



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA

**MESTRADO PROFISSIONAL GESTÃO E
TECNOLOGIAS APLICADAS À EDUCAÇÃO**



**Aprendizagem do Eletromagnetismo em Cursos de
Engenharia: uma proposta de construção de
laboratório virtual com abordagem de campos
conceituais**

Salvador - Ba
2016



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA

**MESTRADO PROFISSIONAL GESTÃO E
TECNOLOGIAS APLICADAS À EDUCAÇÃO**



Aprendizagem do Eletromagnetismo em Cursos de Engenharia: uma proposta de construção de laboratório virtual com abordagem de campos conceituais

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade de dissertação monográfica apresentado por José Vicente Cardoso Santos como requisito parcial para a conclusão do curso de Mestrado Profissional Gestão e Tecnologias Aplicadas à Educação em agosto de 2015.

Orientação: Prof. Dr. André Ricardo Magalhães.

Salvador - Ba
2016

FICHA CATALOGRÁFICA
Sistema de Bibliotecas da UNEB
Bibliotecária: Jacira Almeida Mendes - CRB: 5/592

Santos, José Vicente Cardoso

Aprendizagem do eletromagnetismo em cursos de engenharia: uma proposta da construção de laboratório virtual com abordagem de campos conceituais / José Vicente Cardoso Santos. - Salvador, 2016.
55f.

Orientador: André Ricardo Magalhães.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado da Bahia. Departamento de Educação. Mestrado Profissional Gestão e Tecnologias Aplicadas a Educação. Campus I.

Contém referências e apêndices.

1. Engenharia - Estudo e ensino. 2. Eletromagnetismo. 3. Inovações tecnológicas. 4. Tecnologia educacional. 5. Aprendizagem. I. Magalhães, André Ricardo. II. Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Educação.

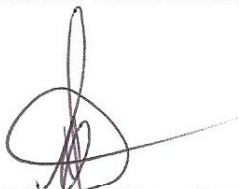
CDD: 620.7

FOLHA DE APROVAÇÃO

APRENDIZAGEM DO ELETROMAGNETISMO EM CURSOS DE ENGENHARIA: UMA PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE LABORATÓRIO VIRTUAL COM ABORDAGEM DE CAMPOS CONCEITUAIS

JOSÉ VICENTE CARDOSO SANTOS

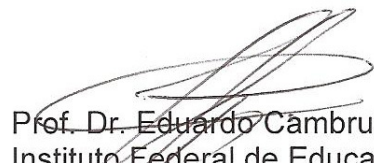
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação (Stricto Sensu) Gestão e Tecnologias Aplicadas à Educação, Área de Concentração II – Processos Tecnológicos e Redes Sociais, em 18 de março de 2016, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Gestão e Tecnologias Aplicadas à Educação pela Universidade do Estado da Bahia, composta pela Banca Examinadora:



Prof. Dr. André Ricardo Magalhães
Universidade do Estado da Bahia - UNEB
Doutorado em Educação Matemática
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - PUC



Prof. Dr. Marcus Túlio de Freitas Pinheiro
Universidade do Estado da Bahia - UNEB
Doutorado em Educação
Universidade Federal da Bahia - UFBA



Prof. Dr. Eduardo Cambruzzi
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA
Doutorado em Engenharia de Automação e Sistemas
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Dedico este trabalho aos meus pais, aos meus alunos e a todos que proporcionaram o seu desenvolvimento...

AGRADECIMENTOS

Meu eterno reconhecimento aos Colegas e Professores da Universidade do Estado da Bahia (UNEB), pelo constante incentivo e valiosa orientação em todos os momentos do curso, em especial ao meu orientador, que, revezando-se no “abrir de novas picadas” proporcionou-me o desenrolar destes novos desafios...

Agradeço, penhoradamente, aos ilustres Professores Natan Bonfim Reis, Tânia Hetkovsky, André Ricardo Magalhães, Marcus Túlio, André Betonasi e Nadja Valverde Viana por suas valiosas contribuições na formação acadêmica para a transcrição deste trabalho bem como às longas e divertidas interações durante as aulas.

Agradeço singularmente à Universidade do Estado da Bahia por prover o curso e dotar de oportunidades na consubstanciação do mesmo...

Agradeço a todas as pessoas que se prontificaram a responder ao questionário da pesquisa procedendo com esmero e riqueza de informações...

Agradeço especialmente aos meus colegas de curso por suas preciosas colaborações nas contribuições diárias na confecção desta pesquisa...

Agradeço aos familiares, parentes e amigos pela compreensão e paciência durante minha participação no citado curso ou, até mesmo, pelo meu temporário afastamento do convívio de todos.

"... há uma uma coisa que eu gostaria de lhe perguntar. Quando um matemático, empenhado na investigação de fenômenos e resultados físicos, chega a conclusões, não podem elas serem expressas em linguagem comum, de forma tão completa, clara e categórica quanto em fórmulas matemáticas? Em caso afirmativo, não seria uma grande vantagem expressá-las assim? Tirar-lhes o aspecto de hieróglifos, de modo a ser possível com elas trabalhar experimentalmente? Penso que assim deve ser, porque sempre achei que o senhor poderia dar-me uma idéia perfeitamente clara de suas conclusões, a qual, embora não me permitisse talvez, a compreensão integral de todas as passagens envolvidas no processo, haveria de proporcionar-me compreensão dos resultados sem desvio da verdade, e de forma tão clara que me habilitaria a pensar e trabalhar a partir delas. Sendo isso possível, não seria desejável que matemáticos empenhados no tratamento desses assuntos nos fornecessem os resultados nestes termos populares, úteis, manipuláveis, tanto quanto nos termos que são próprios e adequados a eles, matemáticos? ..."

Michael Faraday
(em carta para James Clerk Maxwell)

LISTA DE SIGLAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- CUREM - Congresso Uruguaio de Educação Matemática;
- HTML - HyperText Markup Language (Linguagem de Marcação de Hipertexto);
- LV - Laboratório Virtual;
- MSFP - Microsoft Front Page;
- PHP - Hypertext Preprocessor ou Personal Home Page;
- UNB - Universidade de Brasília;
- UNEB - Universidade do Estado da Bahia;
- WWW - Word Wid Web;

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Construção dos Campos Conceituais dos elementos fundantes	39
Quadro 2 Construção dos Campos Conceituais no eletromagnetismo	40
Quadro 3 Cronograma da Elaboração da Monografia.....	46

RESUMO

Esta pesquisa foi idealizada considerando o cenário da aprendizagem da física nos cursos de engenharia no Brasil, a teoria dos campos conceituais e o uso de laboratórios virtuais. Considera-se que o domínio das (dez) leis do eletromagnetismo é essencial na formação do engenheiro e com isto tem-se como objetivo geral da pesquisa a construção de um Laboratório Virtual para a aprendizagem das leis do eletromagnetismo utilizando-se a teoria dos campos conceituais; e, como objetivos específicos a identificação de fenomenologias necessárias para a construção de campos conceituais no eletromagnetismo; a proposta de estratégias para o desenvolvimento cognitivo destas leis; o registro de propostas de ações de contribuições das tecnologias da informação e comunicação com uso de laboratórios virtuais para a construção de campos conceituais e a sua importância nos processos de aprendizagem da física (eletromagnetismo) em cursos de engenharia. Para consolidar estes objetivos adota-se uma metodologia lastreada na revisão de literatura da teoria dos campos conceituais, das leis da eletricidade e do magnetismo e nas diversas estratégias de construção de laboratório virtual com o viés desta teoria pedagógica e que utilize-se destas leis. Procede-se a montagem de estratégias para a aprendizagem de cada uma destas leis e aplica-se as mesmas em laboratório virtual com acesso a grupos de estudantes que registrem a eficácia relativa do seu uso. Com isto construiu-se um laboratório virtual, com acesso restrito a usuários cadastrados e autorizados para o estudo das leis da eletricidade e do magnetismo com o uso da teoria dos campos conceituais.

Palavras-chave: Aprendizagem. Eletromagnetismo. Teoria dos Campos Conceituais.

ABSTRACT

This research was designed considering the scenario of physics learning in engineering courses in Brazil, the theory of conceptual fields and the use of virtual labs. It considers that the field of (ten) electromagnetism laws is essential in engineer training and this has as a general objective of the research building a Virtual Lab for learning the laws of electromagnetism using the field theory conceptual; and the specific purpose of identifying necessary phenomenology to construct conceptual fields in electromagnetism; the proposed strategies for the cognitive development of these laws; the registration of proposed actions contributions of information and communication technologies with the use of virtual laboratories for the construction of conceptual fields and their importance in physics learning processes (electromagnetism) in engineering courses. To consolidate these goals we adopt one backed methodology in the literature review of the theory of conceptual fields, the laws of electricity and magnetism and the various virtual laboratory building strategies with the bias of this pedagogical theory and using up these laws. Proceeds to mount strategies for EARNING each of these laws and applies the same virtual laboratory with access to student groups that register the relative effectiveness of its use. With this built up a virtual laboratory, with access restricted to registered and authorized users to study the laws of electricity and magnetism using the theory of conceptual fields.

Keywords: Learning. Electromagnetism. Theory of Conceptual Fields .

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Cenários e razões da pesquisa	13
1.2 Objetivos da pesquisa	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.3 Questão norteadora da pesquisa	15
1.4 Metodologia da pesquisa	15
1.5 Resultados esperados	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Aspectos gerais da aprendizagem de eletromagnetismo em cursos de engenharia	18
2.2 Pressupostos teóricos	18
2.2.1 As teorias de aprendizagem	18
2.2.2 As teorias Piagetianas	20
2.2.3 A proposta de Vygotsky	23
2.3 A teoria dos campos conceituais de Gerard Vergnaud	25
2.3.1 Contribuições fundamentais	25
2.3.2 Tipos de situações problemas	26
2.3.3 A tarefa do professor/docente	28
2.4 Laboratórios virtuais	30
3 A PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DO LABORATÓRIO VIRTUAL NO USO DA ELETRICIDADE E DO MAGNETISMO	32
3.1 A teoria de Vergnaud e o eletromagnetismo	32
3.2 Campo conceitual e o conjunto de situações no eletromagnetismo	33
3.3 Exemplo de campo conceitual no eletromagnetismo	34
3.4 Conteúdos de hospedagem do laboratório virtual	37
3.5 Estratégias de uso do laboratório virtual de eletromagnetismo	37
4 EXPERIMENTOS UTILIZADOS PARA CONSTRUÇÃO DE CAMPOS CONCEITUAIS NO ELETROMAGETISMO	39
4.1 Experimentos utilizados na descrição dos principais conceitos	39
4.2 Construção de campos conceituais das leis fundamentais	39
4.3 Campos conceituais para entendimento das equações de Maxwell	40
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS	44
APÊNDICE A - CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	46
APÊNDICE B - Leis da Eletricidade e do Magnetismo	47
APÊNDICE C - Lay-out da proposta do laboratório virtual: “LABVIRT”	54

1 INTRODUÇÃO

1.1 Cenários e razões da pesquisa

Os estudos das dez leis físicas fundamentais que regem os fenômenos elétricos e magnéticos são de extrema importância para a formação de Engenheiros (quijá, profissionais de áreas afins), pois, através destes estudos torna-se factível ao profissional a aprendizagem integrada destas leis e com isto o domínio técnico de todos estes fenômenos possibilitando a sua atuação profissional de forma plena, eficaz e eficiente.

Desta maneira o entendimento integral destas leis proporciona ao Engenheiro uma construção de um senso comum multifacetado indexado aos fenômenos eletromagnéticos de forma a possibilitar uma aplicação mais pragmática da sua profissão justificando a propositura desta pesquisa na aprendizagem dos conceitos da eletricidade e do magnetismo a estudantes de Engenharia, e, neste sentido o uso de laboratórios virtuais, que, segundo Souza, Oliveira e Lima Santos (2001), são ambientes eletrônicos para a para a experimentação á distancia de situações em simulação da realidade, permitirá uma melhor eficácia e eficiência no processo de aprendizagem destes estudantes, pois, além de permitirem uma simulação da realidade de forma virtual, possibilitam também a extensão e detalhamento do fenômeno em análise.

A consolidação da proposta de abordagem, com a teoria de campos conceituais e com o uso de laboratórios virtuais com este viés, não de ensino e sim de aprendizagem do eletromagnetismo para cursos de engenharia deverá atenuar as dificuldades encontradas pelos novos estudantes de engenharia, que, por serem classificados no processo seletivo vestibular simplificado, e não necessariamente serem portadores de vocação e facilidades com o entendimento de disciplinas que demandam raciocínio lógico, estruturas aditivas e multiplicativas e afins, ou seja, os alunos não sabem lidar com estruturas que demanda de somas e multiplicações de estruturas complexas e por isto demandam de forma diferenciada de evidenciação das diversas nuances no processo de aprendizagem destes conteúdos.

Desta maneira, acredita-se na consolidação dos anseios sociais, econômicos e profissionais destes alunos quando os mesmos passam a ter acesso a informações de forma diferenciada e em vocação específica para um novo viés de aprendizagem na engenharia.

1.2 Objetivos da pesquisa

Objeta-se o estudo revisional da teoria dos campos conceituais, proposta por Gerard Vergnaud (1990), como sendo uma teoria cognitivista neopietetiana que considera um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento (denominado de campo conceitual) (VERGNAUD, 1990), que, conectados uns aos outros e entrelaçados durante o processo de aquisição/aprendizagem proporciona ao mediador/facilitador/docente oportunidades para que os aprendiz/aluno desenvolva seus esquemas e/ou conexões promovendo o desequilíbrio, preconizado por Piaget (2001), e o aprendizado do significativo dos conceitos envolvidos no entendimento destas leis físicas fundamentais¹.

1.2.1 Objetivo geral

Construir um Laboratório Virtual para a aprendizagem das leis de Eletricidade e do Magnetismo, baseado na teoria dos campos conceituais.

1.2.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos da pesquisa:

- Identificar, junto ao aluno, fenomenologias necessárias para a construção de campos conceituais na física (nas áreas de eletricidade, magnetismo e afins);

¹ Leis de: Coulomb, Faraday, Lenz, Gauss, Ohm, Ampere, Biot-Savart, Joule e as duas leis de Kircchoff (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2004), (NUSSENZVEIG, 1997) e (TIPLER, 2009).

- Propor estratégias para o desenvolvimento cognitivo das leis da eletricidade e magnetismo;
- Registrar experimentos cotidianos no laboratório virtual para contribuições das tecnologias da informação e comunicação na construção de campos conceituais e a sua importância nos processos de aprendizagem da Física (eletromagnetismo) em cursos de Engenharia;

1.3 Questão norteadora da pesquisa

A questão norteadora da pesquisa reflete sobre a factibilidade da construção, e uso, de laboratórios virtuais lastreados na abordagem dos campos conceituais no que refere-se á aprendizagem das leis físicas que regem os fenômenos elétricos e magnéticos.

Trata-se então de um questionamento norteador e que preconiza uma revisão de literatura sobre os preceitos dos laboratórios virtuais, sobre a teoria dos campos conceituais, e, sobretudo nas diversa formas de abordagem para a construção de aprendizagem significativa em conteúdos que reportam-se às leis da eletricidade e do magnetismo.

1.4 Metodologia da pesquisa

Trata-se de uma pesquisa com metodologia híbrida envolvendo uma revisão de literatura, de cunho histórico, descritivo, documental e teórico lastreada em estudo de caso em universo de pesquisa composto por estudantes de cursos de engenharia (de qualquer das possíveis áreas, visto que a disciplina em análise faz parte da matriz curricular básica de todas elas) de instituições de ensino superior da região metropolitana de Salvador a compor uma amostra representativa deste universo na condição de sujeitos da pesquisa.

Configura-se assim uma revisão de literatura concebida em estreita associação entre o senso comum da construção de conceitos em eletricidade e magnetismo e a resolução de problemas envolvendo as leis físicas da área utilizando-se um laboratório virtual construído com abordagem lastreada na teoria dos campos conceituais.

A construção do laboratório virtual será pautada no uso de animações, gráficos e representações ilustrativas dos fenômenos que, elencados e explicitados, demonstram as relações preconizadas nas leis da eletricidade e do magnetismo utilizando-se de recursos de software tais como a programação em HTML de forma dinâmica á interação de objetos e *applets* em interação entre páginas de um *browser* e uma base de dados (remota ou local), permitindo-se com isto uma possibilidade de, uma vez mais elaboradas e interativas, interagir com outros códigos, a citar o Microsoft Front Page e Java.

1.5 Resultados esperados

Com o trabalho em pleito tem-se a expectativa da consolidação do cronograma inicial da pesquisa, conforme verifica-se no Apêndice A, e da obtenção dos seguintes resultados, a citar: a construção de um conjunto de estratégias para a aprendizagem de cada um dos conceitos utilizados na aprendizagem da eletricidade e magnetismo; a implementação destas estratégias em laboratório virtual específico e a consolidação o proporcionar uma revisão de literatura sobre os temas.

Considera-se também como relevante nesta pesquisa o aprimoramento profissional da formação dos Engenheiros, o aprofundamento em pesquisas de atuação pedagógica da aprendizagem da física aplicada a engenharia, bem como a capacitação e atualização pedagógica associada.

1.6 Estrutura da dissertação

Este trabalho de conclusão de curso na modalidade de dissertação está dividido em capítulos da seguinte forma, no **capítulo 1** faz-se uma apresentação e aproximação ao tema, ás questões norteadoras da pesquisa e os cenários que são considerados na mesma, com descrição dos seus objetivos, geral e específicos e do produto gerado na mesma (laboratório virtual), da metodologia da pesquisa, e dos resultados esperados com a sua consolidação e aplicação do produto; no **capítulo 2** faz-se uma revisão de literatura com os aspectos gerais sobre a aprendizagem do

eletromagnetismo nos cursos de engenharia no Brasil e os pressupostos teóricos para a aprendizagem com o uso da teoria dos campos conceituais em laboratórios virtuais em concomitância com explicação das leis abordadas e das suas bases principiológicas; no **capítulo 3** descreve-se as bases para a construção de um laboratório virtual com o conteúdo lastreado nas leis do eletromagnetismo e com o viés da teoria dos campos conceituais; no **capítulo 4** tem-se a descrição de diversos experimentos eleitos para exposição no laboratório virtual com fins de construção dos campos conceituais que lastreie o aprendizado das diversas leis da eletricidade e do magnetismo, e, por fim, no **capítulo 5** tem-se os comentários finais, considerações e recomendações ao trato do tema e afins, seguido de apresentação dos apêndices e anexos acostados á pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da aprendizagem de eletromagnetismo em cursos de engenharia

Contempla-se uma revisão de literatura sobre as teorias de ensino e aprendizagem, piagetianas e pós-piagetianas, com fins de evidenciar nas mesmas aspectos objetivos na aprendizagem da eletricidade e do magnetismo para estudantes de cursos de Engenharia resultando-se uma proposta de estratégias para consolidação da aprendizagem na área com a abordagem da teoria dos campos conceituais de Vergnaud (1993).

Neste sentido considera-se como uma tendência o uso de laboratórios virtuais nas instituições de ensino superior brasileiras com direcionamento para a aprendizagem da física com o desenvolvimento das aulas nos moldes preconizados para a construção de campos conceituais para consubstanciar o entendimento, aprendizagem das leis da eletricidade e do magnetismo, utilizando-se uma modelagem no Microsoft Office FrontPage, ou equivalente, e com acesso via web através de endereço específico em sítio na web.

2.2 Pressupostos teóricos

2.2.1 As teorias de aprendizagem

Segundo Moreira (2014), para o Professor, uma das tarefas mais difíceis é a de possibilitar oportunidades aos alunos para que os mesmos desenvolvam seus esquemas de aprendizagem, e para Vergnaud (1982), a organização do conhecimento está estruturada em campos conceituais, e o domínio desse conhecimento se dá a longo prazo, por meio de experiências, maturidades adquiridas e aprendizagem construída nesse processo.

Para que progressivamente os sujeitos da aprendizagem dominem um campo

conceitual, novos problemas e novas propriedades devem ser estudados ao longo de vários anos. As dificuldades conceituais são superadas na medida em que são encontradas e enfrentadas, mas isso não ocorre de uma só vez (MOREIRA, 2014).

Vergnaud afirma também que um campo conceitual é um conjunto heterogêneo e informal, constituído de conceitos, estruturas, relações, conteúdos, bem como operações de pensamentos, problemas e situações, interligados entre si e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição (VERGNAUD, 1994; 2001).

Visando prover os processos de aprendizagem atualizados e em consonância do que preconizam estes autores o documento “Educação e Conhecimento: Eixo de Transformação Produtiva com Equidade”² relata que a centralidade da educação e da produção do conhecimento, ainda que não expressa dessa maneira, por meio de fomentos (financeiro, entre outros), nos traz a proposição de um novo paradigma de conhecimento, e este novo paradigma pressupõe que para os países se tornarem competitivos no mercado internacional, hoje em dia, é necessário que disponham de talento(s) para “difundir o progresso técnico e incorporá-lo ao sistema produtivo de bens e serviços”.

Neste sentido a acumulação de conhecimentos técnico/tecnológico implica uma complementação entre criação de conhecimento, inovação e difusão, o que implicaria em novas modalidades de aprendizagem com novos processos da relação conhecimento e trabalho de forma que a nova concepção de ensino que perpassa por adequações á forma de apresentar os conteúdos e em consonância á nova sociedade da informação e comunicação, gerando assim novas formas de aprendizagem nos mais diversos conceitos.

Essas mudanças afetam toda a forma de organizar a aprendizagem em uma velocidade como nunca antes vista. Muda-se efetivamente e rapidamente a forma de lidar com a avaliação, com a aprendizagem e, conseqüentemente, com o aprendizado e a forma de “detecção” e acompanhamento do mesmo. Há, com isso, uma modificação na relação discente/docente, que entremeada na atual conjuntura

² (CEPAL - Comissão Econômica para América Latina e Caribe da UNESCO / OREALC - Oficina Regional de Educação para a América Latina e Caribe da UNESCO, 1992) - Também chamado de “Educacion y conocimiento: eje de la transformacion productiva con equidad”, de 1992 tem como seu objetivo principal esboçar linhas de ação para políticas e instituições que pudessem favorecer as relações sistêmicas entre educação, conhecimento e desenvolvimento, na perspectiva da noção de complementaridade entre transformação produtiva e equidade. A estratégia proposta se articula em torno de objetivos (cidadania e competitividade), de critérios norteadores (equidade e desempenho) e delineamento de reforma institucional (integração nacional e descentralização).

social, se encontra na atemporalidade destas relações, com tecnologia agregada aos mesmos (vide os processos tecnológicos agregados às redes de transmissão de que a relação aluno-professor seja cada vez mais densa, construtiva e interconectada.

Desta maneira deve-se contar com novas teorias de aprendizagem para consolidar-se um processo de ensino eficaz. (MOREIRA, 1999).

2.2.2 As teorias Piagetianas

Jean Piaget construiu uma teoria sólida e muito bem fundamentada, pois, ele tenta nos explicar como se desenvolve a inteligência nos seres humanos. Daí o nome dado a sua ciência de Epistemologia Genética, que é entendida como o estudo dos mecanismos do aumento dos conhecimentos (PIAGET, 2002).

Vale ressaltar que as teorias de Piaget têm comprovação em bases científicas, já que ele não somente descreveu o processo de desenvolvimento da inteligência, mas, experimentalmente, comprovou suas teses. Por esse motivo, qualquer tentativa de simplificação ou resumo tende a deixar de abordar questões fundamentais ou fazer exposição incompleta ou mesmo indevida (MOREIRA, 1999).

A partir do momento em que surgiu o interesse e até sua morte, Piaget trabalhou incessantemente. Ele morreu aos oitenta e quatro anos, em 1980, deixando legado de setenta livros e mais de quatrocentos artigos, aproximadamente. (BRUNNER; ZELTNER, 1994).

Dentre os conceitos propostos por Piaget tem-se a inteligência que, para Piaget, é o mecanismo de adaptação do organismo a uma situação nova e, como tal, implica a construção contínua de novas estruturas. Esta adaptação refere-se ao mundo exterior, como toda adaptação biológica (FURTH, 1997; p. 40).

Para Piaget o comportamento dos seres vivos não é inato, tampouco resultado de condicionamentos. Para ele o comportamento é construído numa interação entre o meio e o indivíduo (PIAGET, 2002).

Para Piaget o conceito de estrutura de maturação do sujeito sofre um processo genético e a gênese depende de uma estrutura de maturação. Piaget mostra, assim, que o sujeito só recebe um determinado conhecimento se estiver

preparado para recebê-lo. Isto é, se puder agir sobre o objeto de conhecimento para inseri-lo num sistema de relações. Para ele, *"essa dialética resolve todos os conflitos nascidos das teorias, associacionistas, empiristas, genéticas sem estrutura, estruturalistas sem gênese etc... e permite seguir fases sucessivas da construção progressiva do conhecimento"* (PIAGET, 1982).

Com este cenário Piaget propôs os períodos de desenvolvimento, que é conhecido como construtivismo sequencial, ou seja, Piaget afirma que o desenvolvimento do sujeito inicia-se no período intra-uterino e vai até os 15 ou 16 anos e em sua teoria Piaget, distingue quatro períodos que são chamados de Períodos de Desenvolvimento Mental e que ele os designa por “períodos gerais de desenvolvimento cognitivo” (BRUNNER; ZELTNER, 1994).

São eles então o Período sensório-motor, que é o primeiro período descrito por Piaget, e vai do nascimento aos dois anos, aproximadamente. Nele, a principal característica é ausência da função semiótica³. Segundo Piaget (2001, p. 21):

[...] uma figura percebida corresponde a “qualquer coisa” que continua a existir, mesmo quando não a percebemos mais... [a criança] reconhece certos quadros sensoriais familiares, mas o fato de reconhecê-los quando presentes não equivale, de forma nenhuma, a situá-los em qualquer parte quando estão fora do campo perceptivo... Só por volta do fim do primeiro ano é que os objetos são procurados depois que saem do campo da percepção, e é sob este critério que se pode reconhecer um começo de exteriorização do mundo material (PIAGET, 2001, p. 21).

Já no período pré-operacional, que dura dos 2 anos aos 7 anos, aproximadamente. Algumas vezes é dividido em outros dois períodos, ou seja, o Período simbólico, que tem uma função semiótica e que permite o surgimento da linguagem, da dramatização, do desenho, da imitação, entre outros e o Período intuitivo, que ocorre dos 4 anos aos 7 anos, aproximadamente e é neste período que a criança sente necessidade de obter explicação para os fenômenos, é conhecido como *“idade dos porquês”*, pois a criança pergunta o tempo todo e já distingue a fantasia do real.

Posteriormente, preconiza Piaget o Período operatório concreto, que ocorre dos 7 anos aos 11 anos, aproximadamente e a criança consolida as conservações de número, peso, substância, volume. Culminando-se com o

³ A semiótica é a ciência que estuda os signops. Quando nos referimos à uma função semiótica estamos considerando a capacidade do reconhecimento dos símbolos e dos signos associados.

Período sensório-motor, dos 11 anos em diante e é o ápice do desenvolvimento da inteligência e corresponde ao nível de pensamento hipotético-dedutivo ou lógico-matemático.

Deve-se salientar que, obviamente, a passagem de um estágio para outro não acontece abruptamente, pois, da mesma forma que algumas características de fases anteriores podem permanecer durante parte do estágio seguinte. Podem também ser observadas diferenças nas idades em que as crianças atingem cada período, mas a ordem dos períodos é invariável.

Desta forma, com estas fases, Piaget propõe os processos de acomodação, assimilação e equilibração e que representam características do pensamento, ou melhor, fazem parte do processo de desenvolvimento do pensamento e da inteligência.

Ele afirma que pensar é um prosseguimento do processo biológico da adaptação e representa um processo ativo de aproximação do indivíduo aos problemas que pode encontrar no meio ambiente. Esse processo de aproximação, também designado por ele de adaptação (equilibração), é controlado pelos processos de assimilação e acomodação. É por eles que são modificados os esquemas nos aprendizes.

A acomodação é o processo que ocorre quando o aprendiz se defronta com um novo problema e tenta, através da modificação de seu comportamento, resolvê-lo. Os esquemas existentes na estrutura cognitiva são, desta forma, modificados pela adaptação aos novos aspectos do problema emergente. Acomodação e assimilação complementam-se mutuamente e são elementos do processo de abordagem ativa do ser humano a um problema, (BRUNNER; ZELTNER, 1994, p. 9), pois, enquanto que através da acomodação os esquemas são alterados, através de assimilação eles sofrem uma estabilização.

A equilibração, por sua vez, para Piaget, é um processo fundamental no desenvolvimento do pensamento e origina-se na necessidade que tem o indivíduo de equilíbrio ou ausência de contradições. É, na verdade, o processo de estabelecer o equilíbrio.

Outro conceito bastante difundido e que ocupa grande parte da teoria do desenvolvimento cognitivo de Piaget é o “**esquema**”, um modelo hipotético de como a informação é armazenada no cérebro (MOREIRA, 1999)

Apenas com a finalidade de se perceber o caráter científico das reflexões de

Piaget sobre instinto e inteligência e o caráter didático de seu estilo, é reproduzido a seguir um trecho de “Epistemologia Genética”.

A questão consiste, pois, em compreender a passagem do instinto à inteligência ou, dito de outro modo, o processo de interrupção dos instintos. A esse respeito, o lamarckismo quis ver nos instintos uma inteligência que teria se estabilizado hereditariamente (por herança do adquirido), ao passo que outros autores, seguidos pela maior parte dos neodarwinistas, insistiram nas oposições ditas naturais entre o caráter rígido e cego, mas falível, do instinto e as propriedades de intencionalidade consciente, de flexibilidade, mas também de falibilidade da inteligência. Na realidade, tais argumentos basearam-se num modelo excessivamente esquematizado do instinto, cumprindo-nos distinguir com cuidado três planos hierarquizados em toda a conduta instintiva: 1) temos, em primeiro lugar, o que se poderia chamar as coordenações gerais que intervêm em cada uma delas (PIAGET, 2002, p. 64).

2.2.3 A proposta de Vygotsky

Já a proposta de Vygotsky, utiliza-se do conceito de mediação, que pode ser definido como sendo a ação que o indivíduo, por meio de instrumentos, modifica a natureza e, ao fazê-lo, acaba por modificar a si mesmo. Ele acreditava, portanto, que o aprendiz, ao fazer uso do signo-linguagem, algébrico, mapa, esquema *etc.*, modifica suas próprias funções psíquicas superiores.

Vygotsky (1993) dedicou-se especialmente ao estudo do que denominamos por funções psicológicas superiores, ou seja, processos mais sofisticados, complexos, que envolvem o controle consciente do comportamento.

Vygotsky (1984) introduziu a uma ideia diferente da criança, afirmando que mecanismos naturais que governam esses pequenos indivíduos. No entanto, antes dos dois anos de idade, a criança participa das relações sociais. Mecanismos biológicos operam durante curto espaço de tempo, mas são substituídos rapidamente por meio de influências sociais. Quando acaba a infância o indivíduo passa a participar de relações sociais. Relações sociais formam o contexto desenvolvendo de crianças e constituem a natureza das mesmas. Vygotsky considerou a criança como um indivíduo social, enquanto que Piaget a considerou como anti-social. Para Vygotsky as relações sociais constituem a psicologia da criança desde o começo. Para Piaget, tais relações sociais são secundárias à natureza biológica da criança.

Vygotsky afirma que os fenômenos psicológicos são sociais e que dependem

de uma experiência social de tratamento, além de absorverem os artefatos culturais. Segundo ele, a experiência social inclui a maneira na qual as pessoas estimulam e dirigem a atenção das outras pessoas, comportamento padrão, (encorajar, desencorajar), controlar movimentos, e organizar as relações de espaço entre sujeitos. Em artefatos culturais encontram-se sinais, símbolos, condições lingüísticas, industrialização de objetos e instrumentos. Tratamento social e produtos socialmente produzidos geram e caracterizam fenômenos psicológicos.

A principal contribuição da teoria de Vygotsky foi referente a exploração da mente com relação à interação social no desenvolvimento cognitivo, "as conexões entre o social e o indivíduo para o desenvolvimento cultural". Para ele as funções cognitivas se originam das relações sociais, e que, reciprocamente, a quantidade e qualidade de interações sociais afetam diretamente o desenvolvimento cognitivo. Para Vygotsky, o esquema do pensamento, o raciocínio em si, pode ser entendido como uma interiorização do diálogo social (VYGOTSKY, 1984).

Desta forma, no sistema vygotskiano, a noção de funções psicológicas superiores está intimamente ligada à de atividade mediada, considerada por ele como aquela que é específica do ser-numano, por envolver a possibilidade de mediação através de instrumentos dados culturalmente e é vista mais como conjunto de ações culturalmente significativas do que em termos de reações biológicas.

A compreensão do dinamismo da zona de desenvolvimento proximal centra-se na idéia vygotskiana de incorporar (apropriação) a produção cultural por meio da mediação de instrumentos, principalmente semióticos, em um processo de interiorização que vai do social ao individual.

Neste sentido, para Gerard Vergnaud, em sua Teoria dos Campos Conceituais, tem-se a reflexão sobre aprendizagem e desenvolvimento, com conexões evidentes com as ideias de Piaget e Vygotsky, que são acrescentadas com contribuição específica e original, o que este autor denomina "Teoria da Referência".

Apesar de suas notáveis diferenças, Piaget e Vygotsky têm em comum a abordagem do desenvolvimento conceitual. As principais contribuições advindas da teoria de Piaget são os conceitos de esquema e invariantes operatórios. Estes organizariam a atividade, a representação e percepção e, também, o desenvolvimento das competências e concepções acerca de um objeto no curso da experiência. O conceito de esquema se presta, portanto, à análise da estrutura da

atividade (TORRES, *apud* VERGNAUD, 2010).

2.3 A teoria dos campos conceituais de Gerard Vergnaud

Gerard Vergnaud, em sua Teoria dos Campos Conceituais, traz contribuições no contexto da reflexão sobre aprendizagem e desenvolvimento, com conexões evidentes com as idéias de Piaget e Vygotsky (TORRES, *apud* VERGNAUD, 2010), pois, apesar de suas notáveis diferenças, Piaget e Vygotsky têm em comum a abordagem do desenvolvimento conceitual.

2.3.1 Contribuições fundamentais

As principais contribuições advindas da teoria de Piaget são os conceitos de esquema e invariantes operatórios. Assim, a Teoria dos Campos Conceituais proposta por Gerard Vergnaud tenta explicar o desenvolvimento dos processos de conceitualização, partindo do princípio que a maior parte dos nossos conhecimentos são formados por competências (informações e habilidades) que estão disponíveis sob a forma de esquemas (VERGNAUD, 1990).

Enfim, segundo Vergnaud (1997), o centro do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização, e, desta forma, ao consolidar de maneira eficaz os conceitos estamos consolidando também de forma eficaz o conhecimento referente ao mesmo, tratando-se assim de uma teoria psicológica do processo de conceitualização do real que permite localizar e estudar continuidades *e/ou* rupturas entre conhecimentos do ponto de vista de seu conteúdo conceitual (FRANCHI, 1999).

Desta maneira é correto afirmar que a Teoria dos Campos Conceituais tenta explicar o desenvolvimento dos processos de conceitualização, partindo do princípio que a maior parte dos nossos conhecimentos são formados por competências (informações e habilidades) que estão disponíveis sob a forma de esquemas (VERGNAUD, 1990).

Em 1982, Vergnaud se referia a campo conceitual como:

"... um conjunto informal e heterogêneo de problemas,

situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e provavelmente entrelaçados no processo de aquisição. Por exemplo, os conceitos de multiplicação, divisão, fração, razão, proporção, função linear, número racional, similaridade, espaço vetorial e análise dimensional pertencem todos a um grande campo conceitual que é o das estruturas multiplicativas."

Vergnaud considera que **um conceito é um tripé de três conjuntos**:

S: conjunto de situações que dão sentido ao conceito (o referente);

I: conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito (o significado);

L: conjunto de representações lingüísticas e não lingüísticas que permitem representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações às quais ele se aplica e os procedimentos que dele se nutrem (o significante).

Dessas definições decorrem três argumentos principais que levaram Vergnaud ao **conceito de campo conceitual** (1983 a, p. 393):

- 1) um conceito não se forma dentro de um único tipo de situações e sim de um conjunto delas;
- 2) uma situação não se analisa com um único conceito e sim com um conjunto híbrido de conceitos;
- 3) a construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou de todos os aspectos de uma situação é um processo de muito fôlego que se desenrola ao longo dos anos, às vezes uma dezena de anos, com analogias e mal-entendidos entre situações, entre concepções, entre procedimentos, entre significantes. Até que o conceito é por fim estabelecido.

Pretendemos utilizar estes conceitos no nosso trabalho para estabelecer pontos de contato entre o que o sujeito (discente) aprende e como ele aprende para com isto estabelecer uma estratégia de comportamento/ação do facilitador (docente).

2.3.2 Tipos de situações problemas

Para Vergnaud (1990), existem dois tipos de situações (ou problemas) que, quando assumem algum significado para o aprendiz, podem gerar dois tipos de processos diferentes para a sua resolução: **primeira classe de situações**: o sujeito já possui em seu repertório de competências, os procedimentos adequados ao tratamento da situação. Trata-se mais de uma relação de filiação aos conhecimentos pré-existentes; **segunda classe de situações**: o sujeito não dispõe de todas as competências requeridas para o tratamento da situação. Há uma ruptura do conhecimento e um momento de descoberta e, em alguns casos, de invenção do novo.

Para a resolução da nova situação ou problema (considerada como nova pelo aprendiz) são necessárias reflexão e exploração, que podem conduzir ao sucesso ou ao fracasso.

Para Vergnaud, a competência do aprendiz pode, portanto, ser definida a partir dos seguintes critérios:

- o que ele é capaz de fazer face a uma classe ou conjunto de classes de situações;
- sua capacidade de obter desempenhos melhores, a partir da utilização de procedimentos mais eficazes, mais rápidos e mais econômicos.
- se ele possui um leque de opções no que se refere a procedimentos ou métodos alternativos que lhe permitem uma adaptação mais refinada frente às diversas situações que enfrenta, em função da avaliação das diferentes variáveis das situações (TORRES, *apud* VERGNAUD).

Desta maneira, de uma forma resumida, pode-se afirmar que a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud supõe que o centro do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização, e, uma vez dominando-se, nos conceitos-chaves do respectivo conteúdo, tem-se consolidada uma aprendizagem eficaz ou significativa do mesmo bem como o seu respectivo contexto. Sendo assim, ao consolidar de forma eficaz os conceitos estamos consolidando também de forma eficaz o conhecimento referente

ao mesmo. Esta teoria é uma teoria psicológica do processo de conceitualização do real que permite localizar e estudar continuidades *e/ou* rupturas entre conhecimentos do ponto de vista de seu conteúdo conceitual (GRECA; MOREIRA, 2003).

Com isto estamos afirmando que a **Teoria dos Campos Conceituais**, que é uma teoria “cognitivista neopiagetiana” e que tem uma forte contribuição dos trabalhos de Vygotsky⁴ além de pretender oferecer um referencial mais frutífero do que o piagetiano ao estudo do desenvolvimento cognitivo e da aprendizagem de competências complexas, particularmente aquelas implicadas nas ciências e na técnica, levando em conta os próprios conteúdos do conhecimento e a análise conceitual de seu domínio, pode vir a ser utilizada como modelo *e/ou* estratégia de trabalho no ensino da matemática, em particular da administração dos conteúdos supracitados, devido à grande possibilidade do seu uso em sala de aula de forma interativa diretamente com os sujeitos (discentes - alunos).

2.3.3 A tarefa do professor/docente

Isto posto, verificamos que para o professor a tarefa mais difícil é a de prover oportunidades aos alunos para que os mesmos desenvolvam seus esquemas *e/ou* conexões para as suas respectivas construções na chamada **zona de desenvolvimento proximal**⁵. Isto ocorre particularmente pelo fato dos mesmos terem, nestes cursos de base não matemática, uma forte resistência/bloqueio ao trato com a mesma e também pelo fato de que quase sempre os sujeitos (discentes) não conseguem, principalmente ainda de quando do início dos seus cursos (devido a pouca maturidade acadêmica⁶), perceber/aceitarem a necessidade do uso da matemática nas suas respectivas profissões futuras.

Neste aspecto consideramos o professor como um facilitador (ou pretenso facilitador) e orientador do sujeito enquanto o mesmo dispõe-se a consolidar a

⁴ Lev Semenovich Vygotsky afirma que o sujeito necessita da presença de outros sujeitos para avançar no processo de aprendizagem.

⁵ A zona de desenvolvimento proximal é um conceito que esclarece como as diferentes formas de compreensão da experiência de mundo interferem na relação entre duas ou mais pessoas. Dois adultos, por exemplo, caem na zona de desenvolvimento proximal quando se percebem incapazes de reconhecer os sentidos que cada um atribui a um objeto qualquer, seja uma palavra, seja um objeto da realidade concreta.

⁶ Não devemos confundir a maturidade acadêmica com a maturidade para com a vida. A primeira não está relacionada com a faixa etária enquanto que a segunda além de ser diretamente proporcional à faixa etária do sujeito (discente) possibilita um aceite muito maior da primeira.

cognição dos respectivos conteúdos. Para isto podemos utilizar, como anteriormente sugerimos, diversos tipos de estratégias baseadas em modelos de ações e comportamentos do sujeito e do facilitador (professor). Pode-se inclusive utilizar-se de uma metodologia de trabalho híbrida⁷. Entretanto observamos que Vigotsky, em seu modelo/estratégia, aponta a existência de um outro **nível de desenvolvimento - o proximal ou potencial** - que, tanto quanto o nível real, deve ser considerado na prática pedagógica, quiçá utilizado como ferramenta/situação de providencialidade do processo cognitivo, pois de fato é factível de potencializar-se desde que a ação do sujeito (discente) e do seu facilitador (docente) conspire em consonância para tal.

Quando alguém (sujeito - discente) não consegue realizar sozinho determinada tarefa *e/ou* compreensão, mas o faz com a ajuda de outros parceiros (outro discente *e/ou* docente), mais experientes ou não, **está nos revelando** o seu **nível de desenvolvimento proximal**, que já contém aspectos e partes mais ou menos desenvolvidas de instituições, noções *e/ou* conceitos, mas não os tem por completo e por tal razão necessita de outro(s) sujeito(s) (discente) *e/ou* facilitador (docente).

Para tornar-se efetivamente factível, de forma inclusive a materializar-se, o conhecimento do processo que o(s) sujeito(s) (discente(s)) realiza mentalmente para consolidar a sua aprendizagem é fundamental. Acreditamos que sem conhecer este processo o facilitador (docente) estará cada vez mais distante do sujeito (discente) e das suas necessidades de cognição.

Sem conhecer estes processos e o **nível de desenvolvimento proximal**, ou, ao menos como fomenta-lo, o docente/facilitador limita-se, visto que com o desempenho correto dos mesmos o docente nem sempre poderá correlacionar o sucesso aparente do seu trabalho com uma operação mental bem realizada (pelo sujeito/discente), ou realizada com o conceito verdadeiro ou de forma legítima.

Um exemplo disto, na matemática, seria o uso de “*regras*” ou “*macetes*”, que são, principalmente, nos cursos de base não matemática, comuns, e que levam o discente (sujeito) a proceder corretamente sem entretranto realizar uma operação mental verdadeira *e/ou* legítima⁸. Desta forma, o acerto pode significar, apenas, uma

⁷ Estamos considerando uma metodologia híbrida aquela que é composta de uma miscelânea de estratégias e modelos que quando combinados utilizam as vantagens *e/ou* diferenciais mais significativos de cada modelo pedagógico adotado e que seja ao mesmo tempo eficaz e eficiente no processo de facilitação do docente no trabalho com o conteúdo a ser absorvido pelo discente.

⁸ Um exemplo imediato é o uso de tabelas para consolidar-se as operações de derivação *e/ou* integração sem o completo conhecimento demonstrativo das mesmas.

resposta mecânica e automática, desconectada da “**coisa em si**” ou do “**conceito real**” do objeto transmitido, no caso específico, os conceitos de diferenciação e integração, por exemplo, quando consolidados apenas de forma mecânica não levam ao sujeito (discente) a utilizarem por completo todas as vantagens interpretativas (numérica, gráfica e conceitual) destes conceitos o que implicaria, de imediato, em limitações nas multireferencialidades de conteúdos de disciplinas e/ou conteúdos específicos que necessitassem dos mesmos como pré-requisitos.

Sendo assim, sem a legitimidade destes conceitos torna-se impraticável a multireferencialidade dos conteúdos de disciplinas que os tem como pré-requisitos para a formação de novos conceitos associados e desta forma não se consolida uma operação cognitiva sólida e verdadeiro tornando-se com isto um processo incompleto em toda a base matemática de formação profissional do sujeito (discente). **Daí a importância do professor/facilitador conhecer o processo que o(s) sujeito(s) utiliza(am) para chegar às respostas.**

Do mesmo modo, conhecendo e/ou investigando esse processo, e intervindo, provocando, estimulando ou apoiando quando o sujeito demonstra dificuldade num determinado ponto, torna-se possível trabalhar funções que ainda não estão de todo consolidadas e/ou despertadas no próprio sujeito, consolidando-se assim a facilitação do seu processo de cognição, mesmo sem domina-lo por completo.

2.4 Laboratórios virtuais

Na contemporaneidade verifica-se, segundo Santos (2000), uma forte densidade tecnológica no cotidiano, na vida pessoal, profissional e em toda a sociedade contemporânea. Ainda segundo Santos:

A Técnica tornou-se informacional. Este é o grande salto quantitativo mas, sobretudo, qualitativo. A técnica permite que a noção de artesanato volte. A opressão da máquina ainda é verdadeira com o uso da informática, em função de uma certa forma de organização do mundo, mas a informática pode funcionar a partir da inteligência dos homens e de cada homem. (SANTOS, 2000:19)

Desta forma, todas as práticas sociais serão doravante tangidas pelo meio técnico-científico-informacional, onde, em particular, no ensino superior ocorre

descompasso entre as atividades de ensino, pesquisa e conhecimentos prévios dos alunos. Neste sentido tem-se a demanda do preconizado por Souza, Oliveira e Lima Santos (2001), ou seja, dos laboratórios acessíveis via internet⁹.

Na atualidade verifica-se também que o alcance desse tipo de tecnologia é vasto, indo desde um simples laboratório que apenas permite a realização de uma seqüência predeterminada de experimentos, até laboratórios virtuais de alcance mundial, formados por conexões de várias instalações menores, quiçá em redes colaborativas, tal qual preconiza-se Magalhães *et al.* (2012).

⁹ Que podem ser classificados, atualmente, em dois grandes grupos: Laboratórios Remotos e Laboratórios Virtuais.

3 A PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DO LABORATÓRIO VIRTUAL NO USO DA ELETRICIDADE E DO MAGNETISMO

3.1 A teoria de Vergnaud e o eletromagnetismo

Baseando-nos no exposto anteriormente, é possível citar o caso específico do trabalho com o eletromagnetismo, que particularmente interessa a construção desse trabalho, principalmente em cursos de graduação em engenharia onde o conjunto formal de problemas elucidados com estes conceitos necessitam de legitimidade para serem efetivamente consolidados.

Deve-se registrar que, no estudo das leis básicas que regem os fenômenos naturais a ciência, através da física, particiona estas leis em áreas de classificação adotadas, tais como a mecânica, a hidrodinâmica *etc.* A eletricidade e o magnetismo estão sempre alinhadas pois possuem 10 leis com interação entre as grandezas, que muitas vezes são comuns a ambas e que são de extrema importância para a formação de diversos tipos de profissionais, em especial os engenheiros (NUSSENZVEIG, 1997).

Ocorre que estas leis, por tratarem de fenômenos que não são de fácil visualização cotidiana, demandam de conhecimento matemático específico para os seus respectivos entendimentos o que representa um grande obstáculo na formação de profissionais que não tenham esta base matemática bem consolidada, conforme elucidada-se no Apêndice B deste trabalho.

Desta maneira a construção dos invariantes operatórios associados ao eletromagnetismo, depende, como em todo campo conceitual, do conjunto de situações estabelecidas e incorporadas nas aulas ou nas diversas situações em que o aluno esteja emergido e que deem sentido aos conceitos estudados (tais como campo, elétrico e magnético, fluxos, corrente *etc.*). E enquanto as representações sejam “aliadas” neste processo, quando se trata do eletromagnetismo, a própria notação é, por vezes, também a vilã dos processos cognitivos, pois, a linguagem matemática depende de uma hermenêutica textual, mas também pictórica e de “neologismos simbólicos” que costumam causar impactos nos alunos.

Ao mudar o enfoque na explicação, o Professor deverá ter percebido quais pontos de rupturas entre o processo de aprendizagem e os de “inércia cognitiva” estão envolvidos no processo. A solução na mudança do enfoque pode ser dada pela utilização de um suporte externo, que na nossa proposta, é o laboratório virtual, e que ao contextualizar com histórias ou cenários físicos evidenciados no mesmo, muitas vezes, uma nova maneira de explicar o mesmo assunto pode solucionar a questão da “inércia”.

Isto se justifica pelo fato de que, para Vergnaud, um conceito torna-se significativo para o aprendiz, por meio de uma variedade de situações e os diversos aspectos desse mesmo conceito que estão envolvidos nas diferentes situações. Além disso, como veremos adiante, uma situação não pode ser analisada sob a ótica de um só conceito, vários deles tornam-se necessários.

3.2 Campo conceitual e o conjunto de situações no eletromagnetismo

Vergnaud atribui grande importância aos conceitos, no entanto, considera-os como uma segunda entrada de um campo conceitual, sendo a primeira formada pelas situações ou experiências anteriores e a compreensão das mesmas nas chamadas situações que podem ou não levar-se aos conceitos (VERGNAUD, 1993)

Outra concepção de campo conceitual atribuída por Vergnaud, citado por Moreira (2014) é a de um conjunto de situações:

- Campo conceitual é um conjunto de problemas e situações cujo tratamento necessita conceitos, procedimentos e representações de tipos distintos, porém estreitamente interconectados;
- Campo conceitual é um conjunto de situações cuja abordagem requer o domínio de vários conceitos de naturezas diferentes.
- Campo conceitual pode ser considerado em primeiro lugar como um conjunto de situações (MOREIRA, 2014).

Vergnaud esclarece que o significado de situação em sua teoria está limitado ao sentido que esse conceito tem habitualmente em psicologia, ou seja, os processos cognitivos e respostas do sujeito são função das situações com as quais se defronta.

Para ele, são as situações que dão sentido aos conceitos, mas o sentido não está nas situações em si e sim no isomorfismo estabelecido entre as situações e os próprios conceitos.

Diz-se também que uma situação tem ou não tem sentido. Acredita-se que cabe ao facilitador (docente), quando detectar e/ou provocar o aparecimento da zona de desenvolvimento proximal, estabelecer as situações corretas e os sentidos corretos para que sejam solidificados os conceitos corretamente.

Para estabelecer uma relação mais estreita entre o que é posto e o que de fato pode ser feito com o uso de laboratórios virtuais, precisa-se considerar a definição do sentido para Vergnaud, ou seja, precisa-se considerar que o sentido é uma relação do sujeito (discente) com as situações e com os significantes. Mais precisamente, são os esquemas¹⁰ evocados no sujeito por uma situação ou por um significante que constituem o sentido dessa situação ou desse significante para esse sujeito.

3.3 Exemplo de campo conceitual no eletromagnetismo

Por exemplo, o sentido de campo elétrico para um determinado sujeito (discente) é o conjunto de esquemas que ele pode utilizar para lidar com situações com as quais se depara e que implicam a ideia de campo e de eletricidade. É também o conjunto de esquemas que ele pode usar para operar com símbolos numéricos, algébricos, gráficos e linguísticos que representam o referido campo. Mas o professor deve estar atento aos invariantes específicos da teoria em si.

Acredita-se também que se isto for posto mecanicamente, o sujeito (discente)

¹⁰ Vergnaud define esquema como sendo uma organização invariante da conduta para uma determinada classe de situações. Não é o comportamento que é invariante, mas sim a organização do comportamento. Portanto, um esquema é um universal eficiente para todo um espectro de situações e pode gerar diferentes seqüências

não irá estabelecer esquemas corretos durante a sua vida profissional e desta forma, absorvendo o conhecimento de maneira mecânica, estará fadado a não utilizá-lo quando vier a se deparar com outras situações que exigiriam o mesmo raciocínio/comportamento, passando, assim, a limitar-se com relação a todos os conhecimentos/informações associados à este esquema.

Por exemplo, em um curso de Engenharia, o aluno deverá estabelecer conexões pertinentes entre conteúdos que abranjam o conceito de campo elétrico, ou qualquer outro conceito, em diversos momentos de sua vida acadêmica. De fato ele estudará os conceitos iniciais e sua definição ou outra disciplina com ementa correspondente, mas usará em disciplinas mais avançadas este conceito, ao estudar, por exemplo, aplicações do conceito de campo elétrico e as suas respectivas aplicações.

Deve-se registrar que se ele, o aluno, não construiu um esquema coerente com o que se espera de uma construção consolidada dos domínios desse campo conceitual, poderá estar fadado a permanecer com as rupturas conceituais pelo resto de sua vida.

Contudo, uma dada situação ou um simbolismo particular não evocam no indivíduo todos os esquemas disponíveis. É necessário novas técnicas para implantar tal situação. Por esta razão, cabe ao docente o papel de direcionar e acompanhar o desenvolvimento estrutural da construção do conceito pelo aluno. Ao verificar que os invariantes operatórios, por meio de situações e representações que dêem sentido ao conceito, portanto, dêem sentido à construção cognitiva do I.O., foram contruídos eficazmente, ele pode continuar direcionando o aluno no mesmo caminho e, em caso contrário, direcioná-lo para que o mesmo supere esta ruptura ou saia da zona de desenvolvimento próxima para aquisição de um novo esquema que condiz coerentemente com o esperado.

Se o aluno construiu um campo conceitual particular referente aos conceitos de campo, elétrico ou magnético, de forma que seus invariantes permeiem os sentidos exatos (aplicações e conceitos secundários que derivem destes), então a estrutura de direcionamento das aulas pode permanecer. Caso contrário, o professor deve intervir para linearizar as rupturas existentes na formação dos conceitos, por exemplo, com o uso de laboratórios virtuais que complementem as ações em sala de

aula.

Com o exposto, baseando-se nas obras citadas sobre a Teoria dos Campos Conceituais e considerando-se que no cotidiano, os estudantes conseguem resolver situações utilizando estratégias na maioria das vezes diferentes das exigidas pelos professores na escola, chegando, quase sempre na resposta esperada. Verifica-se que estas situações, geralmente são envolvidas por diferentes conceitos.

Nos conceitos abordados na teoria dos campos conceituais identifica-se, segundo Vergnaud *apud* Moreira (2014), o que chama-se de triplete de três conjuntos, $\mathbf{C} = (\mathbf{S}, \mathbf{I}, \mathbf{R})$ onde: $\mathbf{S}$ é um conjunto de situações que dão sentido ao conceito; $\mathbf{I}$ é um conjunto de invariantes (objetos, propriedades e relações) sobre os quais repousa a operacionalidade do conceito, ou o conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito, ou o conjunto de invariantes que podem ser reconhecidos e usados pelos sujeitos para analisar e dominar as situações do primeiro conjunto e $\mathbf{R}$ é um conjunto de representações simbólicas (linguagem natural, gráficos e diagramas, sentenças formais *etc*) que podem ser usadas para indicar e representar esses invariantes e, conseqüentemente, representar as situações e os procedimentos para lidar com elas.

No caso do eletromagnetismo, o conjunto $\mathbf{S}$, que é o conjunto de situações que dão sentido aos conceitos, não são, necessariamente, não tem todas as situações vivenciadas pelos alunos dos cursos superiores em estudo, e nesta proposta em análise, sugere-se que os docentes encaminhem estas situações aos alunos através de experimentos/exercícios que proporcionem vivenciá-las.

Neste cenário, explicita-se o uso de um conjunto de invariantes, $\mathbf{I}$, que no caso do eletromagnetismo, pode ser elucidado como um conjunto de propriedades e relações expostas em sala de aula pelo docente de forma expositiva aos discentes no sentido de propiciar, nos mesmos, as informações associadas aos objetos às propriedades e relações inerentes ao estudo desta disciplina, conforme elucidado no experimento que fornece lastro às hipóteses deste trabalho.

Neste cenário também explicita-se o uso de representações, $\mathbf{R}$, que conduzam a estes conceitos, como veremos a seguir, com o experimento proposto ao final do trabalho, onde situações, com representações diferenciadas, conduzem o discente a situações que demandam do conhecimento dos conceitos, por exemplo, do campo e com algumas representações sobre os mesmos.

3.4 Conteúdos de hospedagem do laboratório virtual

Os conteúdos do laboratório virtual com fins de criação de campos conceituais na área de eletromagnetismo são hospedados no endereço <http://labvirteletro.com.br/> e tem a arquitetura modular com células divididas nos conceitos fundamentais, nas leis associadas e no repositório de links públicos que foram escolhidos pelo docente responsável com fins de consubstanciar a criação de campo conceitual equivalente sobre os respectivos conteúdos da célula, conforme elucida-se no Apêndice B.

3.5 Estratégias de uso do laboratório virtual de eletromagnetismo

Assim, através de experiências ou práticas de aprendizagem compartilhadas (com diversos sujeitos - discentes), estamos propondo uma atuação a ser definida no escopo do trabalho e da pesquisa, na **zona de desenvolvimento proximal** ou **zona de desenvolvimento potencial**, de modo que as funções ainda não consolidadas venham a florescer *e/ou* amadurecer com mais eficácia e eficiência.

Ressaltando a importância das trocas interpessoais, na constituição do conhecimento, Vigotsky mostra, através do conceito de **zona de desenvolvimento proximal ou potencial**, o quanto a **aprendizagem influencia o desenvolvimento** e a sua recíproca.

Paralelamente a isto sabemos que a aplicabilidade da matemática (e de todos os seus conceitos associados) nas demandas de formação profissionais (em diversas áreas) vem crescendo a cada dia ao tempo em que a necessidade de criação de estratégias para consolidar o processo cognitivo dos conceitos, inclusive com práticas de relacionamentos interpessoais, através de isomorfismos, exemplos ilustrativos *e/ou* de um “*novo logos*”¹¹, vem se consolidando ao tempo em que, devido a diversos fatores de formação *e/ou* base (dos ensinamentos médio e fundamental) o(s) sujeito(s), em geral, tem uma **zona de desenvolvimento proximal** ampla, e,

¹¹ Um “novo logos” é uma mudança no modo de ser e compreender, que possibilita o surgimento de uma nova cultura. Por exemplo a cultura tecnológica, que está presente na sociedade e “invade” a escola através dos alunos que já interagem com as novas tecnologias no seu dia-a-dia vem possibilitando um “novo logos” no ambiente escolar.

em alguns casos, muito bem sedimentada porem estática, ou seja, uma **zona de desenvolvimento proximal** que não está sendo trabalhada (desenvolvida).

Embora atribua muita importância aos **conceitos**, Vergnaud considera-os uma **segunda entrada** de um **campo conceitual**, sendo a primeira as **situações** que podem ou não levar-se aos conceitos de forma que a razão pela qual deve-se estudar **campos conceituais**, **não situações isoladas** ou **conceitos isolados**.

Para solidificar este conceito devemos descrever os ingredientes de um esquema.

São eles:

- objetivos e antecipações (proatividade associada);
- regras de ação do tipo "se ... então" que permitem gerar a seqüência de ações do sujeito; são regras de busca e controle da informação;
- invariantes operatórios ("teoremas-em-ato"¹² e "conceitos-em-ato") que dirigem o reconhecimento, de parte do sujeito, dos elementos pertinentes à situação e a categoria da informação sobre tal situação;
- possibilidades de inferência (ou raciocínios inferenciais) que permitem "calcular" as regras e antecipações a partir das informações e invariantes operatórios de que dispõe o sujeito (discente).

Destes ingredientes, os invariantes operatórios, cujas categorias principais são "**teoremas-em-ato**" e "**conceitos-em-ato**", constituem a base conceitual implícita, ou explícita, que permite obter a informação pertinente e, a partir dela e dos objetivos a alcançar, inferir as regras de ação mais pertinentes.

¹² O ato contém os objetos da intencionalidade. O ato da consciência coloca o indivíduo diante do objeto em busca de sua identidade ou identificação. Assim um "teorema-em-ato" é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real; um "conceito-em-ato" é uma categoria de pensamento considerada como pertinente. Por outro lado, "conceitos-em-ato" e "teoremas-em-ato" podem, progressivamente, tornarem-se verdadeiros conceitos e teoremas científicos.

4 EXPERIMENTOS UTILIZADOS PARA CONSTRUÇÃO DE CAMPOS CONCEITUAIS NO ELETROMAGETISMO

4.1 Experimentos utilizados na descrição dos principais conceitos

Os conceitos fundamentais e fundantes para o estudo do eletromagnetismo são indexados aos conceitos de força, campo elétrico, campo magnético e campo eletromagnético e no laboratório virtual inicialmente estão indexados aos links de vídeos a seguir elencados:

Quadro 1 Construção dos Campos Conceituais dos elementos fundantes

Conceitos Básicos	Descrição do Experimento	Campo Conceitual em Formação
Força	https://www.youtube.com/watch?v=dkU1UdqILxE	Relação entre massas e aceleração e variação de momentum linear.
Campo Elétrico	https://www.youtube.com/watch?v=XDJu_XVBQPo	Vizinhanças entre cargas e suas interações.
Campo Magnético	https://www.youtube.com/watch?v=jb7zfbD1Ym0	Vizinhanças entre massas e massas magnetizadas e suas interações.
Campo Eletromagnético	https://www.youtube.com/watch?v=hG2cGmq1RVU	Relação entre os campos elétrico e magnético quando há aceleração entre as origens dos mesmos.

Fonte: registro do próprio autor.

4.2 Construção de campos conceituais das leis fundamentais

Considerando-se as dez leis fundamentais da eletricidade e do magnetismo tem-se que:

Quadro 2 Construção dos Campos Conceituais no eletromagnetismo

Lei	Descrição do Experimento	Campo Conceitual em Formação
Lei de Ampere	https://www.youtube.com/watch?v=vcNwGc7rL5s	Relações entre a carga e o campo magnético.
Lei de Biot-Savart	https://www.youtube.com/watch?v=5V5MRo7A5RA	Relações entre a carga e o campo elétrico.
Lei de Coulomb	https://www.youtube.com/watch?v=s78HQwXVmNc	Relações de atração e repulsão entre cargas.
Lei de Faraday	https://www.youtube.com/watch?v=kPG5oYUnP5c	Interação entre os campos elétricos e magnéticos e o fenômeno da indução.
Lei de Gauss	https://www.youtube.com/watch?v=ds	Relação entre a concentração de cargas elétricas em um corpo.
Lei de Joule	https://www.youtube.com/watch?v=9_wzVs3sZDQ	Transformação de calor em campo elétrico, magnético e campo eletromagnético.
Lei de Lenz	https://www.youtube.com/watch?v=GMP14t9mgrc	Interação entre os campos elétricos e magnéticos e o fenômeno da indução.
Lei de Ohm	https://www.youtube.com/watch?v=wxWhd4aljuU	Relação entre os conceitos de diferença de potencial, intensidade de corrente elétrica e resistividade.
Leis de Kirchhoff: lei dos nós e lei das malhas	https://www.youtube.com/watch?v=DEyXlqev6_k	Relações entre os processos de migração de corrente elétrica em um circuito de malha aberta ou fechada.

Fonte: registro do próprio autor.

4.3 Campos conceituais para entendimento das equações de Maxwell

Além dos conceitos fundamentais, das leis e suas aplicações, tem-se também, o conjunto das equações diferenciais ou integrais que regem os fenômenos descritos por estas dez e que são utilizadas geralmente como elementos de conteúdos terminais nestes conceitos ou disciplina específica e estas equações, além de poderem ser devidamente demonstradas, também podem ser ilustradas nos links eleitos para consolidar uma primeira versão do laboratório virtual, conforme elenca-se a seguir:

https://www.youtube.com/watch?v=dV_aYeOPsX4

https://www.youtube.com/watch?v=iADP_OKnZX4

<https://www.youtube.com/watch?v=rftPk4NAP6o>

Acredita-se que, com estas equações e com elementos fundantes na área do cálculo e das álgebras associadas, de forma a gerar conceitos agregados nas áreas de aplicações das respectivas equações.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo descrever a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud de forma aplicada a aprendizagem dos conceitos fundamentais e das leis da eletricidade e do magnetismo, particularmente para o seu uso na construção de um laboratório virtual com fins de prover a construção destes conceitos fundamentais na aprendizagem.

Deve-se registrar o fato de que essa teoria é bastante conhecida na área da educação, porém relativamente pouco no campo da aprendizagem da eletricidade e do magnetismo, e foi esta a principal razão fomentadora da pesquisa, em especial por que trata-se de uma teoria de base piagetiana, mas que afasta-se bastante dos conceitos de Piaget, em especial ao tomar como referência o próprio conteúdo do conhecimento e a análise conceitual do progressivo domínio desse conhecimento, em especial por considerar também os estudos do desenvolvimento cognitivo do sujeito-em-situação ao invés de operações lógicas gerais, de estruturas gerais do pensamento.

Ao prover esta situação considera-se que a teoria de Vergnaud apresenta um grande potencial para descrever, analisar e interpretar aquilo que se passa no âmbito da eletricidade e do magnetismo e nos processos de aprendizagem associados.

Além de descrever a teoria, propriamente dita, procurou-se neste texto estabelecer elos com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e os seus lastros piagetianos como elementos de construção da mesma além de evidenciar, com a proposta do laboratório virtual, diversos elementos de construção de conceitos disponíveis na rede mundial de computadores e que consolidem experiências cotidianas destas leis físicas. Com isto tem-se o produto final uma primeira versão do Laboratório Virtual para a aprendizagem das leis de Eletricidade e do Magnetismo com base na construção de conceitos tal qual preconizam os ditames da proposta de Vergnaud, inclusive identificando, junto ao aluno, estas fenomenologias necessárias, as ações e estratégias para tal bem como os conceitos do cotidiano que por muitas vezes ficam distantes de salas de aulas.

Por fim, recomenda-se para ações futuras o aprimoramento ou até mesmo a produção de conteúdos que elenquem estes conceitos associados bem como o registro de expansão da hospedagem e o acesso livre ao laboratório virtual e aos seus respectivos conteúdos de texto, imagens de vídeos.

REFERÊNCIAS

ABBAGNANO, Nicola. **Dicionário de filosofia**. Tradução coordenada e rev.: Alfredo Bosi. 2ª. ed. São Paulo: Mestre Jou, 1982.

BACHELARD, G. **O Novo Espírito Científico**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1985.

BRUNNER, Reinhard; ZELTNER, Wolfgang. **Dicionário de Psicopedagogia e Psicologia Educacional**. Petrópolis, RJ: Vozes, 1994.

CEPAL/UNESCO. **Educación y conocimiento: eje de la transformación productiva con equidad**. Santiago de Chile, agosto de 1992.

CEPAL-UNESCO. **Educación y conocimiento**: Eje de la transformación produtiva con equidad. Santiago de Chile, CEPAL/UNESCO, 1992.

FRANCHI, A. (1999/2011). **Considerações sobre a teoria dos campos conceituais**. In ALCÂNTARA Machado, S.D. et al. (1999). Educação Matemática: uma introdução. São Paulo. EDUC. pp. 155-195.

FRANCHI, A. **Considerações sobre a teoria dos campos conceituais**. In Alcântara Machado, S.D. et al (1999). Educação Matemática: uma introdução. São Paulo. EDUC. p. 155-195.

FURTH, Hans G. **Piaget na Sala de Aula**. 6. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1997.

GRECA, Ileana; MOREIRA, Marco Antonio. **Além da Detecção de Modelos Mentais dos Estudantes - uma Proposta representacional Integradora**, Rio Grande do Sul. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a2.html. Acesso em 20.06.2003.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth S. **Física 3**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 390 p.

HALLIDAY, R. e RESNICK, D. **Física**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1973. V. II-1. 383 p.

LEVY, P. **As Tecnologias da Inteligência**. O Futuro do Pensamento na Era da Informática, Lisboa: Instituto Piaget, 1994.

MORAN, J. M. **Mudanças na Comunicação Pessoal**: gerenciamento integrado da comunicação pessoal, social e tecnológica. São Paulo: Paulinas, 1998.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 2014.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica - Eletromagnetismo**. São Paulo: Edgard Blücher, 1997, v. 3. 336 p.

PEDRO DEMO. **Metodologia do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2000.

PIAGET, Jean. **Seis Estudos de Psicologia**. 24.ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2001.

PIAGET, Jean. **Seis Estudos de Psicologia**. 24.ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2001.

SANTOS, Milton. **Globalização, Cidadania e Meio Técnico-Científico Informacional**. In: Milton Santos: Cidadania e Globalização. São Paulo: Saraiva, 2000, p. 15-20.

SOUZA, A. L. de; OLIVEIRA, J. C. de; LIMA SANTOS, M. P. **Recursos da computação gráfica para o desenvolvimento de um laboratório virtual de Teoria Eletromagnética**. Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Porto Alegre. 2001.

TIPLER, P. A. **Física para Cientistas e Engenheiros**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009, v. 2. 556 p.

TORRES, Lima Patrícia. **Competências matemáticas de jovens e adultos em alfabetização**. Brasília: UNB. Disponível na Internet em <http://www.anped.org.br/25/patriciaimattorrest19.rtf>. Acesso em dez 2010.

VERGNAUD, G. **A Comprehensive Theory of Representation for Mathematics Education**. JMB, V17, N2, pp. 167-181, 1998

VERGNAUD, G. **Epistemology and Psychology of Mathematics Education**, em NESHER & KILPATRICK Cognition and Practice, Cambridge Press, Cambridge, 1994.

VYGOTSKY, L.S. **Teoria e Método em Psicologia**. 2.ed. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

APÊNDICE A - CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

O cronograma de execução do projeto esta delineado em etapas hierarquizadas e interconectadas tal qual exposto no quadro a seguir:

Quadro 3 Cronograma da Elaboração da Monografia

PROCEDIMENTOS	INSTRUMENTOS	I Semestre						II Semestre						III Semestre						IV Semestre					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Revisão e adequação do Anteprojeto	Anteprojeto																								
Revisão de Literatura (Elaboração de Resumos e Fichamentos)	Material bibliográfico																								
Definição dos fenômenos físicos a serem elencados no Laboratório virtual	Material bibliográfico																								
Construção dos Instrumentos dos experimentos virtuais	Material bibliográfico e dados coletados no <i>Iócus</i> da pesquisa																								
Construção do Laboratório Virtual	Software de aplicação																								
Testes com Alunos do Laboratório Virtual	Dados coletados no <i>Iócus</i> da pesquisa																								
Elaboração do Texto Preliminar da Dissertação	Material bibliográfico e dados coletados no <i>Iócus</i> da pesquisa																								
Ajustes e Correções	Material bibliográfico e dados coletados no <i>Iócus</i> da pesquisa																								
Comunicação do relatório final (Dissertação)	Material bibliográfico																								

Fonte: elaboração do próprio autor.

APÊNDICE B - Leis da Eletricidade e do Magnetismo

As leis da eletricidade e do magnetismo

No estudo das leis básicas que regem os fenômenos naturais a ciência, através da física, particiona estas leis em áreas de classificação adotadas, tais como a mecânica, a hidrodinâmica *etc.* A eletricidade e o magnetismo estão sempre alinhadas pois possuem 10 leis com interação entre as grandezas, que muitas vezes são comuns a ambas e que são de extrema importância para a formação de diversos tipos de profissionais, em especial os engenheiros (NUSSENZVEIG, 1997).

Ocorre que estas leis, por tratarem de fenômenos que não são de fácil visualização cotidiana, demandam de conhecimento matemático específico para os seus respectivos entendimentos o que representa um grande obstáculo na formação de profissionais que não tenham esta base matemática bem consolidada.

O campo eletromagnético

Até as duas primeiras décadas do século passado (XIX), alguns cientistas desconfiavam da existência de uma relação íntima entre a eletricidade e o magnetismo. Entre 1864 e 1873, J. C. Maxwell trabalhou na formulação matemática das leis experimentais do eletromagnetismo e deu interpretações físicas para as componentes do quaternion de Hamilton que é uma entidade matemática composta de quatro componentes, um componente escalar e os três restantes constituindo a parte vetorial. Porém, foi Oliver Heaviside (físico e engenheiro eletricitista inglês, 1850-1925) quem escreveu as equações de Maxwell na forma conhecida hoje **com os operadores diferenciais** (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2004).

Para começar vamos definir o conceito de “campo” como sendo um conjunto de valores de uma grandeza física que, em uma determinada região do espaço, dependem de uma maneira unívoca e definida das coordenadas dos pontos do espaço e possivelmente do tempo; esta definição de campo não é o que se pode chamar de uma “definição completa” mas é suficiente para ser utilizada em um

estudo superficial do campo elétrico e magnético, ou melhor: campo eletromagnético (NUSSENZVEIG, 1997).

O campo gravitacional de uma massa (m) pode ser definido pela equação:

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{|\vec{r}|^2}$$

que é a lei da gravitação universal, onde F é a força gravitacional existente entre as massas 1 e 2 e o campo é dado por:

$$g = \vec{F} / m_o$$

Por analogia, com a relação anteriormente apresentada, podemos definir o campo elétrico E (com caráter vetorial) de uma carga pontual mediante a relação (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2004):

$$\vec{E} = \vec{F} / q_o = \frac{k \frac{q_1 q_o}{|\vec{r}_{10}|^2}}{q_o}$$

onde F é a força elétrica entre a carga pontual q_o e de uma outra carga pontual q_1 , responsável pela produção do campo elétrico no ponto onde se encontrava a carga q_o . Para determinar o campo elétrico produzido pela ação de diversas cargas pontuais devemos usar o princípio da superposição (entre vetores, pois o campo, tanto o elétrico como o já citado gravitacional, tem caráter vetorial). O vetor campo elétrico da distribuição de cargas discretas e pontuais em um dado ponto no espaço pode ser determinado mediante a seguinte soma vetorial (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2004):

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n \frac{k \frac{q_i q_o}{|\vec{r}_{io}|^2}}{q_o}$$

que é a soma vetorial de cada uma das componentes das n cargas consideradas. Para uma distribuição contínua de cargas ficamos com:

$$\vec{E} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[\sum_{i=1}^n \vec{E}_i \right] = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[\sum_{i=1}^n \frac{k \frac{q_1 q_o}{r_{1o}^2}}{q_o} \right] = \int d\vec{E}$$

Já o campo magnético pode ser definido considerando uma carga elétrica (q) movendo-se com velocidade (v), em um ponto onde existe um campo magnético (B) caracterizado pelo vetor indução magnética (B). A força que atua sobre a partícula é dada por:

$$\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B} = q \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ v_x & v_y & v_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} = q \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{dS_x}{dt} & \frac{dS_y}{dt} & \frac{dS_z}{dt} \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

onde S é a função posição e F é conhecida como força de Lorentz.

Se uma carga (q) se encontra em uma região em que existe só uma componente do campo elétrico e uma do campo magnético a força total que atua sobre esta carga será a superposição da força elétrica (qE) com a força magnética dada pela equação anteriormente apresentada (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2004):

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

que, como já evidenciamos, é conhecida como força de Lorentz.

Agora que já temos um certo conhecimento do que seja (ou pelo menos como se comporta) o campo elétrico e magnético, apresentaremos um resumo das principais leis do eletromagnetismo e a aplicação dos operadores diferenciais nas mesmas:

As leis fundamentais do eletromagnetismo

Um conjunto de dez leis perfazem a fenomenologia conhecida do eletromagnetismo, e tem-se as seguintes considerações fundamentais sobre elas, a citar:

A lei de Coulomb, que é a lei que dá a força (F) que age entre duas cargas elétricas puntiformes (q_1 e q_2) separadas por uma distância (r) no vácuo. Exprime-se analiticamente pela igualdade (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2004):

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_{12}|^2}$$

A lei de Gaussé também uma das leis fundamentais do eletromagnetismo, e expressada mediante a equação (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2004):

∴

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

onde E é a intensidade do campo elétrico que a carga (q) provoca sobre a superfície

(A) que a envolve. De uma forma análoga exprime-se a lei de Gauss para o magnetismo:

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

onde B é a indução magnética de um campo sobre a superfície fechada (A). A lei de Ohm que se exprime pela proposição: *"... a queda de tensão elétrica (V) em um condutor percorrido por uma corrente de intensidade (i) é proporcional a esta corrente."*, ou seja: $V= Ri$ onde a constante de proporcionalidade é a resistência do condutor. Vale salientar que esta lei é satisfeita entre limites bastante grandes de intensidade de corrente, pelos condutores metálicos (TIPLER, 2009). A lei de Joule que pode ser enunciá-la afirmando que: *"... a energia dissipada por unidade de tempo em um condutor de resistência elétrica R, atravessado por uma corrente elétrica de intensidade (i), é dada pela expressão: "* (TIPLER, 2009).

A lei de Ampere, que reflete a expressão que relaciona a indução magnética de um campo magnético devido a um sistema de correntes elétricas. Analiticamente

exprime-se pela igualdade:

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \mu_o i$$

onde B é o vetor indução magnética e ds é o elemento de arco do circuito fechado ao longo do que se estende a integral e que é atravessado pela corrente i (NUSSENZVEIG, 1997).

A lei de Biot-Savart é a lei que "permite" calcular o vetor indução magnética (dB) de um campo magnético devido a um elemento infinitesimal dE de corrente (Ids), a uma distância conhecida (R) deste elemento, ou seja (NUSSENZVEIG, 1997):

$$d\vec{B} = \left(\frac{\mu}{4\pi} \right) \left(\frac{id\vec{s} \wedge \vec{r}}{r^3} \right)$$

A lei de Faraday, que dá resultados de um grande número de experiências podem ser resumidas por meio da associação de uma força eletromotriz (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2004):

$$E = - \frac{d\Phi}{dt}$$

a uma variação de fluxo magnético em um circuito.

A lei de Lenz, que fixa o sentido da corrente induzida em um circuito por uma variação de fluxo magnético que o atravessa, e que pode enunciar-se da seguinte maneira:

... a corrente induzida tem um sentido tal que induz um fluxo magnético que contraria a variação do fluxo indutor: se esta for positiva, o fluxo induzido opõe-se ao inicial; se for negativa, fluxo soma-se ao inicial.

Pode ser também enunciado de uma outra forma (análoga) :

... o campo magnético associado a uma corrente induzida tende a restaurar o campo magnético indutor: se este cresce, o campo induzido tende a diminuí-lo; se ele decresce o campo induzido tende a aumentá-lo" (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2004).

As leis de Kirchhoff, que são duas leis que permitem calcular as correntes em circuitos formados por varias malhas e que contem diversas fontes de força eletromotriz. Enuncia-se:

Lei dos Nós: "... a soma algébrica das correntes que saem e que chegam a um nó em um circuito é igual a zero"

Lei das Malhas: “... a soma das quedas de potencial elétrico ao longo de uma malha de um circuito é igual a zero”[19]

As equações de Maxwell

James Clerck Maxwell depois de mergulhar nos relatórios das pesquisas empíricas elétricas de Faraday e colaboradores, procurou formular matematicamente uma teoria de eletricidade e de magnetismo que explicasse estas leis e que as descrevesse de forma quantitativa.

Podemos então apresentar as equações de Maxwell na sua forma diferencial como sendo:

$$\nabla \cdot \vec{E} = \rho / \epsilon_0$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \wedge \vec{B} = \mu_0 i + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}.$$

$$\nabla \wedge \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

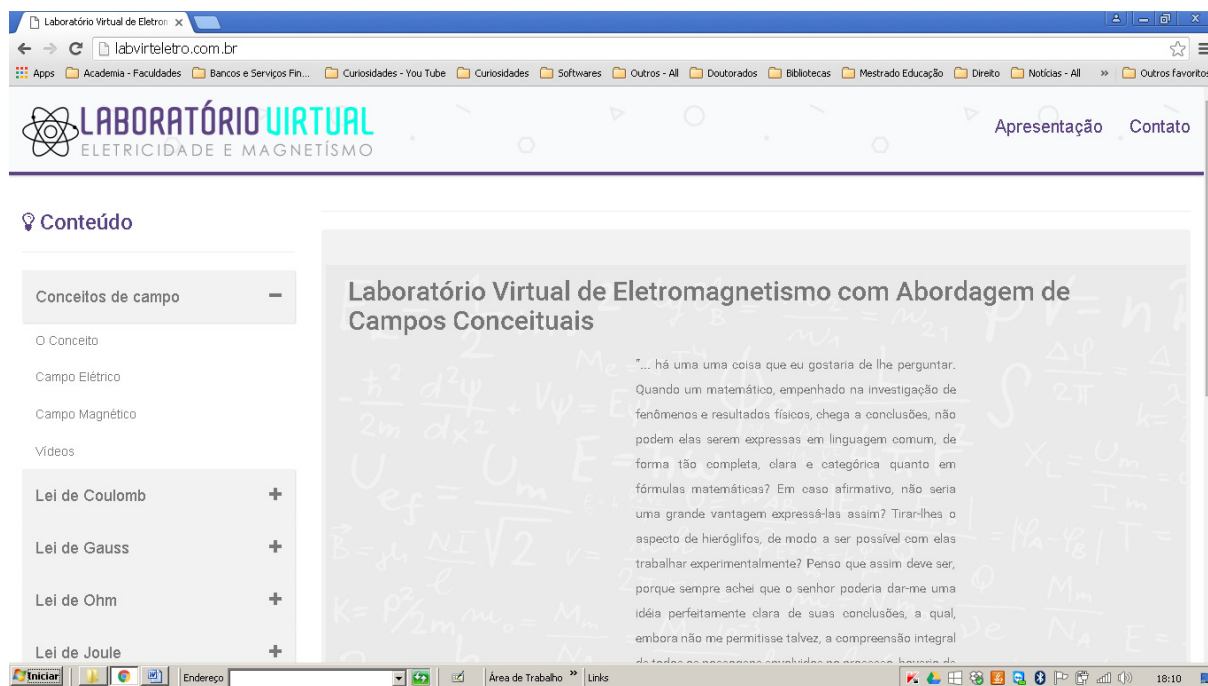
As equações de Maxwell descrevem a estrutura dos campos eletromagnéticos (elétrico e magnético). Todo o espaço é cenário destas leis e não, como no caso das leis mecânicas, apenas pontos em que estão presentes matéria ou cargas. Na mecânica, conhecendo-se a posição e a velocidade de uma partícula em um único instante e conhecendo-se as forças atuantes, toda a trajetória futura da partícula poderia ser prevista.

Na “teoria de Maxwell” se conhecermos apenas o campo em um instante, podemos deduzir (através das suas equações), como o campo inteiro se alterará no espaço e no tempo. Em suma, as equações de Maxwell nos permitem seguir a “história do campo” assim como as equações da mecânica nos permite seguir a “história das partículas materiais”. A evolução de qualquer sistema elétrico e/ou magnético ocorre seguindo os preceitos dos operadores diferenciais associados nas equações de Maxwell.

Na primeira equação descrita acima nota-se claramente que a divergência do campo elétrico está associada à densidade de carga na região de estudo do mesmo e de forma análoga, o campo magnético não diverge, ou seja, todas as linhas de campo do campo elétrico saem e voltam para o mesmo ponto indicando claramente o que percebemos desde há muito de forma empírica, ou seja, que não existem monopolos magnéticos. A terceira e quarta equação mostram a associação existente entre a variação do campo elétrico e do campo magnético, ou seja, quando ambos variam com a posição e/ou tempo gera o aparecimento do outro.

Sendo assim podemos atribuir a Maxwell a forma de descrever matematicamente, com a linguagem dos operadores, a descrição do acoplamento do campo elétrico e magnético bem como o comportamento dos mesmos (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2004).

APÊNDICE C - Lay-out da proposta do laboratório virtual: “LABVIRT”



Laboratório Virtual de Eletron: X

labvirtleetro.com.br

Apps Academia - Faculdades Bancos e Serviços Fin... Curiosidades - You Tube Curiosidades Softwares Outros - All Doutorados Bibliotecas Mestrado Educação Direito Noticias - All >> Outros favoritos

LABORATÓRIO VIRTUAL
ELETRICIDADE E MAGNETISMO

Apresentação Contato

Conteúdo

Conceitos de campo -

- O Conceito
- Campo Elétrico
- Campo Magnético
- Vídeos

Lei de Coulomb -

- Sobre a Lei
- Vídeos

Lei de Gauss +

Vídeos sobre campo



Duas novas formas de gerar campos

40:27

Iniciar

Endereço

Área de Trabalho 29 Links

18:11