

Pesquisa em **Ensino de Física 2**

Sabrina Passoni Maravieski
(Organizadora)

Atena
Editora
Ano 2019

Sabrina Passoni Maravieski

(Organizadora)

Pesquisa em Ensino de Física 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

P474 Pesquisa em ensino de física 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Sabrina Passoni Maravieski. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Pesquisa em Ensino de Física; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-210-4

DOI 10.22533/at.ed.104192803

1. Física – Estudo e ensino. 2. Física – Pesquisa – Estudo de casos. 3. Professores de física – Formação. I. Maravieski, Sabrina Passoni. II. Série.

CDD 530.07

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Pesquisa em Ensino de Física” pertence a uma série de livros publicados pela Editora Atena, e neste 2º volume, composto de 23 capítulos, apresenta uma diversidade de estudos realizados sobre a prática do docente no ensino-aprendizagem da disciplina de Física no Ensino Médio.

Com a introdução dos PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio em 1999, a presença do conhecimento da Física no Ensino Médio ganhou um novo sentido e tem como objetivo formar um cidadão contemporâneo e atuante na sociedade, pois a Física, lhe proporciona conhecimento para compreender, intervir e participar da realidade; independente de sua formação posterior ao Ensino Médio.

De acordo com os PCNEM, destacamos nesta obra, a fim de darmos continuidade ao volume II, 3 áreas temáticas: Física Moderna e Contemporânea; Interdisciplinaridade e; a última, Linguagem Científica e Inclusão.

Desta forma, algumas pesquisas aqui apresentadas, dentro das referidas áreas temáticas, procuram investigar ou orientar os docentes e os futuros docentes dos Cursos de Licenciatura em Física e Ciências Naturais, bem como avaliar e propor melhorias na utilização dos livros didáticos, como por exemplo, no âmbito CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente); além de práticas docentes que almejam o cumprimento dos PCNEM no planejamento do docente.

Quando alusivo ao âmbito ensino-aprendizagem, devemos de imediato, pensar nas diversas teorias metodológicas e nos diversos recursos didáticos que podemos adotar em sala de aula, incluindo as atuais tecnologias. Neste sentido, esta obra, tem como objetivo principal oferecer contribuições na formação continuada, bem como, na autoanálise da prática docente, resultando assim, em uma aprendizagem significativa dos estudantes de Ensino Médio. Neste sentido, o docente poderá implementá-las, valorizando ainda mais a sua prática em sala de aula.

Além disso, a obra se destaca como uma fonte de pesquisa diversificada para pesquisadores em Ensino de Física, visto que, quando mais disseminamos o conhecimento científico de uma área, mais esta área se desenvolve e capacita-se a ser aprimorada e efetivada. Pois, nós pesquisadores, necessitamos conhecer o que está sendo desenvolvido dentro da esfera de interesse para que possamos intervir no seu aspecto funcional visando melhorias na respectiva área.

O capítulo 1 trata de assuntos pertinentes à Física Moderna e Contemporânea, organizado em cinco capítulos, os quais apresentam práticas realizadas por docentes ou estudantes de graduação em Física relevantes para estudantes do Ensino Médio. São eles: Participação de professores na escola de Física do CERN como ferramenta de comunicação científica; Teoria de Campos (capítulo 2) por meio do resgate histórico, Oficina para compreensão das cores do céu utilizando o conhecimento prévio dos estudantes (capítulo 3), Análise da qualidade das produções acadêmico-científicas - Qualis A1 na área de Educação - sobre o ensino da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio (capítulo 4) e a Necessidade dos tópicos de Física Moderna e

Contemporânea no Ensino Médio (capítulo 5).

Na área interdisciplinar, apresentamos o ensino-aprendizagem da física no Ensino Médio por meio do uso de folhetos e Cordel (capítulo 6) e modelagem matemática para análise granulométrica da casca de ovo (capítulo 7). Do ponto de vista estruturante, o capítulo 8, trata dos desafios para um currículo interdisciplinar. No capítulo 9, os autores propuseram a inclusão do método da Gamificação - muito utilizado nas empresas - no Ensino da disciplina Física utilizando como interface de potencialização dos mecanismos da Gamificação um programa de computador feito com a linguagem de programação C++. Uma análise panorâmica das atividades sociais envolvidas na história do Brasil, e seu complexo entrelaçamento com interesses políticos e econômicos para o desenvolvimento do objeto de análise desta pesquisa Memórias sobre o Sentido da Escola Brasileira (capítulo 10). Experimentos de Física como método de Avaliação para alunos do EJA (capítulo 11). História, Linguagem Científica e Conceitos de Física no estudo sobre a evolução dos instrumentos de iluminação desde a era pré-histórica até os dias atuais, os avanços tecnológicos no que tange à iluminação e os principais modelos utilizados pelo homem a partir do primeiro conceito de lâmpada (capítulo 12). Utilização de uma escada para um estudo investigativo (capítulo 13). No capítulo 14, uma reflexão sobre a relação entre física, cultura e história, e seu uso em sala de aula. No capítulo 15, os autores apresentam algumas noções teóricas sobre a importância do letramento acadêmico por meio da escrita acadêmica, na formação de licenciandos em Ciências. Pois segundo os autores, a esfera universitária, as práticas discursivas efetivam-se por intermédio dos gêneros textuais/discursivos que melhor representem esse contexto, os quais denominam de gêneros acadêmicos. Da mesma forma, o capítulo 16, investigou como práticas textuais/ discursivas nas aulas da educação básica contribuem de maneira significativa na construção e promoção da aprendizagem dos estudantes, bem como do letramento escolar, tanto na área de linguagem, como em outras áreas do conhecimento com licenciandos em Física.

Já na área temática Linguagem científica e Inclusão, dois capítulos foram destinados a novas metodologias para inclusão de estudantes surdos do Ensino Médio. No capítulo 17, os autores propõem favorecer o aprimoramento de futuros professores de Física, em que firmaram uma parceria com a Sala de Recursos Multifuncionais de uma escola pública, de modo a permiti-lhes vivências no ensino de Física para alunos surdos. Arelada a essas vivências os autores visam à ampliação de sinais em Libras para o vocabulário científico usual no Ensino de Física. Já no capítulo 21, os autores avaliaram Trabalhos de Conclusão de Curso de graduandos em Licenciatura em Física e Ciências Naturais, relacionados à inclusão de surdos no ensino-aprendizagem. A intenção foi classificar estes como fontes de consulta de professores e intérpretes do ensino regular inclusivo e de professores de ensino superior, para que estas opções metodológicas passem a ser discutidas na formação de professores e sensibilizem os professores do ensino básico, podendo assim ser incluídas na práxis destes,

melhorar a dinâmica com intérprete e o atendimento ao aluno surdo. Outra pesquisa propõe que os discentes e docentes, participem do processo do ensino-aprendizagem de Física, de forma interativa, participativa, dialogada para proporcionar um cenário de mediação de conhecimento, conforme aborda Vygotsky, a partir do uso da mídia cinematográfica. Utilizando deste recurso didático, os alunos podem desvendar alguns mitos que circundam os filmes por meio da análise da ciência presente em cada cena escolhida (capítulo 18). Já no capítulo 20, os autores propõem o a confecção de jornais como meio de divulgação científica no meio acadêmico e seu uso para discussões sobre ciências em sala de aula no Ensino Médio. Da mesma forma, o capítulo 19, buscou a popularização da ciência construindo e apresentando de forma dialogada experimentos de baixo custo nas áreas de Mecânica e Óptica. O capítulo 22 apresenta uma abordagem dialogada acerca da poluição sonora possibilitando uma reflexão sobre metodologia de sala de aula através das discussões realizadas pelos alunos no decorrer da leitura guiada de um artigo e por fim, o capítulo 23, os autores analisaram os livros didáticos usados nas escolas públicas para o ensino de Física, levando em consideração a tendência CTSA (Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente). Onde, desta forma, estabelecem um novo olhar sobre o ensino de física visando uma contribuição para a concepção de uma cultura científica, que consista em uma explanação efetiva dos fatos cotidianos, em que o aluno passe a ter vontade de indagar e compreender o universo que o cerca.

Ao leitor, que esta obra, contribua para sua prática em sala de aula, fazendo desta um espaço de relação entre a tríade: professor-alunos-conhecimento.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata diversas pesquisas em ensino de Física e Ciências Naturais, valorizando a prática do docente, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes, professores e pesquisadores na constante busca de novas metodologias de ensino-aprendizagem, tecnologias e recursos didáticos, promovendo a melhoria na educação do nosso país.

Sabrina Passoni Maravieski

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A ESCOLA DE FÍSICA DO CERN: PREPARAÇÃO E PERSPECTIVAS	
<i>Camila Gasparin</i>	
<i>Diego Veríssimo</i>	
<i>Joaquim Lopes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1041928031	
CAPÍTULO 2	8
A TEORIA DE CAMPOS E O ENSINO MÉDIO	
<i>Milton Souza Ribeiro Miltão</i>	
<i>Ana Camila Costa Esteves</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1041928032	
CAPÍTULO 3	23
OFICINA PARA COMPREENSÃO DAS CORES DO CÉU	
<i>Heloisa Carmen Zanlorensi</i>	
<i>Pamela Sofia Krzysynski</i>	
<i>Danilo Flügel Lucas</i>	
<i>Rubio Sebastião Fogaça</i>	
<i>Jeremias Borges da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1041928033	
CAPÍTULO 4	32
PESQUISAS SOBRE O ENSINO DA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO: CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS RECENTES PUBLICADOS EM PERIÓDICOS NACIONAIS	
<i>Fernanda Battú e Gonçalo</i>	
<i>Eduardo Adolfo Terrazzan</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1041928034	
CAPÍTULO 5	43
QUAL A NECESSIDADE DO ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO?	
<i>Paulo Malicka Musiau</i>	
<i>Thayse Oliveira Vieira</i>	
<i>José Paulo Camolez Silva</i>	
<i>Gleidson Paulo Rodrigues Alves</i>	
<i>Simone Oliveira Carvalhais Moris</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1041928035	
CAPÍTULO 6	52
A UTILIZAÇÃO DE FOLHETOS DE CORDEL COMO FERRAMENTA DIDÁTICA NO ENSINO DE FÍSICA EM UMA ESCOLA PÚBLICA DO ESTADO DO CEARÁ	
<i>André Flávio Gonçalves Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1041928036	

CAPÍTULO 7	61
APLICAÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS NA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA CASCA DE OVO	
<i>Luciene da Silva Castro</i>	
<i>Audrei Giménez Barañano</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1041928037	
CAPÍTULO 8	65
DESAFIOS PARA UM CURRÍCULO INTERDISCIPLINAR: DISCUSSÕES A PARTIR DO CURRÍCULO DA UFABC	
<i>Gilvan de Oliveira Rios Maia</i>	
<i>José Luís Michinel</i>	
<i>Álvaro Santos Alves</i>	
<i>José Carlos Oliveira de Jesus</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1041928038	
CAPÍTULO 9	75
ENSINANDO FÍSICA ATRAVÉS DA GAMIFICAÇÃO	
<i>Érico Rodrigues Paganini</i>	
<i>Márcio de Sousa Bolzan</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1041928039	
CAPÍTULO 10	81
MEMÓRIAS SOBRE O SENTIDO DA ESCOLA BRASILEIRA	
<i>Adolfo Forti Ferreira Machado Junior</i>	
DOI 10.22533/at.ed.10419280310	
CAPÍTULO 11	89
ENSINO DE FÍSICA PARA EJA: EXPOSIÇÃO DE EXPERIMENTOS DE FÍSICA COMO FORMA DE AVALIAÇÃO	
<i>Thiago Corrêa Lacerda</i>	
<i>Hugo dos Reis Detoni</i>	
<i>Jorge Henrique Cunha Basílio</i>	
DOI 10.22533/at.ed.10419280311	
CAPÍTULO 12	98
HISTÓRICO SOBRE AS TECNOLOGIAS DE ILUMINAÇÃO UTILIZADAS PELO SER HUMANO: UM TEMA COM AMPLO POTENCIAL PARA DISCUSSÕES EM SALA DE AULA	
<i>Helder Moreira Braga</i>	
<i>Eduardo Amorim Benincá</i>	
<i>João Paulo Casaro Erthal</i>	
DOI 10.22533/at.ed.10419280312	
CAPÍTULO 13	108
ESTIMANDO A ALTURA DA ESCOLA - UMA PROPOSTA DE ESTUDO INVESTIGATIVO	
<i>Eliene Ribeiro do Nascimento</i>	
<i>Lucas Paulo Almeida Oliveira</i>	
<i>Alfonso Alfredo Chíncono Bernuy</i>	

CAPÍTULO 14 116

O CONTO LITERÁRIO NO ENSINO DE HISTÓRIA DA FÍSICA: UMA EXPERIÊNCIA COM FORMAÇÃO DOCENTE

João Eduardo Fernandes Ramos

Emerson Ferreira Gomes

Luís Paulo Piassi

DOI 10.22533/at.ed.10419280314

CAPÍTULO 15 126

O LETRAMENTO ACADÊMICO NA FORMAÇÃO DE LICENCIANDOS EM CIÊNCIAS: A ESCRITA EM FOCO

Mariana Fernandes dos Santos

Maria Cristina Martins Penido

DOI 10.22533/at.ed.10419280315

CAPÍTULO 16 134

PCN+ E AS PRÁTICAS DE LINGUAGEM NAS AULAS DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

Mariana Fernandes dos Santos

Jorge Ferreira Dantas Junior

Flávio de Jesus Costa

DOI 10.22533/at.ed.10419280316

CAPÍTULO 17 144

A LINGUAGEM CIENTÍFICA E A LÍNGUA BRASILEIRA DE SINAIS: ESTRATÉGIA PARA A CRIAÇÃO DE SINAIS

Lucia da Cruz de Almeida

Viviane Medeiros Tavares Mota

Jonathas de Albuquerque Abreu

Leandro Santos de Assis

Ruth Maria Mariani Braz

DOI 10.22533/at.ed.10419280317

CAPÍTULO 18 154

A UTILIZAÇÃO DE FILMES COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DE FÍSICA

Wflander Martins de Souza

Gislayne Elisana Gonçalves

Marcelo de Ávila Melo

Denise Conceição das Graças Ziviani

Elisângela Silva Pinto

DOI 10.22533/at.ed.10419280318

CAPÍTULO 19 171

EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO EM FÍSICA VOLTADOS PARA A POPULARIZAÇÃO DA CIÊNCIA

Milton Souza Ribeiro Miltão

Thiago Moura Zetti

Juan Alberto Leyva Cruz

Ernando Silva Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.10419280319

CAPÍTULO 20 183

O JORNAL “A FÍSICA ONTEM E HOJE” COMO MEIO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E DISCUSSÕES DE CIÊNCIA EM SALA DE AULA

João Paulo Casaro Erthal

Pedro Oliveira Fassarella

Wyara de Jesus Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.10419280320

CAPÍTULO 21 196

LEVANTAMENTO DOS ELEMENTOS A SEREM CONSIDERADOS NO ENSINO DE FÍSICA PARA SURDOS

Camila Gasparin

Sônia Maria Silva Corrêa de Souza Cruz

Janine Soares de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.10419280321

CAPÍTULO 22 206

SALA DE AULA DE CIÊNCIAS: O QUE UM SIMPLES DEBATE EM SALA DE AULA PODE DIZER DO ENSINO DE FÍSICA?

Lucas Jesus Bettiol Mazeti

Ana Lúcia Brandl

Fernanda Keila Marinho da Silva

DOI 10.22533/at.ed.10419280322

CAPÍTULO 23 215

PERSPECTIVAS CTSA: ANÁLISE DO LIVRO DIDÁTICO PARA O ENSINO DE FÍSICA

Cristiano Braga de Oliveira

Camyla Martins Trindade

Aline Gabriela dos Santos

Pedro Estevão da Conceição Moutinho

DOI 10.22533/at.ed.10419280323

SOBRE A ORGANIZADORA..... 224

A TEORIA DE CAMPOS E O ENSINO MÉDIO

Milton Souza Ribeiro Miltão

Universidade Estadual de Feira de Santana,
Departamento de Física,
Feira de Santana – BA

Ana Camila Costa Esteves

Universidade Estadual de Feira de Santana,
Departamento de Física,
Feira de Santana – BA

visto que este é um tema contemporâneo e de extrema importância, já que muitas das pesquisas de alto nível desenvolvidas na área de Física dizem respeito à Teoria de Partículas e Campos. Consequentemente, como resultado teríamos estudantes de ensino médio com um maior conhecimento sobre o que está sendo proposto e desenvolvido na ciência atual.

PALAVRAS-CHAVE: Teoria de Campos, Física Moderna Contemporânea, Sala de Aula.

RESUMO: Neste trabalho apresentamos uma proposta de introduzir o tema da Teoria de Campos no ensino médio. Para isso utilizaremos a Teoria de Grupos, que pode ser entendida de forma introdutória a partir de conceitos básicos como os da teoria de conjuntos e operações algébricas simples. Assim, utilizando as noções de sistemas de referência, Leis de Newton e Relatividade Especial podemos relacionar a Teoria de Grupos com a Teoria de Campos visto que os grupos de Galileu e Poincaré, associados à relatividade Galileana e à relatividade especial respectivamente, nos permitem descrever alguns aspectos dos campos físicos, visto que estes grupos dizem respeito às transformações de coordenadas entre referenciais distintos, e é o referencial que ‘observa’ o fenômeno. Além disso, podemos obter as partículas elementares relativas aos campos a partir das representações irredutíveis destes grupos. Assim, propomos a introdução desse tema no ensino médio,

ABSTRACT: In this work we present a proposal to introduce the theme of Field Theory in high school. For this we will use the Group Theory, which can be understood in an introductory way from basic concepts such as set theory and simple algebraic operations. Thus, using the notions of reference systems, Newton’s Laws and Special Relativity, we can relate Group Theory to Field Theory, since the Galileo and Poincaré groups, associated with Galilean relativity and special relativity respectively, allow us to describe some aspects of the physical fields, since these groups concern the transformations of coordinates between distinct referentials, and it is the referential that ‘observes’ the phenomenon. In addition, we can obtain the elementary particles relative to the fields from the irreducible representations of these groups. Thus, we propose the introduction of this topic in high school, since this is a contemporary subject

and of extreme importance, since many of the high level researches developed in the area of Physics are concerned with Particle and Field Theory. Consequently, as a result we would have high school students with more knowledge about what is being proposed and developed in current science.

KEYWORDS: Theory of Fields, Contemporary and Modern Physics, Classroom.

1 | INTRODUÇÃO

Neste trabalho, uma extensão daquele apresentado no XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2015 (ESTEVES e MILTÃO, 2015), serão abordados introdutoriamente aspectos da Teoria de Campos, um tema contemporâneo da Física visto que se relaciona com dois outros temas físicos muito importantes para uma formação plena de um estudante do ensino médio, os Sistemas de Referência e os Princípios de Simetria, que são temas abordados em disciplinas de Física na Educação Básica. Assim, não só na graduação (OLIVEIRA, 2011), mas no nível médio poderemos abordar um tema contemporâneo na sala de aula (KRAPAS e SILVA, 2008; OSTERMANN, 1999) e de grande relevância devido à ampla utilização de aceleradores de partículas na atualidade para a descoberta de novas partículas elementares, bem como para a comprovação do Modelo Padrão (CFTC, s/d; PIMENTA et al, 2013).

Neste sentido partimos da Teoria de Grupos (BASSALO e CATTANI, 2005; BAUMSLAG e CHANDLER, 1968), um tema da matemática, e utilizando as noções de sistemas de referência e de simetrias (FERREIRA, 2009) descrevemos de forma introdutória os grupos contínuos mais utilizados no Campo do Saber da Física, tais como os grupos de Galileu e de Poincaré, os quais nos permitem compreender as famílias das partículas elementares e, conseqüentemente, os campos físicos a elas associados (ROCHA, RIZZUTI e MOTA, 2013; SUDARSHAN e MUKUNDA, 1974).

A Teoria de Grupos se relaciona com diversas ciências atuais, aparecendo constantemente em estudos de álgebra, química, topologia, entre outros. O seu estudo surgiu em conexão com a solução de equações (LIVIO, 2005), um tema muito importante para a Física, pois esta lida com inúmeras equações na compreensão dos fenômenos.

A importância da Teoria de Grupos na Física é facilmente observada à medida que os grupos podem representar algebricamente inúmeras teorias físicas. Um grande passo para a união entre a Teoria de Grupos e Física se deu quando Hermann Weyl (BASSALO e CATTANI, 2005) mostrou em 1928 que existe uma íntima relação entre as Leis Gerais da Teoria Quântica e a Teoria de Grupos.

A Teoria de Grupos também se relaciona com a noção de continuidade. Isso se deve ao fato de existirem grupos cujos elementos são não enumeráveis, os grupos contínuos. Estes grupos são ditos contínuos, pois para caracterizar os seus elementos é necessário lançar mão de parâmetros ou coordenadas que variam continuamente.

(SUDARSHAN e MUKUNDA, 1974).

O conceito de grupo está intimamente ligado à ideia de simetria, que é uma das ideias intuitivas mais importantes da Ciência e Matemática (RODITI, 2003). As simetrias aparecem nas pinturas rupestres, cerâmicas indígenas e ladrilhamentos de palácios mouros, o que mostra seu caráter intuitivo mesmo nas mais diversas culturas (WEYL, 1952). O estudo das simetrias em conjunto com as representações dos grupos de Lie proporciona um grande poder preditivo, o que ajudou Murray Gell-Mann e Yuval Ne'eman a publicarem dois artigos independentes em 1961 nos quais eles conseguiram uma classificação coerente para os hádrons usando as representações de octetos dos grupos $SU(3)$ e foi prevista a existência de novas partículas elementares; assim, consolidou-se a relação entre teorias abstratas, grupos de Lie e a Física de Partículas (BASSALO e CATTANI, 2005).

A teoria de grupos, que surge do estudo de simetrias, constitui uma ferramenta muito útil na Física de Partículas, principalmente com o uso da teoria de representações dos grupos de Lie. Determinadas partículas podem ter seus comportamentos descritos por certos grupos e os grupos podem justamente prever a existência destas. (CFTC, s/d).

Existe uma relação também entre os grupos e os sistemas de referências da Física, que podem ser inerciais ou não-inerciais. Sendo que os inerciais são aqueles que obedecem à lei da inércia, ou seja, ou estão em repouso ou se movendo com velocidade constante, e os não-inerciais são aqueles que estão submetidos à alguma força externa. Existem dois tipos de transformações entre os sistemas de referência inerciais: a transformação de Galileo, para baixas velocidades comparadas com a velocidade da luz, c , no vácuo e a de Poincaré, para altas velocidades comparadas com a velocidade da luz no vácuo. Considerando estas transformações, surgem então os grupos de Galileo e Poincaré que são constituídos pelos Grupos das Transformações de Coordenadas espaço-temporais no contínuo espaço-tempo de Euclides-Newton e Minkowski, respectivamente (ABREU et al, 2009; CRAWFORD, 2005; FERREIRA, 2009; ROCHA, RIZZUTI e MOTA, 2013).

O espaço e tempo absolutos de Newton podem ser estabelecidos como segue:

Em primeiro lugar, espaço e tempo são lógicas e metafisicamente a priori dos corpos físicos e eventos. Isso quer dizer que, embora possam existir espaço e tempo, mesmo se não existissem corpos físicos ou eventos, a existência de coisas como planetas e lampejos não poderia ocorrer sem espaço e tempo. Em segundo lugar, corpos físicos e eventos existem no interior do espaço e tempo - a bola de praia é colocada em uma região do espaço igual ao seu volume; a explosão perdura através de uma medida determinada de tempo absoluto. Em terceiro lugar, embora possamos distinguir regiões, ou 'partes' de espaço e tempo, nem espaço nem tempo estritamente falando são divisíveis já que nenhuma região do espaço ou de tempo poderia ser separada, ou 'puxada', a partir de qualquer outra região. Em quarto lugar, ontologicamente falando, espaço e tempo podem ser identificados com os atributos de Deus: o espaço infinito justamente é o atributo da Imensidade de Deus, enquanto o tempo infinito justamente é o atributo da Eternidade de Deus. (McDONOUGH, 2014).

No caso dos sistemas de referência não inerciais, que são tratados na Relatividade Geral, advinda da “*necessidade de generalizar o princípio da relatividade dos movimentos uniformes aos movimentos arbitrários*” (CRAWFORD, 2005, p. 102; vide p. 108-109) (a partir da influência, do ponto de vista filosófico, que Einstein teve do relacionismo Leibniziano e do empiricismo Machiano (FRIEDMAN, 1983, p. 3)), o grupo correspondente é o Grupo de Difeomorfismos na Variedade Diferenciável M , onde M é uma variedade espaço-temporal de Riemann de pontos diferenciáveis com certa estrutura topológica (CALA-VITERY, GÓMEZ-PLATA e RAMOS-CARO, 2007, p. 105-107), i.e., é “*o grupo pleno das transformações admissíveis*” (FRIEDMAN, 1983, p. 26).

O relacionismo Leibniziano estabelece que

o espaço e o tempo não são para serem pensados como recipientes em que os corpos estão literalmente localizados e através dos quais se movem, mas sim como uma estrutura abstrata de relações em que os corpos reais (e até mesmo possíveis) podem ser incorporados. ... mesmo entendido como sistemas de relações - espaço e tempo como ‘seres da razão’ são, em certo sentido, pelo menos, duas etapas retiradas das mônadas da metafísica madura [de Leibniz]. (i) Embora os corpos possam ser mantidos em relações espaciais e temporais uns com os outros, Leibniz declara que, espaço e tempo, em si mesmos, devem ser considerados abstrações ou idealizações no que tange a essas relações. Pois, enquanto as relações entre os corpos e eventos são necessariamente variáveis e mutáveis, as relações constituindo espaço e tempo devem ser vistas como determinadas, fixadas, e ideais. (ii) ... no entanto, de acordo com a metafísica mais madura de Leibniz, os corpos físicos e eventos devem ser, eles próprios, entendidos como fenômenos meramente bem fundamentados. (McDONOUGH, 2014).

O Empirismo Machiano

tem suas raízes na crença de que o conhecimento é um produto da evolução, de que os nossos sentidos, mentes e culturas têm uma história evolutiva. Foi a partir de experiências simples que os organismos iniciais responderam, e foi a partir dessas experiências simples que as primeiras imagens do mundo foram construídas. Estas construções tornaram-se a priori, permitindo novos e mais complicados entendimentos, e assim por diante. Esse processo é, em certo sentido, repetido no desenvolvimento; o desenvolvimento individual começa através de um processo de interação de sensações simples com aquelas capacidades inatas formadas em nossos ancestrais. A partir disso, entendimentos mais complexos surgem; o processo continua. A ciência promove este processo biológico colocando nossas concepções primitivas em contato com novos ambientes, assim causando adaptação mental. Esse mesmo processo unifica todas as características da atividade na natureza: a adaptação da vida inicial aos ambientes primordiais e a adaptação da ciência moderna aos novos dados são unificados sob o princípio da experiência forçando adaptação na memória. Embora não rigidamente um empiricista nesse sentido, [Mach] rejeitou a tábula rasa de Locke, e alinhou-se contra o mais empiricista Helmholtz e em direção do nativista Ewald Hering em seus famosos debates natureza-criação. Ele não é de modo algum um empiricista tradicional. (POJMAN, 2011).

Levando em consideração tais questões, a partir do estudo da estrutura algébrica das teorias físicas poderão ser compreendidas então as bases da Teoria de Campos. Com isso, poderemos compreender introdutoriamente a Teoria de Campos a partir do

ponto de vista da Teoria de Grupos, considerando temas estudados no nível médio (transformações entre referenciais e simetrias).

2 | GRUPOS DE TRANSFORMAÇÕES ENTRE SISTEMAS DE REFERÊNCIA

O estudo dos grupos matemáticos pode ser feito ainda no nível médio visto que está relacionado com assuntos ensinados neste nível: a teoria de conjuntos e as operações algébricas de somar, subtrair, multiplicar e dividir.

Um grupo G (BAUMSLAG e CHANDLER, 1968) é um conjunto de elementos (objetos, operações, rotações, transformações) que podem ser combinados por uma operação binária $*$ ('multiplicação de grupo') e que satisfazem às seguintes propriedades:

1 - Fechamento: se a e b são dois elementos quaisquer de G , então seu produto $a*b$ também é um elemento de G .

2 - Associatividade: se a, b, c pertencem a G , então

$$(a * b) * c = a * (b * c) = a * b * c$$

3 -Elemento neutro: existe um elemento único I tal que, para todo $a \in G$

$$I * a = a * I = a$$

4 - Elemento inverso: Para todo $a \in G$ existe um único $a^{-1} \in G$ tal que

$$a * a^{-1} = a^{-1} * a = I$$

Com estes conceitos podemos compreender o significado de uma simetria (RODITI, 2003). Podemos chamar de simetria uma operação que mapeia um conjunto nele mesmo.

Como exemplos de simetrias, temos:

1. Translação: O deslocamento em uma dada direção de uma dada distância.
2. Rotação: Rotação em torno de um dado ponto, o centro de rotação, de um dado ângulo.
3. Reflexão: A transformação no plano que deixa uma linha fixa e que inverte a orientação.
4. Reflexão com deslizamento: A transformação que combina uma reflexão numa dada linha com uma translação de uma dada distância numa direção paralela à linha de reflexão.

Então, como exemplo, se operamos uma translação em um conjunto, sendo esta uma simetria deste conjunto, necessariamente o resultado desta operação será o próprio conjunto.

Com isso, podemos fazer um estudo introdutório dos grupos de Galileo e Poincaré. Estes grupos são formados quando consideramos as transformações de

Galileo e de Poincaré como operações binárias, que são as próprias transformações entre os sistemas de referência inerciais.

Segundo o princípio da relatividade de Galileo, também chamado de princípio da relatividade do movimento, existe um número incontável de sistemas de referenciais inerciais nos quais as leis que regem o movimento dos corpos são semelhantes, i.e., invariantes, o que expressa a propriedade de simetria aludida mais acima.

Na Mecânica Newtoniana é introduzida uma escala de tempo absoluta que deve ser usada em todos os sistemas de coordenadas que estão em movimento mútuo relativo, o que implica em um conceito absoluto de simultaneidade (SCHRÖDER, 1990). Além disso, na Mecânica Newtoniana, assume-se que quando se passa de um sistema de coordenadas para outro, a massa do corpo é inalterada, ou seja, a massa é uma quantidade invariante. Assim, na Mecânica Newtoniana, todos os sistemas inerciais em movimento mútuo uniforme são equivalentes. Considerando dois sistemas de coordenadas K e K' , que se movem com a velocidade relativa \vec{v} e que coincidem em $t = 0$, as coordenadas de um ponto P , relativo a K' e K , respectivamente, são relacionados pela transformação de Galileo, que é dada por:

$$\begin{aligned}\vec{x}' &= \vec{x} - \vec{v}t \\ t' &= t\end{aligned}$$

Assim, segundo o princípio da relatividade da Mecânica Newtoniana, as leis da mecânica são as mesmas em todos os sistemas de referência que surgem de um referencial inercial por meio de transformações de Galileo. Em outras palavras, as leis de Newton são invariantes sob as transformações de Galileo.

Pode ser mostrado que a transformação de Galileo forma um grupo. Podemos verificar a propriedade de fechamento considerando como elementos do grupo as velocidades \vec{v}_1 e \vec{v}_2 . Aplicando em sequência as transformações:

$$\begin{aligned}\vec{x}' &= \vec{x} - \vec{v}_1 t, & t' &= t \\ \vec{x}'' &= \vec{x}' - \vec{v}_2 t', & t'' &= t'\end{aligned}$$

obtém-se novamente um elemento do grupo, a saber:

$$\vec{x}'' = \vec{x} - \vec{v}t, \quad t'' = t$$

que é especificado pela velocidade $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$, sendo esta a lei de adição de velocidades válida na Mecânica Newtoniana.

Quantidades que não são alteradas por nenhuma das transformações de um grupo são chamadas de invariantes do grupo de transformação.

O grupo de Galileo é o grupo das transformações no espaço e tempo que conectam os sistemas referenciais inerciais na Mecânica Newtoniana. Elas podem ser classificadas em homogêneas e não homogêneas (ABREU et al, 2009, p. 6). As transformações de Galileo não homogêneas envolvem as seguintes operações: um *boost* (impulso) representado pela velocidade \vec{v} entre os referenciais inerciais

S e S' , uma translação no tempo representada por t_0 ; uma translação no espaço representada por r_0 ; e uma rotação fixada no tempo representada por R . Com isso, podemos representar uma transformação geral (não homogênea) de Galileo como segue (ABREU et al, 2009, p. 6):

$$r' = Rr + vt + r_0,$$

$$t = t + t_0,$$

com r sendo as coordenadas espaciais no espaço Euclidiano tridimensional $E=R^3$ e t a coordenada temporal; R descrevendo uma rotação fixada em E ; v descrevendo a velocidade entre os sistemas de referência, isto é, a transformação pura de Galileo; r_0 representando uma translação espacial; e t_0 uma translação temporal.

No entanto, foi verificado que o princípio de invariância de Galileo não pode ser aplicado a todas as leis gerais. Considerando, por exemplo, a Mecânica Newtoniana, era possível atingir velocidades absurdamente altas pela simples composição de velocidades. Mas, experimentalmente, foi verificado que existe uma velocidade limite c , que depois se descobriu que coincidia com a velocidade da luz no vácuo. Além disso, a equação de onda para a eletrodinâmica não é invariante sob as transformações de Galileo. Mas, pelo fato dos experimentos constatarem que as equações de Maxwell estavam corretas, a saída era a criação de uma nova mecânica que obedecesse a um princípio da relatividade válido tanto para a mecânica quanto para a eletrodinâmica (SCHRÖDER, 1990).

Assim, há necessidade da existência de um princípio de relatividade mais geral do que o de Galileo. Neste contexto Einstein formula a sua teoria da relatividade especial partindo de dois postulados fundamentais (SCHRÖDER, 1990). O primeiro postulado é o princípio da relatividade de Einstein, segundo o qual as leis da natureza devem ter a mesma forma em todos os referenciais inerciais. O segundo postulado afirma que a velocidade máxima de propagação das interações no vácuo deve ser a mesma em todos os sistemas referencias, ou seja, a velocidade limite c é uma constante.

Para que isso seja verdade é necessário que seja abandonada a ideia de tempo absoluto, já que não há efeitos instantâneos, pelo fato de existir uma velocidade limite. Assim, em sistemas referenciais distintos, o tempo possui ritmos diferentes. Desta forma, o conceito de simultaneidade absoluta é também abandonado, visto que eventos que são simultâneos em um sistema de referência não mais o serão em outro sistema.

Além disso, na teoria da relatividade de Einstein a massa se torna uma entidade dependente da velocidade, e a massa relativística invariante (massa de repouso) é definida de outra forma. Conseqüentemente, a massa deixa de ser um invariante sob as transformações de coordenadas na relatividade especial.

As transformações de coordenadas que correspondem ao princípio da relatividade de Einstein são as transformações de Lorentz. Estas transformações, considerando um movimento retilíneo, são dadas por (SCHRÖDER, 1990):

$$\begin{aligned}x' &= \gamma(v)(x - vt) \\y' &= y \\z' &= z \\t' &= \gamma(v)\left(t - \frac{v}{c^2}x\right)\end{aligned}$$

onde (x', y', z', t') são as coordenadas do ponto P no sistema K' e (x, y, z, t) são as coordenadas no sistema K . A grandeza v é a velocidade relativa entre os dois sistemas referenciais e c a velocidade da luz no vácuo. Além disso, temos que γ , que é uma função par da velocidade v , é dada por:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Realizando duas transformações de Lorentz em sequência, obtém-se novamente uma transformação de Lorentz. Já que a propriedade associativa existe, e o elemento inverso e o elemento identidade existem, a transformação de Lorentz forma um grupo.

Assim, sejam v_1 a velocidade de K' em relação a K e v_2 a velocidade de K'' relativa a K' , nas direções positivas de x e x' ; daí temos que:

$$\begin{aligned}x' &= \gamma(v_1)(x - v_1t), & x'' &= \gamma(v_2)(x' - v_2t') \\t' &= \gamma(v_1)\left(t - \frac{v_1}{c^2}x\right), & t'' &= \gamma(v_2)\left(t' - \frac{v_2}{c^2}x'\right)\end{aligned}$$

Expressando x'', t'' em termos de x, t temos que:

$$\begin{aligned}x'' &= \gamma(v_2)\gamma(v_1)\left[x - v_1t - v_2\left(t - \frac{v_1}{c^2}x\right)\right] \\t'' &= \gamma(v_2)\gamma(v_1)\left[t - \frac{v_1}{c^2}x - \frac{v_2}{c^2}(x - v_1t)\right]\end{aligned}$$

Agora, esta transformação (de K a K'') é um elemento do grupo de Lorentz que pode ser escrito da seguinte forma:

$$\begin{aligned}x'' &= \gamma(w)(x - wt) \\t'' &= \gamma(w)\left(t - \frac{w}{c^2}x\right)\end{aligned}$$

onde w representa o parâmetro de grupo definindo a transformação de K a K'' .

As transformações de Lorentz podem ser divididas em homogêneas e não homogêneas. No primeiro caso, as transformações envolvidas conectam referenciais inerciais S, S', \dots que ou são rotacionados (uma rotação fixada no tempo) uns em relação aos outros, ou estão se movendo relativamente uns em relação aos outros (com velocidade retilínea uniforme), ou alguma combinação de ambos, mas cujas origens no espaço e tempo coincidem. No segundo caso, inclui-se a possibilidade de translações no espaço-tempo. Assim, as transformações homogêneas levam ao grupo homogêneo de Lorentz, e as transformações não homogêneas levam ao grupo não

homogêneo de Lorentz, ou grupo de Poincaré.

Diferentemente da Relatividade Galileana, com o espaço-tempo de Euclides-Newton e da Relatividade Especial, com o espaço-tempo de Minkowski que são espaços lisos (*flat*) (FRIEDMAN, 1983, p. 8), nas quais prevalecem as invariâncias das equações de movimento como uma expressão da simetria, na Relatividade Geral temos o espaço-tempo curvo que “é uma entidade física que não só atua sobre a matéria, dizendo-lhe como deve mover-se, mas também é atuado pela matéria que lhe diz como deve curvar-se” (CRAWFORD, 2005, p. 111), na qual prevalece a covariância das equações de movimento (CRAWFORD, 2005, p. 109).

Na Relatividade Geral é usado um espaço-tempo ‘não liso’ (*nonflat*) “no qual coordenadas ‘Cartesianas’ ou inerciais não existem” (FRIEDMAN, 1983, p. 26).

A invariância é uma característica que um sistema físico apresenta de tal maneira que suas propriedades permanecem inalteradas sob a ação de alguma transformação. Covariância é a invariância da forma das leis físicas sob alguma transformação de coordenadas diferenciáveis, o que significa que tais leis não dependem da escolha das coordenadas, expressando “unicamente características intrínsecas do espaço-tempo” (CRAWFORD, 2005, p. 108), logo as coordenadas não existem *a priori* na natureza, sendo somente artifícios usados para descrever a natureza, não desempenhando regra alguma na formulação das teorias e leis gerais da Física.

[A covariância é] um procedimento que pode ser aplicado a qualquer espaço-tempo, mas só em certos casos o espaço-tempo resultante possui simetrias, como a invariância de Lorentz no espaço-tempo de Minkowski, [e como a invariância de Galileo no espaço-tempo de Euclides] que exprimem a equivalência entre diferentes referenciais e traduzem algum princípio da relatividade. No caso geral não há simetrias e, portanto nenhum princípio da relatividade. Isto mostra que a covariância geral não impõe restrições às leis físicas, nem garante a generalização da relatividade (Kretschmann). (CRAWFORD, 2005, p. 108-109).

3 | A TEORIA DE CAMPOS NO ENSINO DE FÍSICA

Como é sabido (MILTÃO, 2014, p. 326) no estudo do conhecimento humano a estratégia utilizada é a separação sujeito *versus* objeto. Este é um problema central na Filosofia e que se estende para todos os outros campos do saber. No caso da Física, representamos o sujeito por um sistema de referência a partir do qual estudamos um determinado fenômeno, que representa um objeto.

Nesse trabalho, assumimos a premissa de que os diferentes sujeitos, representados por diferentes sistemas de referência, estabelecem um diálogo ao utilizar a teoria de grupos (que representa o conjunto das transformações entre os sistemas de referência), no estudo dos campos físicos (que representam os fenômenos que estudamos).

A Teoria de Campos é uma proposta que busca uma unificação entre os diferentes campos físicos atualmente existentes (DIAS, 2006; GRIBBIN, 1998; OLIVEIRA, 2011;

PIMENTA et al, 2013; SANTANA, 1997; SUDARSHAN e MUKUNDA, 1974). São eles os campos bosônicos (campo Bosônico de Schroedinger, campo bosônico de Schroedinger-Klein-Gordon, campo bosônico de Higgs, campo eletromagnético, campo nuclear fraco, campo nuclear forte, campo gravitacional) e os campos fermiônicos ou de matéria (campo de Pauli, campo de Dirac, etc.) (DIAS, 2006; MOREIRA, 2004). É importante compreendermos o conceito de campo visto que se constata que na educação básica, particularmente no nível médio,

muitos fenômenos são explicados pelos alunos com o auxílio do conceito de campo: os corpos caem por causa do campo gravitacional da Terra, pregos são atraídos por um ímã por causa de seu campo magnético... Ainda que essas explicações não estejam incorretas, podem estar indicando uma aprendizagem superficial, uma 'naturalização' do conceito, o que fica evidenciado pelo uso do mesmo tipo de explicação para fenômenos mais complicados, como o funcionamento de um motor elétrico simples ou o comportamento de um material ferromagnético dentro de um solenóide... [parecendo] que o termo campo encerra - tanto no sentido de guardar em lugar que se fecha, como no sentido de terminar - a explicação. Podemos dizer que o conceito de campo encontra-se encapsulado. (KRAPAS e SILVA, 2008, p. 16).

Esta teoria está assentada em alguns princípios. Do ponto de vista de uma teoria relativística, temos um campo relativístico que pode ser quântico ou clássico. Nesse caso, temos: (i) Todo e qualquer sistema físico é representado por um campo; (ii) A velocidade de propagação de uma interação é finita; (iii) A interação entre os sistemas físicos ocorre localmente e não à distância.

Do ponto de vista de uma teoria não relativística, temos um campo não relativístico que pode ser quântico ou clássico (ERIC-SMITH, 1993). Nesse caso, temos: (i) Todo e qualquer sistema físico é representado por um campo; (ii) A velocidade de propagação de uma interação também pode ser infinita (neste caso, temos um campo estacionário, i.e., aquele que não depende do tempo (NUSSENZVEIG, 2002, p. 18)); (iii) A interação entre os sistemas físicos também pode ocorrer à distância. Nesse caso, temos como exemplos: para os campos bosônicos – campo escalar de temperatura, campo escalar de pressão, campo escalar de Schroedinger, campo vetorial de velocidades, campo elétrico de Coulomb, campo gravitacional Newtoniano; para os campos fermiônicos - campo de Pauli, etc.

Um campo é uma porção do espaço-tempo onde são sensíveis e verificáveis ações de forças sem agente transmissor intermediário (ANDRADE-NETO, 2006; DIAS, 2006), ou seja, “um campo é uma quantidade física que tem um valor para cada ponto no espaço e tempo” (GRIBBIN, 1998, p. 138). No que tange à teoria das partículas elementares, tais entidades são representadas pelas excitações dos campos físicos denominadas *quanta* (DIAS, 2006; MOREIRA, 2004).

Uma pergunta que tem intrigado os seres humanos desde os seus primórdios, é: “De que somos feitos?” (CTFC, s/d). Neste sentido,

Ao longo da História temos vindo a, progressivamente, dar respostas a esta

pergunta. Desde a invenção do microscópio que nos permitiu descobrir a estrutura da matéria viva, aos progressos na Química e Teoria Atômica, à Física Nuclear que nos permitiu ‘ver’ dentro dos átomos e à moderna Física de Partículas, onde sondamos as mais pequenas escalas alguma vez alcançadas. Ainda não sabemos se aquilo que sabemos hoje é a resposta final àquela velha pergunta (muito provavelmente ainda não será). (CTFC, s/d).

Na Figura 1 se encontram resumidas as proposições feitas, do ponto de vista científico, a respeito desta fundamental questão que intriga a humanidade e que algumas manifestações do saber humano tentam responder (filosófico, científico, teológico, dentre outras).

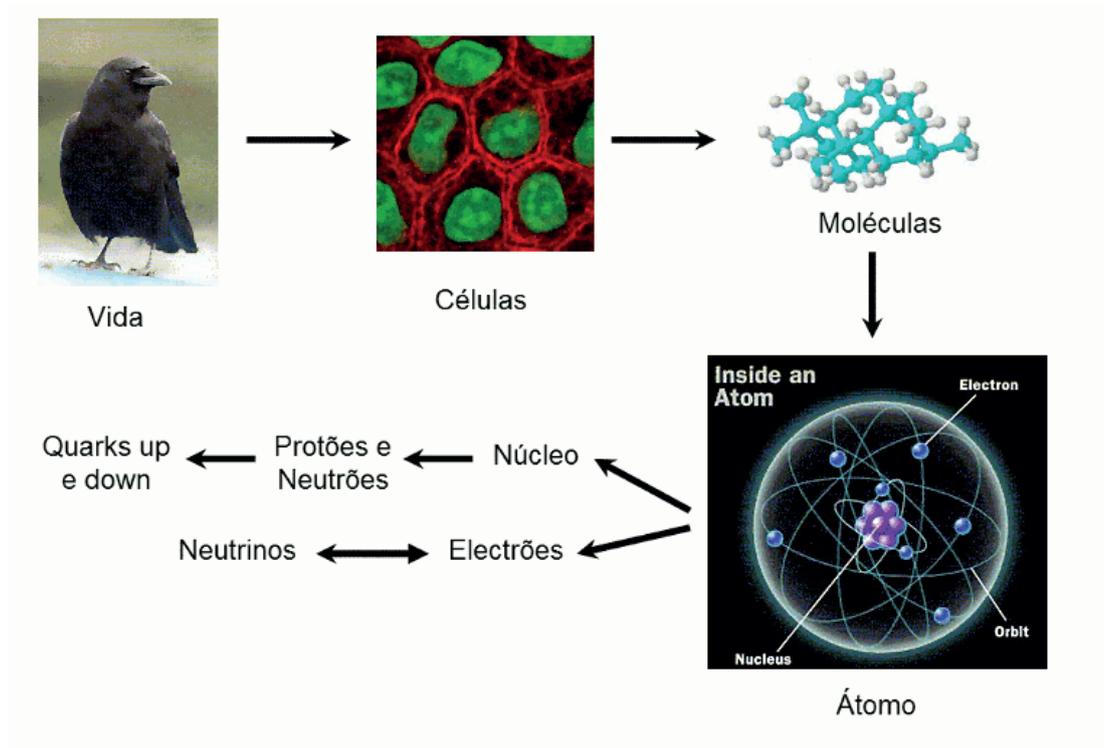


Figura 1: A Corrida em Direção ao Infinitamente Pequeno. Fonte: CTFC, s/d.

Como podemos perceber, as partículas elementares estão na ponta final de uma provável resposta científica. E o mais importante é que tal conhecimento relaciona-se com a Teoria de Campos, que por sua vez relaciona-se com a Teoria de Grupos e estas com as simetrias adjacentes às transformações entre os sistemas de referência, os quais representam os *sujeitos* na tentativa de compreender os *objetos*, no nosso caso, os fenômenos da natureza.

Como é sabido, a matéria é composta por duas classes de partículas elementares: os léptons e os quarks (veja a Figura 2). E a radiação, por outra classe os bósons, ou partículas mediadoras da interação. Ou seja, “no modelo padrão os léptons e quarks são considerados constituintes fundamentais da matéria e a interação entre eles ocorre por meio da troca de bósons (partículas mediadoras)” (PIMENTA et al, 2013, p. 2306-2). Além disso, “o modelo padrão também prevê a existência do chamado campo de Higgs, que permeia todo o Universo dando massa a todas as partículas que interagem com ele” (PIMENTA et al, 2013, p. 2306-2). Frise-se que para cada partícula existe

a sua antipartícula, que são “partículas com mesma massa, spin e paridade que sua correspondente partícula, mas com números quânticos opostos (carga elétrica, número leptônico, número bariônico, estranheza, etc.)” (PIMENTA et all, 2013, p. 2306-6).

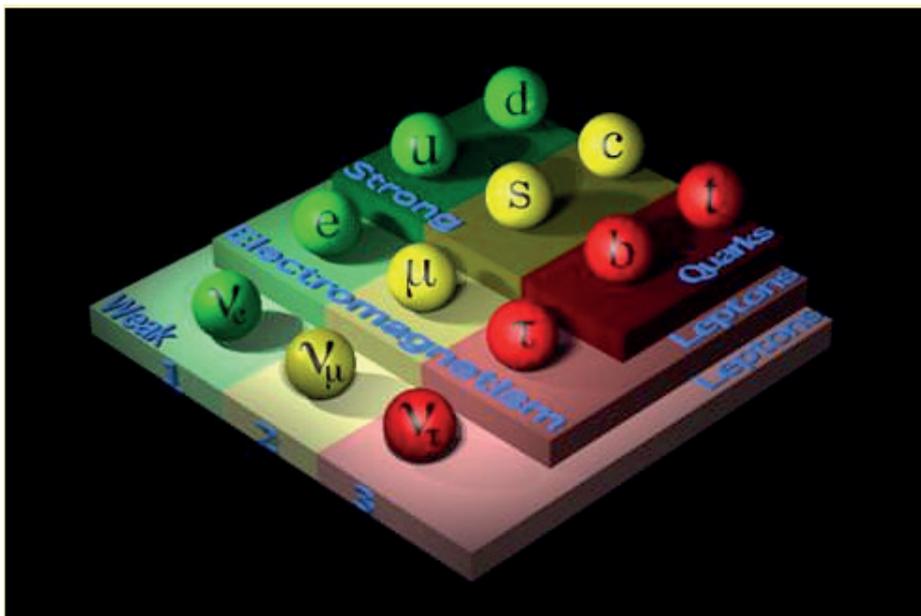


Figura 2: As partículas elementares que compõem a matéria. Fonte: CTFC, s/d.

Assim, ao utilizarmos a Teoria de Grupos, a sua relação com a Teoria de Campos é dada ao considerarmos que as partículas elementares podem ser obtidas a partir das representações irredutíveis dos grupos de Galileu e Poincaré (TUNG, 1999).

Observemos que, do ponto de vista matemático, temos os grupos de calibre U(1), SU(2) e SU(3) (CTFC, s/d), bem como temos o mecanismo do Higgs para a geração de matéria (PIMENTA, 2013, p. 2306-2).

O mecanismo de geração de massa de Higgs, por meio do fenômeno de quebra de simetria, estabelece que as partículas massivas (bósons ou férmions) “adquirem massa por meio de uma transição de fase dependente da temperatura do universo” (PIMENTA et all, 2013, p. 2306-2). Isso significa que no início do Universo tais partículas eram desprovidas de massa e com o decréscimo da temperatura, atingindo certas temperaturas críticas, surge um campo bosônico, o campo de Higgs, o qual através de suas excitações, as partículas de Higgs, interagem com as partículas existentes provendo massa para elas.

[Na Teoria de Campos] toda partícula elementar é associada a um campo. Assim, quando o campo de Higgs, que permeia todo o universo, recebe energia suficiente, ele cria uma partícula, o Higgs, que é uma excitação do campo de Higgs. Por outro lado, quando a partícula de Higgs interage com outras partículas elementares (elétrons, quarks,..), ela transfere energia, na forma de massa, do campo de Higgs para a partícula elementar. Lembre-se que massa é uma forma de energia. Portanto, dependendo da intensidade da interação do Higgs com uma partícula elementar, o campo de Higgs determina a ‘quantidade’ massa desta partícula. Analogamente, sabemos que um elétron ao interagir com um fóton na presença de um campo eletromagnético ganha (ou perde) energia, na forma cinética. (PIMENTA et all, 2013, p. 2306-2).

Como podemos observar, tratar de forma introdutória do conteúdo de Teoria de Campos no nível médio não é algo impossível, visto que tal conhecimento está relacionado com os conteúdos dos sistemas de referência, transformações lineares (transformações de Galileu e Lorentz), teoria de conjuntos, operações algébricas (multiplicação e soma), Leis de Newton e de Einstein (da Relatividade restrita), que são temas estudados (ou que deveriam ser estudados) nesse nível de ensino.

4 | CONCLUSÕES

Nesse artigo tratamos de uma estratégia para apresentar um tema contemporâneo da Física, a Física de Campos, no ensino médio. Considerando a necessidade da formação de um indivíduo crítico, o conhecimento de temas da Física Moderna e Contemporânea torna-se fundamental, visto que na atualidade as tecnologias existentes em geral utilizam tais temas.

Como mostramos, é possível apresentar o tema de Teoria de Campos introdutoriamente no nível médio considerando o fato de que essa teoria está relacionada com conteúdos apresentados nesse nível de ensino, permitindo uma aprendizagem significativa, bem como uma apropriada transposição didática. Como estratégia, podemos utilizar mapas conceituais a exemplo daqueles apresentados em (MOREIRA, 2004).

REFERÊNCIAS

ABREU, Luciano M.; SANTANA, Ademir E.; SANTOS, Esdras S.; e RIBEIRO FILHO, Aurino. **Notas sobre o Grupo de Galilei: Aspectos Geométricos e Recentes Desenvolvimentos**. *Sitientibus Série Ciências Físicas*, 05: 1-18, 2009.

ANDRADE-NETO, A. V. **O conceito de Campo, as equações de Maxwell e o mensageiro do outono**. *Caderno de Física da UEFS*, 04 (01 e 02): 23-39, 2006.

BASSALO, J. M. F.; CATTANI, M. S. D. **Teoria de grupos para físicos**. 1ª ed. Instituto de Física, Universidade de São Paulo, Agosto/2005.

BAUMSLAG, B.; CHANDLER, B. **Group Theory**. McGraw-Hill, New York, 1968.

CALA-VITERY, F. Ernesto; A. R. GÓMEZ-PLATA & J. F. RAMOS-CARO. **De la relatividad de la inercia al universo cerrado**. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 31(118): 97-108. 2007.

CFTC - Centro de Física Teórica e Computacional. **Prisma: À luz da Física**. Lisboa: Universidade de Lisboa, s/d. In: <http://cftc.cii.fc.ul.pt/PRISMA/>.

CRAWFORD, Paulo. **A Gênese da Teoria da Relatividade Geral ou a longa História do Princípio da Equivalência**. In: FIOLHAIS, Carlos (Coord.). **Einstein entre nós**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2005, p. 101-112.

DIAS, S. A. **A Teoria Quântica de Campos e seu papel na descrição das Interações Fundamentais**. *Caderno de Física da UEFS*, 04 (01 e 02): 161-175, 2006.

- ERIC-SMITH, David. **Fundamental Concepts of Twentieth Century Physics** (from an outline by Austin Gleeson, August 1995). Austin, Texas: University of Texas at Austin, 1993. In: <http://www.ph.utexas.edu/~gleeson/httpb/httpb.html>.
- ESTEVES, A. C. C.; M. S. R. MILTÃO. **Uma Proposta para o Ensino de Teoria de Campos no Ensino Médio**. In: XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2015, Uberlândia. XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2015. In: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxi/sys/resumos/T0593-1.pdf>.
- FERREIRA, A. L. **Um estudo dos sistemas de referência e sua relação com a teoria de grupos**. Monografia de Graduação, Universidade Estadual de Feira de Santana, 2009.
- FRIEDMAN, M. **Foundations of Spacetime Theories: Relativistic physics and philosophy of science**. Princeton: Princeton University Press, 1983.
- GRIBBIN, J. **Q is for Quantum: Particle Physics from A to Z**. London: Weidenfeld & Nicolson, 1998.
- KRAPAS, S.; da SILVA, M. C. **O Conceito de Campo: Polissemia nos Manuais, Significados na Física do Passado e da Atualidade**. *Ciência & Educação*, v. 14, n. 1, p. 15-33, 2008.
- LIVIO, Mario. **A equação que ninguém conseguia resolver**. Rio de Janeiro: Record, 2005.
- McDONOUGH, Jeffrey K. **Leibniz's Philosophy of Physics**. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.), Spring 2014 Edition. In: <http://plato.stanford.edu/archives/spr2014/entries/leibniz-physics/>.
- MILTÃO, M. S. R. **Philosophical-Critical Environmental Education: a proposal in a search for a symmetry between *subject* and *object***. *Journal of Social Sciences (COES&RJ-JSS)*, Vol. 3, No. 2, pp: 323-356, April, 2014.
- MOREIRA, Marco A. **Partículas e interações**. *A Física na Escola*, São Paulo, 5(2): 10-14, 2004.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso De Física Basica, V.2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. 4ª Ed. Revista. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.
- OLIVEIRA, Denny Mauricio de. **Uma proposta para o ensino de teoria quântica de campos na graduação: a eletrodinâmica de Maxwell-Chern-Simons como motivação**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 3, 3309, 2011.
- OSTERMANN, F. **Tópicos de Física Contemporânea em Escolas de Nível Médio e na Formação de Professores de Física**. 1999. 433f. Tese (Doutorado em Ciências), Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- PIMENTA, Jean Júnio Mendes; BELUSSI, Lucas Francisco Bosso; NATTI, Érica Regina Takano; & NATTI, Paulo Laerte. **O bóson de Higgs**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, n. 2, p. 2306, 2013.
- POJMAN, Paul. **Ernst Mach**. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.), Winter 2011 Edition. In: <http://plato.stanford.edu/archives/win2011/entries/ernst-mach/>.
- ROCHA, A.N.; RIZZUTI, B. F.; MOTA, D. S.. **Transformações de Galileu e de Lorentz: Um estudo via teoria de grupos**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, n. 4, 4304, 2013.
- RODITI, I. **Padrões e simetrias: Estética na Física e na Matemática**. CBPF, Rio de Janeiro, 2003.

SANTANA, A. E. **Sobre Covariância Galileana e o Campo de Schrödinger**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 19, nº.1: 113-124, março, 1997.

SCHRÖDER, Ulrich E. **Special relativity**. Singapore; Teaneck, N.J.: World Scientific, 1990. xi, 214 p. (World Scientific lecture notes in physics).

SUDARSHAN, E.C.G; MUKUNDA, N. **Classical Dynamics: A modern perspective**. New York: John Wiley & Sons, 1974.

TUNG, W. **Group theory in Physics**. Philadelphia: World Scientific, 1999.

WEYL, Hermann. **Symmetry**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1952.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-210-4

