma sequência didática composta de aulas planejadas com a finalidade de obter informações que permitam interpretar processos de aprendizagem.

Discorreremos sobre a importância da abordagem qualitativa nas pesquisas em Educação e no ensino de Ciências, os fundamentos teóricos da Engenharia Didática clássica como metodologia de pesquisa, o campo da pesquisa, os sujeitos participantes e pôr fim a sequência didática dos dados produzidos.

#### 3.1 Abordagem qualitativa

Considerando o contexto educacional no qual esta investigação se situa e estando esta emoldurada pelo conceito de pesquisa educacional que trata do ser humano em sociedade, de suas relações e instituições, de sua história e de sua produção simbólica, optamos pela abordagem qualitativa para a sua condução.

Na Educação, atualmente, os métodos de análise mais utilizados, segundo estudos em dissertações e teses brasileiras, são os que utilizam a análise qualitativa. Porém, a análise quantitativa não é descartada, sendo algumas vezes utilizada como suporte para a pesquisa qualitativa, ou vice-versa. Sobre esta questão, Santos Filho (1995, p. 44) observa que,

[...] na pesquisa qualitativa, opta-se pelo método indutivo (dos dados para a teoria), por definições que envolvem o processo e nele se concretizam [...] na pesquisa quantitativa, utiliza-se o método dedutivo (da teoria para os dados), as definições pré-determinadas e operacionalizadas [...]

André (2005) observa que pesquisas científicas na área da Educação (ANDRÉ, 1997; CARVALHO, 1998; GATTI, 2002) têm demonstrado que a pesquisa qualitativa apresenta fragilidade e, em alguns casos, as análises realizadas são pouco fundamentadas. Portanto, é necessária a clareza do método e a teoria utilizados nessa pesquisa, visto que ambos foram determinantes para a análise, a interpretação e a conclusão do trabalho.

Entendemos que a atitude de rigor científico a ser desenvolvida pelo pesquisador é imprescindível para fidedignidade e à validade dos resultados obtidos e melhoria do padrão dos resultados das pesquisas qualitativas na área da Educação, que tem se revelado aquém de suas proposições, conforme demonstrado por André. Para superar os problemas citados, Ludke e André (1986, p. 11-13) descrevem cinco características básicas imprescindíveis para a pesquisa em Educação:

[...] ambiente natural como fonte de dados e o pesquisador como seu principal instrumento; 2. [...] —dados coletados são predominantemente descritivos; 3. [...] preocupação com o processo é maior que com o produto; 4. [...] significado que as pessoas dão às coisas e à sua vida são focos de atenção especial pelo pesquisador; 5. [...] análise dos dados tende a seguir um processo indutivo.

Os pesquisadores que adotam a abordagem qualitativa, a partir dessas características, devem inserir-se cada vez mais no seu campo de pesquisa, apropriando-se de seus significados, por meio de descrições fidedignas, interpretações coerentes e análises teóricas precisas. Em nossa pesquisa, buscamos esse caminho, com rigor e conscientes que alcançaríamos nosso objetivo de pesquisa, que é o de assegurar aos alunos, através de atividades aplicadas no processo adidático sobre o conteúdo dos circuitos rl, rc e rlc em cc, a construção de novos conceitos.

Nesse sentido, investigar sobre o ensino de Ciências pode parecer, para alguns, uma tarefa estritamente relacionada aos aspectos práticos dos temas e conteúdos relacionados à área. Como por exemplo: montar experimentos, explicar fenômenos da natureza; ou explicar uma sequência de eventos e de estímulos determinados; coletar dados; e, comprovar ou refutar hipóteses, que serão concluídas e divulgadas, pela comunidade científica, sendo introduzida no ambiente de sala de aula por meio da realização da transposição de saberes. Na realização da nossa pesquisa. Nesse contexto, utilizamos os critérios:

- Observação atenta durante os períodos de coleta, principalmente com o uso dos sentidos da visão e da audição;
- Descrição detalhada de todo o processo, transcrito em forma de textos, o que nos exigiu a compreensão da complexidade do fenômeno estudado;
- Sistematização das produções baseadas nos conceitos da praxeologia, por meio de organizações praxeológica (OP) contendo blocos técnico-práticos e tecnológico-teórico;

- Interpretação e análise das organizações praxeológicas a partir dos pressupostos teóricos da Teoria antropológica do Didático (TAD) e da Didática das Ciências.

Analizamos os dados contidos nos documentos curriculares voltados ao ensino de Engenharia Industrial Elétrica, oficializados pelo Ministério da Educação do Brasil (MEC), tais quais: o Guia de Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), Conselho Nacional de Educação (CNE), Plano Político Pedagógico (PPP) do IFBA campus Salvador, Diretrizes Nacionais Curriculares (DNC) para os Cursos de Engenharia, currículo e ementa do curso de Engenharia Industrial Elétrica (IFBA). Da mesma forma, coletamos dados em dois livros didáticos (LD) de Circuitos Elétricos, escolhido para suporte da pesquisa. Os critérios de análise desses documentos serão abordados no Capítulo V.

### 3.2 Engenharia Didática de primeira geração: uma metodologia de pesquisa

A ED emergiu na didática da matemática na década dos anos 80. Considerada recente na Educação Matemática, foi delineada por Yves Chevallard e Guy Brousseau em 1982 e estruturada nos trabalhos de Michèle Artigue em 1989, atualmente sua principal precursora. A ED foi inicialmente concebida como uma forma de concretizar os ideais e pressupostos de investigação da escola da Didática da Matemática Francesa.

Segundo Michele Artigue (1988), a TSD serve de base à metodologia da Engenharia Didática (ED) de primeira geração, que se ocupa da construção de uma teoria de controle baseada no sentido das situações envolvidas.

Artigue (1988) define ED como uma forma de trabalho didático comparável ao trabalho do engenheiro que, para realizar um projeto, se apoia em conhecimentos científicos de seu domínio, aceita se submeter a um controle de tipo científico, mas ao mesmo tempo, é obrigado a trabalhar objetos mais complexos que os objetos depurados da ciência. A ED, vista como metodologia de pesquisa, caracteriza-se, em primeiro lugar, por um esquema experimental baseado em "realizações de sequências didáticas" em sala de aula, isto é, na concepção, realização, observação e análise de sessões de ensino.

Caracteriza-se também como pesquisa experimental pelo registro em que se situa e modo de validação que lhe são associados: a comparação entre análise a priori e análise a posteriori. Tal tipo de validação é uma das singularidades dessa metodologia, por ser feita internamente, sem a necessidade de aplicação de um pré-teste ou de um pós-teste. A ED pode ser utilizada em pesquisas que estudam os processos de ensino e aprendizagem de um dado

conceito e, em particular, a elaboração de gêneses artificiais para um dado conceito. Esse tipo de pesquisa difere daquelas que são transversais aos conteúdos, mesmo que seu suporte seja o ensino de certo objeto matemático (um saber ou um saber-fazer).

O professor e o aluno firmam um contrato, pelo qual o aluno se compromete, tendo o professor como mediador, a se apropriar de saberes que o professor propõe ao aluno na execução das atividades propostas na sequência didática.

A sequência didática foi organizada em uma ordem de execução de fases bem definida, e ao mesmo tempo flexível, ou seja, a conclusão da pesquisa não está condicionada a uma única etapa de passagem pelas fases. A partir de determinadas fases, a sequência pode ser (re) planejada, podendo entrar num ciclo de aplicações até que se consiga significativa validação interna. Vale destacar que, a identificação de dificuldades nas conversões dentre vários registros e a apropriação dos conceitos de circuitos rl, rc e rlc de cc constituem o foco principal da metodologia para esta pesquisa.

Destacamos as características mais importantes das quatro fases da ED. Para atingirmos nosso objetivo, seguimos os princípios de uma ED, perpassando por suas quatro fases, que mencionamos na sequência, junto com as ações que realizamos em nossa pesquisa correspondente a cada uma das fases.

As diferentes fases da metodologia da Engenharia Didática:

1) As análises prévias em uma pesquisa cuja metodologia é fundamentada nos pressupostos da Engenharia Didática podemos identificar algumas fases de seu desenvolvimento, que tomam como base um quadro teórico geral da didática. A primeira fase é aquela na qual se realizam as análises preliminares, que pode comportar as seguintes vertentes:

- Epistemológica dos conteúdos visados pelo ensino;
- Do ensino usual e seus efeitos;
- Das concepções dos alunos, das dificuldades e dos obstáculos que marcam sua evolução;
- Das condições e fatores de que depende a construção didática efetiva;
- A consideração dos objetivos específicos da pesquisa;
- O estudo da transposição didática do saber considerando o sistema educativo no qual se insere o trabalho. Segundo Artigue (1988), cada uma dessas fases é retomada e aprofundada ao longo do trabalho de pesquisa, em função das necessidades emergentes. Isso significa que a expressão “análises

preliminares” não implica que após o início da fase seguinte não se possa retomá-las, visto que a temporalidade identificada pelo termo “preliminar” ou “prévia” é relativa, pois se refere apenas a um primeiro nível de organização. Na realidade, deve ser um trabalho concomitante com as demais fases da pesquisa. Estas análises preliminares devem permitir ao pesquisador a identificação das variáveis didáticas potenciais que serão explicitadas e manipuladas nas fases que se seguem: a análise a priori e construção da sequência de ensino.

2) Construção e análise a priori, Artigue (1988) distingue dois tipos de variáveis potenciais que serão manipuladas pelo pesquisador: a) as variáveis macrodidáticas ou globais relativas à organização global da engenharia didática e b) as variáveis microdidáticas ou locais relativas à organização local da engenharia didática, isto é, a organização de uma sessão ou de uma fase.

Esses dois tipos de variáveis podem ser de ordem geral ou dependente do conteúdo matemático estudado e suas análises serão realizadas em três dimensões: a dimensão epistemológica (associada às características do saber), a dimensão cognitiva (associada às dimensões cognitivas dos alunos sujeitos da aprendizagem) e dimensão didática (associada às características do sistema de ensino, no qual os sujeitos estão inseridos). O objetivo de uma análise a priori é determinar como as escolhas efetuadas (as variáveis que queremos assumir como pertinentes) permitem controlar os comportamentos dos alunos e explicar seu sentido. Dessa forma, em uma análise a priori devemos:

- Descrever as escolhas das variáveis locais e as características da situação adidática desenvolvida;
- Analisar a importância dessa situação para o aluno e, em particular, em função das possibilidades de ações e escolhas para construção de estratégias, tomadas de decisões, controle e validação que o aluno terá. As ações do aluno são vistas no funcionamento quase isolado do professor, que, sendo o mediador no processo, organiza a situação de aprendizagem de forma a tornar o aluno responsável por sua aprendizagem;
- Prever comportamentos possíveis e tentar mostrar como a análise feita permite controlar seu sentido, assegurando que os comportamentos esperados, se e quando eles intervêm, resultam do desenvolvimento do conhecimento visado pela aprendizagem.

3) Experimentação, análise a posteriori e validação. A fase da experimentação é clássica: é o momento de se colocar em funcionamento todo o dispositivo construído,

corrigindo-o se necessário, quando as análises locais do desenvolvimento experimental identificam essa necessidade, o que implica em um retorno à análise a priori, em um processo de complementação. Ela é seguida de uma fase de análise a posteriori que se apoia no conjunto de dados recolhidos durante a experimentação: observações realizadas sobre as sessões de ensino e as produções dos alunos em sala de aula ou fora dela.

Esses dados são, às vezes, completados por dados obtidos pela utilização de metodologias externas: questionários, entrevistas individuais ou em pequenos grupos, realizadas em diversos momentos do ensino. A análise a posteriori de uma sessão é o conjunto de resultados que se pode tirar da exploração dos dados recolhidos e que contribuem para melhoria dos conhecimentos didáticos que se têm sobre as condições da transmissão do saber em jogo. Ela não é a crônica da classe, mas uma análise feita à luz da análise a priori, dos fundamentos teóricos, das hipóteses e da problemática da pesquisa, supondo que:

- A observação foi preparada por uma análise a priori conhecida do observador;
- Os objetivos da observação foram delimitados por ferramentas apropriadas, e estruturados também pela análise a priori.

Assim, a análise a posteriori depende das ferramentas técnicas (material didático, vídeo) ou teóricas (teoria das situações, contrato didático) utilizadas com as quais se coletam os dados que permitirão a construção dos protocolos de pesquisa. Esses protocolos serão analisados profundamente pelo pesquisador e as informações daí resultantes serão confrontadas com a análise realizada a priori. O objetivo é relacionar as observações com os objetivos definidos a priori e estimar a reprodutibilidade e a regularidade dos fenômenos didáticos identificados.

Dessa forma, ao tomarmos como base o referencial teórico da TAD, referenciado neste capítulo, buscamos uma via de acesso para praticar atividades didáticas sobre os conteúdos referentes aos circuitos elétricos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$  de  $cc$ , ou seja, como utilizar determinadas organizações praxeológicas, e porque as utilizar.

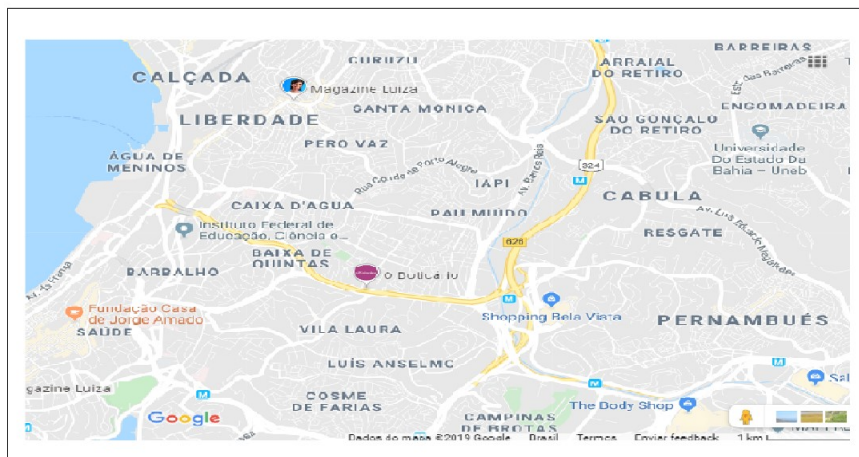
### 3.3 Caracterização da pesquisa: local, participantes e dados

Nessa seção abordaremos sobre o local de realização dos estudos, os sujeitos participativos e a produção dos dados.

### 3.3.1 Local de pesquisa

Nossa pesquisa teve como cenário o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, *campus* Salvador, uma instituição de Ensino Superior (IES) da República Federativa do Brasil, criada mediante transformação do Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia, através da Lei Federal 11.892/2008. Esse *campus* se situa no seguinte endereço: Rua Emídio dos Santos, s/n - Barbalho, Salvador - BA, 40301-015 como indicado no mapa da Figura.

**Figura 7** - Mapa localizacional de Salvador - BA. Barbalho



Fonte: Disponível no site: <<http://maps.google.com.br/>>. Acessado em 27 ago. 2019)

**Figura 8** - Mapa localizacional das unidades do IFBA, na BA



Fonte: Disponível no site: <<http://www.uems.br/portal/mapa.php>>. Acesso em 27 ago. 2019)

O IFBA possui até a presente data, três cursos de Licenciatura: Física, Geografia e Matemática e quatro cursos de Bacharelado: Administração, Engenharia Industrial Elétrica, Engenharia Industrial Mecânica e Engenharia Química, que funcionam preferencialmente no período noturno. O curso alvo da presente pesquisa é composto por 10 turmas, do primeiro ao décimo semestre acadêmico, em conformidade com a legislação federal de graduação superior, e o projeto pedagógico do curso. Considerando que o IFBA tem seu horário preferencialmente noturno, além de atender a demanda de estudantes que trabalham e residem em Salvador, acolhe, também, os estudantes oriundos das diversas cidades adjacentes, visto que embora haja 24 unidades do IFBA na Bahia como indicado no mapa localizacional Figura 8, apenas os *campi* de Camaçari, Jacobina, Simões Filho, Salvador, Barreiras, Eunápolis, Valença, Porto Seguro, Lauro de Freitas e Santo Antônio de Jesus possuem cursos superiores.

### 3.3.2 Participantes

Os sujeitos colaboradores dessa pesquisa são alunos do 5º semestre do Curso de Bacharelado em Engenharia Industrial Elétrica, do ano letivo de 2016. A turma (única) do componente curricular Circuitos Elétricos I era composta por 12 alunos no início do semestre, dos quais, no início da pesquisa, 4 deles haviam trancado a matrícula. Assim, nossa pesquisa foi realizada com a participação de 8 alunos, estando estes já inseridos no mercado de trabalho. No que tange a pesquisa qualitativa, conforme pensamento de Ludke e André (1986, p. 11-12) é imprescindível que haja —[...] contato direto e prolongado do pesquisador com o ambiente e a situação que está sendo investigada [...], —[...] sem qualquer manipulação intencional do pesquisador [...].

Nessa direção, encaminhamos a nossa investigação, procurando extrair, por meio de observação e registros, todas as ocorrências da situação (discussões, frases, etc.). O grupo pesquisado era formado por uma aluna e sete alunos, da faixa etária de 19 a 26 anos, que atribuíram à escolha do curso de Engenharia Industrial Elétrica, Bacharelado, em primeiro lugar, ao fato de ter sido oferecido em uma universidade pública e noturna, pois seria difícil cursá-lo em uma universidade particular, diante da situação econômica na qual se encontravam. Essa resposta foi unânime. Em segundo plano, apontaram diversas razões para a escolha do curso: ficava perto de casa (um), por trabalhar na área (três), por falta de oportunidade em cursar medicina (um), direito (um), porque trabalha no IFBA-BA campus em que se realizou a pesquisa (um) e para realizar o sonho dos pais (um).



Ao iniciarem o curso, verificaram que o ingresso ao mesmo era mais acessível porque estudavam durante um ou mais anos para entrarem, porém a saída se tornava difícil devido à falta de tempo para se integrarem ao curso efetivamente, visto que, trabalhavam em sistema de turnos. Ademais, os alunos residentes fora do município de Salvador, deslocavam-se diariamente, por meio de transporte coletivo ofertado pelas prefeituras de seus municípios, o que muitas vezes os conduzia à desistência.

Para realizarmos a pesquisa o grupo foi dividido em quatro subgrupos contendo três alunos cada. Dessa forma, ocorreram cinco encontros de 01h40 min cada, totalizando 08h20min. As atividades resolvidas pelos educandos foram planejadas numa sequência didática, em uma série de situações que se estruturam ao longo dos cinco encontros sobre o assunto circuitos Elétricos rl, rc e rlc em cc que deu base a nossa pesquisa.

### 3.4 Sequência de atividades

A realização do estudo do conteúdo dos circuitos rl, rc e rlc em cc foi realizada por meio da sequência de atividades desenvolvidas em cinco sessões e dez horas/aulas incluindo a aplicação de um questionário como última atividade. Durante a realização dos estudos, o grupo foi dividido em quatro subgrupos contendo três alunos cada. Porém, o questionário foi aplicado individualmente.

A Sequência Didática foi constituída de cinco atividades que envolvem o tema escolhido para a realização do trabalho e se trata de uma sequência organizada de acordo com os princípios da Engenharia Didática e fundamentada pela modelagem matemática, que objetiva construir modelos matemáticos para problemas de outras áreas de conhecimentos, Matos define modelagem matemática como sendo:

Um modelo matemático de um objeto ou fenômeno real pode ser visto como um conjunto de regras ou leis da natureza matemática, que representam adequadamente o objeto, ou o fenômeno na mente do observador. Portanto, um modelo matemático consiste em uma estrutura que oferece uma aproximação dos traços essenciais de uma determinada realidade, (MATOS, 1995, p. 14)

Na sequência didática propomos as atividades de modo que cada uma contemplasse um tópico que contribuísse na construção dos conceitos dos Circuitos rl, rc e rlc em cc.

A Atividade 1: Nossa intenção com esta atividade, consistia na análise de tensão e corrente no capacitor e no indutor, para que os alunos formalizassem a ideia de relação do capacitor do indutor com tensões e corrente constantes. Para isto, os alunos deveriam

transcrever em tabelas depois de uma análise teórica, tensões e correntes para cada tempo indicados nas tabelas e formalizarem a função do capacitor e do indutor nos circuitos elétricos manipulados através do Eletromagnetismo.

A Atividade 2: Essa atividade tem como objetivo propiciar ao aluno entender como ocorre o processo de carga no capacitor (C) e no indutor (L) através de um circuito elétrico composto por resistor e capacitor em série e no indutor através de um circuito elétrico composto por resistor e indutor em série, ambos operando em cc e observar se os alunos desenvolvem habilidades para resolver problemas de circuitos rc e rl simples.

Para resolver a questão o aluno deverá usar conhecimentos prévios adquiridos na Física e na matemática como: relação de tensão e corrente no capacitor, resistor e indutor, aplicação das Leis de Maxwell, lei de Ampère, relação entre carga e corrente, aplicação das Leis de Kirchhoff, equacionar o circuito chegando a uma equação diferencial ordinária (EDO) de primeira ordem e determinar sua solução encontrando uma expressão para tensão e corrente em circuitos rc e rl em cc.

A Atividade 3: Essa atividade tem a função de desenvolver no aluno o conhecimento de carregar o capacitor e o indutor. A corrente (ou a tensão) que circula nos componentes durante os processos de carga e descarga são obtidas através do cálculo diferencial e integral

A Atividade 4: Objetivamos com essa atividade equacionar circuito rc em cc paralelo, em função da corrente  $i(t)$  utilizando ferramentas físicas a saber, Lei de Kirchhoff para correntes (análise nodal) ou a Lei de Kirchhoff para tensões (análise de malhas) e matemáticas equação diferencial ordinária de segunda ordem, na qual, extraímos as duas soluções homogêneas possíveis para a corrente  $i_L(t)$  no indutor.

Para resolver a questão, o aluno além de saber relacionar as definições de carga e descarga do indutor, aplicar as Leis de Kirchhoff deverá equacionar o circuito chegando a uma EDO de segunda ordem.

A Atividade relacionada ao Questionário teve como objetivo verificar o grau de aceitação dos alunos ao método didático utilizado, conforme suas crenças, conhecimentos e convicções.

Apresentamos as atividades e em seguida suas análises *a priori*, *a posteriori* e a validação, essenciais para cada atividade.

Para a realização destas análises foram consideradas apenas a atividade que a equipe indicava como solução consensual. Por sugestão e escolha de alguns alunos foram utilizados

pseudônimos para identificação: Steve Rogers, Gauss, Sofia, Tesla e Maxwell. Alunos (as) que não optaram por pseudônimos foram denominados por aluno (a) E1, E2, E3, E4, E5 e E6.

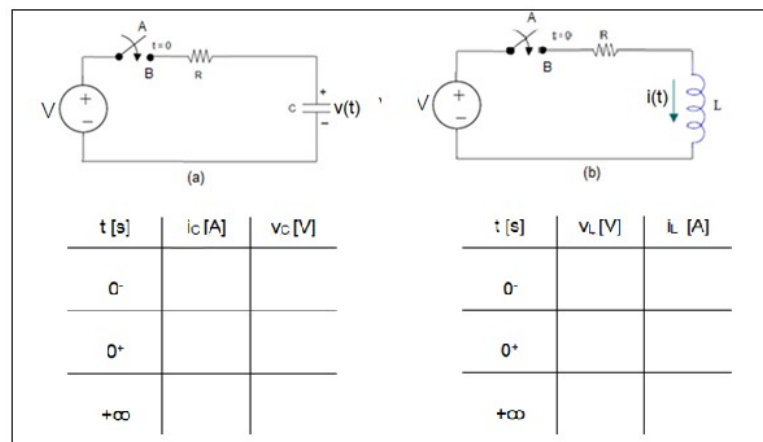
### 3.4.1 Análise a priori da Atividade 1

**Atividade 1:** Os circuitos da figura 1(a) rc e (b) rl, são excitados por fontes constantes de tensão (resposta ao degrau). As chaves ficaram por um longo tempo na posição A antes de ser deslocada para a posição B em  $t = 0$ .

Dadas às condições iniciais  $v(0) = V_0$  para o circuito RC e  $i(0) = I_0$  para o circuito RL.

- Análise os circuitos rc e rl em cc da figura 1 e complete as tabelas 1.a e 1.b.
- Quais conhecimentos você julga necessário para obter uma expressão para a tensão  $v(t)$  no capacitor figura 1.a e para a corrente  $i(t)$  no indutor figura 1.b?
- Quais os procedimentos operacionais padrão para a realização da Atividade?

**Figura 9 - Circuitos da Atividade 1**



**Fonte:** elaborado pela autora.




### Análise a priori

A situação-problema da Atividade 1, Figura 9 tem como objetivo propiciar ao aluno entender como ocorre o processo de carga no capacitor (C) através de um circuito elétrico composto por resistor e capacitor Figura 9.1.a e no indutor através de um circuito elétrico composto por resistor e indutor Figura 8.1.b operando em cc e observar se os alunos desenvolvem habilidades para resolver problemas de circuitos rc e rl simples.

Para resolver a questão o aluno deverá usar ferramentas da Física e da matemática como: relação de tensão e corrente no capacitor e indutor, aplicação das Leis de Maxwell, lei de Ampère, relação entre carga e corrente, aplicação das Leis de Kirchhoff, equacionar o circuito chegando a uma equação diferencial ordinária (EDO) de primeira ordem determinar sua solução encontrando uma expressão para tensão e corrente em circuitos rc e rl em cc.

Os circuitos equivalentes às redes elétricas com as quais trabalhamos consistem basicamente em três componentes lineares passivos: resistores, capacitores e indutores. O Quadro 10 resume os componentes e as relações entre tensão e corrente, sob condições iniciais nulas necessárias para o preenchimento das tabelas da Atividade 1.

**Quadro 10** - Relação tensão-corrente, para capacitores, resistores e indutores.

Componentes	Tensão-corrente	Corrente-tensão
Capacitor 	$v(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i_c(\tau) d\tau$	$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$
Resistor 	$v(t) = Ri(t)$	$i(t) = \frac{v(t)}{R}$
Indutor 	$v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$	$i(t) = \frac{1}{L} \int_0^t v_L(\tau) d\tau$

Fonte: elaborado pela autora.

## Técnica 1

### Circuito rc

Relação entre tensão e corrente no capacitor.

$$q = C \times V$$

C – capacitância do capacitor [C] = Farad

$$\frac{dq}{dt} = i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$$

Análise dos tempos  $0^-$ ,  $0^+$  e  $+\infty$

$0^-$  é o tempo imediatamente anterior ao fechamento da chave

$0^+$  é o tempo imediatamente posterior ao fechamento da chave

$+\infty$  é o tempo após longo período da chave fechada

Em  $t = 0^-$  a chave está aberta e não há corrente no capacitor  $i(0^-) = 0$  e sua tensão inicial é dada  $v(0) = 0$

No intervalo de  $0^-$  a  $0^+$  o tempo é muito próximo, não há alteração na tensão do capacitor devido à inércia de tensão. Em  $t = 0^+$  a chave está fechada, a tensão no capacitor permanece em 0 (zero), o capacitor funciona como um curto circuito  $v_C(0^+) = 0$  e sua corrente que atravessa seus terminais é  $i_C(0^+) = \frac{V}{R}$ .

Em  $t = +\infty$  a fonte do circuito não para de mandar carga para o capacitor, fazendo  $v(t)$  aumentar até o valor da tensão  $V$  da fonte.  $i_C(\infty) = \frac{V-v(t)}{R}$ ,  $i(\infty) = 0$  e  $v(\infty) = V$ , o capacitor está com as cargas equilibradas não havendo mais fluxo de cargas, logo a corrente  $i_C(+\infty) = 0$  e o mesmo funcionando como um circuito aberto  $v_C(+\infty) = V$ .

Circuito rl

Para  $t = 0^-$  o circuito está aberto, não há tensão no indutor  $v_L(0^-) = 0$  e é dada a condição inicial  $i_L(0) = 0$ .

Em  $t = 0^+$  a chave está fechada, como a corrente no indutor não varia instantaneamente devido à inércia de corrente. O indutor funciona como um circuito aberto  $i_L(0^+) = 0$  e sua tensão é  $v_L(t) = V$ .

Em  $t = +\infty$  o indutor está carregado e não há diferença de potencial em seus terminais  $v_L(+\infty) = 0$  funcionando como um curto circuito, a corrente no indutor  $i_L(+\infty) = \frac{V}{R}$ .

**Quadro 11** - Relação de tensão e corrente em capacitor e indutor.

$t$ [s]	$i_C$ [A]	$v_C$ [V]	$t$ [s]	$v_L$ [V]	$i_L$ [A]
$0^-$	0	0	$0^-$	0	0
$0^+$	$\frac{V}{R}$	0	$0^+$	V	0
$+\infty$	0	V	$+\infty$	0	$\frac{V}{R}$

Fonte: elaborado pela autora.

Análise a priori mostrada no Quadro 11, revela as relações das tensões e correntes dos componentes capacitor e indutor sob a ação de corrente contínua e em função do tempo.

## Técnica 2

### Circuito rc

O circuito da Figura 9.1.a: é um circuito em que um resistor R, um capacitor C e uma fonte de tensão constante estão ligados em série. Nesse circuito a corrente é comum a todos os componentes. Sem o capacitor, a fonte cc formaria uma corrente  $I = V/R$ : Com o capacitor, a fonte de tensão também força um movimento de elétrons entra as placas do capacitor. A princípio parece que nada muda e esperamos uma corrente I.

Os primeiros elétrons a chegarem à placa no capacitor estabelecem um corrente I. Porém, esses primeiros elétrons começam a dificultar a entrada dos demais, devido à repulsão eletrostática. A tensão no capacitor é  $V_C = V - V_R$ , é necessário um tempo para se carregar um capacitor com sua carga total (o mesmo tempo é necessário para descarregá-lo), como se ele tivesse uma inércia para se carregar. Depois de transcorrido esse tempo, não haverá movimento de cargas no capacitor e o mesmo é um circuito aberto  $i_C = 0$  e a tensão no capacitor é a tensão da fonte de tensão  $v_C = V$ .

### Circuito rl

Se no lugar do indutor (ver Figura 9.1.b) tivéssemos simplesmente um fio, ao ligarmos o circuito a corrente passaria de zero a  $V/R$  instantaneamente. O indutor reage a essa variação

abrupta de corrente gerando uma diferença de potencial (ddp) de mesmo valor, mas de sentido contrário à da fonte constante.

A corrente, então, inicialmente é zero. Não há, portanto, variação brusca da corrente e então a reação de tensão  $V_L$  do indutor diminui; isso acarreta um aumento da corrente impelida pela bateria e, portanto, uma queda de tensão no resistor, o que faz diminuir ainda mais a tensão  $V_L$  no indutor.

Essa sequência continua até que a corrente do circuito atinja o seu valor máximo em  $V/R$ , quando não há mais reação do indutor, sua tensão tende para zero  $V_L \approx 0$  e o indutor passa a funcionar como um curto-circuito. A equipe 3 alcançou o resultado esperado.

*Prováveis estratégias e dificuldades:* Para o preenchimento da relação do capacitor e do indutor com tensão e corrente constantes. Para isto, os alunos deveriam transcrever nas tabelas depois de uma análise teórica, tensões e correntes para cada tempo constante nas mesmas e formalizarem a função do capacitor e do indutor nos circuitos elétricos manipulados através do Eletromagnetismo.

#### Análise do circuito rc

Relação entre tensão e corrente no capacitor.

$$q = C \times V$$

$C$  – Capacitância do capacitor [ $C$ ] = Farad

$$dq/dt = i(t) = C dv(t)/dt$$

Análise dos tempos  $0^-$ ,  $0^+$  e  $+\infty$

$0^-$  é o tempo imediatamente anterior ao fechamento da chave

$0^+$  é o tempo imediatamente posterior ao fechamento da chave

$+\infty$  é o tempo após longo período da chave fechada

Em  $t = 0^-$  a chave está aberta e não há corrente no capacitor  $i(0^-) = 0$  e sua tensão inicial é dada  $v(0) = 0$

No intervalo de  $0^-$  a  $0^+$  o tempo é muito próximo, não há alteração na tensão do capacitor devido à inércia de tensão. Em  $t = 0^+$  a chave está fechada, a tensão no capacitor permanece em 0 (zero), o capacitor funciona como um curto circuito  $v_C(0^+) = 0$  e sua corrente é  $i_C(0^+) = V/R$

Em  $t = +\infty$  a fonte do circuito não para de mandar carga para o capacitor, fazendo  $v(t)$  aumentar até o valor da tensão  $V$  da fonte.  $i_C(\infty) = (V-v(t))/R$ ,  $i(\infty) = 0$  e  $v(\infty) = V$ , o capacitor está com as cargas equilibradas não havendo mais fluxo de cargas, logo a corrente  $i_C(+\infty) = 0$  e o mesmo funcionando como um circuito aberto  $v_C(+\infty) = V$ .

Análise do circuito rl

Para  $t = 0^-$  o circuito está aberto, não há tensão no indutor  $v_L(0^-) = 0$  e é dada a condição inicial  $i_L(0) = 0$ .

Em  $t = 0^+$  a chave está fechada, como a corrente no indutor não varia instantaneamente devido à inércia de corrente. O indutor funciona como um circuito aberto  $i_L(0^+) = 0$  e sua tensão é  $v_L(t) = V$ .

Em  $t = +\infty$  o indutor está carregado e não há diferença de potencial em seus terminais  $v_L(+\infty) = 0$  funcionando como um curto circuito, a corrente no indutor  $i_L(+\infty) = V/R$

Técnica 1

Atividade 1.b

Conhecimentos necessários para obter uma expressão para a tensão  $v(t)$  no capacitor Figura 9.1.a e para a corrente  $i(t)$  no indutor Figura 9.1.b:

- Conceito de resistor, capacitor e indutor no contexto da física (como armazenadores de energia no campo elétrico e no campo magnético respectivamente) e matemática escolar, sob a perspectiva de suas aplicações como ferramentas para a aprendizagem dos circuitos elétricos rc e rl.
- Entender as expressões de tensão e corrente em capacitor, indutor e resistor ilustradas na tabela 2.

Atividade 1.c

Procedimentos operacionais padrão para a realização da Atividade:

**Solução da Atividade 1.c:** - Circuito rc - Carga do capacitor

- Aplicar as definições da lei de Kirchhoff para tensão;
- Analisar a tensão no resistor e no capacitor;



- Encontrar a expressão da corrente  $i_C(t)$  para o circuito rc através da equação diferenciais ordinária de primeira ordem;

#### Atividade 1.c - Circuito rl

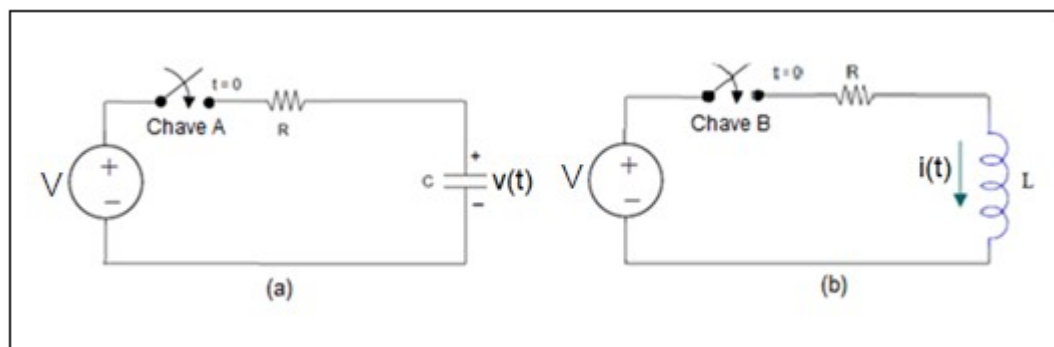
Aplicar as definições da lei de Kirchhoff para corrente;

- Analisar a tensão no resistor e no indutor;
- Encontrar a expressão da tensão  $v_L(t)$  para o circuito RL através da equação diferenciais ordinária de primeira ordem;

Objetivos: Nossa intenção com esta atividade, consistia na análise de tensão e corrente no capacitor e no indutor, para que os alunos formalizassem os conceitos de circuitos elétricos rc, rl e rlc.

#### 3.4.2 Análise a priori da Atividade 2

**Figura 10** - Circuitos da atividade 2



Fonte: elaborado pela autora.

**Atividade 2:** Para os circuitos da Atividade 1, considere que as chaves A e B permaneceram aberta por um longo período e em  $t = 0$  é fechada. Encontre a expressão da tensão  $v(t)$  no capacitor e corrente  $i(t)$  no indutor Figura 10.

#### Circuitos rc e rl

#### Análise a priori

A situação-problema da Atividade 2 tem como objetivo propiciar ao aluno entender como ocorre o processo de carga no capacitor (C) através de um circuito elétrico composto

por resistor e capacitor em série e no indutor através de um circuito elétrico composto por resistor e indutor em série, ambos operando em cc e observar se os alunos desenvolvem habilidades para resolver problemas de circuitos rc e rl simples.

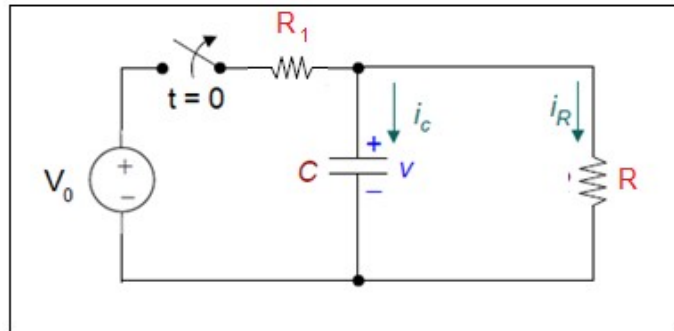
Para resolver a questão o aluno deverá usar conhecimentos prévios adquiridos na Física e na matemática como: relação de tensão e corrente no capacitor, resistor e indutor, aplicação das Leis de Maxwell, lei de Ampère, relação entre carga e corrente, aplicação das Leis de Kirchhoff, equacionar o circuito chegando a uma equação diferencial ordinária (EDO) de primeira ordem determinar sua solução encontrando uma expressão para tensão e corrente em circuitos rc e rl.

### 3.4.3 Análise a priori da Atividade 3

A situação-problema da Atividade 3 tem como objetivo propiciar ao aluno entender como ocorre o processo de descarga no capacitor (C) através de um circuito elétrico composto por resistor e capacitor em paralelo operando em cc e observar se os alunos adquirem o conhecimento do processo de descarga do capacitor, do comportamento da corrente e tensão no capacitor e representar graficamente esse comportamento.

Para resolver a questão o aluno deverá usar conhecimentos prévios adquiridos na Física e na matemática como: relação de tensão e corrente no capacitor buscando os não ostensivos necessários a resolução da atividade: Leis de Maxwell, lei de Ampère, relação entre carga e corrente, aplicação das Leis de Kirchhoff, equacionar o circuito chegando a uma equação diferencial ordinária (EDO) de primeira ordem e determinar sua solução encontrando uma expressão para tensão no capacitor.

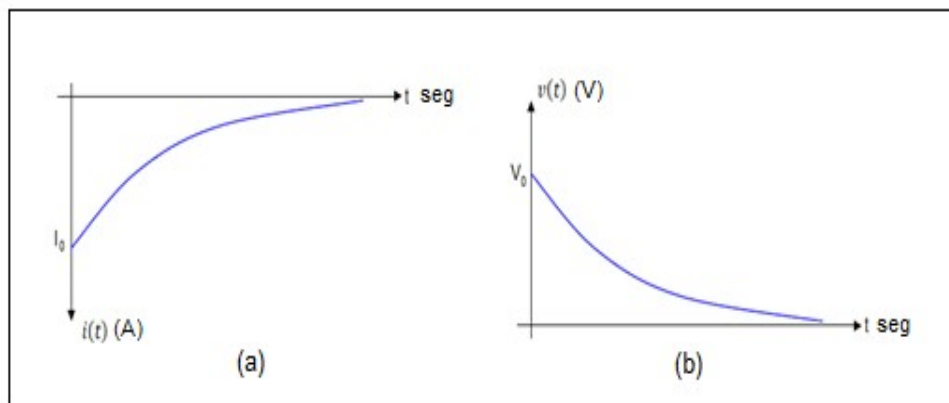
**Figura 11** - Circuito da Atividade 3



Fonte: elaborado pela autora.

O circuito da Figura 11 tem a função de carregar o capacitor. A chave do circuito foi mantida por um longo tempo fechada. Em  $t = 0$  a chave é aberta. Determine a expressão para tensão e corrente no capacitor e desenhe os gráficos  $v(t) \times t$  e  $i(t) \times t$ .

**Figura 12** - (a) Corrente no capacitor; (b) Tensão no capacitor.



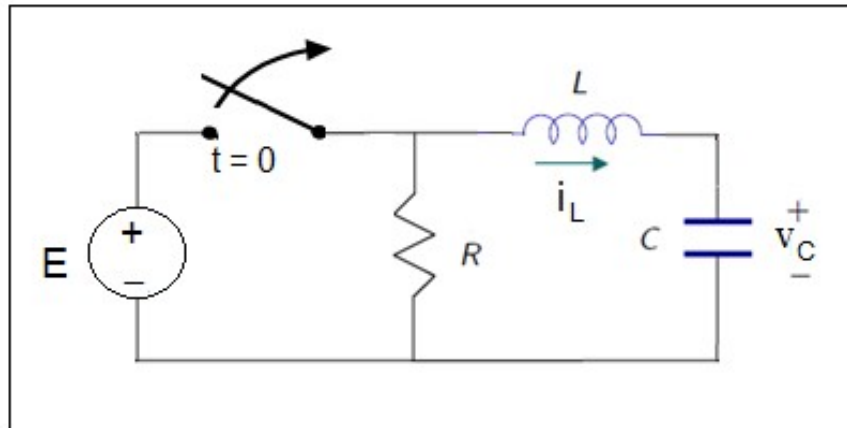
Fonte: elaborado pela autora.

Os circuitos da Atividade 3, têm seus gráficos descritos na Figura 12. O gráfico (a) corrente no capacitor (b) Tensão no capacitor.

A tensão através de  $C$  se reduz exponencialmente em  $t$  com  $v(t)$  tendendo a 0 e a corrente no circuito, possui um comportamento semelhante à tensão através do resistor  $R$ .

### 3.4.4 Análise a priori da Atividade 4

Figura 13 - Circuito rlc série - Atividade 4



Fonte: elaborado pela autora.

**Atividade 4:** A chave do circuito envolvendo resistor, indutor e capacitor (rlc) em série Fig.13, foi mantida fechada por um longo tempo até ser aberta em  $t = 0$ .

- Descrever os conhecimentos que você julga necessário para obter a fórmula da tensão no capacitor em função do tempo.
- Descrever os procedimentos operacionais padrão para a realização da Atividade.
- Obter a equação da tensão  $v_C(t)$  no capacitor, em função do tempo.

Análise a priori

A equação da corrente  $i(t)$  no circuito rlc paralelo da atividade é determinada utilizando ferramentas físicas: Lei de Kirchhoff para correntes (análise nodal) ou a Lei de Kiechhoff para tensões (análise de malhas) e matemáticas: equação diferencial ordinária.

Para resolver a questão, o aluno além de saber relacionar as definições de carga e descarga do indutor, aplicar as Leis de Kirchhoff deverá equacionar o circuito e através de manipulações algébricas chegar a uma EDO de segunda ordem característica desse circuito, por ter em sua configuração dois elementos que armazenam energia, ou seja, elementos de memória.

Técnica 1

Determinar o modelo matemático por meio da lei de Kirchhoff para correntes (análise nodal), que representam adequadamente a corrente no indutor.

## Técnica 2

Determinar o modelo matemático por meio da lei de Kirchoff para tensão (análise de malhas), que representam adequadamente a corrente no indutor. As duas técnicas, resultam na mesma EDO de segunda ordem como ferramenta. Para resolver a EDO, buscar sua equação característica que resulta no sistema de Bhaskara<sup>15</sup>:

$$as^2 + bs + c = 0$$

$$s_1 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2.a} \quad e \quad s_2 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2.a}$$

$s_1$  e  $s_2$  são as frequências naturais do circuito.

Os valores das frequências naturais do circuito definem as possíveis soluções para corrente  $i_L(t)$  no indutor e classifica o comportamento do circuito como:

- a. Circuito superamortecido;
- b. Circuito com amortecimento crítico;
- c. Circuito subamortecido.

A solução da equação  $as^2 + bs + c = 0$ , descreve o comportamento transitório do circuito RLC série. É o comportamento que surge quando o circuito é perturbado ou modificado, por exemplo, quando a fonte de energia é ligada ou desligada. Esse comportamento é o do oscilador amortecido e, como já foi discutido, desaparece depois de algum tempo. A solução particular da equação  $as^2 + bs + c = 0$  descreve o comportamento em regime estacionário do circuito, ou seja, depois que o transitório desaparece. Dependendo dos valores de  $s$  ( $s_1$  e  $s_2$ ), temos os casos possíveis:

a. Circuito superamortecido, as soluções do polinomial característico são dois números reais negativos. Isto é chamado de "sobrecarga" e as raízes são reais negativas;

b. Circuito com amortecimento crítico, neste caso, as soluções da polinomial característica são dois números reais negativos idênticos e,

---

<sup>15</sup> Bhaskara (1114-1185) foi um matemático, astrólogo, astrônomo e professor indiano que criou a fórmula  $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$  que é um método resolutivo para equações do segundo grau utilizado para encontrar raízes a partir dos coeficientes da equação.

c. Circuito subamortecido, neste caso, as soluções do polinomial característico é um conjugado complexo e possuem uma parte real negativa. Isto é chamado de "subcarga" e resulta em oscilações no circuito. As soluções consistem de duas raízes conjugadas.

### 3.4.5 Atividade 5 - Questionário

**Quadro 12** - Questões aplicadas aos alunos

Questões	Q1) O procedimento adidático adotado no ensino dos conteúdos circuitos elétricos, rc, rl e rlc, contribuiu para a sua compreensão das definições da física envolvidas nestes circuitos?
	Q2) O que você achou do procedimento adotado?
	Q3) Dê exemplo de situações que ocorreram durante a execução das atividades e que você classifica como pontos positivos e negativos.
	Q4) Você já cursou as disciplinas Física Geral e Experimental III e Cálculo Diferencial e Integral III, pré-requisito de Circuitos Elétricos I. Se fosse fazer uma autoavaliação sobre os conhecimentos que adquiriu, em qual das seguintes posições se colocaria? Justifique.  <input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Alto

**Fonte:** elaborado pela autora.

**Atividade 5:** Como última atividade, elaboramos o Questionário de pesquisa Quadro 12, como um instrumento gerador de dados para fortalecer nosso trabalho.

Nesse capítulo almejamos que a sistematização das atividades de tarefas encadeadas em cinco tipos de tarefas, contribua com a consolidação de conhecimentos acerca dos circuitos rc, rl e rlc em cc, a partir do levantamento dos conhecimentos prévios internalizados (ostensivos e não ostensivos) que os alunos já possuem sobre um determinado assunto,

valorizar as informações trazidas pelos mesmos, estimular a aprendizagem através de discussões em grupos para que, os estudantes busquem soluções em conjunto, para os problemas propostos, sem a intervenção do professor.

É importante que os estudantes descubram que eles também têm responsabilidades sobre sua aprendizagem e que não podem esperar passivamente que o professor tenha todas as respostas e ofereça todas as soluções.

Para última atividade, elaboramos o Questionário de pesquisa Quadro 12, como instrumento gerador de dados para fortalecer nosso trabalho.

O presente capítulo está estruturado para explicar o conjunto de procedimentos metodológicos, organizados a partir dos objetivos traçados, que ajudaram na investigação do problema apresentado pela tese: **Quais os impactos de uma Engenharia Didática, que considera a articulação dos ostensivos e não ostensivos, no processo de matematização da física na resolução de tarefas sobre circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc?**

Sob o ponto de vista da abordagem do problema, a pesquisa é qualitativa com a utilização da Engenharia Didática clássica ou de 1ª geração Artigue (1988), e nossa escolha, parte da concepção de que tal proposta metodológica se constitui em organizar pesquisas a partir da construção de uma sequência didática composta de aulas planejadas com a finalidade de obter informações que permitam interpretar processos de aprendizagem.

A realização da pesquisa teve como cenário o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, *campus* Salvador, uma instituição de Ensino Superior (IES) da República Federativa do Brasil.

Os colaboradores dessa pesquisa cursavam na época o 5º semestre do Curso de Bacharelado em Engenharia Industrial Elétrica, turma única do componente curricular Circuitos Elétricos I, composta por 12 alunos no início do semestre, dos quais, no início da pesquisa, 8 continuavam cursando. No que tange a pesquisa qualitativa, conforme pensamento de Ludke e André (1986, p. 11-12) é imprescindível que haja —[...] contato direto e prolongado do pesquisador com o ambiente e a situação que está sendo investigada [...], —[...] sem qualquer manipulação intencional do pesquisador [...].

Nessa direção, encaminhamos a nossa investigação, procurando extrair, por meio de observação e registros, todas as ocorrências da situação (discussões, frases, etc.). O grupo pesquisado era formado por estudantes da faixa etária entre 19 e 26 anos que atribuíram à escolha do curso de Bacharelado em Engenharia Industrial Elétrica por ser uma universidade pública e noturna.

As atividades resolvidas pelos educandos foram planejadas numa sequência didática, em uma série de situações estruturadas ao longo de cinco encontros. A sequência didática foi contruída por cinco atividades envolvendo o tema escolhido para a realização do trabalho e organizada de acordo com os princípios da Engenharia Didática. No quinto encontro aplicamos um questionário com o objetivo verificar o grau de aceitação dos alunos conforme suas crenças, conhecimentos e convicções, acerca dos procedimentos que embasaram nossa pesquisa.



## Capítulo 4

### Experimentação, resultados e discussões

Neste capítulo analisamos as organizações praxeológicas (OP) para os alunos do 5º semestre do curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA a partir de *tarefas* sobre circuitos elétricos rc, rl e rlc em cc, realizadas em cinco sessões de estudo (SE). Dessa forma, o capítulo foi sistematizado em quatro tipos de tarefas e um questionário, onde as *tarefas* foram descritas em uma sequência didática e analisadas, a luz da Teoria Antropológica do Didático.

No que diz respeito à análise das produções dos alunos, buscamos subsídios nos dados coletados, são eles: gravação de imagem e de voz; anotações durante as observações feitas por nós durante as sessões de estudo; praxeologias utilizadas/criadas pelos participantes da pesquisa na resolução das tarefas.

#### 4.1 Análise praxeológica

A análise praxeológica foi realizada a partir de tarefas sobre circuitos rl, rc e rlc em cc, realizadas em quatro sessões de estudo (SE) por meio de Sequência Didática e um encontro em que foi aplicado um questionário.

Buscamos identificar possíveis correlações entre o bloco tecnológico-teórico e o bloco prático-técnico na Organização Didática (OD), ou seja, entre o “fazer” e as teorias e os conceitos físicos tratados na OD de modo a favorecer a aprendizagem de conteúdos científicos e estimular o aluno a refletir e interligar a física e a matemática nas análises dos objetos em estudo.

A praxeologia didática ou organizações didáticas tem por objetivo permitir a existência de uma praxeologia matemática podendo ser aplicada a física relativa a um determinado saber, isto é, ela permite a (re)construção de uma determinada praxeologia matemática e física, articulando-se também em torno de tipos de tarefas, de técnicas, de tecnologias e de teorias.

No pensamento teórico de Chevallard (1999), qualquer que seja o caminho de estudo, certos tipos de situações estão necessariamente presentes, e serão chamadas de momentos de

estudo ou momentos didáticos, porque qualquer que seja o caminho seguido, o objetivo de ensinar deve ser concretizado. Chevallard (1999) introduziu a noção de momento para descrever uma organização didática, que remete, à estrutura temporal do processo de estudo. Os momentos didáticos são, primeiramente, uma realidade funcional do estudo, antes de serem uma realidade cronológica.

Segundo a Teoria Antropológica do Didático (TAD), quando se pretende descrever uma organização didática em torno de um objeto matemático e/ou físico, quaisquer que seja o caminho desse estudo, certos tipos de situações, momentos de estudo ou momentos didáticos podem ocorrer simultaneamente, pois, como não existe uma sequência pré-definida para sua ocorrência, podem-se repetir no decorrer do estudo.

Recorreremos a alguns critérios de avaliação praxeológica de acordo com Chevallard (1998b), critério de identificação, critério de razão de ser, critério de relevância, como apoio à análise da organização praxeológica didática referente ao estudo de circuitos elétricos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$  em  $cc$ .

Para realização da investigação, foi desenvolvida uma Sequência Didático para auxiliar o entendimento dos alunos sobre os seguintes conceitos físicos: leis de Kirchhoff, expressões matemáticas, resistência elétrica, capacitores e indutores.

Os alunos receberam a atividade para leitura e apropriação. Terminado o tempo de leitura e reflexão, as equipes iniciaram as discussões.

Para a aplicação da pesquisa, fizemos algumas considerações fundamentais com os participantes de pesquisa (alunos do 5º semestre do curso de Engenharia industrial Elétrica do IFBA) tomando por base a situação a-didática do pesquisador Brousseau;

- o pesquisador/professor não poderia fornecer informações ou dicas para a interpretação, o encaminhamento e a resolução das atividades propostas;
- cada equipe de alunos deveria resolver as atividades conjuntamente e, por isso, deveriam discutir entre si;
- os alunos deveriam deixar todo e qualquer procedimento registrado por escrito, mesmo aqueles que eles considerassem um erro ou algo inadequado para a solução. Caso isto acontecesse, não deveriam descartar os procedimentos errados, mas somente prosseguir na resolução, pois isto permitiria a leitura pelo pesquisador dos caminhos percorridos pelos alunos para a resolução das atividades, conforme observação de BORIN (1995, p.1);

- os alunos teriam 15 minutos após receberem cada atividade para a leitura e reflexão com a finalidade de se apropriarem do problema proposto.

Optamos por realizar o trabalho em equipe para possibilitar que cada integrante potencialize seu valor, diferenciado e único, importante para a tomada de decisão. Com isso, cada integrante precisa do outro, para trocar conhecimentos e agilidade no cumprimento de metas e objetivos compartilhados e a responsabilidade é de todos, o trabalho em equipe agrupa pessoas com habilidades distintas e desenvolve determinadas ações que visam um só propósito, um só objetivo.

As sessões de ensino têm como objetivo principal trabalhar o conceito de circuitos elétricos  $rc$ ,  $rl$  e  $rlc$  em  $cc$ . Buscamos planejar a sequência de aulas de forma a minimizar o tempo de explicações expositivas, e priorizamos favorecer atividades que exijam participação ativa dos alunos.

A análise praxeológica realizada e apresentada no decorrer desse capítulo propõe identificar correlações entre o bloco tecnológico-teórico e o bloco prático-técnico na organização praxeológica didática, que traduz uma relação entre o “fazer” e as teorias e os conceitos físicos e matemáticos tratados na OP didática de forma a favorecer a aprendizagem de conteúdos científicos e estimular o aluno a refletir e interligar matemática e física para a aprendizagem de circuitos elétricos, possibilitando dessa forma que o aluno pense a atividade em termos das tarefas, técnicas, tecnologias e teorias objetivo desta pesquisa.

Procurou-se localizar na OP matemática e física, objetos ostensivos e não ostensivos (equações, expressões, matemáticas, ferramentas, leis, conceitos, questionamentos etc.) que revelem de forma clara ou tácita as técnicas, tecnologias e teorias que mais se adequem a realização e compreensão das tarefas apresentadas.

Nessa investigação apresentamos a organização dos principais elementos praxeológicos (tipos de tarefas, tarefas, técnicas e teorias) identificados nas OP didáticas (análise de tensão e corrente no capacitor e no indutor, carga e descarga de capacitores e indutores, expressão matemática da tensão no capacitor e expressão matemática em circuitos  $rlc$  em  $cc$  com componentes em paralelo).

É válido evidenciar que entre os tipos de tarefas presentes no processo de ensino e aprendizagem, como ler e escrever a tarefa, interagir socialmente, comunicar-se, efetuar operações matemática, etc., em que cada uma envolve determinadas técnicas e tecnologias. Na realização dessa pesquisa, consideramos que cada uma dessas técnicas e tecnologias elementos de conhecimentos necessários (pré-requisito) para realização das atividades.

4.2 Primeira sessão de estudo – Atividade 1

As atividades desta investigação, foram elaboradas em uma Sequência Didática em um esquema experimental de situações-problema, desenvolvidos de forma sequencial onde os conceitos aprendidos em uma atividade seria utilizado na construção dos conceitos da atividade subsequente.

**Figura 14** - Atividade 1, onde se identifica três tipos de tarefas (T1, T2 e T3)

**Atividade 1:** Os circuitos da figura 1(a) RC e (b) RL, são excitados por fontes constantes de tensão (resposta ao degrau). As chaves ficaram por um longo tempo na posição A antes de ser deslocada para a posição B em  $t = 0$ .

Dadas às condições iniciais  $v(0) = V_0$  para o circuito RC e  $i(0) = I_0$  para o circuito RL.

- Analise os circuitos RC e RL de CC da figura 1 e complete as tabelas 1.a e 1.b
- Quais conhecimentos você julga necessário para obter uma expressão para a tensão  $v(t)$  no capacitor figura 1.a e para a corrente  $i(t)$  no indutor figura 1.b?
- Quais os procedimentos operacionais padrão para a realização da Atividade?

Fonte: elaborado pela autora.

**Quadro 13** - Atividade 1 em termos de tipos de tarefa (T) e tarefas (t)

Tipo de Tarefa (T)	Tarefa (t)
T <sub>1</sub> - Analisar os circuitos rc e rl em cc e completar as tabelas com os valores da tensão e da corrente em função do tempo.	t <sub>11</sub> – Estudar o comportamento do capacitor que está sendo carregado no circuito RC, analisando o comportamento da tensão em função do tempo.
	t <sub>12</sub> – Estudar o comportamento do indutor que está sendo carregado no circuito RL, analisando o comportamento da corrente em função do tempo.
	t <sub>13</sub> – Completar a tabela da Figura 1.a com os

	valores da tensão e da corrente no capacitor em função do tempo.
	t <sub>14</sub> – Completar a tabela da Figura 1.b com os valores da tensão e da corrente no indutor em função do tempo.
T <sub>2</sub> - Quais conhecimentos você julga necessário para obter uma expressão para a tensão v(t) no capacitor e para a corrente i(t) no indutor?	t <sub>21</sub> – Obter o modelo matemático para a tensão v(t) no capacitor Figura 1. a.
	t <sub>22</sub> – Obter o modelo matemático para a tensão i(t) no capacitor Figura 1.b.
T <sub>3</sub> - Quais os procedimentos operacionais padrão para realizar da Atividade?	t <sub>31</sub> – Descrever com detalhes os procedimentos necessários para a realização das tarefas T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> e T <sub>3</sub> .

Fonte: Cavalcanti 2019

**Quadro 14** - Atividade 1 em termos de técnicas e tecnologias.

<b>Tipo de Tarefa (t)</b>	<b>Técnica (<math>\tau</math>)</b>	<b>Tecnológico-teórico [<math>\theta, \Theta</math>].</b>
t <sub>11</sub>	$\tau_1$ – Analisar a relação entre tensão e corrente no capacitor e no indutor antes e depois de manusear as chaves (de A para B), transcrever nas tabelas depois de uma análise teórica, tensões e correntes para cada tempo constante nas tabelas e formalizar a função do capacitor e do indutor nos circuitos elétricos manipulados através do Eletromagnetismo.	[ $\theta, \Theta$ ] <sub>1</sub> – Elementos da física como Eletromagnetismo (campo elétrico, campo magnético, conceitos de capacitores e de indutores) e elementos da matemática (equação derivada ordinária linear, integrais e exponenciais).
t <sub>12</sub>		
t <sub>11</sub>		
t <sub>14</sub>		
t <sub>21</sub>	$\tau_2$ – Buscar os objetos não ostensivo como conceito de capacitor, indutor e resistor no contexto da física e da matemática escolar para o entendimento das expressões de tensão e corrente em capacitor, indutor e resistor.	[ $\theta, \Theta$ ] <sub>2</sub> – Elementos da física como Eletromagnetismo e da equação derivada ordinária linear, integrais e exponenciais.
t <sub>22</sub>		
t <sub>31</sub>	$\tau_3$ . Aplicar as definições da lei de Kirchhoff para tensão; analisar a tensão no resistor e no capacitor; encontrar a expressão da tensão v <sub>C</sub> (t) para o circuito RC e corrente i <sub>L</sub> (t) para o circuito RL, através da equação diferenciais ordinária de primeira ordem;	[ $\theta, \Theta$ ] – Elementos da física como teorias do Eletromagnetismo e da matemática como equação derivada ordinária linear, integrais e exponenciais.

Fonte: elaborado pela autora.

Após os participantes da pesquisa se apropriarem da situação-problema, em que se discute o processo de carga e descarga no capacitor e no indutor conforme Atividade 1 Figura 14, onde os tipos de tarefas, presentes na atividade e suas respectivas tarefas (t), são demonstradas nos Quadros 13 e 14 que apresentam as técnicas e tecnologias identificadas para realização de cada tarefa (t).

**Figura 15** - Tabelas  $v(t) \times t$  e  $i(t) \times t$  - construída pelas equipes

$t [s]$	$i_c [A]$	$v_c [V]$	$t [s]$	$i_c [A]$	$v_c [V]$	$t [s]$	$i_c [A]$	$v_c [V]$
$0^-$	0	$V_0$	$0^-$	0	0	$0^-$	0	0
$0^+$	$C \frac{dv}{dt}$	$V_0$	$0^+$	$I_{m\acute{a}x}$	$V_0 = 0$	$0^+$	$I_{m\acute{a}x}$	$V_0 = 0$
$+\infty$	0	$V$	$+\infty$	0	$V$	$+\infty$	0	$V$
Gráficos do circuito RC $v(t) \times t$								
$t [s]$	$v_L [V]$	$i_L [A]$	$t [s]$	$v_L [V]$	$i_L [A]$	$t [s]$	$v_L [V]$	$i_L [A]$
$0^-$	0	$I_0$	$0^-$	0	0	$0^-$	0	0
$0^+$	$L \frac{di}{dt}$	$I_0$	$0^+$	$V_0$	$I_0$	$0^+$	$V_0$	$I_0$
$+\infty$	0	$I = \frac{V}{R}$	$+\infty$	0	$I_{m\acute{a}x}$	$+\infty$	0	$I_{m\acute{a}x}$
Gráficos do circuito RL $i(t) \times t$								
Equipe 1			Equipe 2			Equipe 3		

Fonte: acervo da autora.

A Figura 15, apresenta as tabelas construídas pelos participantes (Equipes 1, 2 e 3)

### Análise a Posteriori

A teoria que dar sustentação aos elementos tecnológico-teóricos descritos no Quadro 14 e que confirmam as técnicas utilizadas, faz parte do objeto de conhecimento circuitos rc, rl e rlc em cc e está presente no currículo do curso, nos livros didáticos analisados nessa pesquisa e no PPI da Instituição.

Os conhecimentos e saberes acerca dos circuitos rc e rl são interdisciplinares visto que seus conceitos envolvem disciplinas como química (movimento de elétrons que simbolizam a corrente), física como (conceitos de campo elétrico e campo magnético presentes no eletromagnetismo) e matemática (expressões e modelos matemáticas necessárias a determinação das variáveis tensão e corrente).

Nesse contexto, as equipes formadas pelos participantes da pesquisa buscaram através dos objetos ostensivos e não ostensivos noções e conceitos dos objetos em estudo.

Analisando as técnicas e as tecnologias empregadas na condução da OP, pela equipe 1 (participantes E1, E2, E3 e E4), equipe 2 (participantes E5, E6 e E7) e equipe 3 (participantes Gauss, Tesla e Estiver Rogers) na execução das tarefas ( $t_{13}$  e  $t_{14}$ ). Os participantes da equipe 1, no momento da discussão resgataram os objetos ostensivos e não ostensivos criaram suas praxeologias pessoais baseada nas praxeologias do Contrato Didático utilizado na disciplina Física Geral e Experimental III, ministrada no semestre anterior, causaram ruptura no Contrato Didático estabelecido na disciplina Circuitos Elétricos I, porém, não chegaram ao resultado esperado. Os participantes fizeram análise física da atividade de forma inadequada, visto que, não trabalharam os objetos em cc foco desse trabalho.

Com a chave aberta os componentes (capacitor e indutor) estão descarregados, a tensão no capacitor é  $v(t) = 0$  o que o caracteriza como curto-circuito e sua corrente é máxima  $i_C(t) = I_{max} = V/R$  e a corrente no indutor  $i(t) = 0$  que o caracteriza como um circuito aberto e em seus terminais se estabelece a tensão da fonte  $v_L(t) = V_{max}$ . Inferimos que a ruptura de Contrato Didático induzido a equipe a erros.

Os participantes das equipes 2 e 3, articularam os conhecimentos baseadas nas análises dos objetos ostensivos e não ostensivos evocados nas discussões, utilizaram os conceitos físicos coerentemente e chegaram aos resultados esperados, Figura 15.

Na tarefa  $t_{14}$ , aplicaram os conceitos presentes na física de forma acertada para corrente no indutor nos tempos ( $t = 0^-$ ,  $t = 0^+$  e  $t = +\infty$ ) e tensão no capacitor nos tempos ( $t = 0^-$ , e  $t = +\infty$ ), porém, para a tensão no tempo  $t = 0^+$  as três equipes atribuíram valor ( $v_L = 0$ ) a tensão, rompendo o contrato didático firmado na disciplina Circuitos Elétricos I e aplicando suas praxeologias pessoais desconsiderando que devido a inercia o indutor se opõe a mudança brusca de corrente e permanece com a corrente inicial (zero), que o caracteriza como circuito aberto e em seus terminais se estabelece a tensão da fonte  $v_L = V$ , Figura 15.

As tarefas  $t_{21}$  e  $t_{22}$  remeteu os participantes na construção das respostas:

### Equipe 1

Tarefa (t<sub>21</sub>) - É necessário conhecer o componente e suas respostas em circuitos (rc ou rl). Saber como o mesmo reage à uma aplicação de uma tensão e corrente, analisar sua resposta em função do tempo, como funciona o processo de carga e descarga do componente é essencial no processo de construção do conhecimento.

Tarefa (t<sub>22</sub>) - Conhecer os componentes do circuito enquanto a chave é manuseada (principalmente na sua iminência). Analisar os valores de tensão e corrente no instante “0”, imediatamente antes e depois do manuseio da chave da posição A para a posição B. Obter respostas do capacitor e do indutor (graficamente ou medindo) após a aplicação de uma diferença de potencial.

### Equipe 2

Tarefa (t<sub>21</sub>) - Os conhecimentos são: tensão no capacitor, tempo de carga e descarga no capacitor e no indutor, corrente máxima no indutor, capacitância e indutância.

Tarefa (t<sub>22</sub>) - Entender o comportamento de tensão, da corrente no indutor e no capacitor e analisá-las em função do tempo.

### Equipe 3

Tarefa (t<sub>21</sub>) - Para o capacitor é necessário saber qual o comportamento do mesmo quando exposto a uma tensão ao longo d tempo. Além disso faz-se necessário saber as equações para a resistência equivalente do circuito, o valor inicial da tensão no capacitor, a capacitância do capacitor estudado e a tensão total do circuito. Assim como o conhecimento sobre:

$$I = dq/dt, V = q/c$$

Tarefa (t<sub>22</sub>) - Para o indutor é necessário saber qual o comportamento do mesmo, quando exposto a uma corrente ao longo do tempo, além das equações para a resistência equivalente do circuito, o valor inicial da corrente no indutor, a indutância do indutor estudado e a corrente total do circuito. Assim como:

$$-L di/dt = v_L$$

A complexidade inerente ao eletromagnetismo e as praxeologias particulares dos participantes da pesquisa contribuiu para ruptura de contrato didático estabelecida na disciplina Circuitos Elétricos I que alguns participantes articulassem os conhecimentos equivocada.



Para realizarem as tarefas, as três equipes utilizaram as técnicas: i) diálogo e análise física dos circuitos rl e rc; ii) análise da resposta dos circuitos a uma diferença de potencial (ddp); iii) análise a resposta dos circuitos em função do tempo e iv) análise do processo de carga e descarga do capacitor e do indutor.

Durante essas atividades os alunos manipularam os objetos ostensivos (gráficos, circuitos, tabelas, escritas) e não ostensivos (conceitos, intuições, ideias, etc.) presentes nos conceitos do Eletromagnetismo para a construção das respostas. Quando se estuda Eletromagnetismo, é necessária certa capacidade de abstração pois grandezas como campos elétricos e magnéticos não são "visíveis" e "acessíveis" como ocorre com os sistemas puramente mecânicos, em que a interação entre as pessoas e esses sistemas mecânicos é muito mais direta.

E preciso imaginar campos elétricos e magnéticos, potenciais elétricos, densidades superficiais de carga, etc., mas, dificilmente se consegue efetivamente visualizar essas grandezas. A complexidade e a capacidade necessária para abstração no estudo de Eletromagnetismo, geraram certo desconforto aos alunos, que foram induzidos alguns a erros por não considerarem que as fontes que alimentam os circuitos são constantes.

A análise a posterior realizada a luz da análise a priori, dos fundamentos teóricos, das hipóteses e da problemática da pesquisa, leva em consideração a possibilidade de compreensão.

As respostas de alguns participantes mostram que os objetos não ostensivos relativos a corrente no indutor e a tensão no capacitor não foram lembradas, visto que foram adequadamente construídas por eles em outra disciplina. Constatamos a dificuldade dos alunos em compreender o não ostensivo conceito de derivada de uma constante. Ao analisarmos as respostas, inferimos que houve a dialética entre ostensivos e não ostensivos. Embora as derivadas da corrente e da tensão tenha favorecido o aparecimento de não ostensivos equivocados, aconteceu o que Bosh (2000) chamou de Dialética do policiamento ostensivo e não ostensivo.

Segundo Bosch (2000, p. 4):

Os conceitos surgem do trabalho com os ostensivos “(isto é, em resposta a certas questões e tarefas e em um entorno tecnológico-teórico dado) e é essa mesma prática, que ao ser institucionalizada ou formalizada, estabelece vínculos entre os ostensivos e não ostensivos que permitirão aos primeiros referirem-se ou representar aos segundos em possíveis atividades futuras (BOSCH, 2000, p. 4)<sup>16</sup>. Tradução da autora.

<sup>16</sup> Tradução da autora: (es decir, como respuesta a ciertas tareas problemáticas y en un entorno tecnològicoteórico dado) y es esta misma práctica que, al institucionalizar u oficializarse, establece los vínculos

Desta forma, a análise a posteriori permite inferir que durante os estudos dos circuitos rl, rc e rlc em cc para os estudantes do 5º semestre do curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA, a construção dos conceitos se faz gradativamente e que poderá ser otimizado ressignificando as atividades.

Inferimos que os estudantes das equipes 2 e 3, solucionaram a Atividade 1, de acordo com as análises a priori e os estudantes da equipe 1, utilizaram praxeologia adquirida em outra disciplina e não construíram o conceito adequadamente, o que ocorreu após a validação do conteúdo em estudo.

Ao final da resolução, pelas equipes, ocorreu a institucionalização que forma prevista, em que foram discutidas as soluções dos itens dessa atividade.

#### 4.3 Segunda Sessão de Estudo – Atividade 2

##### Análise a Posteriori

Figura 16 - Circuito da atividade 2.

**Atividade 2:** Para os circuitos da figura 2, considere que as chaves A e B permaneceram aberta por um longo período e em  $t = 0$  é fechada. Encontrar a expressão da tensão  $v(t)$  no capacitor figura 2.a e da corrente  $i(t)$  no indutor figura 2.b.

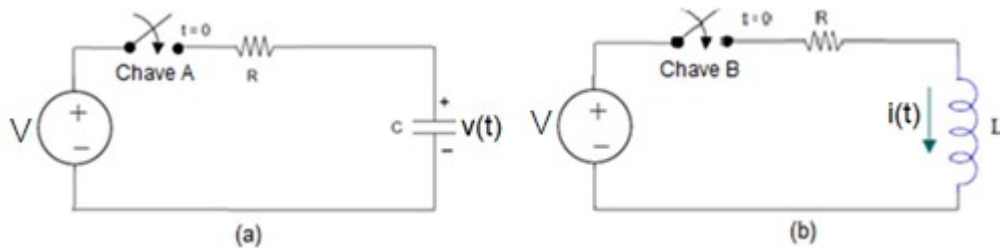


Figura 2 – (a) Circuito RC; (b) Circuito RL

Fonte: elaborado pela autora.

**Quadro 15** - Atividade 2 em termos de tipo de tarefa (T) e tarefas (t)

<b>Tipo de Tarefa (T)</b>	<b>Tarefa(t)</b>
T1- Encontrar o modelo matemático da tensão $v(t)$ no capacitor.	$t_{11}$ - Analisar o comportamento da tensão $v(t)$ no capacitor antes e depois do manuseio da chave e escrever a modelo matemático para a tensão $v(t)$ no capacitor.
T2- Encontrar o modelo matemático da corrente $i(t)$ no indutor.	$t_{12}$ - Analisar o comportamento da corrente $i(t)$ no indutor antes e depois do manuseio da chave e escrever o modelo matemático para a corrente $i(t)$ no indutor

Fonte: elaborado pela autora.

**Quadro 16** - Atividade 2 em termos de técnicas e do tecnológico-teórico

<b>Tarefa(t)</b>	<b>Técnica (<math>\tau</math>)</b>	<b>Tecnológico-teórico [<math>\theta, \Theta</math>].</b>
$t_{11}$	$\tau_{11}$ - Analisar o processo de carga e descarga, calcular a tensão (inicial) acumulada no capacitor no tempo $t=0^-$ (chave na posição A), analisar o circuito no novo estado $t=0^+$ equacionar matematicamente a tensão $v(t)$ do capacitor.	$[\theta, \Theta]_1$ - Elementos do Eletromagnetismo, como conceitos de capacitores, indutores, energia elétrica, magnética e eletromagnética. Elementos da Matemática, como conceitos de equação diferencial ordenaria (EDO) de primeira ordem.
$t_{12}$	$\tau_{12}$ - Analisar o comportamento da corrente no indutor antes de manusear as chaves (de A para B), calcular a corrente (inicial) acumulada no indutor em $t=0^+$ (chave na posição B) e equacionar matematicamente a corrente $i(t)$ no indutor.	

Fonte: elaborado pela autora.

**Figura 17** - Atividade 2- solução da equipe 1

a)  $i_c = C \frac{dv}{dt}$   
 $\int_{v_0}^v di_c = \frac{1}{C} \int_0^t i_c dt$   
 $(v - v_0) = \frac{1}{C} \cdot \int_0^t i_c dt$   
 $v = v_0 + \frac{1}{C} \int_0^t i_c dt$

b)  $v_L = L \frac{di}{dt}$   
 $di = \frac{1}{L} \int v_L dt$   
 $\int_{I_0}^I di = \frac{1}{L} \int_0^t v_L dt$   
 $(I - I_0) = \frac{1}{L} \int_0^t v_L dt$   
 $I = I_0 + \frac{1}{L} \int_0^t v_L dt$

Fonte: acervo da autora

Na execução da tarefa ( $t_{11}$  e  $t_{12}$ ) Quadros 15 e 16, as equipes aplicaram os conceitos físicos e matemáticos, adquiridos na primeira seção de estudo (ver Figura 17). Aplicaram os conceitos físicos (lei de Kirchhoff para tensão) e matemático (integrais) a partir das discussões onde trouxeram os objetos ostensivos e não ostensivos para a construção de novos conhecimentos.

Na análise a posteriori, percebemos que os estudantes manipularam os objetos ostensivos (equações) e os objetos não ostensivos (teorias) adequadamente construindo conceitos a serem utilizados na atividade 3. Porém, deixaram a equação em função da integral, o que não constitui erro, mas, poderiam ter simplificado a equação para forma exponencial.

## 4.4 Terceira Sessão de Estudo – Atividade 3

Análise a posteriori

Figura 18 - Atividade 3.

**Atividade 3:** O circuito da figura abaixo tem a função de carregar o capacitor. A chave do circuito foi mantida por um longo tempo fechada. Em  $t = 0$  a chave é aberta. ( $r_1$  resistência interna da fonte)

- Determine a expressão para tensão e corrente no capacitor.
- Plote os gráficos  $v(t) \times t$  e  $i(t) \times t$

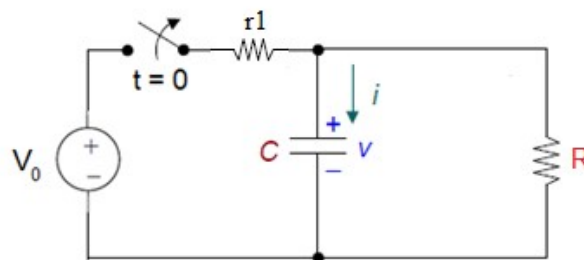


Figura 1- RC paralelo

Fonte: elaborado pela autora.

Quadro 17 - Atividade 3 em termos de tipo de tarefa (t) e tarefas (t)

Tipo de Tarefa (T)	Tarefa(t)
T1- Determinar o modelo matemático para tensão no capacitor.	t11 - Analisar o circuito em função do tempo e determinar um modelo matemático para a tensão $v(t)$ no capacitor.
T2- Determinar o modelo matemático para a corrente no capacitor.	t21 - Analisar o circuito em função do tempo e determinar um modelo matemático para a corrente $i(t)$ no capacitor.
T3- plotar o gráfico $v(t) \times t$ .	t31 - Analisar o que ocorre com a tensão no capacitor no decorrer do tempo.
T4- plotar o gráfico $i(t) \times t$ .	t41 - Analisar o que ocorre com a corrente no capacitor no decorrer do tempo.

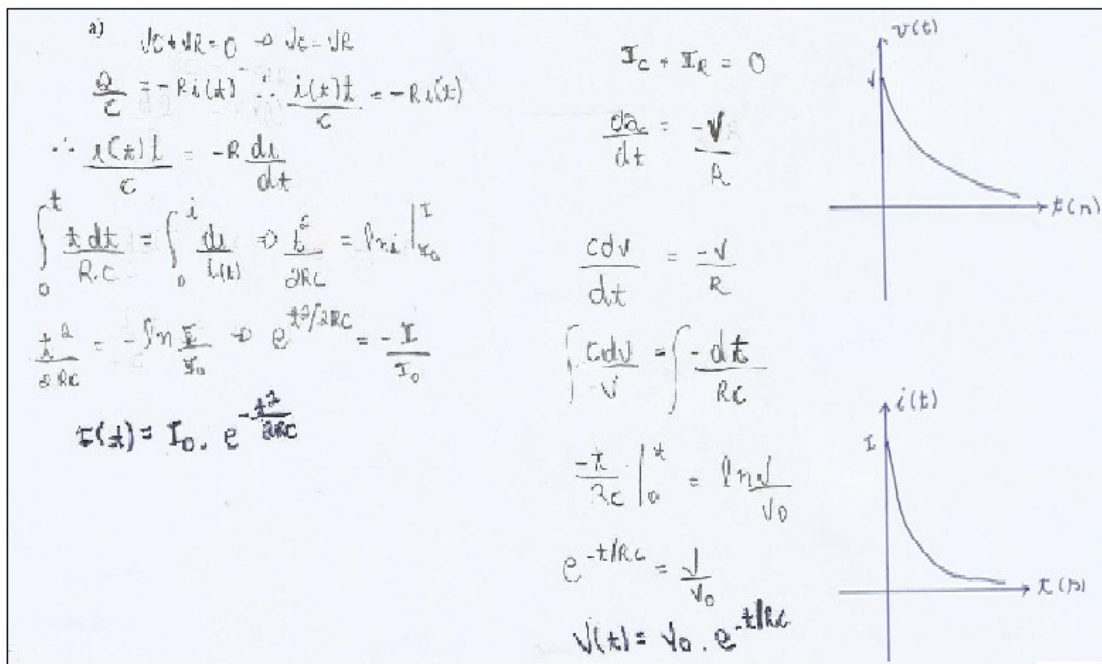
Fonte elaborado pela autora.

Quadro 18 - Atividade 3 em termos de técnicas e do tecnológico-teórico

Tipo de Tarefa(t)	Técnica (τ)	Tecnológico-teórico [θ, Θ].
t <sub>11</sub>	τ <sub>11</sub> – Calcular a tensão no capacitor antes de manusear a chave (abri-la), calcular a tensão (inicial V <sub>0</sub> ), acumulada no capacitor. Em t=0 <sup>+</sup> (chave aberta), analisar o circuito no novo estado, deduzindo a equação matemática da tensão v(t) do capacitor.	[θ, Θ] <sub>1</sub> – Elementos da Física presentes no Eletromagnetismo, como conceitos de capacitor, energia elétrica, magnética, eletromagnética e Elementos da Matemática, como conceitos de equação diferencial ordinária (EDO) e conceitos de equação exponencial.
t <sub>21</sub>	τ <sub>21</sub> – Calcular a corrente no capacitor depois de manusear a chaves (fecha-la), calcular a corrente acumulada no capacitor e deduzir sua equação matemática.	
t <sub>31</sub>	τ <sub>31</sub> – Analisar a tensão do capacitor no circuito sem fonte ao longo do tempo e plotar o gráfico v(t) x t(s).	
t <sub>41</sub>	τ <sub>41</sub> – Analisar a corrente do capacitor no circuito sem fonte ao longo do tempo e plotar o gráfico i(t) x t(s).	

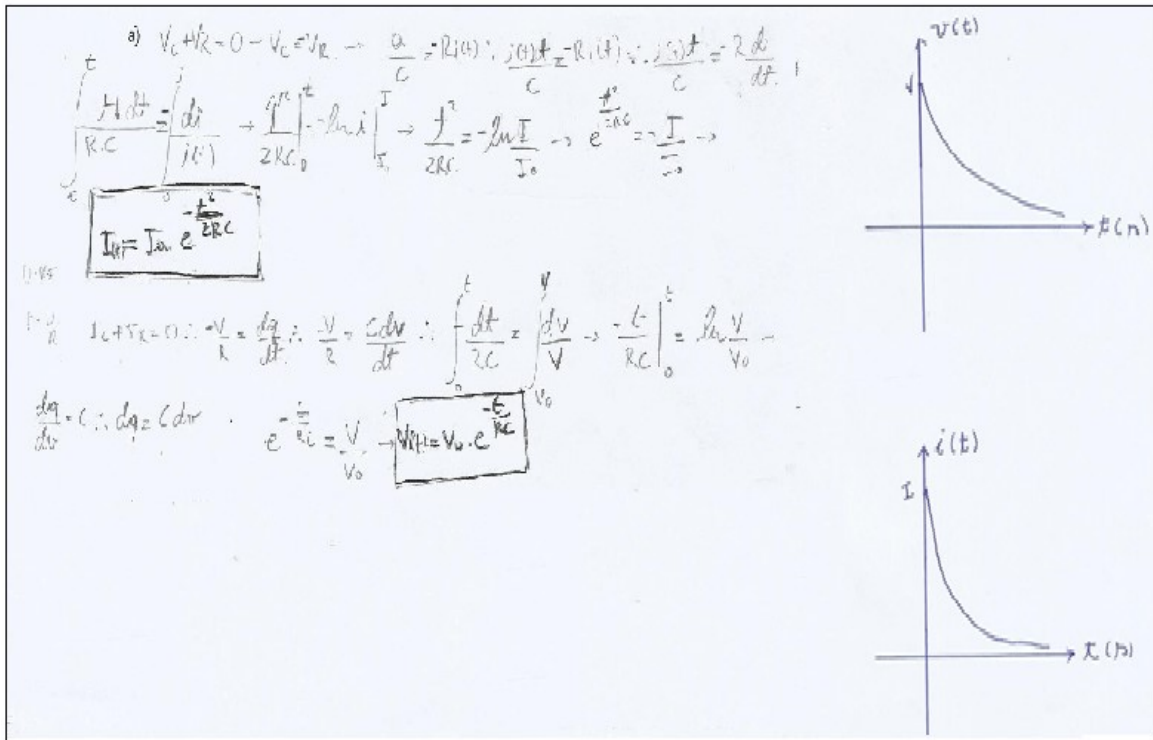
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 19 - Atividade 3 - solução da equipe 1.



Fonte: acervo da autora.

Figura 20 - Atividade 3 - solução da equipe 3



Fonte: acervo da autora.

Na execução da tarefa ( $t_{11}$  e  $t_{21}$ ) quadros 17 e 18 respectivamente, as equipes 1, 2 e 3, aplicaram os conceitos de tensão no capacitor e corrente no indutor, chegando a solução prevista na análise a priori. As situações-problema da Atividade 3, Figura 17, tiveram como objetivos: 1) propiciar ao aluno entender como ocorre o processo de descarga no capacitor (C) através de um circuito elétrico, composto por resistor e capacitor em paralelo operando em cc e 2) observar se os alunos adquirem o conhecimento do processo de descarga do capacitor representando graficamente a tensão e a corrente no capacitor.

Para resolver as questões as equipes evocaram os objetos ostensivos da matemática e os não ostensivos da física e da matemática, presentes no eletromagnetismo (Leis de Maxwell, lei de Ampère, relação entre carga e corrente e aplicação das Leis de Kirchhoff) e da matemática (conceitos de equação exponencial e de equação diferencial ordinária linear) respectivamente e através dessa inter-relação encontram o modelo matemático para a tensão no capacitor.

Na execução da tarefa ( $t_{31}$ ), os participantes da equipe 1, utilizaram técnica diferentes da utilizada pelos participantes das equipes 2 e 3. Os participantes da equipe 1 analisaram o circuito através da carga do capacitor Figura 19, os participantes das equipes 2 e 3 analisaram o circuito, aplicando a lei de Kirchhoff para tensão Figura 20. Contudo, as três equipes

utilizaram os conceitos físicos e matemáticos previstos na análise a priori, necessários para o entendimento do comportamento da tensão no capacitor em função do tempo e chegaram a uma equação exponencial, modelo matemático esperado e plotaram o gráfico tensão em função do tempo como previsto.

As equipes apresentaram dificuldade na execução da tarefa ( $t_{41}$ ). Como podemos observar na análise a priori, quando a fonte é desconectada do circuito o capacitor passa a fornecer energia para o sistema, deixa de ser um elemento passivo (receber energia) e passa a ser ativo (fornecer energia), invertendo o campo elétrico e o sentido da corrente no capacitor, que passa a ser negativa. As equipes não analisaram cuidadosamente os conceitos de mudança de sentido do campo elétrico e da corrente no capacitor e plotaram o gráfico da corrente em função ao tempo ( $i(t) \times t$ ) não alcançando o objetivo previsto.

#### 4.5 Quarta Sessão de Estudo – Atividade 4

Análise a posteriori

**Figura 21** - Atividade 4

**Atividade 4:** A chave do circuito envolvendo resistor, indutor e capacitor (RLC) em série Fig.1, foi mantida fechada por um longo tempo até ser aberta em  $t = 0$ .

- Descrever os conhecimentos que você julga necessário para obter a fórmula da tensão no capacitor em função do tempo.
- Descrever os procedimentos operacionais padrão para a realização da atividade.
- Obter a equação da corrente  $i_C(t)$  no capacitor, em função do tempo.

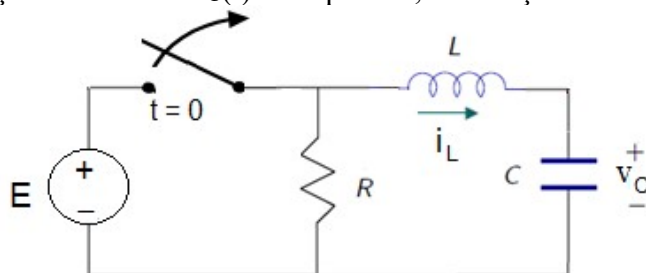


Figura 1 - Circuito RLC série

Fonte: elaborado pela autora.



**Quadro 19-** Atividade 4 em termos de tipo de tarefa (T) e tarefas (t)

<b>Tipo de Tarefa (T)</b>	<b>Tarefa(t)</b>
T1 - Descrever os conhecimentos que você julga necessário para obter a fórmula da tensão no capacitor em função do tempo.	t <sub>11</sub> – Conhecer o processo de carga e descarga do capacitor; o comportamento do capacitor diante de circuitos chaveados e as Leis de Kirchhoff.
T2 - Descrever os procedimentos operacionais padrão para a realização da atividade.	t <sub>21</sub> – Analisar o comportamento da corrente e da tensão no capacitor imediatamente antes e depois de manusear a chave; aplicar a lei de Kirchhoff para tensão ou corrente; analisar o comportamento da tensão ou corrente em cada componente do circuito chegando a equação desejada.
T3 - Obter a equação da tensão corrente $i_C(t)$ no capacitor, em função do tempo.	t <sub>31</sub> – Analisar o comportamento da corrente $i_C(t)$ no capacitor a cada instante antes e depois de mudar a posição da chave ( $t = 0^-$ e $t = 0^+$ ).

Fonte: elaborado pela autora.

**Quadro 20** - Atividade 4 em termos de técnicas e do tecnológico-teórico

<b>Tarefa(t)</b>	<b>Técnica (<math>\tau</math>)</b>	<b>Tecnológico-teórico [<math>\theta, \Theta</math>].</b>
t <sub>11</sub>	$\tau_{11}$ – Ter domínio nas definições de carga e descarga do indutor; conhecer as Leis de Kirchhoff e ter conhecimento de manipulações algébricas para chegar a uma EDO de segunda ordem (característica desse circuito por ter dois elementos que armazenam energia).	[ $\theta, \Theta$ ] <sub>1</sub> – Elementos da física como Eletromagnetismo (conceitos de indutor, energia elétrica, campo elétrico – Lei de Gauss, campo magnético e Lei de Kirchhoff para tensão) Elementos da Matemática (conceitos de Equação Diferencial Ordinária de segunda ordem linear).
t <sub>21</sub>	$\tau_{21}$ – Analisar o circuito através dos conceitos dos componentes (resistor-indutor-capacitor) aplicando as definições de carga e descarga do capacitor; aplicar as Leis de Kirchhoff e analisar o circuito física e matematicamente para equacionar o circuito.	
t <sub>31</sub>	$\tau_{31}$ – Utilizar: 1. os conceitos físicos como inercia do capacitor e sua resposta a mudanças bruscas de tensão; 2. os conceitos matemáticos	

	interligados com os conceitos físicos para a modelização matemática da tarefa.	
--	--	--

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 22 - Respostas a e b da Atividade 4, elaboradas pelas equipes.

a) É preciso conhecer as leis de Kirchhoff para analisar o circuito, conhecer as fórmulas das tensões no indutor, capacitor e resistor, além de um bom conhecimento em cálculo.

- b)
- Análise das malhas - leis de Kirchhoff
  - Montar a equação
  - Derivar a equação
  - Tornar o coeficiente da derivada de maior grau igual a 1.

Equipe 1

a) CONHECIMENTOS NECESSÁRIOS SÃO OS VALORES CORRESPONDENTES À CAPACITÂNCIA, RESISTÊNCIA, INDUTÂNCIA, E O TEMPO DE CARGA E DESCARGA DO CAPACITOR.

b) VERIFICAR O CIRCUITO PARA ANÁLISE AFIM DE IDENTIFICAR SUA CONFIGURAÇÃO. FORMAR AS EQUAÇÕES PRINCIPAIS E ENCONTRAR UMA EQUAÇÃO SIMPLIFICADA.

## Equipe 2

- a)
- Para obter a fórmula da corrente no capacitor é necessário saber primeiramente a teoria das malhas, para saber que a soma das tensões na malha é igual a zero, logo  $V_e + V_L + V_R = 0$ .
  - Também é necessário um conhecimento prévio das fórmulas das tensões de cada componente:

$$V_e = \frac{1}{C} \int i dt \quad ; \quad V_R = R i \quad ; \quad V_L = L \cdot \frac{di}{dt}$$

- Ter conhecimento de cálculo.

- b)
- Análise da malha - leis de Kirchhoff
  - Montar a equação
  - derivar a equação
  - Tornar o coeficiente da derivada de maior grau igual a 1.

## Equipe 3

Fonte: acervo da autora

Figure 23 - Solução da tarefa (c) Atividade 4: elaborada pela equipe 1.

c)

$$V_e + V_L + V_R = 0$$

$$R \cdot I + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = 0 \quad \rightarrow \text{Derivando por } dt$$

$$R \cdot \frac{di}{dt} + L \frac{d^2i}{dt^2} + \frac{1}{C} \cdot 0 = 0 \quad \div L$$

$$\frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{d^2i}{dt^2} + \frac{1}{LC} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{d^2i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} = 0$$

Fonte: acervo da autora.

Na execução da tarefa ( $t_{11}$ ,  $t_{21}$ ,  $t_{31}$ ), os estudantes das equipes 1, 2 e 3, manipularam os objetos ostensivos (equações matemática) e os objetos não ostensivos a saber: conceitos

físicos de tensão no capacitor e corrente e construíram o modelo matemático previsto na análise a priori (Quadros 19 e 20).

A situação-problema da Atividade 4 Figura 21, descreve um circuito com resistor-indutor-capacitor (rlc) em cc numa associação em série, sua resolução envolve os conceitos adquiridos na realização das tarefas das sessões de estudo anteriores e verifica se os objetivos de aprendizagem foram atingidos. Para resolver as tarefas quadro 21, as equipes necessitavam dos objetos não ostensivos como os conceitos de campo elétrico, campo magnético e da equação diferencial ordinária de segunda ordem.

As três equipes analisaram corretamente o comportamento dos componentes no circuito dado, as teorias utilizadas (Quadro 21) e chegaram ao modelo matemático (Quadro 22), como previsto na análise a priori.

#### 4.6 Quinta Sessão de Estudo – Atividade 5

A aplicação do questionário Quadro 23, teve como objetivo verificar o grau de aceitação dos alunos conforme suas crenças, conhecimentos e convicções, acerca dos procedimentos que embasaram nossa pesquisa e que foram aplicados nas Seções de Ensino.

**Quadro 21** - Atividade 5 - Questionário.

<b>Atividade 5: Questionário (Q)</b>	
Questões	Comentários
Q1- O procedimento adidático adotado no ensino dos conteúdos circuitos elétricos, rc, rl e rlc, contribuiu para a sua compreensão das definições da física envolvidas nestes circuitos?	<p>Os participantes da pesquisa se classificam na mesma categoria, visto que todos, se sentiram beneficiados com o procedimento adotado revelando ter sido desafiador construir novos conhecimentos através de resgates a objetos não ostensivos e ostensivos vistos em outros momentos, e que contribuíram para a aprendizagem dos circuitos rc, rl e rlc em cc e para a percepção da necessidade de interligar física e matemática.</p> <p>Essa resposta deixa claro que os participantes estiveram atentos, principalmente aos conceitos já adquiridos anteriormente. Neste caso os ostensivos e</p>

	<p>não ostensivos ajudaram os alunos na construção de novos conhecimentos.</p>
<p>Q2- O que você achou do procedimento adotado?</p>	<p>Os participantes (E1, E4, Tesla, Gauss e Steve Rogers) classificam o procedimento de desafiador porque os incentiva utilizar conceitos prévios para resolver novos problemas.</p> <p>O participante (E2 e E3), se classificam em categoria diferente da anterior. Consideram o método diferenciado, mas, com a mesma finalidade de aprendizado que outro método. Enfatizam a importância e necessidade das aulas práticas (laboratoriais) para visualização do comportamento dos circuitos, principalmente para alunos sem conhecimentos técnicos.</p> <p>Os participantes (E1, E4, Tesla, Gauss e Steve Rogers), demonstram conhecerem os ostensivos e os não ostensivos e a importância dos mesmos na aquisição de novos conhecimentos.</p> <p>Podemos considera correta parte da resposta dos participantes (E2 e E3), as aulas laboratoriais comprovam a teoria que deve ser de domínio do aluno. Outrossim, o curso de engenharia elétrica não exige dos alunos conhecimentos técnicos prévios, os conhecimentos técnicos necessários a formação do aluno, são adquiridos no decorrer do curso. Vale lembrar que a disciplina Circuitos Elétricos I é a primeira disciplina técnica da grade curricular.</p>
<p>Q3- Dê exemplo de situações que ocorreram durante a execução das atividades e que você classifica como pontos positivos e negativos.</p>	<p>Os participantes da pesquisa se colocam na mesma categoria em relação aos pontos positivos considerando eficiente a dinâmica de discussão em grupo que somaram conhecimentos e possibilitou boa absorção do conteúdo, contribuindo para entender os circuitos e deduzir suas equações.</p> <p>Quanto aos pontos negativos houve divisão de categoria:</p> <p>Os participantes (E1, E3, E4, Tesla, Gauss e Steve Rogers), consideram como ponto negativo a falta de interligação entre a matemática e a física. Inferimos que esses estudantes fornecem respostas consistentes,</p>

	<p>associam a interligação entre física e matemática como necessária para obtenção dos conhecimentos dos circuitos rc, rl e rlc em cc.</p> <p>O participante (E2), relata que as vezes não entende qual o melhor método a ser abordado, uma vez que a equação a ser obtida depende do objetivo do avaliador.</p> <p>Inferimos que estudante E2, não respondeu adequadamente o questionamento efetuado.</p>
<p>Q4- Você já cursou as disciplinas Física Geral e Experimental III e Cálculo Diferencial e Integral III, pré-requisito de Circuitos Elétricos I. Se fosse fazer uma auto-avaliação sobre os conhecimentos que adquiriu, em qual das seguintes posições se colocaria? Justifique.</p> <p>( ) Baixo      ( ) Médio      ( ) Alto</p>	<p>(E1 e E2), se colocam na posição BAIXO (B); justificando que as greves deflagradas anteriormente pelo corpo docente do IFBA, prejudicaram o desempenho do curso.</p> <p>(E3 e E4), se colocam na posição MÉDIO (M), devido a três paralizações: duas de professores e uma de servidores técnicos administrativos, somado a dissociação existente entre matemática e física.</p> <p>(Tesla, Gauss e Steve Rogers), se colocam na posição ALTA (A), alegando que formaram um grupo e estudaram muito, principalmente porque nos períodos de paralização, resolveram exercícios e provas passadas.</p> <p>Inferimos que os alunos se colocaram nas posições (Baixo, Médio e Alto) de acordo com as dificuldades encontradas no resgate dos objetos não ostensivos, durante as discussões nas seções de estudo, para solucionarem os problemas propostos.</p>

Fonte: a autora

O questionário aplicado foi mais um instrumento que contribuiu para as análises dos dados coletados na pesquisa. Nas respostas dos participantes, percebe-se a aceitação das atividades resolvidas de forma adidática porque fomenta a pesquisa entre os estudantes, discussões entre os mesmos e com a professora. A busca dos conhecimentos prévios demonstra a manipulação dos objetos ostensivos e não ostensivos relativos à construção dos conhecimentos propostos.

Neste capítulo analisamos as organizações praxeológicas (OP) para os alunos do 5º semestre do curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA a partir de *tarefas* sobre circuitos elétricos rc, rl e rlc em cc, realizadas em cinco sessões de estudo (SE). Dessa forma,

o capítulo foi sistematizado em quatro tipos de tarefas e um questionário, as *tarefas* foram descritas em uma sequência didática e analisadas, a luz da Teoria Antropológica do Didático.

No que diz respeito à análise das produções dos alunos, buscamos subsídios nos dados coletados, são eles: gravação de imagem e de voz; anotações durante as observações feitas por nós durante as seções de estudo; praxeologias utilizadas/criadas pelos participantes da pesquisa na resolução das tarefas.

Os referenciais teóricos que norteiam esta pesquisa, Teoria Antropológica do Didático e Teoria das Situações Didática permitiram construir situações através de uma sequência didática, analisar suas praxeologias em funcionamento e apontar os elementos conclusivos.

As praxeologias se estabeleceram a partir de noções-chaves, como tipos de tarefas (T) pertencentes a um conjunto de tarefas do mesmo tipo  $t$ , por meio de uma técnica ( $\tau$ ) que, por sua vez, é explicada e legitimada por uma tecnologia ( $\theta$ ), justificada e esclarecida por uma teoria ( $\Theta$ ).

Assim, as praxeologia, constituídas por estes componentes [T,  $\tau$ ,  $\theta$ ,  $\Theta$ ], estão ligadas a um primeiro bloco prático-técnico [T,  $\tau$ ], denominado o saber-fazer onde são manipulados os objetos ostensivos, e um segundo bloco tecnológico-teórico [ $\theta$ ,  $\Theta$ ] onde são manipulados os objetos não ostensivos.

Para a realização das tarefas, os alunos foram convidados a construir saberes relativos ao conteúdo rl, rc e rlc em cc, sem a intervenção direta da professora/pesquisadora nessa construção. A experimentação ocorreu mediante sessões de estudos, distribuídas em quatro momentos de duas horas de duração cada uma e consolidadas com a aplicação da sequência didática, onde a aprendizagem ocorreu de forma gradual.

Análise a posteriori, mostra que as atividades se desenvolveram, em um processo de aprendizagem por meio de discussões, distinção entre definição e propriedade onde emergiram os objetos ostensivos e não ostensivos com o estabelecimento de conceitos, definições ou propriedades matemáticas e/ou física.

A TAD permitiu a modelização e organização do conhecimento físico e matemático inter-relacionados por meio da organização praxeológica, necessária à aprendizagem do saber circuitos rl, rc e rlc em cc.

Por fim, o questionário aplicado foi mais um instrumento que contribuiu para as análises dos dados coletados na pesquisa.

## Capítulo 5

### Análise curricular, projeto pedagógico e livros didáticos

No presente capítulo analisamos a partir de referenciais teóricos da antropologia didática (TAD) e da teoria da transposição didática (TTD), os documentos curriculares do curso Engenharia Industrial Elétrica do IFBA, Projeto Pedagógico Institucional do IFBA (PPI), as Diretrizes Nacionais Curriculares (DNC) para os Cursos de Engenharia<sup>17</sup>, os Referenciais Nacionais dos Cursos de Engenharia<sup>18</sup>, ementa do curso e livros didáticos de Engenharia Industrial Elétrica. Essa análise tem por objetivo investigar as restrições dos alunos na resolução dos tipos de tarefas de trazidas nos Livros Didáticos (LD).

Nessa ótica, almeja rastrear a trajetória do saber circuitos elétricos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$  em  $cc$  para verificar como este saber está posto nos documentos referenciais, analisar suas praxeologias, para verificarmos como nosso problema didático se situa, levando em consideração os instrumentos normativos deste saber para análise das organizações matemáticas e física para o saber em estudo.

#### 5.1 Estrutura curricular do curso do Engenharia Elétrica.

A estrutura curricular do curso de Engenharia Industrial Elétricas do IFBA se baseia no Projeto Pedagógico Institucional<sup>19</sup> do IFBA, nas Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Engenharia<sup>20</sup>, nos Referenciais Nacionais dos cursos de Engenharia<sup>21</sup> e demais legislações pertinentes já referenciadas anteriormente.

As Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Graduação em Engenharia foram desenvolvidas com o objetivo de ser um norteador pedagógico que visa auxiliar a prática docente. A partir das DNC, foi elaborada a organização curricular do curso de Engenharia Industrial Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), bem como a maneira como estes temas podem ser abordados junto aos alunos.

---

<sup>17</sup> Disponível em <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf>

<sup>18</sup> Disponível em <http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/referenciais.pdf>

<sup>19</sup> Disponível em [https://portal.ifba.edu.br/juazeiro/copy\\_of\\_documentos/ppi\\_-\\_ifba.pdf/view](https://portal.ifba.edu.br/juazeiro/copy_of_documentos/ppi_-_ifba.pdf/view)

<sup>20</sup> Disponível em <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf>

<sup>21</sup> Disponível em <http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/referenciais.pdf>



Neste sentido, explicita a articulação das competências gerais que se deseja promover com os conhecimentos disciplinares e organizam as componentes curriculares em núcleo de conteúdos básicos, profissionais e específicos. Além disso, dispõem sobre a realização de Estágio Curricular e TCC. Esses conteúdos básicos são comuns a todas as ênfases (ou modalidades) da Engenharia Industrial Elétrica, a saber: Controle e Automação, Eletrotécnica e Telecomunicações.

Essa análise será restrita ao 5º semestre do curso de Engenharia Industrial Elétrica e relacionada ao conteúdo circuitos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$  em  $cc$  da disciplina Circuitos Elétricos I.

A disciplina Circuitos Elétricos I é parte integrante do núcleo de formação profissional e seu conteúdo forma o alicerce sobre o qual serão erguidas as demais disciplinas profissionalizantes. A análise aqui apresentada é um resumo das matemáticas e físicas ensinadas nos programas do IFBA. A escolha desta instituição se justifica pelo interesse revelado inicialmente na introdução deste trabalho.

A luz os pressupostos da TAD, a análise institucional é uma etapa importante para a construção de uma modelização matemática que considere os conceitos da física no saber a ser ensinado pelo professor. Esta apreciação possibilita entendermos a transposição didática do objeto investigado, ao verificarmos a distância entre o conhecimento ensinado pelo professor e o conhecimento apreendido pelo aluno. E, desse modo, permite compreendermos também como o saber matemático está sendo posto nestes documentos.

As instituições visitadas por nós foram: Projeto Pedagógico Institucional do IFBA (PPI), as Diretrizes Nacionais Curriculares (DNC) e dois livros didáticos adotados pelo IFBA e nos quais o saber circuitos elétricos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$  em  $cc$  está situado. Assumimos neste estudo o conceito de análise institucional tratada nesta pesquisa é norteado pela definição de Henriques et al (2012, p. 8).

Análise institucional é um estudo realizado em torno de elementos institucionais, a partir de inquietações/questões levantadas pelo pesquisador no contexto institucional correspondente, permitindo identificar as condições e exigências que determinam, nessa instituição, as relações institucionais e pessoais a objetos do saber, em particular, os objetos matemáticos, as organizações ou *praxeologias* desses objetos que intervêm no processo ensino/aprendizagem.

As Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) foram criadas com a finalidade de fornecer orientações sobre como o conhecimento deve ser abordado, orientando instituições e professores, e designando quais competências devem ser trabalhadas nas diversas

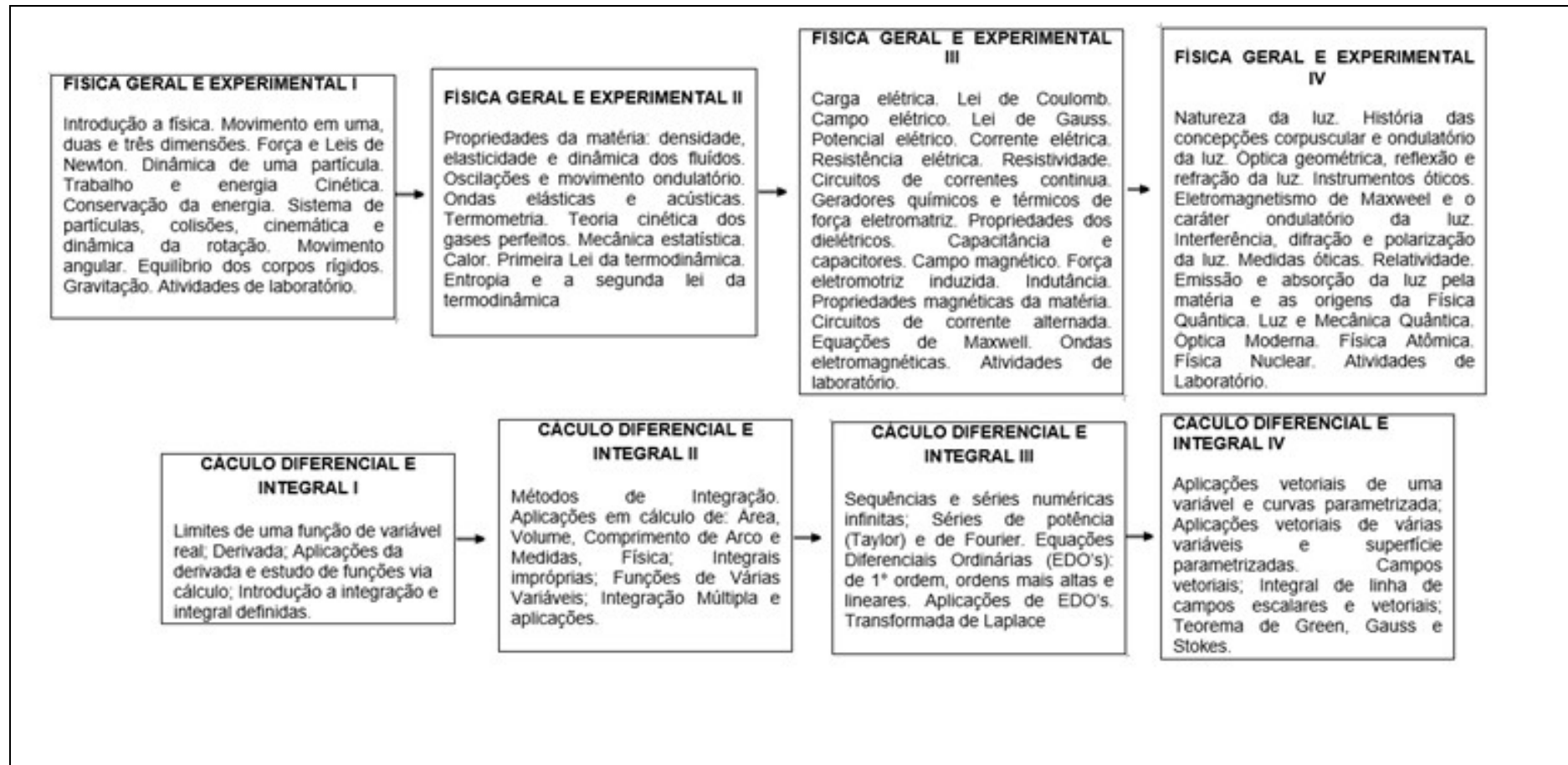
modalidades de ensino. A disciplina Circuitos Elétricos I, tem como pré-requisito<sup>22</sup> as disciplinas chamadas Cálculo Diferencial e Integral III e Física Geral e Experimental III alocadas no quarto semestre.

Consideramos importante investigar os documentos citados por fazerem parte da realidade das escolas brasileiras de engenharia, sugerindo e orientando os currículos em seus conteúdos, temas e metodologias aplicadas. De acordo com as DNC, as disciplinas Cálculo Diferencial e integral, Física Geral e Experimental e Circuitos Elétricos I, estão presentes nos primeiros cinco semestres de formação em Engenharia Industrial Elétrica (Quadro 22), habitat de circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc.

---

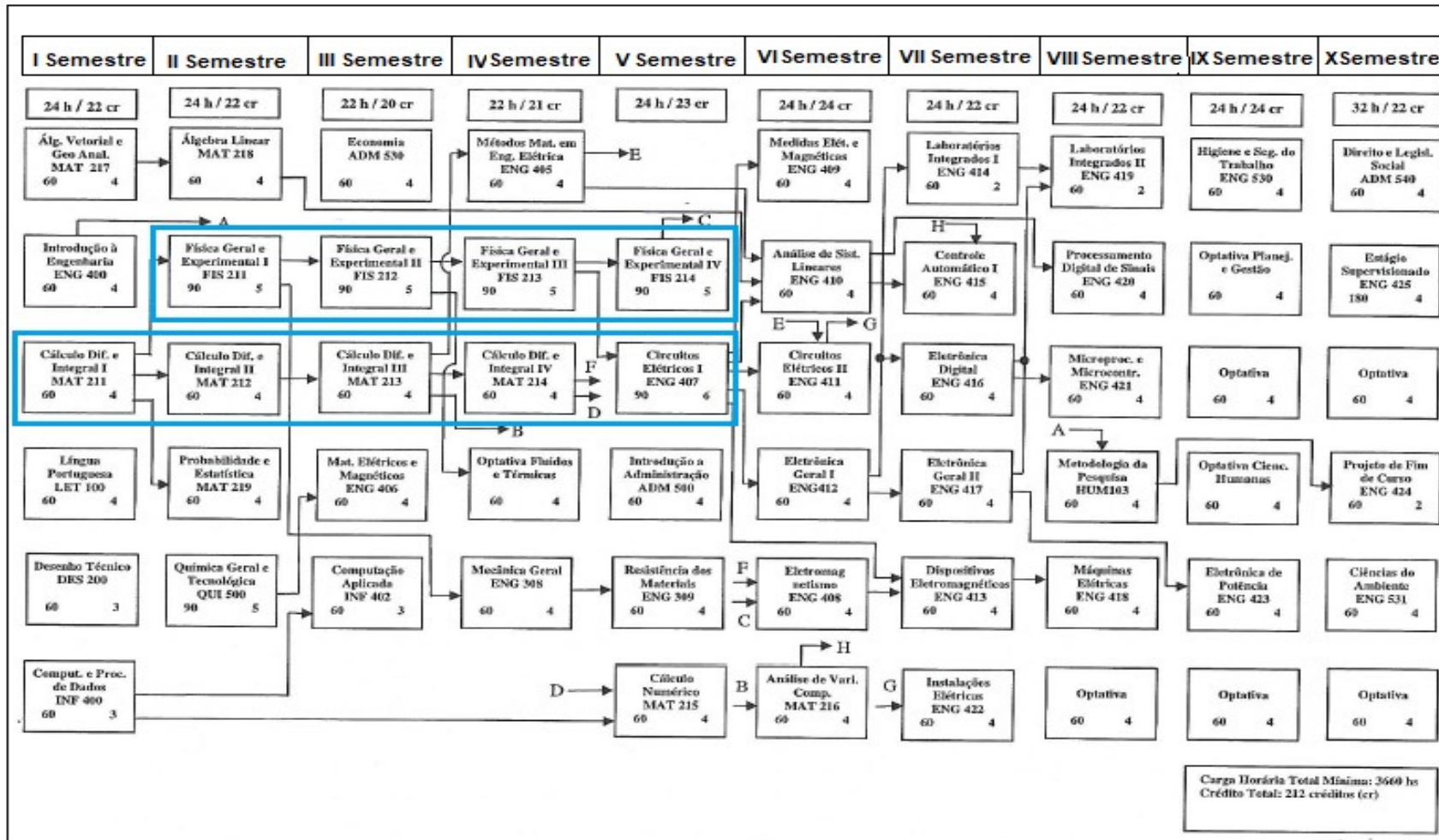
<sup>22</sup> Pré-requisitos - Disciplinas cursadas obrigatoriamente antes da disciplina Circuitos Elétricos I, por envolver conhecimentos prévios necessários ao seu estudo.

Quadro 22 - Disciplinas iniciais do curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA.



Fonte: Currículo do curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA.

Quadro 23 - Grade curricular do curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA - Frente



Fonte: Currículo do curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA.

Quadro 24 - Grade curricular do curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA - Verso

<b>Disciplinas Optativas e Eletivas</b>				
<b>Ênfase em Controle e Automação - Disciplinas Optativas:</b>				
Disciplinas	Código	Hora	Crd	Pré-requisitos
Sistemas Mecatrônicos	ENG427	60 h	4	ENG415
Automação de Sistemas Elétricos	ENG428	60 h	4	ENG415, ENG411
Controle Digital	ENG429	60 h	4	ENG415, ENG420
Introdução aos Processos Estocásticos	ENG430	60 h	4	MAT219, ENG405
Identificação de Sistemas	ENG431	60 h	4	ENG415, ENG420, ENG430
Controle Automático II	ENG432	60 h	4	ENG415
Instrumentação Industrial	ENG433	60 h	4	ENG415
Sistemas de Automação de Proc. Cont.	ENG437	60 h	4	ENG415
Sistemas Digitais	ENG435	60 h	4	ENG416
Tópicos Especiais em Automação e Controle	ENG438	60 h	4	A DEFINIR
<b>Ênfase em Telecomunicações – Disciplinas Optativas:</b>				
Disciplinas	Código	Hora	Crd	Pré-requisitos
Comunicações Ópticas	ENG426	60 h	4	ENG408
Comunicações Digitais	ENG439	60 h	4	ENG430
Princípios de Comunicações	ENG440	60 h	4	ENG430
Microrondas	ENG441	60 h	4	ENG442
Antenas e Propagação	ENG442	60 h	4	ENG408
Sistemas Telefônicos	ENG443	60 h	4	MAT219, ENG416
Introdução aos Processos Estocásticos	ENG430	60 h	4	MAT219, ENG405
Redes de Computadores	ENG434	60 h	4	INF402
Tópicos Especiais em Telecomunicações	ENG445	60 h	4	A DEFINIR
<b>Ênfase em Eletrotécnica – Disciplinas Optativas:</b>				
Disciplinas	Código	Hora	Crd	Pré-requisitos
Sistemas Elétricos	ENG446	60 h	4	ENG411
Geração de Energia Elétrica	ENG447	60 h	4	ENG418, ENG411
Distribuição de Energia Elétrica	ENG448	60 h	4	ENG411
Transmissão de Energia Elétrica	ENG449	60 h	4	ENG411
Proteção de Sistemas Elétricos	ENG450	60 h	4	ENG452
Automação de Sistemas Elétricos	ENG428	60 h	4	ENG415, ENG411
Qualidade de Energia Elétrica	ENG451	60 h	4	ENG446, ENG423
Análise Dinâmica de Sistemas Elétricos	ENG452	60 h	4	ENG411
Eficiência Energética	ENG436	60 h	4	ENG418, ENG 422
Subestações	ENG453	60 h	4	ENG411
Tópicos Especiais em Eletrotécnica	ENG455	60 h	4	A DEFINIR
<b>Optativas de Fluidos e Térmicas:</b>				
Disciplinas	Código	Hora	Crd	
Mecânica dos Fluidos	ENG520	60 h	4	
Termodinâmica Geral	ENG521	60 h	4	
<b>Disciplinas Eletivas:</b>				
Disciplinas	Código	Hora	Crd	
Inglês Instrumental	LET102	60 h	4	
Espanhol Instrumental	LET103	60 h	4	
Francês Instrumental	LET104	60 h	4	
<b>Optativas das Ciências Humanas:</b>				
Disciplinas	Código	Hora	Crd	
Psicologia Aplicada ao Trabalho	HUM102	60 h	4	
Sociologia	HUM101	60 h	4	
Filosofia	HUM100	60 h	4	
<b>Optativas de Planejamento e Gestão:</b>				
Disciplinas	Código	Hora	Crd	
Planej. e Contr. da Produção	ENG326	60 h	4	
Gestão da Qualidade	ADM512	60 h	4	
Gerência da Produção	PMO301	60 h	4	

Fonte: Currículo do curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA.

O fluxograma apresentado nos quadros 23 e 24, representa numa perspectiva ecológica, o lugar em que o saber circuitos rl, rc e rlc em cc, aparece com status de objeto a ser ensinado.

As disciplinas Cálculo Diferencial e Integral I, II e III ofertadas nos primeiro, segundo e terceiro semestres acadêmicos e Física Geral e Experimental I, II e III ofertadas nos segundo, terceiro e quarto semestres acadêmicos da matriz curricular do IFBA, com o objetivo de fornecer aos estudantes ferramentas para a disciplina Circuitos Elétricos I ofertada no quinto semestre acadêmico, local onde o saber em estudo tem vida na instituição Engenharia Industrial Elétrica.

Praticar o ensino de engenharia configura-se tarefa de grande responsabilidade num mundo que é movido pelos feitos da ciência e da tecnologia com acesso aos conhecimentos socialmente construídos. Segundo a TTD, faz-se necessário que o saber acadêmico presente nos documentos oficiais, sofram uma transformação para o saber a ensinar, caracterizado como a *noosfera*. Assim, fizeram parte da *noosfera* os técnicos do MEC e consultores, especialmente contratados, para a discussão e preparação do documento, e professores do IFBA.

Por força da inércia natural nas relações humanas, pode-se admitir, que entre transformar o saber a ser ensinado em saber ensinado existe uma longa trajetória, representada pela resistência do professor (e/ou comunidade escolar) em romper com paradigmas educacionais já enraizados que privilegiam o “repasse” de conhecimentos e a repetição de experiências dos mestres. Porém, mudança incontestável sofrida no comportamento da civilização humana, favorece a formação de profissionais com uma visão crítica, criativa e inovadora, com capacidade e hábito de pesquisar. O estímulo ao pensamento crítico capacita os alunos a se apropriarem de suas próprias histórias, propicia as condições que lhes dão a oportunidade de falar com suas próprias vozes, suas próprias experiências.

Essa comprovação direciona de forma acentuada a necessidade de mudança na relação professor-aluno no âmbito da academia e da comunidade como um todo.

As observações realizadas no conteúdo da pesquisa no domínio das DCN, visualizam uma ementa que não apresenta, de forma clara e sequencial, os conteúdos específicos dos conceitos, saberes e conhecimentos da área de engenharia elétrica que devem ser desenvolvidos no ambiente da sala de aula. Elas apenas sugerem um ementário com carga horária de 90 horas/aulas a ser desenvolvido na disciplina Circuitos Elétricos I com a

ementa: Circuitos resistivos; leis de Ohm e Kirchhoff; Teoremas de redes lineares; Capacitância e Indutância; Circuitos de primeira ordem; Circuitos de segunda ordem; Excitação senoidal em regime permanente; Frequência complexa; funções de rede e quadripolos; Circuitos acoplados e Introdução aos circuitos Trifásico, desenvolvido em uma abordagem significativa, contextualizada em ambientes de Engenharia e situada dentro de um contexto histórico e social.

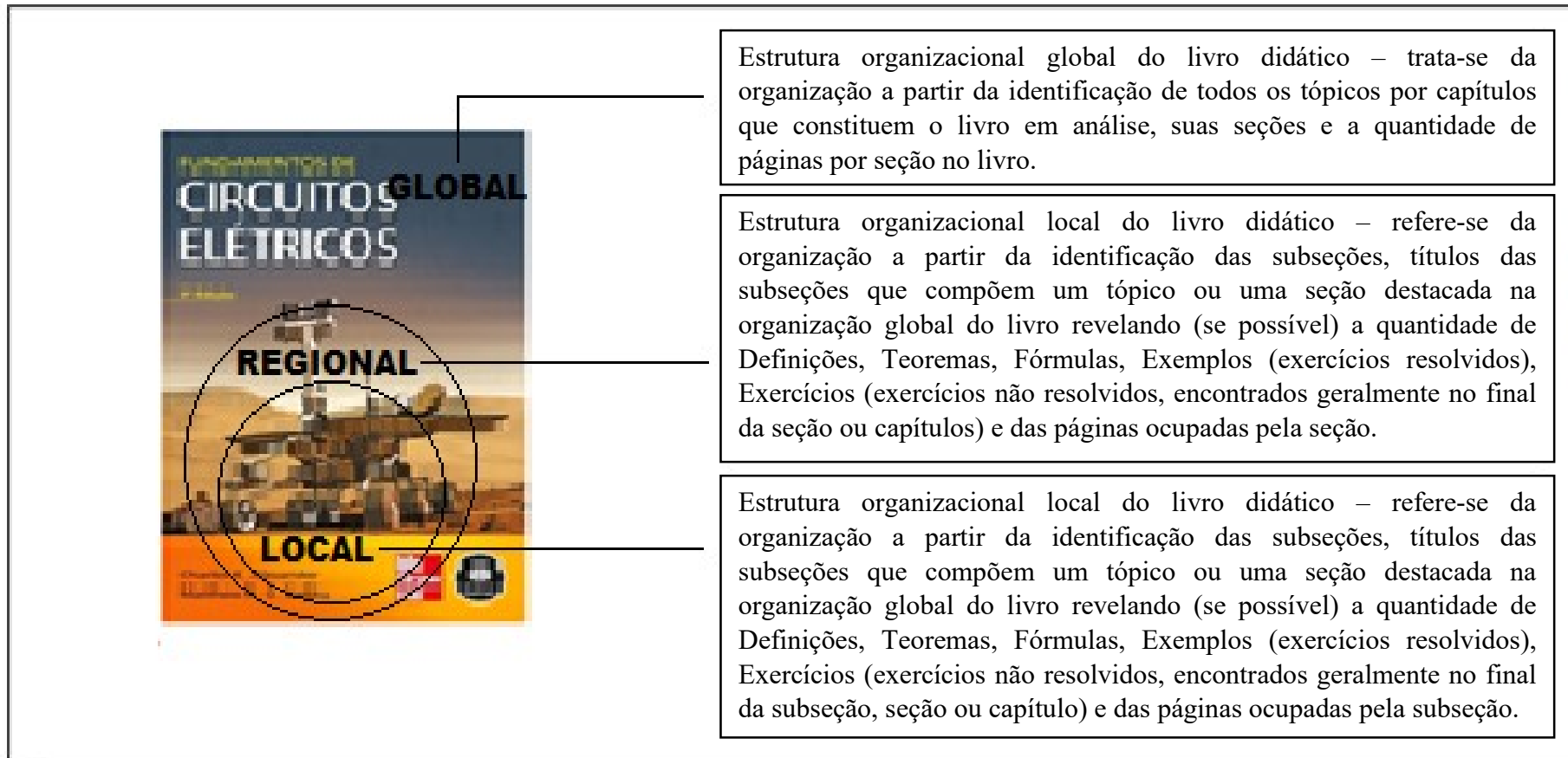
Segundo as DCN, o aprendizado baseado em metodologias ativas que nos pressupostos da TAD é contemplada com a dialética dos ostensivos e não ostensivos, cuja solução de situações problema, atividades que exijam conhecimentos prévios são alguns dos instrumentos que podem ser acionados para elevar a melhoria da aprendizagem do aluno.

Essas observações coadunam com a pesquisa em curso, onde as DCN estabelecem que o processo de ensino e aprendizagem escolar deve objetivar uma metodologia participativa, através da qual os conhecimentos prévios dos alunos precisam ser levados em consideração, sendo a sala de aula e seu entorno, o ambiente propício para o desenvolvimento de situações didáticas.

## 5.2 Análise dos objetos circuitos rl, rc e rlc em cc nos livros didáticos

A análise efetuada nos LDs restringe-se aos capítulos que tratam de circuitos de primeira ordem (circuitos rc e rl) e segunda ordem (circuito rlc) e torna possível a ligação entre os elementos característicos da relação institucional e o objeto estudado, assim como das exigências institucionais e das organizações propostas em torno desse objeto. Nessa análise consideramos três estruturas organizacionais ou organizações didáticas: global, regional e local conforme o esquema do Quadro 25.

**Quadro 25** - Estruturas organizacionais do livro didático.



Fonte: HENRIQUES; NAGAMINE; NAGAMINE, 2012, p.1272, adaptado pela autora.



Essas estruturas viabilizam uma visão geral dos objetos de estudo propostos nos livros em análise. Essa análise restringe-se a parte dessas estruturas. Essa restrição favorece a consolidação dos conhecimentos em torno da praxeologia correspondente.

Os livros analisados são elementos do currículo do curso de Engenharia Industrial Elétrica, são frequentemente indicados entre os livros que compõem a bibliografia principal do curso, estão entre os livros mais procurados pelos alunos na biblioteca, o que nos direcionou a um dos critérios de escolha para análise dos livros didáticos. Outros critérios adotados na escolha foram baseados na formação acadêmica e profissional dos autores: o livro *Fundamentos de Circuitos Elétricos* é de autoria de Charles K. Alexander.

Trata-se de um livro da editora AMGH Editora Ltda. a qual possui livros para todos os semestres do ensino superior de Engenharia. O livro foi publicado em 2013 e trata-se do exemplar do aluno; é composto por dezenove capítulos, indicação de leituras, bibliografia, respostas dos problemas ímpares, glossário e usados hipertextos como ferramenta pedagógica e compõe a bibliografia básica da disciplina Circuitos Elétricos I.

O segundo livro escolhido, *Introdução aos Circuitos Elétricos*, faz parte de um acervo organizado e publicado pela editora LTC - Livros Técnicos e Científicos, composta entre outros de livros para o ensino superior de Engenharia, de autoria de Richard C. Dorf. O livro foi publicado em 2012; trata-se do exemplar do aluno e é composto por dezessete capítulos, seguidos de exercícios com respostas para as questões ímpares e integra a bibliografia básica da disciplina Circuitos Elétricos I.

Para facilitar a compreensão das citações desses materiais didáticos, utilizaremos a partir dos próximos parágrafos as letras A e B para nomear, respectivamente, os livros *Fundamentos de Circuitos Elétricos* e *Introdução aos Circuitos Elétricos*.

Para conduzir a nossa análise, optamos por apresentar, inicialmente, a estrutura organizacional global dos livros A e B, a fim de localizarmos o habitat (lugar de vida) dos circuitos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$ . Localizado esse lugar, descreveremos sua organização para obtermos uma visão geral desse objeto de ensino, para, em seguida, analisarmos em detalhe, as seções onde se encontram os objetos de estudo, a parte do curso e a das tarefas propostas, as técnicas disponíveis para resolvê-las e suas justificativas tecnológico-teóricas. O objetivo é colocar em evidência os tipos de tarefas institucionais propostas aos estudantes, através dos documentos oficiais vigentes na instituição.

Analisamos os livros didáticos, para identificarmos a organização praxeológica presente na introdução sobre o conceito de circuitos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$ . Os livros adotados compõem a Bibliografia principal do curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA *campus* Salvador:

Fundamentos de Circuitos Elétricos, autores Charles K. Alexander e Matthew N. Olanipekun Sadiku figura 10.a e Introdução aos Circuitos Elétricos, autores Richard C. Dorf e James A. Svoboda (Figura 10.b).

**Figura 24** - a e b Obras analisadas



**Fonte:** Projeto Político Pedagógico do Curso de Engenharia Industrial Elétrica do IFBA.

Os LD são usados como instrumentos de controle de conhecimentos e caracterizam-se pela preocupação dos autores com a inteligibilidade do texto pelo leitor para o qual foi escrito. Mesmo assim, faz-se necessária uma transposição do saber a ensinar contido nos LD's para o saber a ser ensinado na sala de aula tornando adequada a compreensão dos alunos. Portanto, a função primordial dos LD, é voltada ao ensino e a aprendizagem. Por destinar-se à formação profissional dos alunos, os capítulos 7 e 8 do livro A e os capítulos 8 e 9 dos livros B, tratam dos circuitos  $rl$ ,  $rc$ , e  $rlc$  em cc objetos desta investigação.

Os LD mencionados agregam em seu conteúdo, pressupostos necessários à formação profissional do engenheiro eletricista, entre os quais, destacamos segundo CHOPPIN (2004): a função da informação, também chamada de curricular ou programática, por meio da qual o livro representa os conteúdos educativos, o depositário dos conhecimentos, técnicas ou habilidades necessárias à formação profissional do engenheiro eletricista; a função instrumental, na qual o livro didático põe em prática métodos de aprendizagem, propondo exercícios ou atividades que, segundo o contexto, visam facilitar a memorização dos conhecimentos e a apropriação de método de análise ou resolução de problemas; a função ideológica (ou cultural), a qual considera o livro como elemento de construção das identidades para os Estados Nacionais, transmitindo os valores da língua, cultura e das classes

dirigentes e doutrinando as jovens gerações e a função documental, que torna o livro didático um repositório de fontes para uso dos alunos.

### 5.3 Organização dos livros didáticos - LD

Essa análise possibilita o acesso aos elementos característicos da relação institucional com o objeto do ensino visado, bem como das exigências institucionais e das organizações propostas em torno desse objeto.

Estes livros foram escritos para um curso de Análise de Circuitos Lineares de dois semestres e, portanto, o professor deve selecionar os capítulos e as seções que serão estudados de acordo com os documentos oficiais. Os livros estão estruturados por três partes:

- A **Parte 1**, constituída respectivamente pelos Capítulos de 1 a 8 no livro A e Capítulos 1 a 9 no livro B são destinadas a circuitos de corrente constante (CC) e abrangem as leis e teoremas fundamentais, técnicas de análise de circuitos, assim como elementos ativos<sup>23</sup> e passivos<sup>24</sup>.
- A **Parte 2**, contendo os Capítulos de 9 a 14 do livro A e de 10 a 13 do livro B tratam de circuitos de corrente alternada (CA). Ela introduz fatores, análise em regime estacionário senoidal, energia elétrica CA, valor eficaz, sistemas trifásicos e resposta de frequência.
- A **Parte 3**, formada pelos Capítulos de 15 a 19 do livro A e de 14 a 17 do livro B é dedicada a técnicas avançadas para análise de circuitos. Essa parte fornece aos estudantes uma introdução sólida à transformada de Laplace, séries de Fourier, transformada de Fourier e análise de circuitos de duas portas (quadripolos).

### 5.4 Estrutura organizacional global dos livros didáticos

Os livros analisados são editados na língua portuguesa. Apresentamos, nesta pesquisa, a organização global do LD A composto de 19 capítulos e o LD B composto de 17 capítulos.

As tabelas 1 e 2, apresentam os 19 capítulos do LD A dos quais 2 capítulos são dedicados aos objetos de estudo da pesquisa e dos 17 capítulos do LD B, 2 capítulos são dedicados ao nosso objeto de estudo. As tabelas 1 e 2, descrevem os títulos dos capítulos que

---

<sup>23</sup> Elementos ativos são elementos de circuitos elétricos que fornecem energia ao circuito tal como as fontes ou geradores.

<sup>24</sup> Elementos passivos são os elementos que apenas interagem com essa energia de alguma maneira, dissipando-a em forma de calor, tais como os resistores, ou armazenando-a como os capacitores e indutores.

compõem os livros analisados, números de seções e quantidade de páginas ocupadas pelos assuntos de cada capítulo.

**Tabela 1** - Estrutura organizacional Global do Livro didático A

<b>Capítulos</b>	<b>Assuntos</b>	<b>Sessões</b>	<b>Páginas</b>
01	Conceitos básicos	09	25
02	Leis básicas	09	43
03	Métodos de análise	10	42
04	Teoremas de circuitos	11	42
05	Amplificadores operacionais	11	23
06	Capacitores e indutores	07	34
<b>07</b>	<b>Circuitos de primeira ordem</b>	<b>10</b>	<b>53</b>
<b>08</b>	<b>Circuitos de segunda ordem</b>	<b>12</b>	<b>52</b>
09	Senóides e fasores	09	39
10	Análise em regime estacionário senoidal	10	27
11	Análise de potência em CA	10	39
12	Circuitos trifásicos	11	45
13	Circuitos de acoplamento magnético	10	58
14	Resposta de frequência	13	53
15	Introdução à transformada de Laplace	07	33
16	Aplicações de transformada de Laplace	07	41
17	Séries de Fourier	09	49
18	Transformada de Fourier	08	37
19	Circuitos de duas portas	10	50
Apêndice A	Equações simultâneas e inversão de matrizes	--	01
Apêndice B	Números complexos	--	10
Apêndice C	Fórmulas matemáticas	--	09
Apêndice D	Respostas para os problemas ímpares	--	06
Referências		--	25
Índice		--	03

Fonte: SWOKOWSKI, 1994 adaptado pela autora.

**Tabela 2** - Estrutura organizacional Global do Livro didático B

<b>Capítulos</b>	<b>Assuntos</b>	<b>Sessões</b>	<b>Páginas</b>
01	Variáveis dos circuitos elétricos	09	17
02	Componentes de circuitos	12	39
03	Circuitos resistivos	10	49
04	Método de análise de circuitos resistivos	13	49
05	Teoremas de Circuitos elétricos	11	55

06	Amplificador operacional	12	47
07	Elementos de armazenamento de energia	13	50
08	Resposta completa de circuitos RL e RC	12	54
09	Resposta completa de circuitos com dois elementos de armazenamento de Energia.	13	43
10	Análise de circuitos no Regime Estacionário Senoidal	18	76
11	Potência no Regime Estacionário Senoidal	13	55
12	Circuitos trifásicos	11	32
13	Resposta em frequência	10	61
14	Transformada de Laplace	14	62
15	Série de Fourier e Transformada de Fourier	16	57
16	Filtros elétricos	09	35
17	Circuitos de duas portas	10	23
Apêndice A	Introdução ao SPICE	--	03
Apêndice B	MATLAB, matrizes e números complexos	--	11
Apêndice C	Fórmulas matemáticas	--	03
Apêndice D	O código de cores dos resistores	--	02
Referências		--	02
Índice		--	04

Fonte: SWOKOWSKI, 1994 adaptado pela autora.

Os capítulos são divididos em seções: no LD A o número de seções varia entre os capítulos que possuem de sete a treze seções, com uma média aritmética de 9 seções e finaliza cada capítulo com exercícios propostos para os quais os números ímpares têm respostas sumárias, no final do livro; o número de seções do LD B varia entre nove e dezoito, com uma média de aproximadamente 19,8 seções, terminado por exercícios que de forma aleatória fornecem algumas respostas no final do enunciado dos mesmos. Podendo estes serem ímpar ou par. Cada seção representa o menor segmento orgânico do LD, isto é, a menor parte da obra organizada por:

- Parte textual (texto principal)
- Leitura de imagens
- Exemplos
- Exercícios propostos.

Para que possamos realizar a organização praxeológica aspirada quanto ao saber circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc, estabeleceremos uma organização praxeológica em

relação à praxeologia matemática regional, aqui representada pelos capítulos 7 e 8 do LD A e capítulos, no qual é abordado o ensino de Probabilidade.

Em todo o LD A os se iniciam capítulos seções com um texto intitulado Progresso profissional seguido de uma introdução que tem em média meia folha sobre o assunto do conteúdo dos objetos dos capítulos que são ilustrados por circuitos elétricos, gráficos, definições e fórmulas. As seções são numeradas de forma contínua ao longo do capítulo (seção 7.1, 7.2 etc.). As figuras exercem, por conseguinte, um papel isolado do corpo do texto. À parte a teoria começa com o título de cada nova seção e nela intercalam-se os exemplos, que são exercícios resolvidos, numerados de forma contínua.

Em todo o livro há uma margem de 7,6 à esquerda nas páginas ímpares e à direita nas páginas pares e 20,60 cm de largura para o texto. Essa margem nas páginas destinadas aos exercícios não resolvidos é, geralmente, utilizada para ilustração de figuras em preto e branco e nas figuras de circuito, as fontes de tensão e de corrente são azul-claro.

Os títulos dos enunciados: *definições* são enquadrados com um fundo azul claro; as fórmulas enquadradas com fundo branco. O título do enunciado revela o objeto da seção e apresenta o Perfil Histórico do cientista da teoria presente na seção.

No LD B os capítulos e seções iniciam com uma introdução que tem em média meia folha sobre o conteúdo dos objetos dos capítulos que são ilustrados por circuitos elétricos, gráficos, definições e fórmulas. As seções são numeradas de forma contínua ao longo do capítulo (seção 8.1, 8.2 etc.). A teoria começa com o título de cada nova seção nos LD's A e B e nela intercalam-se os exemplos, que são exercícios resolvidos, numerados de forma contínua e apresentados da seguinte forma:

- LD A - EXEMPLO x.z e LD B - EXEMPLO x.y.z - enunciado onde x é o número do capítulo, y é o número da seção e z é o número do exemplo.
- SOLUÇÃO sequência de uma solução detalhada dos exemplos.

No final de cada seção os autores dos LD A e B, apresentam um resumo do conteúdo apresentado.

Os exercícios propostos são disponibilizados no final dos LD com respostas rápidas para os exercícios de número ímpar no LD A e respostas rápidas aleatórias para o LD B podendo as mesmas serem de exercícios ímpares ou pares.

Em geral, alguns exercícios são sequenciados e agrupados por pacotes correspondentes a um mesmo tipo de *tarefas*. Podemos, por conseguinte, dizer que os exercícios propostos são elaborados em pacotes com mesmos tipos de tarefas para que,

através da repetição o estudante mobilize os conhecimentos propostos na parte textual dos LD's, assim como, as técnicas necessárias na resolução de *tarefas* selecionadas.

O trabalho do estudante é limitado e reduzido à aplicação de técnicas para *tarefas* identificadas colocadas em evidência no decorrer do *Curso e subtarefas* são eliminadas. Por exemplo: *na tarefa calcular a tensão em um capacitor*, é eliminada da prática efetiva do estudante a tarefa de estabelecer essa tensão. Com efeito, uma interpretação física e matemática da tarefa permite mobilizar conhecimentos de cálculo de derivadas. Com a eliminação dessas tarefas, sobra, para o estudante, apenas a tarefa de realizar os cálculos.

Nos LD analisados os problemas/tarefas são apresentados numa sequência de grau de dificuldade que se aprofunda gradativamente até os problemas/tarefas mais complexos

### 5.5 Estrutura organizacional regional do livro didático

A organização regional permite evidenciar os objetos de estudo tratados em um determinado capítulo dos livros em análise. No nosso caso, nos referimos aos capítulos 7 e 8 do LD A (Tabela 3 e 4) e capítulos 8 e 9 do LD B (Tabela 4 e 5), que tratam do estudo dos circuitos RL, RC e RLC, organizado como segue:

**Tabela 3 - Estrutura organizacional Regional do Livro didático A**

<b>Capítulo 7 – Circuitos de primeira ordem</b>							
<b>Seção</b>	<b>Título da seção</b>	<b>Def</b>	<b>For</b>	<b>Ex</b>	<b>Exc</b>	<b>Pc</b>	<b>P</b>
7.1	Introdução	--	--	--	--	--	2/3
<b>7.2</b>	<b>Circuito RC sem fontes</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
<b>7.3</b>	<b>Circuito RL sem fontes</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>5</b>
<b>7.4</b>	<b>Funções de singularidade</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>8</b>
<b>7.5</b>	<b>Resposta a um degrau de um circuito RC</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>6</b>
<b>7.6</b>	<b>Resposta a um degrau de um circuito RL</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>6</b>
7.7	*Circuitos de primeira ordem com amplificador operacional.	2	2	4	8	3	8
7.8	Análise de transiente usando o <i>PSpice</i>	--	--	3	4	1	1
7.9	Aplicações	--	--	5	8	2	3
7.9.1	Circuitos de retardo	--	--	3	5	2	2
7.9.2	Flash eletrônico para câmeras fotográfica	--	--	2	1	1	½
7.9.3	Circuitos a relé	--	--	2	1	1	1

7.10	Resumo	--	--	--	--	--	2
	Questões para revisão	--	--	8	12	3	4
	Problemas	--	--	--	90	14	10

Def=Definições, For=Fórmulas, Ex=Exemplos, Exc=Exercícios, Pc=Pacotes, P=Páginas

Fonte: Fonte: SWOKOWSKI, 1994 adaptado pela autora.

Tabela 4 - Estrutura organizacional Regional do Livro didático A

Capítulo 8 – Circuitos de segunda ordem							
Seção	Título da seção	Def	For	Ex	Exc	Pc	P
8.1	Introdução	--	--	--	--	--	2/3
8.2	Determinação dos valores inicial e final	1	2	2	11	3	4
8.3	<b>Circuito RLC em série sem fonte</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>7</b>
8.4	<b>Circuito RLC em paralelo sem fonte</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>7</b>
8.5	<b>Resposta a um degrau de um circuito RLC em série</b>	--	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>6</b>
8.6	<b>Resposta a um degrau de um circuito RLC em paralelo</b>	--	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
8.7	<b>Circuitos de segunda ordem gerais</b>	--	--	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
8.8	* Circuitos de segunda ordem contendo amplificadores operacionais.	--	3	5	11	3	5
8.9	Análise de circuitos RLC usando o <i>PSpice</i>	--	--	4	6	2	5
8.10	Dualidade	--	--	3	4	2	3
8.11	Aplicações	--	--	4	4	1	1
8.11.1	Sistema de ignição de automóveis	--	--	4	4	1	1
8.11.2	Circuitos suavizador	--	--	1	--	1	½
8.12	Resumo	--	--	--	--	--	½
	Questões para revisão	--	--	--	10	3	1
	Problema	--	--	--	79	2	9
	Problemas abrangentes	--	--	--	4	2	½

Def=Definições, For=Fórmulas, Ex=Exemplos, Exc=Exercícios, Pc=Pacotes, P=Páginas

Fonte: SWOKOWSKI, 1994 adaptado pela autora.

Tabela 5 - Estrutura organizacional Regional do Livro didático B

Capítulo 8 – A resposta Completa de Circuitos RL e RC							
Seção	Título da seção	Def	For	Ex	Exc	Pc	P
8.1	Introdução	--	--	--	--	--	1/2



8.2	<b>Circuitos de primeira ordem</b>	3	1	8	2	1	3
8.3	<b>Resposta de um circuito de primeira ordem a uma Entrada Constante</b>	--	4	8	29	4	5
8.4	<b>Comutação sequencial</b>	1	--	--	7	2	1
8.5	<b>Estabilidade de um Circuito de primeira ordem</b>	--	--	2	4	2	½
8.6	<b>Fontes do tipo degrau</b>	--	--	2	27	4	3 ½
8.7	<b>Resposta de um circuito de primeira ordem e uma fonte variável</b>	--	--	2	14	2	2
8.8	<b>Operadores diferenciais</b>	--	--	3	4	2	1
8.9	Uso de PSpice para analisar circuitos de primeira ordem	--	--	1	4	2	1/2
8.10	Como podemos testar...?	--	--	2	--	--	1/2
8.11	Exemplo de projetos: Computador e impressora	--	--	2	6	3	1
8.12	Resumo						1/2
	Problemas	--	--	--	52	8	11
	Problemas com PSpice	--	--	--	4	2	1/2
	Problemas de projetos	--	--	--	6	3	1

Def=Definições, For=Fórmulas, Ex=Exemplos, Exc=Exercícios, Pc=Pacotes, P=Páginas

Fonte: SWOKOWSKI, 1994 adaptado pela autora

**Tabela 6 - Estrutura organizacional Regional do Livro didático B**

**Capítulo 9 – A resposta Completa de Circuitos RLC**

Seção	Título de seção	Def	For	Ex	Exc	Pc	p
9.1	Introdução	--	--	--	--	--	1
9.2	<b>Equação diferencial de Circuito com dois elementos que armazenam energia.</b>	--	2	2	23	3	4
9.3	<b>Solução de uma equação diferencial de segunda ordem: A resposta natural.</b>	2	1	1	18	2	5
9.4	<b>Resposta natural de um circuito RLC paralelo não forçado.</b>	--	--	1	14	2	3
9.5	<b>Resposta natural de um circuito RLC paralelo não forçado criticamente amortecido.</b>	--	1	--	11	2	5
9.6	<b>Resposta natural de um circuito RLC paralelo não forçado subamortecido.</b>	--	1	1	19	3	3
9.7	<b>Resposta forçada de um circuito RLC.</b>	--	5	2	8	2	6
9.8	<b>Resposta completa de um</b>						

	<b>circuito RLC.</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>1/2</b>
9.9	Método de variável de estado.	--	--	1	5	1	5
9.10	Raiz no plano complexo	--	--	--	1	1	1
9.11	Como podemos testar...?	--	--	1	--	1	1
9.12	Exemplo de projetos: Ignitor de airbag	--	--	--	1	1	1
9.13	Resumo						1/2
	Problemas	--	--	--	72	12	12
	Problemas com PSpice	--	--	--	4	2	1
	Problemas de projetos	--	--	--	2	1	1/2

Def=definições, For=Fórmulas, Ex=Exemplos, Exo=Exercícios, Pc=Pacotes, P=Páginas

Fonte: SWOKOWSKI, 1994 adaptado pela autora.

A estrutura organizacional regional dos capítulos 7 e 8, do LD A e capítulos 8 e 9 do LD B são organizados por algumas seções conforme apresentados nas Tabelas 3 e 4; 5 e 6, sendo o ponto crucial da nossa análise a estrutura organizacional local dos LD nas seções dos capítulos mencionados, a saber: seções 7.2, 7.3, 7.5, 7.6, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6 e 8.7 do LD A e 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5, 9.6, 9.7 e 9.8 do LD B.

Em cada capítulo, os exercícios (Exo) não resolvidos que se encontram no final, numa sequência agrupada por pacotes (Pc), que denotamos por  $T[tj, tk]$  com  $j \leq k$ ;  $j, k \in \mathbb{N}^{*25}$  e corresponde a um tipo de *tarefa*.

### 5.6 Análise local do livro didático: circuitos rl, rc e rlc

Desenvolver uma análise a respeito do livro didático é analisar sua organização matemática e didática. Como podemos observar na Tabela 3 o *habitat* de circuitos rl, rc no LD A é composto por 9 definições, 14 exemplos e 55 exercícios agrupados em 11 pacotes e no circuito rlc, 2 definições, 21 exemplos e 34 exercícios agrupados em 11 pacotes. No LD B, nos circuitos rl e rc contêm 3 definições, 5 fórmulas, 15 exemplos e 87 exercícios agrupados em 17 pacotes e no circuito rlc, 3 definições, 9 exemplos e 103 exercícios agrupados em 16 pacotes. Para iniciar o curso dos circuitos ditos de memória, ou seja, circuitos rl, rc e rlc, os autores do LDA e B discorrem os passos abaixo:

- Apresentam definições que facilitaram o estudo da resposta de circuitos de primeira ordem.

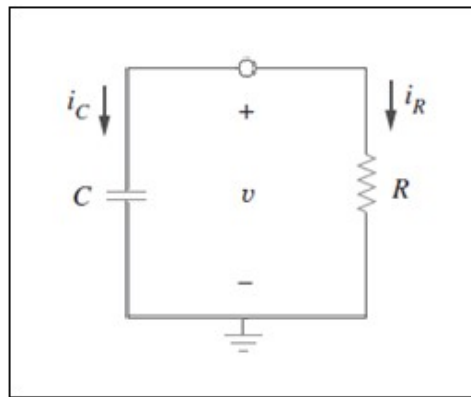
<sup>25</sup>  $\mathbb{N}^* = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, \dots\}$  O conjunto dos números inteiros sem o zero.

- Analisam circuitos rl e rc com entradas que permaneceram constantes a partir de um tempo  $t_0$ .
- Analisam circuitos rl e rc que sofrem variações bruscas.
- Analisam circuitos rl e rc com entradas variáveis.
- Representa o circuito rlc por uma equação diferencial de segunda ordem.
- Obtêm a solução geral da equação homogênea que é a resposta natural  $x_n(t)$  e a solução particular que é a resposta forçada  $x_f(t)$  ambas constituem a resposta do circuito de segunda ordem  $x(t) = x_n(t) + x_f(t)$ .
- Usam as condições iniciais, como, por exemplo, os valores iniciais das correntes nos indutores e das tensões nos capacitores, para calcular constantes desconhecidas.

Para introduzir o ensino de *circuitos rc* o autor faz análise do circuito da Figura 16.

Para que possamos realizar a organização praxeológica aspirada quanto ao saber circuitos rl, rc e rlc em cc, estabeleceremos uma organização praxeológica em relação às praxeologias matemática e física regional, aqui representada pelos capítulos 7 e 8 do LD A e 8 e 9 do LD B, nos quais é abordado o ensino dos circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc.

**Figura 25** - circuito rc sem fonte



**Fonte:** SADIKU & ALEXANDER, p. 224, 2013.

Um circuito rc sem fonte ocorre quando sua fonte é desconectada abruptamente. A energia já armazenada no capacitor é liberada para os resistores. Consideremos uma associação em séries de um resistor e de um capacitor inicialmente carregado, conforme ilustrado na Figura 26. O objetivo dos autores é determinar a resposta do circuito que, por motivos pedagógicos, suporemos ser a tensão  $v(t)$  no capacitor. Uma vez que o capacitor está carregado inicialmente, podemos supor que no instante  $t = 0$  a tensão inicial seja:

$$v(0) = V_0$$

com o valor correspondente a energia armazenada igual a

$$w(0) = CV_0^2 \quad 5.1$$

Aplicando a LKC ao nó superior do circuito da figura 1, leva-nos a

$$i_C + i_R = 0 \quad 5.2$$

Por definição  $i_C = C \frac{dv}{dt}$  e  $i_R = \frac{v}{R}$ , portanto,

$$C \frac{dv}{dt} + \frac{v}{R} = 0 \quad (:C)$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{v}{CR} = 0$$

O uso de ferramentas retiradas da TAD (praxeologias) possibilita apontar e esclarecer questões didáticas sobre este tema e encontrar soluções para os problemas didáticos identificados.

$$\frac{dv}{v} = -\frac{1}{RC} dt$$

Integrando ambos os lados da equação, obtemos

$$\int \frac{dv}{v} = -\frac{1}{RC} \int dt$$

$$\ln \frac{v(t)}{V_0} = -\frac{t}{R} + \ln A$$

onde a variável  $A$ , é a constante de integração. Portanto

$$\ln \frac{v}{A} = -\frac{t}{RC}$$

expressando em potência de  $-\frac{t}{RC}$  temos

$$v(t) = A e^{-\frac{t}{RC}}$$

Porém, a partir das condições iniciais,  $v(0) = A = V_0$ ,

$$v(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad 5.3$$

como  $i(t) = \frac{v(t)}{R}$

$$i(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad 5.4$$

Estas são as equações da tensão e corrente sobre R, que determinam a respostas naturais do circuito.

Os autores demonstram a solução da EDO de primeira ordem considerando os conhecimentos prévios do aluno. O objetivo dos autores é saber como o circuito responde a uma tensão aplicada. Para que a solução da equação  $\frac{dv}{dt} + \frac{v}{CR} = 0$  seja válida ou seja a derivada e sua função devem ser semelhantes para que a soma seja zero. A função que nos possibilita isso é a função exponencial  $v(t) = Ae^{st}$ , sendo  $A$  uma constante que representa a energia do circuito, derivando  $v(t)$ , temos

$$\frac{d}{dt} Ae^{st} = Ase^{st}$$

Substituindo na equação, temos

$$\frac{d}{dt} Ae^{st} = Ase^{st} = 0$$

$$Ae^{st} \left[ s + \frac{1}{RC} \right] = 0$$

Para que o produto seja igual a zero um dos termos deve ser zero e analisando a equação concluímos que  $A$  representa a energia do circuito não podendo ser nula, para que  $e^{st}$  seja zero  $s$  teria que ser negativo e  $t \rightarrow \infty$ , mas queremos resolver a equação imediatamente, logo resta fazer:

$$s + \frac{1}{RC} = 0$$

$$s = -\frac{1}{RC}$$

o que leva a

$$v(t) = Ae^{-\frac{t}{RC}}$$

para  $t=0$ ,  $v(t) = V_0$

$$V_0 = Ae^{-\frac{0}{RC}}$$

$$V_0 = A$$

$$v(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

5.4

pela LKC

$$i(t) = \frac{v(t)}{R}$$

$$i(t) = \frac{V_0 e^{-\frac{t}{RC}}}{R}$$

5.5

Estas são as equações da tensão e corrente, que determinam as respostas naturais do circuito.

Para aos autores a resposta em tensão do circuito rc é uma queda exponencial da tensão inicial. Uma vez que a resposta se deve à energia inicial armazenada e às características físicas do circuito e não a alguma fonte de tensão ou de corrente externa, ela é chamada *resposta natural* do circuito.

A resposta natural é ilustrada graficamente na Figura 24. Observe que em  $t = 0$  temos a condição inicial correta  $v(0) = V_0$ . À medida que  $t$  aumenta, a tensão diminui em direção a zero. A rapidez com que a tensão decresce é expressa em termos da *constante de tempo*, representada por  $T$ , a letra grega minúscula tau.

Isso implica que, no instante  $t = T$ , a Equação

$$v(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{fica}$$

$$v(t) = V_0 e^{-\frac{T}{RC}} = V_0 e^{-1} = 0,368V_0$$

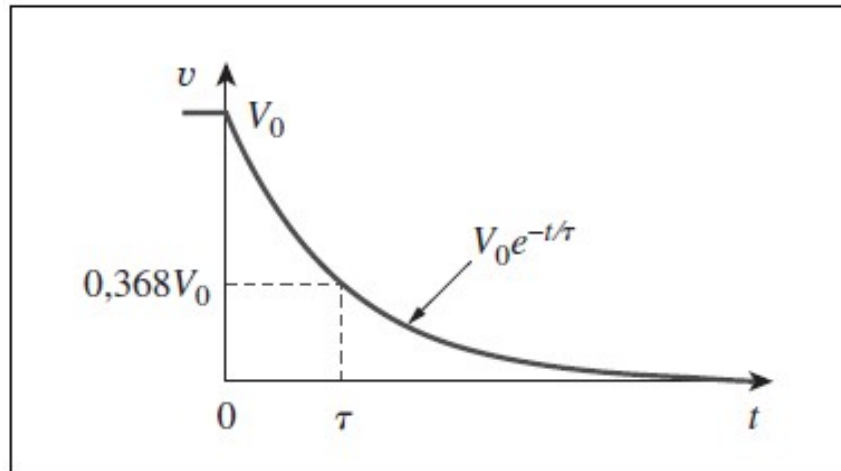
ou

$$T=RC,$$

constante de tempo para um circuito Resistivos Capacitivos - rc

Observe que a tensão é inicialmente  $V_0$  e decai exponencialmente, tendendo a 0, para  $t$  crescente Figura 24. Velocidade de decaimento da tensão é determinada pelo produto  $RC$ . Como a resposta é caracterizada pelos elementos do circuito e não pela atuação de uma fonte externa de tensão ou corrente, a resposta é denominada de resposta natural do circuito.

Figura 26 - Resposta natural do circuito rc

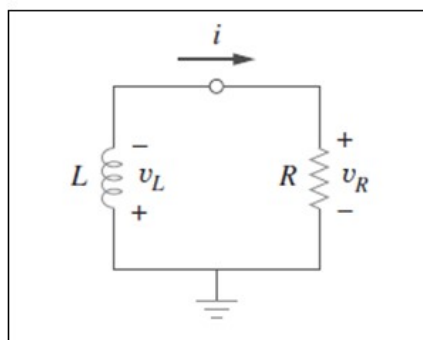


Fonte: SADIKU & ALEXANDER, p. 226, 2013

### 5.7 Circuito rl sem fonte

Considere a conexão em séries de um resistor e um indutor, conforme mostra a Figura 25. O objetivo dos autores dos LD é determinar a resposta do circuito, que é a corrente  $i(t)$  por meio do indutor. Foi escolhida a corrente do indutor como resposta para poder tirar proveito do conceito de que a corrente do indutor não pode mudar instantaneamente visto que o indutor é um componente elétrico que se opõe a mudança brusca da corrente. Em  $t = 0$ , considera-se que o indutor tenha uma corrente inicial  $I_0$ , (Figura 26).

Figura 27 - Circuito rl sem fonte



Fonte: SADIKU & ALEXANDER, p. 229, 2013

$$i(0) = I_0$$

Aplicando a LKT no laço da Figura x

$$v_L + v_R = 0$$

porém  $v_L = L di/dt$  e  $v_R = iR$ . Portanto,

$$L \frac{di}{dt} + iR = 0$$

Rearranjando os termos e integrando, temos

ou

$$\int_{I_0}^{i(t)} \frac{di}{i} = - \int_0^t \frac{R}{L} dt$$

$$\ln i(t) - \ln I_0 = - \frac{Rt}{L} + 0$$

ou

$$\ln \frac{i(t)}{I_0} = - \frac{Rt}{L}$$

Exponenciando em  $e$ , obtemos

$$i(t) = I_0 e^{-\frac{Rt}{L}}$$

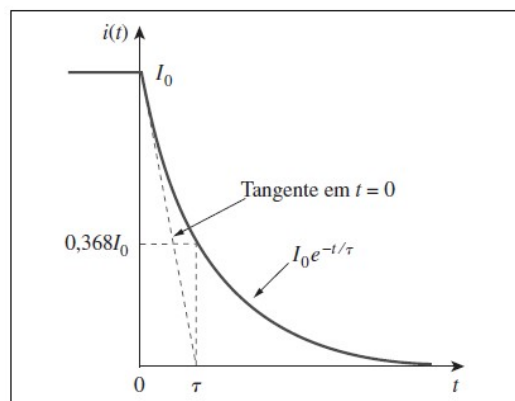
Isso demonstra que a resposta natural de um circuito  $RL$  é uma queda exponencial da corrente inicial. A resposta em corrente é mostrada na Figura 19. Fica evidente, da Equação  $i(t)$  que a constante de tempo para o circuito  $RL$  é

$$T = L/R \quad 5.6$$

Portanto, a Equação de  $i(t)$  pode ser escrita como

$$i(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad 5.7$$

**Figura 28** - Resposta em corrente do circuito rl



Fonte: SADIKU & ALEXANDER, p.229, 2013

## 5.8 circuito rlc em série sem fonte

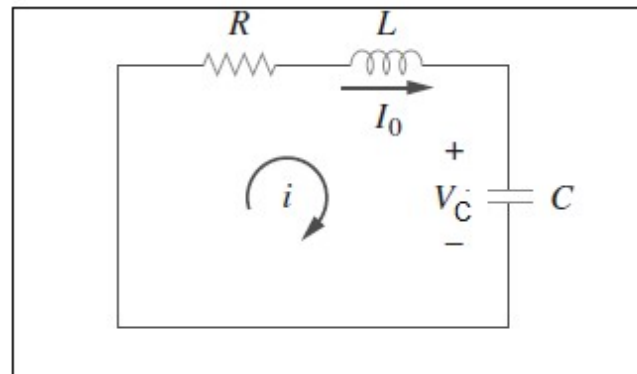
Saber a resposta natural do circuito rlc em série é um conhecimento necessário para estudos futuros nas áreas de projeto de filtros e de redes de comunicação.



Considerando o circuito *rlc* em série mostrado na Figura 27 o circuito é excitado pela energia inicialmente armazenada no capacitor e indutor, representada pela tensão inicial  $V_0$  no capacitor e pela corrente inicial  $I_0$  no indutor.

O circuito *rlc* apresenta comportamento com elevado grau de complexidade e rico que encontra aplicação nas áreas da engenharia elétrica.

**Figura 29** - Circuito *rlc* em série se fonte de energia



Fonte: SADIKU & ALEXANDER, p. 282, 2013

Escrevendo a segunda lei de Kirchoff para o circuito da Figura 27, obtemos

$$v_L(t) + v_R(t) + v_C(t) = 0$$

Usando as relações constitutivas do indutor e do resistor (lei de Ohm) e do capacitor, chega-se a

$$L \frac{di_C(t)}{dt} + Ri_C(t) + v_C(t) = 0$$

Substituindo  $v_C(t) = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt$ , na equação (15) temos

$$L \frac{di_C(t)}{dt} + Ri_C(t) + \frac{1}{C} \int i_C(t) dt = 0$$

Derivando a equação (16) e dividindo a equação por L

$$\frac{d^2 i_C(t)}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di_C(t)}{dt} + \frac{1}{CL} i_C(t) = 0$$

Essa equação é chamada de *equação diferencial ordinária homogênea de segunda ordem*. É *homogênea* porque cada termo é relacionado à  $i_C(t)$  e seus derivados. É de *segunda*

*ordem* porque a derivada mais alta é de grau 2 (derivada de segunda ordem). É ordinária porque há apenas uma variável independente (sem derivadas parciais). Agora podemos resolver nossa equação diferencial substituindo pela equação característica do circuito rlc

$$s^2 + s\frac{R}{L} + \frac{1}{LC} = 0$$

Encontrar valores de ‘s’ que tornem verdadeira a equação característica.

Para qualquer equação quadrática:

$$ax^2 + bx + c = 0$$

a fórmula quadrática nos fornece as raízes (os zeros da equação):

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Retornando para a equação característica, podemos substituir os nossos valores dos componentes do circuito para obter as raízes.  $A = 1$ ,  $b = R/L$  e  $c = 1/LC$ .

$$s = \frac{-\frac{R}{L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{L}\right)^2 + \frac{1}{LC}}}{2}$$

Podemos reformular a equação quadrática pela manipulação algébrica:

$$s = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \left(\frac{1}{4LC}\right)}$$

$$s = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \left(\frac{1}{LC}\right)}$$

Essa é a resposta para s, a frequência natural. Precisamos examinar um pouco mais para compreender o significado prático desta solução.

Nós podemos simplificar a notação, substituindo partes da expressão por duas novas variáveis,  $\alpha$  (alpha)  $\omega_0$  (ômega).

$$\alpha = \frac{R}{2L} \quad 5.8$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad 5.9$$

E isto nos permite escrever ‘s’ em termos de  $\alpha$  (alpha) e  $\omega_0$  (ômega), ou seja:

$$s = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

Os autores lembram que ‘s’ é algum tipo de frequência (ele deve possuir 1/t, como unidade). Isso significa que os dois termos que compõem s também são algum tipo de frequência.

- $\alpha$  (alpha) é denominado *fator de amortecimento*. Ele vai determinar quão rápido o sinal total reduz até zerar.
- $\omega_0$  (ômega), é a denominado *frequência de ressonância*. Ela vai determinar quão rápido o sistema oscila<sup>26</sup>.

A resposta natural de um circuito rlc - resistor-indutor-capacitor pode assumir três diferentes formas, dependendo dos valores dos componentes r, l e c utilizados. Existem três formas de soluções distintas para  $i(t)$ , a depender da relação entre  $\alpha$  (alpha) e  $\omega_0$  (ômega):

- superamortecido,  $\alpha > \omega_0$ , que é a soma de duas exponenciais decrescentes;
- amortecimento crítico,  $\alpha = \omega_0$  dá t(s) vezes uma exponencial decrescente;
- subamortecido,  $\alpha < \omega_0$ , que é uma senóide de amplitude decrescente.

Analisando as três possíveis respostas com um pouco mais de detalhes,

- $\alpha^2 - \omega_0^2 > 0$  **superamortecido**

Sob esta condição, o termo  $\omega_0^2$  é pequeno em relação a  $\alpha^2$ , então sabemos que a expressão dentro da raiz quadrada resultará positiva. Também sabemos que a expressão da raiz quadrada será menor do que  $\alpha$ . Isso significa que s será dois números reais, ambos negativos.

$$s_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

$s_1$  e  $s_2$ , são raízes reais negativas e distintas.

Seja a equação  $\frac{d^2 i_C(t)}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di_C(t)}{dt} + \frac{1}{CL} i_C(t) = 0$  com equação característica

$$s^2 + sa_1 + a_0 = 0$$

$$s = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_0}}{2 \times 1}$$

de onde tiramos duas soluções naturais:  $i_{n1}$  e  $i_{n2}$

$$i_{n1} = k_1 e^{s_1 t} \text{ e } i_{n2} = k_2 e^{s_2 t}$$

$k_1$  e  $k_2$  são constantes arbitrárias e  $i_n = i_{n1} + i_{n2} = k_1 e^{s_1 t} + k_2 e^{s_2 t}$  é uma solução geral da equação homogênea, quando  $s_1$  e  $s_2$  são raízes distintas da equação característica.

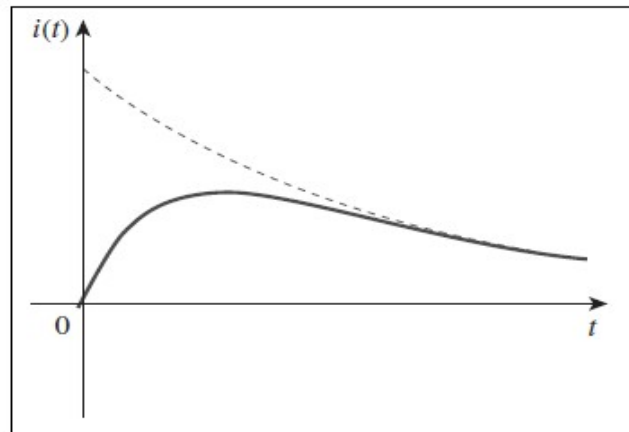
<sup>26</sup> OSCILADOR - Um oscilador consiste basicamente num sistema em que temos um elemento que repõe a energia perdida (perdas intrínsecas ao circuito), e assim produz oscilações, e um circuito sintonizado que determina a frequência do sinal que deve ser reproduzido.

A corrente será a sobreposição de duas exponenciais reais que decaem até zero e a resposta é dada pela expressão:

$$i(t) = k_1 e^{s_1 t} + k_2 e^{s_2 t} \quad 5.10$$

O circuito está superamortecido, pois as duas exponenciais sobrepostas estão levando a corrente para zero Gráfico 1 (Figura 30).

**Figura 30** - Circuito superamortecido de resposta natural rlc



Fonte: SADIKU & ALEXANDER, p. 285, 2013

-  $\alpha^2 - \omega^2 = 0$  amortecimento crítico

O limite entre o amortecimento subcrítico e superamortecido é quando  $\alpha = \omega_0$ . O fator de amortecimento e a frequência de ressonância estão em equilíbrio, e os termos dentro da raiz quadrada resultam em 0. As raízes da equação característica,  $s$ , são dois números reais idênticos, as *raízes repetidas*:

$$s_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega^2}$$

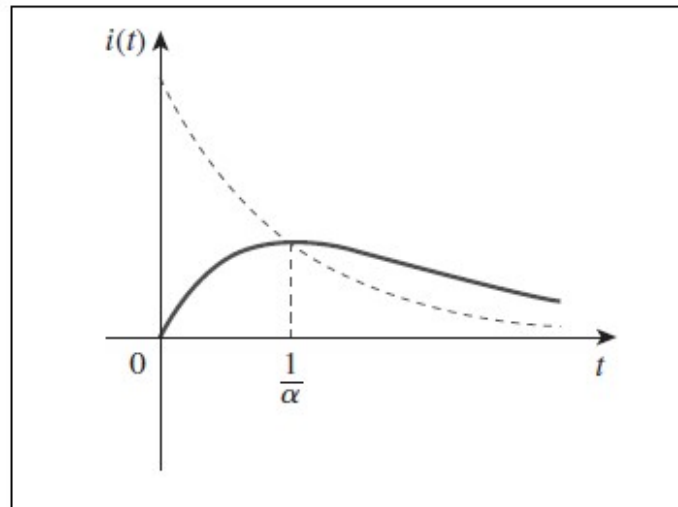
Seja a equação  $i'' + a_1 i' + a_0 i = 0$ , que após resolvida resulte na solução de duas raízes iguais,  $s_1 = s_2 = -\alpha$ , logo só uma raiz satisfaz a equação.

A corrente será a sobreposição de duas exponenciais reais que tendem para zero e a resposta é dada pela expressão:

$$i(t) = k_1 t e^{-\alpha t} + k_2 e^{-\alpha t} \quad 5.11$$

o circuito está com amortecimento crítico e é dado pelo Gráfico da Figura 29.

**Figura 31** - Circuito rlc criticamente amortecido



Fonte: SADIKU & ALEXANDER, p. 285, 2013.

A resposta criticamente amortecida se parece muito com uma resposta superamortecida. É difícil perceber a diferença a olho nu. A resposta crítica é um limite de todas as possíveis respostas em decaimento.

-  $\alpha - \omega_0 < 0$ , **subamortecido**

Quando  $\alpha < \omega_0$  o termo com a raiz quadrada tem um número negativo dentro, e se sai como dois números complexos conjugados, com partes reais e imaginárias. O exemplo de circuito trabalhado é um exemplo de sistema não amortecido.

$$s_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

$$s_{1,2} = -\alpha \pm j\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$$

$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$$

$$s_{1,2} = -\alpha \pm j\omega_d$$

É obtida uma resposta complexa, assim como realizado com a resposta natural rcl, só que desta vez a resposta complexa inclui tanto uma parte real quanto uma parte imaginária.

Resolver as raízes da equação característica nos deu duas respostas possíveis  $s$ , então a solução proposta para  $i$  é agora escrita como a superposição de dois diferentes termos exponenciais:

$$i(t) = k_1 e^{(-\alpha + j\omega_d)t} + k_2 e^{(-\alpha - j\omega_d)t}$$

Os termos nos expoentes são conjugados de números complexos. Os autores separar as partes reais e imaginárias dos expoentes:

$$i(t) = k_1 e^{-\alpha t} e^{j\omega dt} + k_2 e^{-\alpha t} e^{-j\omega dt}$$

e fatorar o termo comum e fatorar o termo comum  $e^{-\alpha t}$

$$i(t) = e^{-\alpha t} (k_1 e^{j\omega dt} + k_2 e^{-j\omega dt})$$

Perceba como a parte real da raiz 's' veio através do processo de fatoração para nos dar o termo principal, um decaimento exponencial,  $e^{-\alpha t}$ .

Os termos entre parênteses são uma soma de dois exponenciais imaginários onde os expoentes são conjugados de números complexos. Isso parece com o que vimos na resposta natural RLC. Como realizado antes, os autores recorrem a fórmula de Euler.

Usando a *fórmula de Euler*:

$$e^{+jx} = \cos x + j \operatorname{sen} x$$

$$e^{-jx} = \cos x - j \operatorname{sen} x$$

Estas fórmulas nos permitem transformar  $e^{\text{imaginário}}$  em um número complexo normal.

A fórmula de Euler é usada para transformar a soma

$$k_1 e^{j\omega dt} + k_2 e^{-j\omega dt}$$

para

$$k_1(\cos \omega dt + j \operatorname{sen} \omega dt) + k_2(\cos \omega dt - j \operatorname{sen} \omega dt)$$

Multiplica-se pelas constantes  $K_1$  e  $K_2$ :

$$k_1 \cos \omega dt + k_1 j \operatorname{sen} \omega dt + k_2 \cos \omega dt - k_2 j \operatorname{sen} \omega dt$$

e agrupa os termos do cosseno e os termos do seno:

$$(k_1 + k_2) \cos \omega dt + j(k_1 - k_2) \operatorname{sen} \omega dt$$

Sem desordenar a equação, sua aparência é simplificada substituindo-se os K's desconhecidos por A's desconhecidos. Sendo  $A_1 = (K_1 + K_2)$  e  $A_2 = j(K_1 - K_2)$ .

A expressão anterior se torna:

$$A_1 \cos \omega dt + A_2 \operatorname{sen} \omega dt$$

que é substituída na solução proposta:

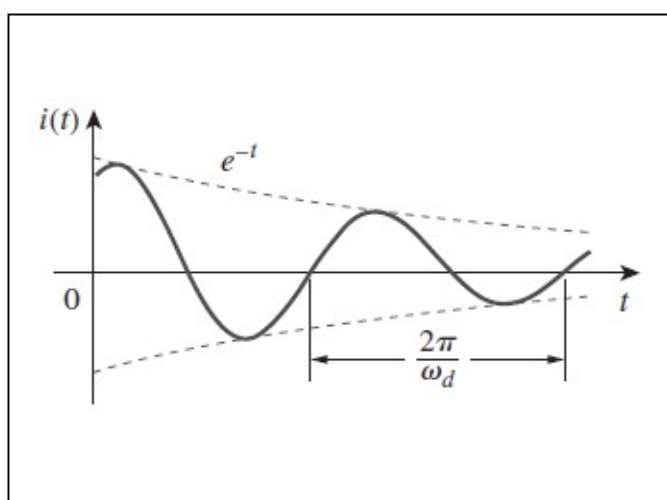
$$i(t) = e^{-\alpha t} (A_1 \cos \omega dt + A_2 \operatorname{sen} \omega dt)$$

Em seguida, usando as condições iniciais encontram-se os valores das variáveis  $A_1$  e  $A_2$ .

Para uma equação de segunda ordem, são necessárias duas condições iniciais para obter uma solução completa: uma para a variável independente  $i(t)$  e outra para sua primeira derivada,  $di(t)/dt$ .

Se determinarmos  $i$  e  $di(t)/dt$  em um instante específico, podemos descobrir as constantes  $A1$  e  $A2$ . O gráfico da corrente  $i(t)$  em função do tempo é plotado como segue na Figura 32:

**Figura 32** - A resposta natural de um circuito rlc



**Fonte:** SADIKU & ALEXANDER, p. 285, 2013.

Cada seção corresponde a um conceito a ser estudado; estas seções são apresentadas seguidas de exemplos de suas aplicações. No tocante à definição de circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc, estamos interessados na parte que engloba desde a seção 7.1 até 7.6 e 8.1 até 8.7 do LD A e a parte que englobam a seções 8.1 até 8.8 e 9.1 até 9.8 do LD B.

Para uma análise a luz dos pressupostos da TAD, inicialmente, vamos expor as tarefas sugeridas pelos autores, para, em seguida, identificar os tipos de tarefas, as técnicas, tecnologias e teorias. Faremos isso a fim de identificar as praxeologias que vivem nesta instituição. Para tanto, focalizaremos na organização referente ao início do capítulo no qual é demonstrada a parte conceitual de circuitos rlc em cc.

### 5.9 A Organização praxeológica

Inicialmente apresentaremos de que forma estão estruturados os capítulos e que apresenta a noção de circuitos rl e rc denominados Circuitos de primeira ordem, nos quais os modelos matemáticos representam Equações Diferenciais Ordinárias (EDO) de primeira ordem e os circuitos rlc denominados Circuitos de segunda ordem, representando EDO de segunda ordem nos dois livros escolhidos.

Selecionamos algumas situações de cada livro para apresentarmos as tarefas e técnicas abordadas, bem como as justificativas para o uso da técnica, ou seja, as tecnologias e teorias apresentadas pelos autores (CHEVALLARD, 1999). Em seguida mostraremos um quadro que contém os tipos de tarefas apresentados pelos livros e sua análise. O título do capítulo 7 proposto pelos autores do LD A é Circuitos de primeira ordem e no capítulo 8, circuitos de segunda ordem e o LD B traz como título do capítulo 8, Resposta completa de circuitos  $rl$  e  $rc$  e capítulo 9, Resposta completa de circuitos com dois elementos de armazenamento de Energia.

Os autores iniciam os capítulos 7 LD A e 8 LD B, com o conceito de capacitor e logo adiante o conceito de indutores e seus princípios de funcionamentos, conteúdos ministrados mais profundamente na disciplina Física Geral e Experimental III.

Iniciaremos nossa análise examinando dois tipos de circuitos simples: um circuito compreendendo um resistor e um capacitor e outro circuito formado por um resistor e um indutor. Estes circuitos são denominados, respectivamente, circuitos  $rc$  e  $rl$ , e, apesar de sua simplicidade, têm inúmeras aplicações na Engenharia Industrial Elétrica nas áreas de eletrotécnica, eletrônica, comunicações e sistemas de controle e automação.

Realizamos a análise de circuitos  $rc$  e  $rl$  aplicando as leis de Kirchhoff que produz equações diferenciais, que são mais difíceis de resolver que as algébricas.

As equações diferenciais resultantes da análise de circuitos  $rc$  e  $rl$  são de primeira ordem, conseqüentemente, os circuitos são conhecidos coletivamente como circuitos *de primeira ordem* e são caracterizados por equações diferenciais de primeira ordem.

Além da existência desses dois tipos de circuitos de primeira ordem, existem duas maneiras de excitá-los. A primeira delas é pela condição inicial dos elementos C (capacitor) e L (indutor) que armazenam energia nos circuitos, nos quais, chamamos circuitos sem fontes.

A energia faz a corrente fluir no circuito e ser gradualmente dissipada nos resistores. Embora os circuitos sem fontes sejam, por definição livres de fontes independentes, podem eventualmente ter fontes dependentes. A segunda forma de excitar os circuitos de primeira ordem é pelas fontes independentes

Um circuito  $rc$  sem fonte ocorre quando sua fonte é desconectada abruptamente. A energia armazenada no capacitor é liberada para o resistor.

Consideremos a associação série de um resistor e de um capacitor inicialmente carregado. Nosso objetivo é determinar a ‘resposta do circuito’<sup>27</sup>, sendo a tensão no capacitor

---

<sup>27</sup> Resposta de um circuito corresponde à maneira pela qual o circuito reage a uma excitação.



$v(t)$ . Uma vez que o capacitor está carregado inicialmente, podemos supor que no instante  $t = 0$  a tensão inicial seja:

$$v(0) = V_0$$

com o valor correspondente a energia armazenada igual a  $V_0$ .

A análise dos livros didáticos a luz da TAD, revela definição axiomática associada principalmente à definição clássica. São apresentados conjuntos de tarefas para ilustrarem as técnicas atreladas às teorias do eletromagnetismo.

### 5.10 Objetos ostensivos e não ostensivos propostos pela TAD

Para Chevallard (1999), muitas vezes na matemática, a função de justificar e explicar a teoria é pouco conhecida devido à forma abstrata em que frequentemente os enunciados teóricos são postos. Isso resulta ao que Chevallard (1999) nomeia de objetos ostensivos e objetos não ostensivos. O termo é utilizado na TAD para explicar as praxeologias nas atividades matemáticas e que nessa pesquisa é também aplicada as atividades físicas. O autor também esclarece que o sujeito, para resolver as tarefas a partir do princípio básico da TAD, em que “toda atividade humana é permitida a decompor-se em uma série de tarefas” (CHEVALLARD, 1994, p. 01).

Para a atividade matemática faz-se necessário um conjunto de manipulação ostensiva e não ostensiva, essa dupla função remete a uma dialética de objetos explícitos e implícitos. A TAD explica a origem dos conceitos matemáticos (não ostensivos) e sua relação com os objetos que o representam (ostensivos) em termos da dialética citada anteriormente, ou seja, os conceitos guiam e controlam a manipulação dos ostensivos, mas conceitos também são emergentes da manipulação ostensiva em determinadas organizações didáticas (FERREIRA; BARROS, 2013, p.04).

Chevallard (1994), considera que todo discurso tecnológico se realiza concretamente pela manipulação de objetos ostensivos, os quais permitem materializar as explicações através de fórmulas matemáticas e as argumentações necessárias para resolver uma tarefa, ocorrendo de mesmo modo com o nível teórico. Para o teórico, a co-ativação entre os objetos ostensivos e não ostensivos é um postulado geral que afeta todos os níveis da atividade matemática.

A atividade matemática apresenta duas faces: logos e a práxis; ou seja, o saber e o saber fazer. Essas faces originam as praxeologias simbolizadas pelos blocos: prático-técnico  $[T/\tau]$  que é o saber fazer, associando tarefa e técnica, de modo que, para um determinado tipo

de tarefa há pelo menos uma só técnica, ou um conjunto de técnicas institucionalmente reconhecidas e o bloco teórico-tecnológico  $[\theta/\Theta]$ , que agrega a tecnologia e a teoria.

A articulação dos ostensivos e não ostensivos permitem no desdobramento de uma boa organização praxeológica. Para isso, devemos dispor dos ostensivos, quando manipulamos o bloco prático  $[T/\tau]$ , e não ostensivos, quando manipulamos o bloco teórico  $[\theta/\Theta]$ , são evocados quando se utilizam os ostensivos associados, ou seja, o conjunto tarefa-técnica e tecnologia-teoria necessita de diferentes tipos de representações para que as técnicas possam ser manipuladas e justificadas por meio de tecnologias, que por sua vez colocam em jogo noções e ideias que sustentam essa manipulação (FARO, 2010, p. 53).

Os objetos ostensivos e não ostensivos, são fundamentais para a análise das praxeologias didáticas dos objetos do saber circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc presentes nos livros Didáticos.

Os autores dos LD iniciam os temas circuito rl, rc e rlc com uma introdução que apresentam conceitos, porém, não mencionam a física como construção e consolidação dos conceitos e leis investigadas e consolidadas pela comunidade científica. Para construção desses novos conceitos, o aluno deve buscar conhecimentos prévios, evocando os objetos não ostensivos de Bosch e Chevallard, (1999), para formalizar os novos conceitos e consequentemente novos conhecimentos.

Dessa forma o estudo de ostensivos e não ostensivos é essencial para a compreensão da atividade de circuito rlc que manipula a interrelação entre matemática e física.

### 5.11 Aspectos ecológicos do saber no LD

O termo ecologia não ficou restrito aos limites das ciências biológicas e passou a ser utilizado por teóricos em outras ciências.

Neste estudo, sobre a introdução e desenvolvimento da noção de circuitos rc, rl e rlc em cc no ensino de Engenharia Industrial Elétrica, foi possível observar que a ecologia dos objetos adaptada por Chevallard (2002), coloca o objeto, sobrevivendo continuamente em um *habitat*, assim como, o ambiente conceitual desse objeto do saber que nessa investigação corresponde ao quadro da física e das equações diferenciais ordinária, cujo *nicho* corresponde à função que esses objetos ocupam em cada um de seus habitats e “meio” como o conjunto dos objetos para os quais a relação institucional é estável e não problemática, ou seja, a

função desses objetos está associada à introdução de um início de formalismo físico e matemático para o desenvolvimento dos conceitos dos circuitos  $rc$ ,  $rl$  e  $rlc$ .

No presente capítulo, analisamos a partir de referenciais teóricos da (TAD), os documentos curriculares do curso Engenharia Industrial Elétrica do IFBA, Projeto Pedagógico Institucional do IFBA (PPI), as Diretrizes Nacionais Curriculares (DNC) para os Cursos de Engenharia, os Referenciais Nacionais dos Cursos de Engenharia, grade curricular do curso e livros didáticos de Engenharia Industrial Elétrica. Essa análise tem por objetivo investigar as restrições dos alunos na resolução dos tipos de tarefas trazidas nos Livros Didáticos (LD).

Nessa ótica, almejamos rastrear a trajetória do saber circuitos elétricos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$  em  $cc$ , para verificar como este saber está posto nos documentos referenciais, analisar suas praxeologias, para verificarmos como nosso problema didático se situa, levando em consideração os instrumentos normativos deste saber, para análise das organizações matemáticas e física do saber em estudo

O nosso objetivo nesse capítulo é verificar se o saber circuitos elétricos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$  em  $cc$  está presente nos documentos institucionais.

Nos documentos analisados o saber circuitos elétricos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$  em  $cc$ , sobrevive num habitat ocupando função de relevância, visto que, serve de alicerce para 90% das disciplinas do curso. Numa abordagem ecológica, os documentos institucionais, representam o lugar em que esse saber aparece com status de objeto matemático e físico a ser ensinado.

Análise ecológica do objeto de saber circuitos elétricos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$  em  $cc$ , realizada nos documentos institucionais, revelaram que o saber em estudo tem nesses referenciais seu o habitat que significa o lugar onde o objeto vive e ambiente conceitual desse objeto de saber, e no 5º semestre acadêmico seu nicho que se refere à função desse objeto no sistema de objetos com os quais interage.

Concluimos que o objeto de saber faz parte das recomendações curriculares para o curso de engenharia elétrica, está presente nos livros didáticos analisados e é efetivamente trabalhado na instituição IFBA.

## Conclusões e Perspectivas futuras

O presente trabalho apresenta como problemática: dificuldades conceituais dos estudantes na construção do conhecimento dos circuitos elétricos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$  em  $cc$ . Este estudo nos possibilitou construir uma Sequência Didática utilizando as fases da Engenharia Didática clássica como metodologia da pesquisa, principalmente as fases a priori e a posteriori revelando a concepção de situações-problema amparada na Teoria das Situações Didáticas (BROUSSEAU, 1986) e na Teoria Antropológica do Didático (CHEVALLARD, 1999).

A TSD, trouxe reflexões de como podemos arquitetar e expor o conteúdo Matemático e Físico aos educandos, de maneira a se obter uma educação que tenha sentido e contexto para o estudante. Uma situação didática é estabelecida quando ocorrem relações pedagógicas entre a tríade professor, aluno e o saber em situação de aprendizagem, levando em consideração o meio. Neste trabalho fazemos alusão as situações que consiste na busca do aluno por soluções, de forma autônoma, em uma situação onde o professor atua como mediador/observador apenas efetuando a devolução do problema, situação que Brousseau (1996), denominada de adidática.

Para a realização das tarefas da sequência didática, os alunos foram convidados a construir saberes relativos aos circuitos elétricos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$  em  $cc$ , sem a intervenção direta da professora/pesquisadora nessa construção, o que Brousseau denomina como situações adidáticas.

A análise a posteriori ocorreu mediante a articulação de três elementos principais: resoluções escritas das equipes, discussões entre os estudantes e gravações de áudios. Essa análise a posteriori foi descrita estabelecendo-se uma confrontação com a análise a priori de modo a validar ou refutar a hipóteses levantadas na engenharia didática.

A TAD propõe um modelo epistemológico que estabelece uma distinção dentro dos elementos que compõem uma organização matemática e física, além de valorizar os conhecimentos prévios do estudante e seu envolvimento na construção do saber circuitos elétricos. Esses elementos são elaborados de dois tipos de objetos: objetos ostensivos e objetos não ostensivos (BOSCH, 2000). Os objetos ostensivos, foram manipulados pelos estudantes quando transcreveram as questões, preencheram as tabelas e plotaram os gráficos e os objetos não ostensivos que apesar de existirem institucionalmente não se mostram aos nossos sentidos, pois pertencem ao mundo das ideias, tais quais as ideias, os conceitos, as

crença.s, etc., foram manipulados pelos estudantes quando discutiram os conceitos físicos prévios na busca de um novo saber dos circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc.

Segundo Bosch (2000), apesar dessa divisão entre objeto ostensivo e não ostensivo, existe uma dialética entre ambos, pois os objetos não ostensivos surgem da manipulação dos objetos ostensivos. Essa dialética de objetos ostensivos e não-ostensivos são instrumentos que tornam possíveis a atividade humana em geral, e em particular, a atividade matemática e física escolar, como uma entidade que permite, em associação com outros, conformar técnicas para realizar tarefas, que se manipuladas corretamente, criam as praxeologias escolares.

A TAD considera que, em última instância, toda atividade humana consiste em cumprir uma tarefa  $t$  de certo tipo  $T$ , por meio de uma técnica  $\tau$ , justificada por uma tecnologia  $\theta$  que permite ao mesmo tempo cogitar essa técnica ou mesmo de produzi-la. A tecnologia, por sua vez, é justificada por uma teoria  $\Theta$ . Em suma, ela começa a partir da premissa de que toda atividade humana coloca em jogo uma organização, que Chevallard (1998) indica por  $[T, \tau, \theta, \Theta]$  e a nomeia de praxeologia ou organização praxeológica. A palavra praxeologia descreve a estrutura da organização  $[T, \tau, \theta, \Theta]$ : em grego práxis, que significa "praticar", refere-se ao bloco pratico-técnica (ou práxis)  $[T/\tau]$  e o logos (em grego), que significa "razão", "discurso fundamentado", refere-se ao bloco teórico-tecnológico  $[\theta/\Theta]$ .

Um dos aspectos importantes da análise a luz da TAD foi a possibilidade de avaliar as tarefas/técnicas e tecnologias nos processos de aprendizagem de conceitos dos circuitos elétrico, através da inter-relação entre matemática e física.

O uso dos elementos do referencial teórico da TAD Chevallard (1991), oportunizou que fossem vistas as escolhas didáticas, como o uso de alguns ostensivos e não ostensivos, que ocupam um papel relevante no desenvolvimento dos conceitos do objeto do saber circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc. Ressaltamos que a TAD fornece aporte para o estudo das atividades matemáticas e físicas necessárias ao desenvolvimento da construção dos conceitos dos saberes em estudo, razão pela qual buscamos na TAD o suporte epistemológico para nossa pesquisa.

A teoria antropológica do didático (TAD) permitiu modelar e organizar o conhecimento físico e matemático inter-relacionados por meio da organização praxeológica, necessária à aprendizagem do componente curricular Circuitos Elétricos I especificamente o saber circuitos rl, rc e rlc em cc.

Na realização da atividade 4 por exemplo, os estudantes utilizaram os conhecimentos internalizados através das atividades anteriores, embora alguns participantes tenham tido

dificuldades em construir conceitos durante a realização de algumas atividades, adquiriram os saberes pretendidos para a construção de novos conceitos nos momentos de validação.

Consideramos que a escolha da metodologia da Engenharia Didática clássica, veio integrar positivamente ao equipamento praxeológico das organizações matemáticas, físicas e didáticas do objeto circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc, com contribuições nos processos de aprendizagem dos participantes da pesquisa.

A sistematização das atividades de tarefas encadeadas em cinco tipos de tarefas, contribuíram com a consolidação de saberes acerca dos circuitos rc, rl e rlc em cc, a partir do levantamento de conhecimentos internalizados (ostensivos e não ostensivos) que os participantes da pesquisa já possuíam sobre o assunto. Valorizou as informações trazidas pelos mesmos, estimulou a aprendizagem através de discussões em grupos, para que, os estudantes buscassem soluções em conjunto, para os problemas propostos, sem a intervenção do professor.

A análise do objeto do saber nos conduziu à análise dos documentos institucionais acerca do ensino de circuitos elétricos rl,rc e rlc em cc do curso de Engenharia Industrial Elétrica, análise das praxeologias dos livros didáticos para análise da trajetória do saber. Na análise institucional realizada através do PPI do DCN, há orientação para o ensino de circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc, com objetivo na aprendizagem do futuro engenheiro eletricitista. Tais orientações delinearão o currículo do curso.

Nos livros didáticos analisados, observamos que as organizações praxeológicas se concentram principalmente no bloco do fazer, enquanto que no bloco saber ficou comprovada a falta de manipulação dos objetos não ostensivos necessários para a construção dos conceitos em análise. Podemos dizer que a proposta de ensino dos circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc apresentada pelos livros didáticos analisados, com uma grande sequência de exercícios relacionados ao objeto em estudo, demonstra utilização de uma trajetória predominantemente procedimental com manipulação de objetos ostensivos sem fundamentação de conhecimentos conceituais ou seja, sem que os objetos não ostensivos sejam evocados. Em linhas gerais, as técnicas empregadas constituem-se, essencialmente na aplicação de fórmulas, sem uma justificativa explícita dos motivos que os levaram a desenvolver as técnicas.

Nos documentos analisados, o saber circuitos elétricos rl, rc e rlc em cc, sobrevive num habitat ocupando função de relevância, visto que, serve de alicerce para 90% das disciplinas do curso. Numa abordagem ecológica, os documentos institucionais, representam o lugar em que esse saber aparece com status de objeto matemático e físico a ser ensinado.

Contudo, mencionamos como limitações da nossa pesquisa, a complexidade do eletromagnetismo, uma das principais teorias necessárias ao entendimento da matéria e suas propriedades. O eletromagnetismo se constitui na principal teoria de base para o engenheiro eletricista que muito necessita para entender os fenômenos que regem as teorias voltadas à área, como circuitos elétricos, corrente elétricas, capacitâncias, indutâncias, resistências entre outras. Para o entendimento dos conceitos do eletromagnetismo é necessária certa capacidade de abstração visto que, grandezas como campos elétricos e magnéticos não são "visíveis" e "acessíveis" como ocorrem com os sistemas puramente mecânicos, em que a interação entre as pessoas e esses sistemas mecânicos é muito mais direta.

É preciso imaginar campos elétricos e magnéticos, potenciais elétricos, densidades superficiais de carga, etc., mas, dificilmente se consegue efetivamente visualizar essas grandezas. Além do mais, a necessidade do prévio conhecimento da física e do cálculo diferencial e integral da álgebra vetorial, apresenta complicação na aprendizagem, principalmente por serem ministradas de forma dissociadas.

Isso nos leva a concluir que a sequência didática construída não acarretou dificuldades matemáticas, porém, na parte correspondente a teoria da física ficaram algumas lacunas. Esses fatos limitadores poderão ser reavaliados através de ressignificação das atividades, entretanto, consideramos que os resultados foram satisfatórios, uma vez que, os estudantes construíram alguns conceitos.

As contribuições desta pesquisa para a Didática das Ciências, são evidenciadas nas análises das atividades executadas pelos participantes e nas suas respostas ao questionário aplicado na 5ª sessão de estudo acerca da metodologia utilizada, onde os estudantes demonstram aceitação e desejo de diversificar o processo de aprendizagem. A Engenharia Didática construída, trouxe a didática para o componente curricular Circuitos Elétricos I, a medida que contempla a física não só como didática da matemática, mas como didática da física, sinalizando que a TAD pode ser aplicada aos Circuitos Elétricos I.

Por fim, as fases da Engenharia Didática consolidadas, a partir da análise dos dados, respondem aos objetivos e a hipótese da tese e nossa maior contribuição se dá pelo fato de não haver essa discussão no universo da engenharia elétrica.

Analizamos também, trechos do depoimento espontâneo de uma aluna (em anexo), emitido um ano após a realização da pesquisa, no ambiente da sala de aula da disciplina Circuitos Elétricos I, em que estava sendo utilizada uma sequência didática em uma situação adidática, para os estudantes construírem seus saberes.

## Trecho 1

*...”Em toda vida acadêmica sempre fui avaliada com testes e provas, sobre assuntos que eram abordados em sala de aula e explicados de formas variáveis, dependendo de professor para professor.*

*E foi justamente estudando para a disciplina Circuitos I que tive mais convicção que um único tipo de avaliação, a escrita, não iria conseguir avaliar o quanto de conhecimento eu adquiri durante todos os dias que me preparei para realiza-la.”*

## Trecho 2

*...” A dinâmica proposta pela docente durante as aulas me fez refletir sobre a modalidade utilizada para avaliar os alunos no curso. Após explanar sobre o assunto, sempre são propostos exercícios para serem resolvidos em sala. Muito espontaneamente esses exercícios são resolvidos com troca de conhecimento entre os discentes.”*

O depoimento (trecho 1), evidencia que a aprendizagem desenvolvida no âmbito escolar, acumulando informações transmitidas mecanicamente pelos professores por instruções diretas e decoradas pelos alunos, embora tenha obtido êxito no processo educacional no passado e deixou de ser eficiente (trecho 2), à medida que a sociedade evoluiu e os estudantes sentem a necessidade de participarem do processo de construção do saber para internalizarem novos conceitos através de discussões em grupo, onde são utilizados os pressupostos da TAD.

Portanto, salientamos que a proposta deste trabalho é subsidiar estudos sobre alternativas metodológicas na obtenção de conceitos para o objeto em estudo e as praxeologias necessárias ao saber em jogo. A elaboração, a análise e a experimentação das atividades propostas na sequência didática, são precedidas por análise a priori, como preconizado pelos princípios da Engenharia Didática.

Acreditamos que esta pesquisa pode servir de base à formação do engenheiro eletricista no curso de Engenharia Industrial Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia (IFBA), *campus* Salvador, bem como para o desenvolvimento do ensino de Circuitos Elétricos, na Educação Superior das Universidades de Engenharia Elétrica e não apenas na Instituição onde foi realizada a pesquisa.



A realização desta pesquisa, trouxe perspectivas para novas investigações, à medida que revela alternativas que podem ser úteis para o conteúdo programático dos circuitos elétricos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$  em  $cc$ , na execução de atividades em sala de aula.

O aprimoramento da engenharia didática construída e a ressignificação das atividades da sequência didática elaborada, são possibilidades de novas investigações.

Esse trabalho, teve foco nas estratégias direcionadas a aprendizagem dos circuitos elétricos  $rl$ ,  $rc$  e  $rlc$  em  $cc$  fundamentadas em pressupostos da TSD e da TAD, teorias que contribuem na utilização de possibilidade de aprendizagem do estudante. Embora essas estratégias não garantam a aprendizagem, entendemos que podem contribuir com o processo de aprendizagem à medida que favorece o estudante na construção de conceitos.

Esperamos que esse trabalho, possa impulsionar a reflexões e ampliar as pesquisas em didática para os cursos de bacharelados em engenharia.

### Referências bibliográficas

- ALMEIDA, G. P. de. **Transposição Didática: por onde começar?**São Paulo:Cortez Editora, 2007.
- ALMOULOUD, S. A. **Fundamentos da didática da matemática**. Edição atualizada. Curitiba: Editora UFPR, 2007. 218 p.
- ANDRÉ, M. **Estudo de Caso em Pesquisa e Avaliação Educacional**. Brasília, Liberlivros, 2005
- ANHORN, C. T. G. **Um objeto de ensino chamado história: a disciplina de história nas tramas da didatização**. 2003. 403f. Tese (Doutorado em Educação) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- ARTIGUE, M. **Engenharia Didática**. In: BRUN, J. (Org.). Didática das matemáticas. Tradução de M. J. Figueiredo. Lisboa: Instituto Piaget, 1996. p. 193-217.
- ARTIGUE, M. Ingénierie Didactique. **Recherches em Didactique des Mathématiques**, Grenoble, v. 9, n. 3, p. 281-308, 1988.
- ASTOLFI, J.; DEVELAY, M. **A didática das ciências**. 2ª ed. Tradução Magda S. S. Fonseca. Campinas, SP: Papirus, 1991.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**, Contraponto: Rio de Janeiro, 1996
- BALDINI, Loreni Aparecida Ferreira. **Construção do conceito de área e perímetro: uma sequência didática com auxílio de software de geometria dinâmica**. 2004. 211f. Dissertação ( Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática). Londrina, 2004.
- BARBÉ, J.; BOSCH, M.; ESPINOZA, L.; GASCÓN, J., Didactic Restrictions on the Teachers Practice: The Case of Limits of Functions in Spanish High Schools. **Educational Studies in Mathematics**. v. 59, n. 1-3, 2005.
- BARQUERO, B.; BOSCH, M.; GASCÓN, J. **Ecología de la modelización matemática: Restricciones transpositivas en las instituciones universitarias**. Communication au 2e congrès TAD, Uzès, 2007.
- BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**. São Paulo: Contexto, 2002.
- BITTAR, M. 2017. p. 364-387). A Teoria antropológica do didático como ferramenta metodológica para análise de livros didático. **Revista da Educação Matemática**, v. 25, n. 3, p 364-387. 2017.
- BORIN, J. **Jogos e Resolução de Problemas: Uma Estratégia para as aulas de Matemática**. São Paulo: CAEM, IME-USP, v.6, 1995.

BOSCH, M. Um ponto de vista Antropológico: **La evolución de los Instrumentos Derepresentación em la actividad Matemática**. IV Simpósio SEIEMIV (Huelva 2000). Ponencia inviatada al Seminário de Investigaçãõ I, “Representación y Compresión” (preliminar, 30-6-2000).

BOSCH, M., CHEVALLARD, Y. Ostensifs et sensibilité aux ostensifs dans l’activité mathématique. In: **Recherches em Didactique des Mathématiques**, 1999.

BOSCH, M. **Un punto de vista antropológico: la evolución de los “instrumentos de representación” en la actividad Matemática**. IV Simpósio SEIEMIV (Huelva 2000). Ponencia invitada al Seminário de Investigación I, —Representación y comprensiónll (Versión preliminar, 30-6-2000).

BOSCH, M.; GASCÓN, J. **Las prácticas docentes del profesor de matemáticas**. XIème Écolel’Été de Didactique des Mathématiques, de 2001.

BOYER, C. B. **The History of the Calculus and Its Conceptual Development**. New York, ed. Dover 1949.

BROUSSEAU, G. Fondements et Méthodes de la Didactique des Mathématiques. **Recherches em Didactique des Mathématiques**, Grenoble, v. 7, n. 2, p. 33-116, 1986.

BROUSSEAU, G. Fondements et méthodes de la Didactique des Mathématiques. In: BRUN, J. et al. **Didactique des Mathématiques**. Paris: Delachaux et Niestlé S.A, 1996.

BROUSSEAU, G. Fondements et Méthodes de la Didactique des Mathématiques. **Recherches em Didactique des Mathématiques**, Grenoble, v. 7, n. 2, p. 33-116, 1986.

BROUSSEAU, G. **Introdução ao estudo das situações didáticas: conteúdos e métodos de ensino**. São Paulo: Ática, 2008.

BROUSSEAU, G. **Théorie des situations didactiques**. Grenoble: Pensée Sauvage, 1998.

BROUSSEAU, Guy. A etnomatemática e a teoria das situações didáticas. Educ. Mat. Pesqui., São Paulo, v. 8, n. 2, pp. 267-281, 2006

BUTKOV, E. **FÍSICA MATEMÁTICA**, Editora LTC. 1988

CARVALHO, Dierson Gonçalves de. Uma Análise da Abordagem da Área de Figuras Planas no Guia de Estudo do Projovem Urbano sob a Ótica da Teoria Antropológica do Didático. Dissertações de Mestrado. Recife, 2012.

CHACÓN, A. M. A.. **La gestion de la mémoire didactique par le professeur dans l’enseignement secondaire des mathématiques : Etude du microcadre institutionnel en France et au Costa Rica**. 2008. THÈSE Du Doctorat De L’université De Toulouse Délivré par l’Université Toulouse III – Paul Sabatier en Didactique des Disciplines Scientifiques et Technologiques Spécialité : Didactique Des Mathématiques. 2008.

CHEVALLARD, Y. **La Transposition Didactique: Du Savoir Savant au Savoir Ensigné**. Grenoble, La pensée Sauvage. 1991

CHEVALLARD, Y. **La transposición didáctica: del saber sábio al saber enseñado**. Ed. Aique, 1998a. Disponível em:  
<<http://www.uruguayeduca.edu.uy/Userfiles/P0001%5CFile%5Cchevallard.pdf>> Acesso em janeiro 2014

CHEVALLARD, Y. Fundamentals concepts of didactics: perspectives givem by an anthropological approach. **Recherches em Didactique des Mathématiques**. 1992

CHEVALLARD, Y. “**Ostensifs et non-ostensifs dans l’activité mathématique**”. Séminaire de l’Associazione Mathesis, Turin, 3 février 1994. In ACTES DU SÉMINAIRE. 1993-1994, 190-200. Tradução livre.

CHEVALLARD, Y.; BOSCH, M. Ostensivos e sensibilidade aos ostensivos na atividade matemática. **Recherches em Didatque des Mathématiques**. Nº 19, Ano 1999.

CHEVALLARD, Y. L’analyse des pratiques enseignantes em théorie anthropologique du didactique. **Recherches em didactique des mathématiques (Revue)**, Pensée suavege, 1999b.

CHEVALLARD, Y; BOSCH, M; GASCÓN, J. **Estudar Matemáticas: O elo perdido entre o ensino e a aprendizagem**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2001.

CHEVALLARD, Y. Organiser l’étude. Cours 3 - Structures & Fonctions. Actes de la XIème Ecole d’été de didactique des mathématiques. Grenoble, La Pensée Sauvage, 2002

CHEVALLARD, Y.. La didactique dans la cité avec les autres sciences. Généricité didactiques dans le cadre des journées 2005a. du REF (Réseau Education Formation). Disponível em :< [http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php?id\\_article=65](http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php?id_article=65)>. Acesso em: Janeiro de 2018

CHEVALLARD, Y. **La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado**. 3 ed. Buenos Aires: Aique: Grupo Editor, 2005b

CHEVALLARD, Y. Readjusting didactics to a changing epistemology. **European Educational Research Journal**, Marseilles, v.6, n. 2, 2007.

CHEVALLARD, Y. **Anthropological approaches in mathematics educations**, French perspectives. Encyclopedia of Matematics Education. Article: 313188, Chapter: 9, 2013.

CHOPPIN, A. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estudo da arte. **Educação e Pesquisa**. São Paulo. v. 30, III. p. 549-566, set./dez. 2004.  
computacionais no ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2 p. 77-78, 2002.

DORF, R. C.; SVOBODA, J. A. **Introdução aos Circuitos Elétricos**. 8 Ed. LTC. Rio de Janeiro – RJ. 2015

FARO, S. D. **Os conhecimentos supostos disponíveis na transição entre o Ensino Médio e o Ensino Superior: o caso da noção de sistemas de equações lineares**. Dissertação de Mestrado para a obtenção do Título de Mestre em Educação Matemática. Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática da Universidade Bandeirante de São Paulo. S.P.: UNIBAN, 2010.

GASCÓN, J. La necesidad de utilizar modelos en didáctica de las matemáticas. **Educação Matemática Pesquisa**. Programa de Estudos Pós-Graduados em Educação Matemática, v. 5, n. 3, p 11-37., 2003.

GATTI, B. A. **A construção da pesquisa em educação no Brasil**. Brasília: Plano Editora, 2002.

GERALDI, J. W. **A aula como acontecimento**. Aveiro: Universidade de Aveiro, CIFOP, 2003. p. 9-21. (Palestra proferida na Semana da Prática Pedagógica).

GIL-PÉREZ, D.; CARRASCOSA, J.; DUMAS-CARRÉ, A.; FURIÓ, C.; GALLEGO, N.; GENÉ, A.; GONZÁLEZ, E.; GUIASOLA, J.; MARTINEZ, J.; PESSOA, A.; SALINAS, J.; TRICÁRICO, H.; VALDÉS, P. Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 17, n. 3, p. 503–512, 1999.

GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A. Una alfabetización científica para el siglo XXI. Obstáculos y propuestas de actuación. **Investigación en la Escuela**, Sevilla, v. 4, n. 3, p. 27–37, 2001.

GUERRINI, Uliano. et al (2002) **New insights into brain damage in stroke-prone rats: a nuclear magnetic imaging study**. 2002

HALLIDAY, D.; RESNICK, W. **Fundamentos de Física eletromagnetismo**, vol 3 6ª edição. Rio de Janeiro: Editora Heath. *A Manual of Greek Mathematics*. [S.l.: s.n.] p. 5, 1996.

HENRIQUES, A. NAGAMINE, C. M. L. NAGAMINE, A. Reflexões sobre a Análise Institucional: O caso de ensino e aprendizagem de integrais múltiplas. **BOLEMA**, Rio Claro (SP), v. 26, n. 44, dez. 2012.

HENRIQUES, A.; NAGAMINE, A.; NAGAMINE, C. M. L. Reflexões Sobre Análise Institucional: o caso do ensino e aprendizagem de integrais múltiplas. **Boletim de Educação Matemática**, São Paulo, v. 26, n. 44, p. 1261-1288, 2012.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MACHADO, N. J. **Matemática e Realidade: análise dos pressupostos filosóficos que fundamentam o ensino da matemática**. São Paulo: Ed. Cortez, 2001.

MACHADO, Vera de Mattos. **Prática de estudo de ciências: formação inicial docente na unidade pedagógica sobre a digestão humana**. Tese de Doutorado. Campo Grande: UFMS, Campo Grande 2011.

MARTINS, Roberto de Andrade. **Orsted e a descoberta do eletromagnetismo**. Caderno de História e Filosofia da Ciência 10, 89, 1986. Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/ghtc/ram-pub.htm>. Acessado em 22.11,2017.

MATOS FILHO, M. A. S.; et al. **A Transposição Didática em Chevallard: As Deformações/Transformações Sofridas pelo Conceito de Função em Sala de Aula**. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO/EDUCERE da Pucpr, 8.2008, Curitiba. Anais...Curitiba: Pucpr, 2008.

McCOMAS, W. F. (Ed.) **The nature of science in science education: rationales and strategies**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1998.

MEDEIROS, A; MEDEIROS, C. F. DE. Possibilidade e limitações das simulações  
NETO, B. D. **Aprendizagem de conceitos físicos relacionados com circuitos elétricos em regime de corrente alternada com uso da placa Arduino**. 2013. 158f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física). Porto Alegre, 2013.

NETO, B. D. **Aprendizagem de conceitos físicos relacionados com circuitos elétricos em regime de corrente alternada com uso da placa Arduino**. 2013. 158f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física). Porto Alegre, 2013.

OLIVEIRA, Marcos Barbosa de. Considerações sobre a neutralidade da ciência. Revista Trans/formação. Vol. 26(1). São Paulo, SP. 2003. Disponível no site: <http://www2.fe.usp.br/~mbarbosa/neutralidade.pdf>. Acesso em: 01/04/2019.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **A Física na Formação de Professores do Ensino Fundamental**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 1999. (Coleção Educação Continuada), 151 p.

PAIS, Luiz Carlos. Traços históricos do ensino da aritmética nas últimas décadas do século XIX: livros didáticos escritos por José Theodoro de Souza Lobo. **Revista Brasileira de História da Matemática - RBHM**, v. 10, n. 20, p. 127-146, 2010

PATY, M. **A matéria roubada**. São Paulo: Edusp, 1995

POINCARÉ, H. **O Valor da Ciência**. Tradução Maria Helena Franco Martins. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.

Publicação Oficial da Sociedade Brasileira de História da Matemática

RICHIT, A. Abordagem geométrica: possibilidades para o ensino e aprendizagem de Introdução às Equações Diferenciais Ordinárias. **Bolema**, Rio Claro (SP), Ano 22, n. 32, p. 247 – 254, 2009.

ROSSINI, R. **Saberes docentes sobre o tema função: uma investigação das praxeologias**. 2006. 384f. Tese (Doutorado em Educação Matemática). Pontifca Universidade católica de São Paulo -PUC/SP, 2006.

RUSSEL, B. **Misticismo e Lógica e outros ensaios**. Tradução Alberto Oliva e Luiz Alberto Cerqueira. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1977.

SADIKU, M. N. O.; ALEXANDER, C.K. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 5th Edition. Ed. The McGraw-Hill Companies. São Paulo- SP. 2013.

SANTOS FILHO, J. C. **Pesquisa quantitativa versus pesquisa qualitativa: o desafio paradigmático**. In: SANTOS FILHO, José Camilo; GAMBOA, Sílvio Sanchez (Org.). Pesquisa educacional: quantidade e qualidade. São Paulo: Cortez, 1995

SANTOS, B. de S. **A universidade no século XXI: para uma reforma democrática e emancipatória da universidade**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2005.

SANTOS, B. S. A filosofia à venda, a douta ignorância e a aposta de Pascal. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, n. 80, p11-43, Março 2008:

SCHIVANI, M. **Contextualização no ensino de Física à luz da Teoria Antropológica do Didático: o caso da robótica educacional**. 2014. 220f.Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, 2014.

SWOKWSKI, E. W. **Cálculo com geometria analítica**, São Paulo: Makron Books, 1994.

## **ANEXOS**

ANEXO I - Transcrição da Interação das equipes

ANEXO II - Atividade 1

ANEXO III - Atividade 2

ANEXO IV - Atividade 3

ANEXO V – Atividade 4

ANEXO VI – Roteiro do Questionário

ANEXO VII – Depoimento espontâneo de uma aluna

ANEXO VIII – Documentos de Autorização



## ANEXO I - Transcrição da Interação das equipes

LINHA	ATOR	DISCURSO	OBSERVAÇÃO
<b>ATIVIDADE 1</b>			
<b>EQUIPE 1</b>			
<b>1</b>	<b>PROFESSORA</b>	Boa tarde!	
<b>2</b>	<b>ESTUDANTES</b>	Boa tarde!	Estudantes, respondem.
<b>3</b>	<b>PROFESSORA</b>	Como já havíamos sinalizado, iniciaremos a aula com a atividade sobre circuitos rl e rc em cc. E como primeira atividade vocês vão analisar tensão e corrente nos componentes: capacitores e indutores.	A professora entra na sala e inicia a aula.
<b>4</b>	<b>PROFESSORA</b>	Vou entregar as tarefas para todos vocês, para que possam se apropriarem do problema para poder resolverem. Porém, só vão entregar um trabalho por equipe.	A professora entrega a atividade 1 para as equipes que já haviam sido formalizadas.
<b>5</b>	<b>E1</b>	O capacitor e o indutor armazenam energia, por serem componentes elétricos de memória.	A professora, circula na sala
<b>6</b>	<b>E2</b>	Se a chave está aberta o circuito não tem energia porque a fonte não está conectada no circuito.	Discussão entra a equipe.
<b>7</b>	<b>E4</b>	Como saber a energia do capacitor e do indutor?	Estudante demonstra dúvida na questão.
<b>8</b>	<b>E3</b>	Temos que analisar o circuito em $t = 0^-$ , $t = 0^+$ e $t = \infty$ , isso define a questão que relata que no tempo ( $t = 0$ ) havia tensão no capacitor e	O Estudante demonstra ter se apropriado da questão.

		corrente no indutor.	
9	E2	Em $t = 0^-$ a tensão $V_0$ no capacitor e a corrente $I_0$ no indutor são zero e no infinito é a tensão da fonte.	O estudante faz análise correta.
10	E1	É... (silêncio) e no infinito é a tensão da fonte que está no capacitor falta analisar o indutor.	
11	E3	Lembra que o indutor vira um curto? O circuito é um resistor e uma fonte agora, é só aplicar a lei de Kirchhoff.	O estudante está manipulando os objetos ostensivos e não ostensivos.
12	E4	Pronto, a corrente no indutor é dada pela relação tensão sobre resistência. A equação matemática é: $I = V/R$	O estudante está manipulando os objetos ostensivos.
13	E1	Tranquilo, será que todo mundo fez assim?	
14	E2	Itens b e c são descrições do que fizemos. Item a: É necessário conhecer o componente. Saber como o mesmo reage à uma aplicação de uma tensão (ddp) etc.	
15	E4	Vamos preencher as tabelas de acordo com os tempos pedidos na atividade.	Os estudantes preencheram as tabelas em alguns casos como se os mesmos fossem alimentados com fontes ca e não com fontes em cc, como é o caso em debate.
<b>EQUIPE 2</b>			
16	E5	Em $t = 0^-$ as chaves nos dois circuitos estão abertas, não tem corrente nem tensão nos dois circuitos.	Os estudantes manipulam os objetos não ostensivos, visto que fazem uma análise física dos circuitos.
17	E6	Não é melhor trabalhar um circuito	

		por vez?	
18	E7	Eu acho! Um é com indutor e resistor e o outro com capacitor e resistor.	
19	E5	Ok! Preenchemos as duas tabelas para o tempo antes de zero. Analisando um circuito apenas.	
20	E6	Hum! vamos ver primeiro o circuito RC.	Todos da equipe concordam.
21	E7	Eu acho que em $t = 0^+$ a corrente é máxima. porque a tensão no capacitor é máxima e igual a $V_0$ , coloca na tabela.	A equipe analisa o circuito como se a fonte fosse ca que é o último conteúdo que é visto na Física III.
22	E6	No infinito a corrente no capacitor é zero porque ele está saturado e a tensão é V.	Análise correta. Presente objetos não ostensivos.
23	E5	Certo.	
24	E6	Questão b: Os conhecimentos são: tensão no capacitor, tempo de carga e descarga no capacitor e no indutor, corrente máxima no indutor, capacitância e indutância.	Os alunos manipulam os objetos não ostensivos, uma vez que estão fazendo uma análise física da atividade.
25	E5	Questão c: Entender o comportamento de tensão, da corrente no indutor e no capacitor analisa-las em função do tempo.	Os estudantes, interagem com a equipe 3.
26	PROFESSORA	Vocês devem discutir primeiro com os membros da equipe, depois	Professora lembra acordo de etapas de

		abriremos espaço para discussão entra as três equipes. Tudo bem pessoal?	discussão.
27	<b>ESTUDANTES</b>	Certo pró.	Todos concordam.
<b>EQUIPE 3</b>			
28	<b>GAUSS</b>	Em $t = 0^-$ a chave do circuito RC está aberta, não há energia no circuito nem corrente, ambas são zero.	Análise correta. Alunos manipulam. Os objetos não ostensivos, visto que fazem uma análise física dos circuitos.
29	<b>TESLA</b>	Certo. Em $0^+$ o capacitor continua descarregado sua tensão é zero e ele é um curto, a corrente dele é a mesma do circuito, tensão da fonte dividida pela resistência. Quem analisa para o infinito?	
30	<b>ESTIVER ROGERS</b>	posso tentar. Não estou seguro, vocês me ajudem.  No infinito a chave continua fechada, mas, qual é a tensão do capacitor V ou $V_0$ ?	Deu início a leitura do problema
31	<b>TESLA</b>	ah! Chama a pró.	O professor faz a leitura do problema que está no cartaz
32	<b>GAUSS</b>	ela não vai dizer, lembra da outra vez?	O áudio não é bom. Mas ouvi-se um estudante arriscar um resultado. A câmera está focada no professor.
33	<b>ESTIVER ROGERS</b>	Mas ela dá uma luz.	
34	<b>TESLA</b>	Pró no infinito qual a tensão no	Análise correta, os

		capacitor? A tensão continua fluindo pelo capacitor até o mesmo estar completamente carregado	estudantes fazem análise física do componente, analisando dessa forma os não ostensivos.
35	<b>Professora</b>	Analise o circuito através da fórmula de corrente no capacitor.	A professora direciona os estudantes para uma análise ostensiva.
36	<b>TESLA</b>	A gente não lembra.	Nesse tempo os alunos conversam, mas não são nítidas as falas
37	<b>Professora</b>	Analise os componentes antes de serem ligados aos circuitos. Vejam suas condições iniciais. Como se comportam capacitor e indutor que se encontram sem cargas? E submetidos a fontes de energia? (Fórmulas disponibilizadas no quadro para todos os alunos).	A professora direciona os estudantes para uma análise física da atividade.
38	<b>E10</b>	E agora? No início os componentes estão descarregados considerando que estão sem uso há muito tempo.	O professor se aproximou de um estudante e deu orientações.
39	<b>TESLA</b>	No infinito a tensão no capacitor é a tensão da fonte porque o capacitor já se carregou com a tensão $V$ da fonte e...(pausa) êta! Silêncio...	A professora circular pela sala, entre as equipes se aproxima dos estudantes, mas, não fazem perguntas.
40	<b>GAUSS</b>	Vamos ver pela fórmula o que acontece com a corrente? (Alunos falam todos ao mesmo tempo)	
41	<b>TESLA</b>	Vamos. $C$ (se referem a capacitância do capacitor) é um valor qualquer, falta derivar a tensão, mas não tem	Nesse os estudantes fazem uma análise física do capacitor isolado. Capacitância

		valor.	é a propriedade do capacitor armazenar carga no campo elétrico.
42	<b>GAUSS</b>	Os itens b e c são síntese do que discutimos. Você redige Tesla?	Risos...
43	<b>TESLA</b>	Sim, vocês ajudam.	Os alunos preenchem as tabelas. Manipulam os ostensivos e não ostensivos organizando uma paleologia para a atividade.
44	<b>Professora</b>	Todos concluíram as atividades?	
45	<b>ESTIVER ROGERS (equipe 3)</b>	Dê mais 5 minutos pró.	
46	<b>Professora</b>	Faltam 10 minutos para encerrar a aula e o professor da próxima aula já chegou. Só dará tempo fazer a validação e não haverá discussão entre as equipes.	
47	<b>Professora</b>	É feita a validação.	Todos os estudantes discutiram as questões no momento da validação.
<b>ATIVIDADE 2</b>			
<b>EQUIPE 1</b>			
48	<b>PROFESSORA</b>	Boa tarde!	Professora inicia a aula.
49	<b>ESTUDANTES</b>	Boa tarde pró.	Estudantes. Todos cumprimentam a professora.
50	<b>PROFESSORA</b>	Faremos hoje a segunda atividade. Vocês terão 15 minutos para ler e interpretar a mesma. Peço que nesse tempo leiam com a atividade com atenção e só então iniciem as	Os estudantes fazem leitura silenciosa.

		discussões.	
51	E3	Item b, a tensão no capacitor é dada pela integral a corrente, então a gente tem que entender o conhecimento da corrente pra aplica as regras da integral.	O estudante ler a atividade em voz alta para a para a equipe.
52	E4	Para chegar a tensão do capacitor temos que ir pra o conteúdo da física onde a gente viu capacitor e indutor.	O estudante busca os não ostensivos da física necessários para resolução e entendimento da questão. Buscam os elementos tecnológicos e teóricos do bloco praxeológico, saber fazer.
53	E2	Eu lembro que tem relação com campo elétrico e campo magnético.	
54	E1	É a parte do conteúdo de eletromagnetismo.	
55	E3	Vamos analisar.	
56	E4	Alguém escreve aí.	
57	E1	Primeiro a gente discute depois alguém faz o resumo, concordam	Todos da equipe concordam
58		<b>E2:</b> Sim. Precisamos entender o comportamento do capacitor e do indutor. O capacitor é mais fácil, lembra que na primeira aula do curso a pró disse que capacitor, indutor e resistor são componentes passivos? Então eles recebem energia: o resistor dissipa a energia em forma de calor e os outros dois armazenam a energia.	O estudante manipula os objetos não ostensivos.

59	E4	É... quando o circuito é ligado o capacitor começa a se carregar com corrente pra conduzir tensão.	Continuam na análise de objetos não ostensivos.
60	E3	O indutor é o contrário, se carrega com tensão e conduz corrente. Eu vou ter que dá uma lida nisso, em física eu não entendi direito.	Continuam com análise física.
61	E4	A gente não fez aula prática com esses componentes, por isso fica difícil entender.	Os estudantes consultam a internet.
62	E3	Bem, visto um pouco de teoria vamos resolver a atividade.	
63	E1	A corrente no capacitor é: $i_C = C \frac{dv}{dt}$ e a tensão no indutor é: $v_L = L \frac{di}{dt}$	Os estudantes manipulam os objetos não ostensivos, visto que trabalham fórmulas matemáticas.
64	E4	Para continuar, integramos para eliminar a derivação, integramos a equação, faremos o mesmo para os dois circuitos e terminamos.	Os estudantes continuam manipulando os objetos não ostensivos.
65	E3	Eu escrevo no meu trabalho para entregar.	
<b>EQUIPE 2</b>			
66	E5	(Equipe faz leitura silenciosa da atividade dos itens a e b) não é difícil responder, basta ver o que foi necessário para fazer a atividade anterior.	
67	E6	Foi tensão máxima no capacitor, o tempo que ele se carregou e a corrente máxima do indutor.	.O estudante lembra a atividade anterior.
68	E7	O tempo de carga e descarga depende da capacitância e da	Os estudantes discutem a atividade.



		indutância.	
69	E5	Esses dados não são importantes para a questão, se não seria dado os valores de C e L.	Os estudantes continuam discutindo a atividade.
70	E6	Importa porque influência na quantidade de carga armazenada.	Discussão continua.
71	Professora	Leiam a questão com atenção e destaquem o que é solicitado, tudo bem pessoal?	A professora faz intervenção.
72	E5	Tudo bem pró. Eu disse que não importava, ela quer tensão e corrente e independem de C e L e não importa o tempo.	
73	E6	Verdade. Mas, não é fácil responder.	
74	E7	Cada um faz o resumo e a gente ver qual fica melhor.	Silêncio!
75	E6	Quem entendeu melhor foi você E5, faça o resumo.	
76	E5	Vamos com calma, para $t > 0$ o capacitor se descarrega em cima do resistor.	
77	E7	Vamos escrever a equação e plotar o gráfico. Terminamos.	Os estudantes transcrevem as equações e plotam os gráficos.
<b>EQUIPE 3</b>			
78	TESLA	O que ocorre com o capacitor quando submetido a uma tensão a	

		longo tempo?	
79	<b>GAUSS</b>	Ele corta a corrente quando o capacitor está carregado.	
80	<b>ESTIVER ROGERS</b>	Ele corta a corrente por causa da inercia.	O estudante faz análise física da atividade.
81	<b>PROFESSORA</b>	Cuidado na análise, o indutor não corta a corrente por causa da inercia. Inercia no indutor e no capacitor, é a capacidade desses componentes resistirem às mudanças repentinas.	Intervenção da professora.
82	<b>TESLA</b>	Pelo que a pró orientou, ele conduz tensão, então sua inercia é em relação a tensão.	Os estudantes analisam a atividade.
83	<b>GAUSS</b>	Então qual é o efeito dessa inercia no circuito?	
84	<b>ESTIVER ROGERS</b>	Devido a inercia o capacitor se mantém inalterado durante uma pequena fração do tempo.	Análise física. Se busca os não ostensivos.
85	<b>TESLA</b>	Respondendo à pergunta, temos que saber: como se comportam os componentes capacitor, resistor e indutor.	Os estudantes buscam os conceitos adquiridos na atividade anterior.
86	<b>GAUSS</b>	Vamos partir do princípio que o capacitor armazena tensão, o indutor corrente e o resistor não armazena cargas, ele as dissipa em forma de calor.	Os estudantes discutem sobre os ostensivos e não ostensivos, e com isso manipulam os blocos práticos e teóricos. (saberes

			adquiridos na disciplina Física III).
87	<b>ESTIVER ROGERS</b>	As chaves permitem análise do circuito em três tempos distintos e próximos: $t = 0^-$ ; $t = 0$ e $t = 0^+$	
88	<b>TESLA</b>	Nesses três tempos o capacitor e o indutor se opõem a mudança de seus valores de energia, isso é a inercia dos componentes.	A estudante faz análise correta.
89	<b>GAUSS</b>	Já dá para construir a resposta. Vamos?	
90	<b>ESLA:</b>	Ok!	A estudante faz a transcrição da equação.
<b>ATIVIDADE 3</b>			
<b>EQUIPE 1</b>			
91	<b>Professora</b>	Boa tarde!	Professora inicia a aula
92	<b>Estudantes</b>	Boa tarde pró.	Todos cumprimentam a professora.
93	<b>Professora</b>	Nessa aula, vocês vão analisar o circuito RC formado por um Capacitor e um Resistor, Em particular a resposta natural do circuito. Vocês terão 10 minutos para ler e interpretar a atividade. Após esse tempo iniciem as discussões como nas atividades passadas.	Professora dá instruções para a atividade.
94	<b>E3</b>	O circuito RC é de fundamental importância porque pode ser encontrado em várias outras áreas da engenharia elétrica.  Como ocorreu o processo de carga	O estudante analisa a atividade.

		se o capacitor carregado impede a passagem de corrente?	
95	E2	Vamos analisar o circuito. Ele é composto por uma fonte de tensão, dois resistores, um capacitor e uma chave.	O estudante analisa o circuito fisicamente.
96	E1	A fonte de tensão é constante.	
97	E2	Certo. Isso é importante.	
98	E2	Vamos analisar o circuito. Ele é composto por uma fonte de tensão, dois resistores, um capacitor e uma chave.	
99	E1	Observe que quando a chave é aberta, o resistor $r_1$ é desconectado do circuito.	
100	E2	Porém ele é fundamental para a carga final do capacitor.	
101	E4	A chave permaneceu fechada por um longo tempo e nesse tempo o capacitor é carregado.	O estudante faz análise do circuito chaveado.
102	E2	Vamos analisar como ocorreu o processo de carga.	
103	E4	Como ocorreu o processo de carga se o capacitor carregado impede a passagem de corrente?	O estudante tem dificuldade de entender o circuito.

104	E1	O capacitor impede a passagem da corrente, quando já está carregado, pois ele se carrega com a corrente.	
105	E3	Antes de $t = 0$ a chave está fechada e flui uma carga da fonte de tensão, que se divide para o capacitor e o resistor.	
106	E2	Pró, em $t = 0$ , o capacitor já está carregado, então, o que ocorre com a carga que flui da fonte de tensão?	
107	Professora	Sigam a sugestão de E1, analisem os componentes desde a montagem do circuito, supondo que eles estavam sem uso há algum tempo, ou seja, vocês os adquiriram no armário do laboratório que estava fechado há algum tempo, daí analisem o comportamento do capacitor.	Intervenção da professora.
108	E2	A fonte está desligada, logo não tem tensão. O resistor não acumula carga. Resta analisar o capacitor. Como o capacitor estava no laboratório há algum tempo, mesmo que estivesse carregado no início, já teria descarregado.	
109	E2	Se o capacitor está descarregado, sua tensão é zero, e ele se comporta como um curto circuito.	O estudante manipula os objetos não ostensivos.
110	E3	Vamos processar essas informações. Silêncio (02 minutos e 33 segundos).	
111	E1	O circuito fica: a fonte de tensão e o	

		resistor em paralelo com o curto circuito.	
112	E2	Então a corrente gerada no circuito passa toda pelo curto circuito que na realidade é o capacitor.	Análise correta.
113	E2	Essa corrente carrega o capacitor que estando carregado, impede a passagem da corrente e passa a conduzir tensão.	
114	E3	A corrente no capacitor é ZERO, porque a fonte é constante, logo o capacitor se comporta com um circuito aberto.	
115	E2	É não flui corrente, mas, tem tensão nos terminais.	
116	E3	Qual o valor dessa tensão?	
117	E1	Como o resistor está em paralelo com o capacitor, a tensão do capacitor é igual é a tensão do resistor, que pode ser calculado por divisor de tensão.	
118	E3	Vamos lá: $v_c(t) = V_o (R/R) = V_o$	Objetos ostensivos.
119	E4	É, o capacitor e a fonte estão em paralelo, logo as tensões são iguais.	
120	E1	Agora vamos plotar os gráficos. Em $t = 0$ a fonte é desconectada do circuito e o capacitor é quem fornece energia para o resistor do circuito,	Os estudantes plotam os gráficos (objetos ostensivos).

		que dissipa essa energia em forma de calor até esgotar a energia do capacitor e o circuito parar de funcionar.	
121	E3	Então a tensão capacitor inicia com o valor máxima e vai decaindo exponencialmente ao longo do tempo, até atingir o valor zero.	Os estudantes analisam a o gráfico do circuito.
122	E2	Com a corrente do capacitor acontece a mesma coisa e o gráfico da corrente em função do tempo é igual ao da tensão, não é?	
123	E1	Sim	
<b>EQUIPE 2</b>			
124	E5	Pelo que a pró falou, com tudo sem energia, a tensão da fonte é zero e a tensão e a corrente no capacitor e no resistor são zero também.	
125	E7	Em $t < 0$ o capacitor já se carregou, logo há tensão nos terminais, sua corrente é dada pela expressão $i_c(t) = Cdv_c(t)/dt$ , como a fonte de tensão é constante sua derivada é zero e $i_c(t) = 0$ , o capacitor é um circuito aberto e por esta em paralelo com a fonte de tensão, tem a mesma tensão da fonte.	Os estudantes manipulam os objetos ostensivos e não ostensivos, ocorrendo o que Mariana Bosch, chama de dielétrica dos ostensivos e não ostensivos.
126	E6	Para $t > 0$ temos apenas o capacitor e o indutor e vamos aplicar a lei de Kirchhoff para encontrar a expressão da tensão.	Manipulação dos não ostensivos.
127	E7	Vamos usar a lei de Kirchhoff para malha ou para nó?	
128	E5	Para qualquer método a resposta será a mesma, porém se fizermos por nó encontraremos logo a expressão da tensão e por malha, acharemos a corrente e a partir desta a tensão.	O estudante busca a técnica que possibilita uma resolução mais rápida para a atividade.
129	E6	A lei de Kirchhoff para análise nodal estabelece que a soma das correntes	

		é igual a zero.	
130	E5	A gente precisa da tensão para $t > 0$ , devido a inercia o capacitor se opõe a mudança brusca de tensão.  também, deu uma exponencial.	
131	E6	A tensão antes de mudarmos a posição da chave é a mesma imediatamente após a mudança de posição da chave, $v_c(t) = V_o$ .	
132	E7	Vamos encontrar a expressão final. É só voltar as aulas de Física III.	Instantes de silêncio.
133	E6	Cheguei à equação.	O estudante transcreve a equação.
134	E5	Eu também, deu uma exponencial.	
135	E6	Isso.	
136	E7	Ainda não terminei calma aí.	
137	E6	Pró, buscando os conhecimentos de outras disciplinas, força a gente ter maior empenho porque não vamos receber o conteúdo pronto. Vamos construir o conhecimento e como a construção é nossa não esqueceremos.	O estudante analisa o processo adidático aplicado em sala de aula.
138	E7	Terminei. Também encontrei uma exponencial. Vamos analisar o circuito para plotar os gráficos.	
139	E6	Pela equação faremos o gráfico. Substituí na equação $t = 0$ e $t$ tendendo a infinito, marcar os pontos e pronto.	O estudante transcreve os gráficos solicitados.
<b>EQUIPE 3</b>			
140	TESLA	Cada um analisa a questão e depois discutiremos. Vamos marcar um tempo?	
141	GAUSS	Vamos, 10 minutos	



142	<b>ESTIVER ROGERS</b>	Ok !	Os estudantes analisam a atividade em silencio.
143	<b>GAUSS</b>	Pronto pessoal?	
144	<b>TESLA</b>	Sim	
145	<b>GAUSS</b>	Retomando o estudo de capacitores, dá pra lembrar que esse componente armazena energia no campo elétrico e essa energia retorna para o sistema.	
146	<b>ESTIVER ROGERS</b>	Temos que analisar a situação do capacitor antes do tempo $t = 0$ , quando acionamos a chave desconectando a fonte de tensão do circuito.	
147	<b>TESLA</b>	O capacitor se carregou com a corrente e nessa situação impede a passagem de corrente, como um circuito aberto. Não há um caminho para fluir corrente, mas, nos seus terminais tem tensão.	
148	<b>GAUSS</b>	A tensão do capacitor é igual a tensão da fonte $V_0$ porque o circuito está em paralelo.	
149	<b>ESTIVER ROGERS</b>	Se o capacitor é um circuito aberto não há fluxo de corrente, como ele se carrega com a corrente não tem tensão.	
150	<b>TESLA</b>	Ele só funciona como um circuito aberto quando está carregado, entende?	Os estudantes discutem a atividade.
151	<b>ESTIVER ROGERS</b>	Sim.	
152	<b>TESLA</b>	Essa energia é acumulada e permanece no capacitor.	
153	<b>ESTIVER ROGERS</b>	Ah! Correto, como em $t = 0$ a chave é aberta, o circuito fica sem fonte e funciona um tempo, devido a energia que o capacitor acumulou	

154	<b>GAUSS</b>	Pró, o circuito vai parar de funcionar quando o resistor dissipar a energia do capacitor?	
155	<b>PROFESSORA</b>	Como o capacitor se carrega?	Intervenção da professora.
156	<b>ESTIVER ROGERS</b>	Entendi o capacitor se carrega com a fonte que foi desconectada do circuito, entenderam? Temos meia hora e falta plotar os gráficos.	
157	<b>TESLA</b>	É mesmo	
158	<b>GAUSS</b>	Pelo direcionamento da pró, o circuito se descarrega mas, funciona um tempo que embora curto, existe uma equação que define seu estado.	
159	<b>ESTIVER ROGERS</b>	Vamos equacionar. Trabalhando com soma de correntes.	O estudante escolhe uma técnica para solucionar a atividade.
160	<b>GAUSS</b>	<b>GAUSS:</b> se a gente trabalha com corrente a incógnita é a tensão e de primeira temos o que a atividade solicita.	
161	<b>TESLA</b>	Verdade.	
162	<b>ESTIVER ROGERS</b>	Eu analiso a equação e vocês desenham os gráficos.	
163	<b>TESLA</b>	Plotar os gráficos a partir da equação matemática é mais rápido. Todo mundo ajuda.	
164	<b>ESTIVER ROGERS</b>	EA soma da corrente do capacitor com a corrente do resistor é igual a zero pela lei de Kirchhoff. Substituímos as correntes em função da tensão.	
165	<b>GAUSS</b>	Manipulando algebricamente...	Estudante transcreve a equação.
166	<b>ESTIVER ROGERS</b>	Ficamos com a derivada da tensão dividida pela tensão que resulta na subtração de um logaritmo.	

167	<b>TESLA</b>	Para eliminar o logaritmo aplicamos a operação inversa que é a exponencial.	O estudante manipula objetos ostensivos.
168	<b>GAUSS</b>	Subtração de logaritmos é equivalente a uma divisão. Olha o retorno da matemática (risos).	O estudante manipula objetos ostensivos, que são necessários para resolução da atividade.
169	<b>TESLA</b>	Para eliminar o logaritmo aplicamos a operação inversa que é a exponencial. Encontramos que a tensão do capacitor é dada por uma equação exponencial de expoente negativo.	
170	<b>ESTIVER ROGERS</b>	Analisando a equação, em zero a tensão no capacitor é máxima e vai caindo com o tempo até zerar. Os gráficos são exponenciais decrescente.	
171	<b>TESLA</b>	<b>TESLA:</b> eu desenho o gráfico. Silêncio.	A estudante plota os gráficos (objetos ostensivos).
172	<b>TESLA</b>	<b>TESLA:</b> pronto tarefa cumprida.	
<b>ATIVIDADE 4</b>			
<b>EQUIPE 1</b>			
173	<b>E1</b>	As respostas dos itens a e b estão associadas a tudo que vimos até agora.	
174	<b>E3</b>	Temos que analisar e descrever.	
175	<b>E4</b>	Vamos resolver o item c e fica tranquilo resolver os dois primeiros.	
176	<b>E1</b>	Temos que analisar o que ocorre com o circuito antes e depois de abirmos a chave.	
177	<b>E4</b>	Nesse caso aplica a lei de Kirchoff para tensão, ou seja, analisar por malha.	Análise física da atividade.

178	E1	E1: vamos, a soma das tensões é igual a zero.	
179	E3	E3: substitui as tensões em função da corrente e ficamos com: $Ri(t) + Ldi(t)/dt + 1/C = 0$	Manipulam os ostensivos.
180	E4	E4: derivar para eliminar a integral e dividir por L	
181	E3	E3: feito. Já temos a equação é uma derivada de segunda ordem.	
182	E1	Legal. Olha aí o Cálculo III.	O estudante utiliza o Cálculo III como ferramenta.
183		Não dá pra resolver porque não tem valores para os componentes.	
184	E3	Agora os itens a e b.	
185	E2	Eu escrevo, depois cada um ler e ajusta se for preciso.	
<b>EQUIPE 2</b>			
186	E6	Já lemos a atividade, vamos discuti-la.	
187	E5	Item a: como estamos seguindo uma sequência, tudo que aprendemos vamos usar nessa atividade.	
188	E6	No item b também. É o necessário para resolver o item c.	
189	E7	Então vamos para o item c e anotamos o que está sendo feito. Todos concordam?	O estudante utiliza os conceitos anteriores (não ostensivos), para o entendimento da questão.
190	E5	Item c: para $t > 0$ ficamos com o circuito sem fonte de tensão, porem o capacitor e o indutor estão carregados. Não é?	

191	E6	Correto.	
192	E5	Analisando o circuito, percebemos que os componentes estão em série. Vamos analisar por malhas.  A soma das tensões é zero.  Quem lembra da fórmula da tensão no capacitor, eu sempre confundo.	
193	E6	$v_c(t) = 1/C$	O estudante manipula os objetos ostensivos.
194	E7	Substitui tensão do resistor, do indutor e do capacitor, vejam a equação ficou em função da corrente.  Derivamos porque temos na mesma equação derivada e integral e a integral some da equação.  Temos uma equação em termos de derivada apenas.	
195	E6	Elimine o coeficiente da derivada segunda, dividindo a equação por L.  Já temos a equação pedida percebem?	
196	E5	É verdade.	
197	E7	Sim. Agora vamos as questões teóricas. Todos sabem o que responder?	
198	E6	Sim.	
199		É um algoritmo do que fizemos na resolução do item c. Eu escrevo	
200	E7	Eu faço você já escreveu o item c.  Pronto. Atividade realizada	O estudante transcreve a solução da atividade.
<b>EQUIPE 3</b>			
201	TESLA	Esse circuito tem dois elementos que armazenam energia, mais os conhecimentos são todos os utilizados nas atividades anteriores.	

202	<b>GAUSS</b>	Os conceitos de carga e descarga do induto e do capacitor, não é tão simples.	
203	<b>ESTIVER ROGERS</b>	Analisar o circuito para $t < 0$ e $t > 0$	
204	<b>TESLA</b>	Para $t > 0$ , aplicar análise de	
205	<b>GAUSS</b>	A soma das tensões é zero	
206	<b>TESLA</b>	Eu escrevo. Ficamos com uma equação que tem derivada e integral vejam.  Derivamos para eliminar a integração;  Ficamos com uma EDO de segunda ordem.	
207	<b>GAUSS</b>	Divide por L pra torna unitário o coeficiente da derivada segunda	
208	<b>ESTIVER ROGERS</b>	Chegamos a equação do circuito.	
209	<b>TESLA</b>	Vamos as questões a e b. Quem escreve?	
210	<b>GAUSS</b>	Você.	
211	<b>TESLA</b>	Ok! Silêncio... Vejam.	A aluna mostra a solução para os membros da equipe.
212	<b>GAUSS e ESTIVER ROGERS</b>	Concordamos.	A equipe finaliza a atividade.

## ANEXO II – Atividade 1

<b>IFBA</b>	<b>SESSÃO 1</b> <b>Atividade 1</b>	<b>DAS</b>
<b>Data:</b>	<b>Circuitos Elétricos I - ENG 407</b>	
<b>Aluno (a)</b> _____		

**Atividade 1:** Os circuitos da figura 1(a) rc e (b) rl, são excitados por fontes constantes de tensão (resposta ao degrau). As chaves ficaram por um longo tempo na posição A antes de ser deslocada para a posição B em  $t = 0$ .

Dadas às condições iniciais  $v(0) = V_0$  para o circuito rc e  $i(0) = I_0$  para o circuito RL.

- Análise os circuitos rc e rl de cc da figura 1 e complete as tabelas 1.a e 1.b
- Quais conhecimentos você julga necessário para obter uma expressão para a tensão  $v(t)$  no capacitor figura 1.a e para a corrente  $i(t)$  no indutor figura 1.b?
- Quais os procedimentos operacionais padrão para a realização da Atividade?

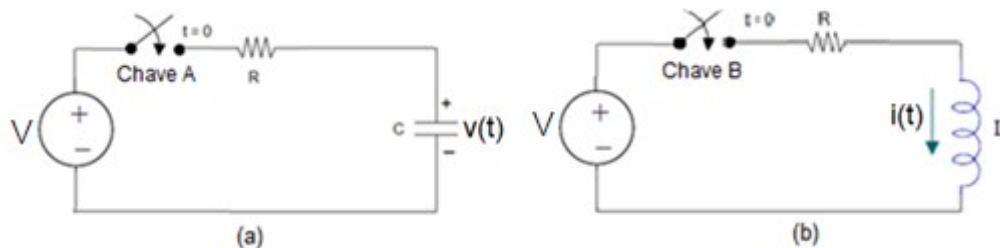


Figura 1 – (a) Circuito rc; (b) Circuito rl (Atividade 1)

t [s]	$i_c$ [A]	$v_c$ [V]
$0^-$		
$0^+$		
$+\infty$		

(a) circuito rc:  $v(t) \times t$

t [s]	$v_L$ [V]	$i_L$ [A]
$0^-$		
$0^+$		
$+\infty$		

(b) circuito rl:  $i(t) \times t$

## ANEXO III– Atividade 2

<b>IFBA</b>	<b>SESSÃO 2</b> Atividade 2	<b>DAS</b>
<b>Data:</b>	<b>Circuitos Elétricos I - ENG 407</b>	
<b>Aluno (a)</b> _____		

**Atividade 2** – carga do capacitor e do indutor

Para os circuitos da Atividade 1, figura 2, considere que as chaves A e B permaneceram aberta por um longo período e em  $t = 0$  é fechada. Encontrar a expressão da tensão  $v(t)$  no capacitor figura 2.a e da corrente  $i(t)$  no indutor figura 2.b.

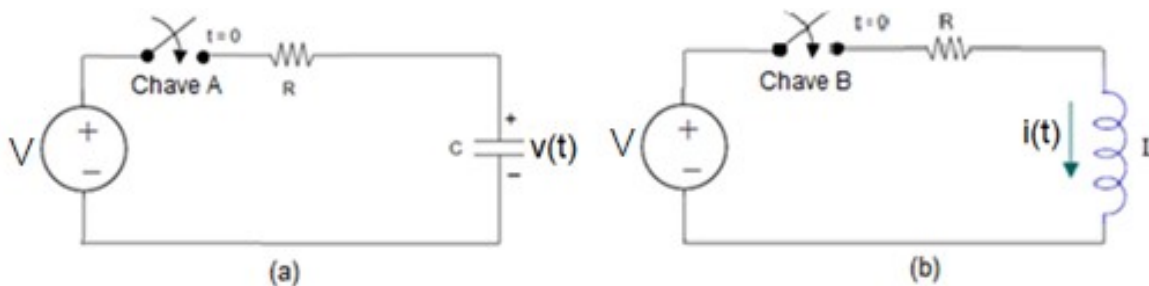


Figura 2: (a) Circuito rc; (b) circuito rl



## ANEXO IV – Atividade 3

IFBA	SESSÃO 3 Atividade 3	DAS
Data:	Circuitos Elétricos I - ENG 407	
Aluno (a) _____		

**Atividade 3:** O circuito da figura 1 tem a função de carregar o capacitor. A chave do circuito foi mantida por um longo tempo fechada. Em  $t = 0$  a chave é aberta.

- c) Determine a expressão para tensão e corrente no capacitor.
- d) Plote os gráficos  $v(t) \times t$  e  $i(t) \times t$

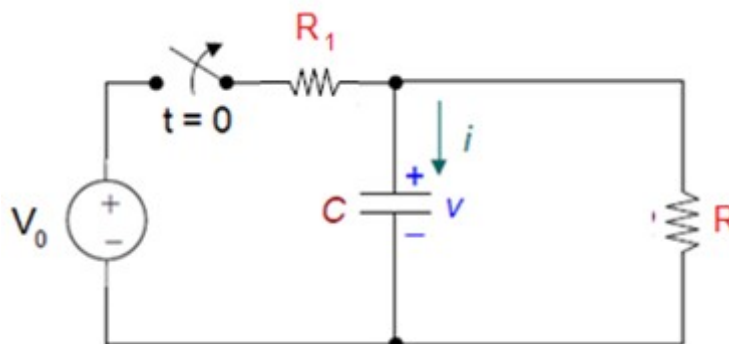


Figura 1 – Circuito rc

## ANEXO V – Atividade 4

IFBA	SESSÃO 4 Atividade 4	DAS
Data:	Circuitos Elétricos I - ENG 407	
Aluno (a) _____		

**Atividade 4:** A chave do circuito envolvendo resistor, indutor e capacitor (rlc) em série Fig.1, foi mantida fechada por um longo tempo até ser aberta em  $t = 0$ .

- d) Descrever os conhecimentos que você julga necessário para obter a fórmula da tensão no capacitor em função do tempo.
- e) Descrever os procedimentos operacionais padrão para a realização da atividade.
- f) Obter a equação da corrente  $i_C(t)$  no capacitor, em função do tempo.

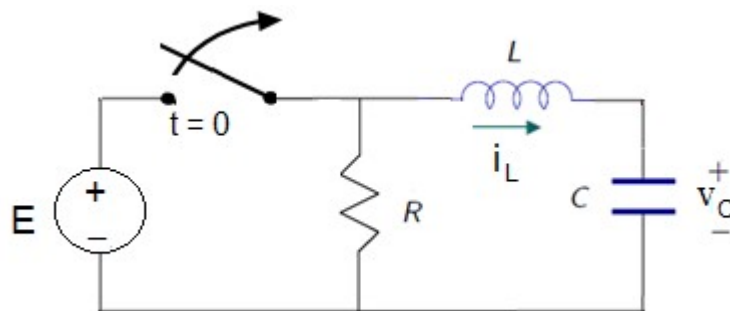


Figura 1 - Circuito rlc série

## ANEXO VI – Roteiro do Questionário

### QUESTIONÁRIO

Este questionário enquadra-se numa investigação no âmbito de uma tese de Doutorado em Ensino de Ciências, realizado na Universidade Federal da Bahia – UFBA/UEFS, sob a responsabilidade da pesquisadora Prof<sup>a</sup>. **Josélia França de Holanda Cavalcanti**, docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA. Os resultados obtidos serão utilizados apenas para fins acadêmicos (tese de Doutorado), sendo realçado que as suas respostas representam apenas a sua opinião individual. Não existem respostas certas ou erradas. Por isso lhe solicitamos que responda de forma espontânea e sincera a todas as questões.

Obrigado pela sua colaboração.

---

(Nome ou pseudônimo)

- 1) O procedimento adidático<sup>28</sup> adotado no ensino dos conteúdos circuitos elétricos, RC, RL e RLC, contribuiu para a sua compreensão das definições da física envolvidas nestes circuitos?

---

---

---

---

---

---

---

- 2) O que você achou do procedimento adotado?

---

<sup>28</sup> Procedimento adidático (Situação adidática), é uma situação na qual a intenção de ensinar não é revelada ao aprendiz, mas foi imaginada, planejada e constituída pelo professor para proporcionar a este condições favoráveis para a apropriação do novo saber que deseja ensinar.

---

---

---

---

---

---

---

- 3) Dê exemplo de situações que ocorreram durante a execução das atividades e que você classifica como pontos positivos e negativos.

---

---

---

---

---

---

---

- 4) Você já cursou as disciplinas Física Geral e Experimental III e Cálculo Diferencial e Integral III, pré-requisito de Circuitos Elétricos I. Se fosse fazer uma auto-avaliação sobre os conhecimentos que adquiriu, em qual das seguintes posições se colocaria? Justifique.

( ) Baixo                      ( ) Médio                      ( ) Alto

---

---

---

---

---

---

---

## ANEXO VII - Depoimento espontâneo de uma aluna

Salvador, 09 de agosto de 2019

Meu nome é [REDACTED], tenho 36 anos, sou graduanda do 5º semestre de engenharia industrial elétrica no Instituto Federal da Bahia (IFBA), com formação técnica em Eletrônica pela EEEMBA e graduação em Fisioterapia pela Unijorge.

O objetivo desse texto é transcrever um depoimento espontâneo citado por mim durante uma aula da disciplina Circuitos I com a professora Josélia França no IFBA, no mês de julho de 2019.

A dinâmica proposta pela docente durante as aulas me fez refletir sobre a modalidade utilizada para avaliar os alunos no curso. Após explanar sobre o assunto, sempre são propostos exercícios para serem resolvidos em sala. Muito espontaneamente esses exercícios são resolvidos com trocas de conhecimentos entre os discentes.

Em toda minha vida acadêmica sempre fui avaliada com testes e provas, sobre assuntos que eram abordados em sala de aula e explicados de formas variáveis, dependendo de professor para professor.

E foi justamente estudando para a disciplina de Circuitos I que tive mais convicção que um único tipo de avaliação, a escrita, não iria conseguir avaliar o quanto de conhecimento eu adquirir durante todos os dias que me preparei para realiza-la.

Foram muitas horas de leitura, prática exercícios diversos, discussões em grupo (presencial e a distância), simulações com uso de artifícios tecnológicos e a certeza de muito conhecimento adquirido.

Muitas vezes eu me sentia preparada para realizar os exames teóricos, mas quando recebia o resultado não era o esperado. Seria mais fácil eu entender o baixo rendimento, cujo sempre era representado por uma nota entre zero e dez, se não tivesse me empenhado tanto.

A minha percepção é que na maioria das vezes o que realmente é avaliado talvez seja a capacidade de concentração, de equilíbrio emocional, de saber lidar com tempo limitado, tudo isso sobreposto ao que realmente deveria ser avaliado, o conhecimento.

Concluir que talvez o método convencional aplicado não seja eficaz para uma avaliação real sobre o conhecimento adquirido pelo aluno. Penso que é necessário uma remodelagem dos métodos avaliativos no sistema de educação acadêmica.

[REDACTED]

**ANEXO VIII – Documentos de Autorização****TERMO DE AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL****(da instituição proponente)**

Eu, \_\_\_\_\_, matrícula....., Diretor do \_\_\_\_\_, da Universidade Federal da Bahia, estou ciente e autorizo o (a) pesquisador (a) \_\_\_\_\_ a desenvolver nesta instituição o projeto de pesquisa intitulado o qual será executado em consonância com as Normas e Resoluções que norteiam a pesquisa envolvendo seres humanos, em especial a Resolução CNS 466/12. Declaro estar ciente de que a instituição proponente é corresponsável pela atividade de pesquisa proposta e executada pelos seus pesquisadores e dispõe da infraestrutura necessária para garantir o resguardo e bem estar dos sujeitos de pesquisa.

Salvador, 09 de abril de 2018.

.....

(carimbo)

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO COPARTICIPANTE**

Eu, \_\_\_\_\_ responsável pelo \_\_\_\_\_, estou ciente e autorizo o (a) pesquisador (a) \_\_\_\_\_ a desenvolver nesta instituição o projeto de pesquisa intitulado \_\_\_\_\_. Declaro conhecer as Normas e Resoluções que norteiam a prática de pesquisa envolvendo seres humanos, em especial a Resolução CNS 466/12, de estar ciente das responsabilidades como instituição coparticipante do presente projeto de pesquisa, do compromisso de garantir a segurança e o bem estar dos sujeitos de pesquisa aqui recrutados, dispondo de infraestrutura necessária para a garantia de tal segurança e bem estar.

Salvador, 09 de abril de 2018.

**TERMO DE COMPROMISSO DO PESQUISADOR**

Eu, \_\_\_\_\_, declaro estar ciente das Normas e Resoluções que norteiam a pesquisa envolvendo seres humanos e que o projeto intitulado \_\_\_\_\_ sob minha responsabilidade será desenvolvido em conformidade com a Resolução 446/12, do Conselho Nacional de Saúde, respeitando a autonomia do indivíduo, a beneficência, a não maleficência, a justiça e equidade. Garantindo assim o zelo das informações e o total respeito aos indivíduos pesquisados. Ainda, nestes termos, assumo o compromisso de:

- Apresentar os relatórios e/ou esclarecimentos que forem solicitados pelo Comitê de Ética (CEP) da Escola de Enfermagem da Universidade Federal da Bahia;
- Tornar os resultados desta pesquisa públicos quer sejam eles favoráveis ou não;
- Comunicar ao CEPEE/UFBA qualquer alteração no projeto de pesquisa e encaminhadas via Plataforma Brasil, sob a forma de relatório ou comunicação protocolada;
- Apresentar os resultados da pesquisa nas instituições proponente e coparticipante, ao CEPEE/UFBA após o seu término conforme exigência da Resolução 466/12.

Salvador, 09 de abril de 2018.

.....



## TERMO DE CONFIDENCIALIDADE

**Título do projeto:** \_\_\_\_\_

**Pesquisador responsável:** \_\_\_\_\_

**Demais pesquisadores:** \_\_\_\_\_

**Instituição/Departamento:** \_\_\_\_\_

**Local da coleta de dados:** \_\_\_\_\_

Os pesquisadores do projeto intitulado \_\_\_\_\_ se comprometem a garantir a privacidade dos participantes cujos dados serão coletados por meio da aplicação de questionários e protocolos de intervenção didática do tipo testes escritos, sem o uso de imagens ou áudios que identifiquem os sujeitos, do \_\_\_\_\_ concordam com a utilização dos dados única e exclusivamente para execução do presente projeto. Informam que divulgação das informações só será realizada de forma anônima e sendo os dados coletados bem como os termos de consentimento livre e esclarecido mantidas no (a) sala do Colegiado - \_\_\_\_\_, no \_\_\_\_\_, por um período de 5 (cinco) anos sob a responsabilidade do Prof. Pesquisador \_\_\_\_\_ Após este período, os dados passarão a ser guardados no banco de dados do Grupo de Estudos \_\_\_\_\_ pelo tempo que for acordado entre pesquisador e participante no ato da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Salvador, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_ 2017.

Nome do Membro da Equipe Executora	Assinatura

**DECLARAÇÃO CONCORDÂNCIA COM O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE PESQUISA**

Eu, \_\_\_\_\_, pesquisador responsável pela orientação do projeto de pesquisa de Tese intitulado \_\_\_\_\_ declaro estar ciente do compromisso firmado para a orientação de \_\_\_\_\_ discente do Curso de \_\_\_\_\_ modalidade \_\_\_\_\_, vinculado ao Colegiado do Curso do referido Programa do \_\_\_\_\_.

Salvador, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Assinatura do pesquisador (a) responsável

Assinatura do (a) orientando(a)

**TERMO DE CONSETIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE  
E DE USO DE IMAGEM E VOZ**

Prezado (a) Senhor (a),

Você está sendo convidado (a) a participar como participante voluntário (a), na pesquisa \_\_\_\_\_ que tem como objetivo investigar os efeitos de uma intervenção de ensino na aprendizagem Dos circuitos RLC, a fim de ajudar o aluno na aprendizagem dos seus conceitos iniciais, considerando as dificuldades já diagnosticadas com a aprendizagem da EDO. Assim deverá responder questionários escritos, entrevistas orais e realizar atividades em sala de aula sobre os conteúdos descritos, em seus horários normais de aula, sem prejuízos de carga horário ou de conteúdos. No entanto, por se tratar de uma atividade diferenciada embora com a professora/pesquisadora, lembramos que podem ocorrer desconfortos nos estudantes em responder questionários, atividades ou realizar entrevistas, visto que são adolescentes que ainda estão em processo de formação, principalmente nos aspectos da socialização. Respeitaremos as especificidades de cada estudante e os estudantes diagnosticados com necessidades educacionais especiais se vierem a participar da pesquisa serão também acompanhados pelos profissionais habilitados em cada necessidade com os *Recursos de Inclusão* numa sala denominada *Multifuncional*, que já existe implantada no Instituto e realiza esses acompanhamentos necessários. Comprometemo-nos em não expor nem forçar a participação desses estudantes que se sentirem desconfortados com a pesquisa. Faremos o devido acompanhamento desse estudante nas demais atividades de ensino para que não tenha prejuízos de aprendizagem.

Informamos que não haverá nenhum tipo de pagamento ou gratificação financeira pela sua participação e não caberão recursos indenizatórios a nenhuma das partes nem ressarcimentos de eventuais despesas decorrentes da participação na pesquisa uma vez que será realizada no horário regular de aula do estudante. Você terá liberdade para pedir esclarecimentos sobre alguma questão, bem como para desistir de participar da pesquisa no momento que desejar, mesmo depois de ter assinado este documento, e não será, por isso, penalizado de nenhuma forma. Caso desista, basta avisar o(s) pesquisador(es) e este termo de consentimento será devolvido. Como responsáveis por este estudo, temos o compromisso de manter em segredo os dados pessoais e confidenciais com o anonimato dos participantes e da instituição, como forma de preservação das suas imagens. Informamos que o resultado deste estudo poderá ser publicado em revistas, eventos, livros sendo favoráveis ou não, de acordo com as práticas editoriais e éticas. Os documentos serão guardados pelo pesquisador por um período de cinco anos, podendo ser consultados nesse período e após esse prazo serão incinerados.

Assim, se está claro para o senhor (a) a finalidade da pesquisa e se concorda em participar, pedimos que assine este documento, que será enviado ao Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo seres humanos – CEPEE/UFBA, é um Colegiado interdisciplinar, subordinado à Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), órgão responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de toda pesquisa que envolva seres humanos, que se situa na Escola de Enfermagem da UFBA, campus Ondina, à Rua Augusto Viana, s/n, Sala 435 – Canela Salvador, Bahia, CEP 40110-060, telefone (71)3283-7615, com horário de funcionamento segunda e quarta das 12:00 às 18:00, e terça, quinta e sexta das 08:00 às 14:00h. E-mail: [cepee.ufba@ufba.br](mailto:cepee.ufba@ufba.br).

No caso de responsável não alfabetizado, pedimos que seja colocada a impressão digital no espaço da assinatura, depois de lido e assinado a rogo por uma pessoa de sua confiança.

Nossos sinceros agradecimentos por sua colaboração.

\_\_\_\_\_ como voluntário (a), sob a responsabilidade da professora/pesquisadora \_\_\_\_\_ e sob supervisão do Prof. \_\_\_\_\_, orientador da pesquisa.

Estou ciente do objetivo desta pesquisa em que meu filho (a) participará, em sala de aula e horário normal da escola, de atividades de circuitos elétricos propostas com o objetivo de ajudá-lo na apropriação dos conceitos de \_\_\_\_\_. Estou ciente ainda de que nesses momentos a produção escrita do meu filho (a) poderá ser fotografada sem que seu rosto apareça e da mesma forma sua voz poderá ser gravada. Sei ainda que todas as atividades que meu filho (a) realizar nessas aulas serão recolhidos pela pesquisadora para posterior análise. Estou sabendo, por fim, que o anonimato de meu filho (a) será preservado e que essas atividades, embora venham a contribuir para que meu filho (a) adquira mais conhecimentos matemáticos e físicos, não serão utilizadas como avaliação escolar, isto é, mesmo que erre na realização das atividades isso não acarretará em uma nota insuficiente na escola. Estou esclarecido que posso pedir mais esclarecimentos sobre esse projeto a qualquer momento. Estou ciente também que não poderei requerer nenhum tipo de remuneração e/ou indenização quer seja em nome próprio e/ou do meu/minha filho (a) em razão da pesquisa.

Salvador, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_.

\_\_\_\_\_  
Assinatura ou impressão digital

\_\_\_\_\_  
Testemunha 1 (em caso de responsável iletrado)

\_\_\_\_\_  
Testemunha 2 (em caso de responsável iletrado)

OBS.: Este documento será obtido em duas vias (uma para o responsável e outra para o pesquisador) e impresso em três páginas: frente, verso e frente.

## TERMO DE ASSENTIMENTO INFORMADO LIVRE E ESCLARECIDO

**Título do Projeto:** \_\_\_\_\_

**Pesquisadora:** \_\_\_\_\_

### O que significa assentimento?

O assentimento significa que você concorda em fazer parte de um grupo de estudantes para participar de uma pesquisa. Serão respeitados seus direitos e você receberá todas as informações por mais simples que possam parecer.

Pode ser que este documento denominado TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO contenha palavras que você não entenda. Por favor, peça ao responsável pela pesquisa ou à equipe do estudo para lhe explicar.

### O que é a pesquisa?

Você está sendo convidado (a) a participar como voluntário (a) na pesquisa \_\_\_\_\_ que tem como objetivo investigar a aprendizagem dos circuitos elétricos RL, RC e RLC, a fim de ajudar o aluno na aprendizagem dos seus conceitos iniciais, considerando as dificuldades já diagnosticadas com a aprendizagem dos circuitos Elétricos. Assim deverá responder questionários escritos, entrevistas orais e realizar atividades em sala de aula sobre os conteúdos descritos, em seus horários normais de aula, sem prejudicar o andamento das aulas rotineiras da escola. No entanto, entendemos que você pode se sentir intimidado em respondê-los, mas, respeitaremos a sua vontade, deixando-o bem à vontade para participar ou não. Comprometemo-nos em não expor nem forçar a sua participação se se sentirem desconfortados com a pesquisa.

Os estudantes com necessidades educacionais especiais e que participarão da pesquisa serão também acompanhados pela sala denominada *Multifuncional*, que já existe implantada na Escola e realiza esses acompanhamentos necessários, com a devida autorização dos responsáveis.

Informamos que não receberá nenhum tipo de pagamento ou gratificação financeira pela sua participação e não caberão recursos indenizatórios a nenhuma das partes nem ressarcimentos de eventuais despesas decorrentes da sua participação na pesquisa uma vez que será realizada no horário regular de aula. Você terá liberdade para pedir esclarecimentos sobre alguma questão, bem como para desistir de participar da pesquisa no momento que desejar, mesmo depois de ter assinado este documento, e não será, por isso, penalizado de nenhuma forma. Caso desista, basta avisar o(s) pesquisador (es) e este termo de assentimento será devolvido.

Temos o compromisso de manter em segredo os dados pessoais e confidenciais com o seu anonimato e da Escola, como forma de preservação das suas imagens. Informamos que o resultado deste estudo poderá ser publicado em revistas, eventos, livros, sendo favoráveis ou não, de acordo com as práticas editoriais e éticas. Os documentos serão guardados por um período de cinco anos e você poderá consulta-los nesse período. Após esse prazo serão incinerados.

Assim, se está claro para o senhor (a) a finalidade da pesquisa e se concorda em participar, pedimos que assine este documento, que será enviado ao Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo seres humanos – CEPEE/UFBA, é um Colegiado interdisciplinar, subordinado à Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), órgão responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de toda pesquisa que envolva seres humanos, que se situa na Escola de Enfermagem da UFBA, campus Ondina, à Rua Augusto Viana, s/n, Sala 435 – Canela Salvador, Bahia, CEP 40110-060, telefone (71)3283-7615, com horário de funcionamento segunda e quarta das 12:00 às 18:00, e terça, quinta e sexta das 08:00 às 14:00h. E-mail: [cepee.ufba@ufba.br](mailto:cepee.ufba@ufba.br).

Por fim, eu li e discuti com o investigador responsável pelo presente estudo os detalhes descritos neste documento. Eu entendi a informação apresentada neste TERMO DE ASSENTIMENTO. Eu tive a oportunidade para fazer perguntas e todas as minhas perguntas foram respondidas. Eu receberei uma cópia assinada e datada deste Documento de ASSENTIMENTO INFORMADO.

Salvador, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_

---

NOME DO ESTUDANTE

---

ASSINATURA

## DECLARAÇÃO DO PESQUISADOR

Salvador, xx de setembro de 2017.

Eu, \_\_\_\_\_ Pesquisadora responsável pelo projeto de pesquisa, intitulado: \_\_\_\_\_ declaro que submeti o protocolo para análise do Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo seres humanos – CEPEE/UFBA, na Escola de Enfermagem da UFBA, nesta data. Comprometo-me a aguardar o parecer do CEPEE/UFBA e só iniciar a pesquisa após o recebimento de parecer favorável, bem como a não desenvolver a pesquisa em caso de parecer desfavorável. Declaro que conheço a Resolução 466/2012 e suas complementares e zelarei pelo cumprimento dos princípios éticos vigentes.

Pesquisadora responsável