

PARTÍCULAS E CAMPOS FUNDAMENTAIS VIA
PRINCÍPIO DA MÍNIMA AÇÃO¹

Gabriel Leite Braga², Ronaldo Silva Thibes³, Carlos Alexandre dos Santos Batista⁴

RESUMO

Este trabalho investiga as partículas e campos fundamentais por meio do Princípio da Mínima Ação, no contexto do Modelo Padrão da Física de Partículas. O estudo envolveu a análise das interações fundamentais (forte, eletromagnética e fraca) e suas respectivas formulações matemáticas, com ênfase nas lagrangianas e hamiltonianas. Foram operacionalizados/utilizados conceitos de simetria de calibre, notação tensorial e covariante e cálculo variacional. A teoria da gravidade foi abordada considerando a Relatividade Geral de Einstein, que descreve sua manifestação como curvatura do espaço-tempo, destacando sua não inclusão no Modelo Padrão. Os resultados incluem o desenvolvimento da capacidade de identificar interações a partir de suas representações matemáticas e a constatação da escassez de materiais didáticos acessíveis sobre o tema para estudantes de graduação. Como perspectiva futura, propõe-se a criação de um guia didático-pedagógico fundamentado/baseado na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, visando facilitar a compreensão de teorias, operadores/ferramentas matemáticos e conceitos fundamentais da Física.

PALAVRAS-CHAVE: Aprendizagem Significativa, Interações Fundamentais, Lagrangianas, Modelo Padrão, Princípio da Mínima Ação, Simetria de Calibre.

FUNDAMENTAL PARTICLES AND FIELDS VIA THE PRINCIPLE OF LEAST
ACTION.

ABSTRACT

This work investigates fundamental particles and fields through the Principle of Least Action, in the context of the Standard Model of Particle Physics. The study involved the analysis of the fundamental interactions (strong, electromagnetic, and weak) and their respective mathematical formulations, with emphasis on Lagrangian and Hamiltonian formulations. Concepts such as gauge symmetry, tensorial and covariant notation, and variational calculus were employed. The theory of gravity was addressed considering Einstein's General Relativity, which describes its manifestation as the curvature of space-time, highlighting its non-inclusion in the Standard Model. The results include the development of the ability to identify interactions from their mathematical representations and the recognition of the scarcity of accessible didactic materials on the topic for undergraduate students. As a future perspective, the creation of a pedagogical guide based on Ausubel's Theory of Meaningful Learning is proposed, aimed at facilitating the understanding of theories, mathematical tools, and fundamental concepts in Physics.

¹ Projeto de pesquisa financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB).

²Discente da graduação do curso de Licenciatura em Física da UESB - Vitória da Conquista. E-mail: 202010496@uesb.edu.br

³Doutor em Física e Professor do curso de Licenciatura em Física da UESB - Itapetinga. E-mail: thibes@uesb.edu.br

⁴Doutor em Educação Científica e Tecnológica e Professor do Curso de Licenciatura em Física da UESB - Vitória da Conquista. E-mail: carlos.batista@uesb.edu.br

KEYWORDS: Fundamental Interactions, Gauge Symmetry, Lagrangians, Least Action Principle, Meaningful Learning, Standard Model.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da Física está intimamente ligado à curiosidade humana em compreender fenômenos do mundo. Em cada avanço observa-se uma nova realidade científica. Apesar da Mecânica Newtoniana, Termodinâmica e Eletromagnetismo juntas proporcionarem uma compreensão abrangente, no fim do século XIX, dois problemas da ciência, “o experimento de Michelson e Morley, que procurava determinar a velocidade da Terra em relação ao éter; e a distribuição de energia da luz na radiação do corpo negro” (Martins; Rosa, 2014, p. 1), impulsionaram o surgimento das teorias da Relatividade e da Mecânica Quântica.

O Modelo Padrão da Física de Partículas, como parte desse novo desenvolvimento, descreve três das quatro interações fundamentais da natureza. Nele, as partículas dividem-se em férmions (matéria, como quarks e léptons) e bósons (mediadores de força). Dentre estes, estão os glúons (força forte), os fótons (eletromagnética) e as partículas W^+ , W^- e Z^0 (fraca).

A gravidade não integra o Modelo Padrão, pois, segundo a Relatividade Geral, ela manifesta-se como curvatura do espaço-tempo, e não como uma interação de força. Há esforços para unificá-la, com a hipótese do gráviton, ainda sem indícios experimentais.

Cada interação fundamental possui sua teoria: a Cromodinâmica Quântica (quarks e glúons), a Eletrodinâmica Quântica (partículas carregadas e fótons) e a Teoria Eletrofraca (unificação da fraca e eletromagnética). Nesse contexto, dois construtos matemáticos são cruciais: a simetria de calibre, organizada nos grupos SU(3), SU(2) e U(1) – SU *special unitary*; e o princípio da mínima ação de Euler e Lagrange, que diz que um sistema evolui de modo a tornar a ação estacionária. Com isso, o objetivo deste trabalho é compreender como partículas e campos se conectam por meio dos bósons.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da iniciação científica, inicialmente, foi necessário o domínio do discente sobre algumas teorias e conceitos matemáticos aplicados ao estudo das interações fundamentais e do Modelo Padrão de Partículas. Isso incluiu o estudo das interações de forma individual, em suas próprias teorias, no contexto clássico e, posteriormente, em teorias da Física contemporânea; a compreensão e uso de técnicas de simetria, como os grupos de *gauge* (Thibes, 2020); a notação covariante e

tensorial, fundamental em teorias de Física Moderna e Contemporânea; e, principalmente, o princípio da ação mínima, aplicado nas formulações lagrangiana e hamiltoniana (Araújo, 2017; Barcelos Neto, 2013). Esses conhecimentos foram avaliados por meio da apresentação de seminários aos orientadores.

Após essa fase inicial, o trabalho concentrou-se no estudo das interações fundamentais descritas pelo princípio da mínima ação, buscando em livros didáticos e artigos científicos equações que representassem os campos e partículas fundamentais interagindo via lagrangianas e hamiltonianas (Araújo, 2017; Griffiths, 1987).

Com a identificação dessas equações, realizou-se uma análise teórica de seus termos, visando compreender como as interações surgem e se conectam aos léptons e quarks por meio de seus bósons respectivos. Para isso, as equações foram detalhadamente examinadas, buscando simetrias, ligações e padrões, seguidas de deduções fundamentadas nos conhecimentos adquiridos na fase de preparação e guiadas por materiais de apoio, como livros didáticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Até o momento, o principal resultado desta pesquisa foi o desenvolvimento do discente Gabriel Leite Braga, em relação ao Modelo Padrão da Física de Partículas e assuntos relacionados. O qual desenvolveu a capacidade de identificar as interações a partir de suas respectivas formulações matemáticas, compreendendo a importância do cálculo variacional, tensorial e da formulação covariante como ferramentas essenciais para a Física Moderna e Contemporânea. Ficou evidente que aqueles interessados em seguir pelo caminho da física teórica devem desenvolver competências nesses métodos, fortemente operacionalizados.

Além disso, constatou-se a dificuldade em encontrar materiais didáticos sobre o Modelo Padrão e algumas interações específicas, tornando o aprendizado desse conhecimento extremamente complicado para estudantes de graduação (Moreira, 2009).

Dessa forma, surge como objetivo futuro o desenvolvimento de um guia didático-pedagógico voltado para estudantes nos períodos iniciais da graduação, que facilite a compreensão de teorias, construtos e conceitos matemáticos essenciais. O referido guia será desenvolvido mediante a operacionalização da teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, especificamente seus quatro princípios programáticos, diferenciação progressiva, reconciliação integradora, organização sequencial e consolidação, incluindo aspectos e pressupostos preconizados pela teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antônio Moreira (2012).

CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES

O desenvolvimento desta iniciação científica permitiu ao discente aprofundar seus conhecimentos sobre o Modelo Padrão da Física de Partículas e os métodos matemáticos da Física Moderna e Contemporânea, como o cálculo variacional, a notação tensorial e covariante e a formulação lagrangiana e hamiltoniana. Observou-se que a compreensão das interações fundamentais exige não apenas o domínio teórico, mas também a habilidade de analisar equações complexas e identificar simetrias e padrões nos campos e partículas mediadoras.

Além disso, o trabalho evidenciou a escassez de materiais didáticos acessíveis sobre o Modelo Padrão e algumas interações específicas, dificultando a aprendizagem para estudantes de graduação. Em resposta a essa lacuna, surge como perspectiva futura a criação de um guia didático-pedagógico que auxilie iniciantes a compreender teorias, construtos matemáticos e conceitos fundamentais, de forma clara e estruturada, com base nos princípios da Aprendizagem Significativa e Crítica.

Portanto, esta pesquisa não apenas ampliou o conhecimento do discente, mas também identificou oportunidades de desenvolvimento de recursos educativos que possam facilitar a iniciação de novos estudantes na física teórica moderna.

A pesquisa já gerou frutos concretos, como o trabalho **Interações fundamentais da natureza em termos de funcionais de ação característicos da física contemporânea** e a submissão de **The Principle of Least Action as a Foundational Framework for Contemporary Physics**, apresentados em eventos científicos locais e nacionais. Esses resultados refletem a parceria entre os campi de Itapetinga e Vitória da Conquista e as contribuições do coorientador Prof. Dr. Carlos Alexandre dos Santos Batista, essenciais para consolidar a dimensão pedagógica da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAÚJO, M. C. F. S. C. **Introdução ao modelo padrão de Física de partículas: construção da lagrangiana do setor de léptons sem massa da interação eletrofraca**. 2017. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Física) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/32848>. Acesso em: 28 set. 2025.
2. BARCELOS NETO, J. **Mecânica Newtoniana, Lagrangiana e Hamiltoniana**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2013.
3. GRIFFITHS, David J. **Introduction to Elementary Particles**. 1. ed. United States: John Wiley & Sons, 1987.
4. MARTINS, R. A.; ROSA, P. **História da teoria quântica: a dualidade onda-partícula de Einstein a De Broglie**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

5. MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**: a teoria e textos complementares. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.
6. MOREIRA, M. A. O Modelo Padrão da Física de Partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n.1, p. 1306-11, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172009000100006>. Acesso em: 28 set. 2025.
7. THIBES, R. S. A brief introduction to gauge-invariant dynamical systems. **European Journal of Physics**, v. 41, p. 1-17, 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6404/ab992f>. Acesso em: 28 set. 2025.