

A CONSTRUÇÃO DE MODELOS DE PARTÍCULAS ELEMENTARES NO ENSINO DE FÍSICA

The construction of elementary particle models in physics education

Valmir Galvão Fragozo [valmirfragozo@hotmail.com]¹

Nilva Lúcia Lombardi Sales [nilvasales@ufscar.br]²

¹MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Campus Sorocaba

²DIFD – Departamento Interdisciplinar de Formação Docente
Universidade Federal de São Carlos

Recebido: 03/03/2026

Aceito: 27/03/2026

Resumo

Este trabalho, inserido em uma sequência didática de uma pesquisa de mestrado, propõe uma atividade educacional que visa aprofundar a compreensão dos estudantes sobre a natureza da ciência por meio da construção de modelos de partículas. Na atividade, os alunos recebem fichas informativas sobre diversas partículas elementares, sem uma referência ao Modelo Padrão (MP) estabelecido. Eles são incentivados a desenvolver seus próprios critérios de classificação e organização das partículas, justificando suas escolhas. Essa construção é uma estratégia fundamental no ensino de ciências, pois permite que os alunos compreendam a ciência como um processo de representação e interpretação da realidade, no qual diferentes modelos podem coexistir e evoluir conforme novas descobertas são feitas. Posteriormente, ocorre uma discussão coletiva para comparar as diferentes classificações propostas, introduzindo conceitos formais do MP e permitindo que os alunos identifiquem semelhanças e diferenças entre suas classificações. A pesquisa foi realizada com alunos do 3º ano do Ensino Médio em uma escola particular. Os instrumentos incluíram fichas informativas sobre partículas elementares e registros das discussões coletivas. A análise qualitativa focou em como a estrutura dialógica da atividade favoreceu a construção coletiva do conhecimento. O uso de modelos didáticos auxilia no desenvolvimento da capacidade dos alunos de lidar com abstrações e visualizar conceitos científicos complexos. Espera-se que essa atividade contribua para a formação de cidadãos reflexivos, capazes de compreender a ciência não apenas como um conjunto de conhecimentos estabelecidos, mas como uma prática sujeita a mudanças e revisões contínuas.

Palavras-chave: Modelos Padrão; Ensino de Física; Epistemologia da Ciência.

Abstract

This work, inserted in a didactic sequence of a master's research, proposes an educational activity that aims to deepen students' understanding of the nature of science through the construction of particle models. In the activity, students receive information sheets about various elementary particles, without a reference to the expected Standard Model (SM). They are encouraged to develop their own criteria for classifying and organizing particles, justifying their choices. This construction is a fundamental strategy in science teaching, as it allows students to understand science as a process of representing and interpreting reality, in which different models can coexist and evolve as new discoveries are made. Subsequently, a collective discussion takes place to compare the different proposed classifications, introducing formal concepts of the MP and allowing students to identify similarities and differences between their classifications. The research was conducted with third-year high school students at a private school. The instruments included information sheets on elementary particles and records of collective discussions. The qualitative analysis focused on how the dialogical structure of the activity favored the collective construction of knowledge. The use of didactic models

helps develop students' ability to deal with abstractions and visualize complex scientific concepts. It is expected that this activity will contribute to the formation of reflective citizens, capable of understanding science not only as a set of established knowledge, but as a practice subject to continuous change and revision.

Keywords: Standard Models; Physics Teaching; Epistemology of Science.

INTRODUÇÃO

A inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio tem sido defendida na literatura como uma possibilidade de aproximar o ensino de Física dos avanços científicos recentes e de promover reflexões mais amplas sobre a construção do conhecimento científico. A Física de Partículas ocupa atualmente um papel central na compreensão dos constituintes fundamentais da matéria e das interações que regem a natureza, configurando-se como uma área de pesquisa ainda em constante desenvolvimento. Apesar dos avanços consolidados a partir do Modelo Padrão, diversos fenômenos permanecem sem explicação completa, como a natureza da matéria escura, a assimetria entre matéria e antimatéria e a unificação das interações fundamentais, o que evidencia o caráter aberto e provisório do conhecimento científico nessa área.

Nesse cenário, os raios cósmicos assumem papel relevante, pois constituem uma fonte natural de partículas de altíssimas energias que não podem ser facilmente reproduzidas em aceleradores terrestres. O estudo dessas partículas permite investigar processos físicos em regimes extremos, contribuindo para testes e extensões dos modelos teóricos atuais. Assim, a articulação entre Física de Partículas e raios cósmicos não apenas amplia as fronteiras do conhecimento científico, como também oferece um contexto fértil para discussões no ensino de Física, ao evidenciar a ciência como uma construção em permanente investigação.

Essas discussões incentivaram o autor a elaborar e analisar uma sequência didática (SD) que faz parte de uma pesquisa de mestrado profissional vinculada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, tendo como produto educacional a própria sequência elaborada. Essa sequência foi estruturada a partir da dinâmica didático-pedagógica dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), elaborada por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), que orientaram a organização das aulas e das atividades propostas, privilegiando a problematização, a dialogicidade e a participação ativa dos estudantes. Nesse sentido, algumas das atividades elaboradas neste trabalho mantêm diálogo com os princípios que estruturaram a sequência didática, mas ao mesmo tempo se apresentam como uma possibilidade de abordagem mais ampla, passível de aplicação em outros contextos e com diferentes objetivos formativos.

Nesse contexto, a atividade intitulada *Montando o Modelo Padrão* foi inicialmente concebida com o objetivo de favorecer a compreensão de conceitos fundamentais associados às partículas elementares mantendo as características da SD. A proposta foi pensada, em um primeiro momento, como uma atividade articulada aos demais momentos da sequência, contribuindo para a organização conceitual dos conteúdos trabalhados em sala de aula e mantendo a dialogicidade em uma atividade que muitas vezes é apenas transmissiva.

Entretanto, a análise do desenvolvimento e dos resultados da atividade evidenciou um potencial que extrapola sua função inicial de dialogicidade. Observou-se que a dinâmica proposta possibilita discussões relevantes relacionadas à natureza da ciência, em especial no que diz respeito aos processos de construção, validação e limites dos modelos científicos. Aspectos epistemológicos, como o caráter provisório do conhecimento científico, o papel dos modelos na ciência e a influência de escolhas teóricas e experimentais na formulação de explicações científicas, emergem de forma natural a partir das interações promovidas pela atividade. Além de criar um ambiente que o

conhecimento pode ser construído a partir do diálogo, permitindo que os alunos se sintam livres para expor suas opiniões e que aprendam a respeitar e ouvir as opiniões dos outros. (Araújo; Niemeyer; Muenchen, 2013, p. 189).

Diante disso, este artigo tem como objetivo explorar esse potencial, discutindo a atividade “*Montando o Modelo Padrão*” sob a perspectiva da natureza da ciência e de sua epistemologia no contexto do ensino de Física.

REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico serão apresentados os referenciais teóricos que fundamentaram a elaboração e o desenvolvimento da atividade “*Montando o Modelo Padrão*”. Inicialmente, discute-se a dinâmica dos Três Momentos Pedagógicos, por se tratar do referencial estruturante da sequência didática na qual a atividade está inserida. Em seguida, aborda-se a perspectiva epistemológica que emerge de forma natural a partir da maneira como a atividade foi conduzida, especialmente no que diz respeito à discussão sobre a natureza da ciência. Esses referenciais orientaram as escolhas pedagógicas realizadas e sustentam a intencionalidade da atividade em promover reflexões sobre como o conhecimento científico é construído, validado e como ele pode sofrer alterações através do tempo.

Os 3 momentos pedagógicos

Os Três Momentos Pedagógicos (3MP) tanto podem ser utilizados como uma proposta de organização do trabalho didático-pedagógico em sala de aula, quanto como uma estrutura organizadora de currículo (Camargo, 2023). Essa prática foi desenvolvida no Brasil a partir da década de 1980, com o objetivo de promover uma educação mais crítica, dialógica e problematizadora.

Cabe destacar que, no contexto da pesquisa desenvolvida, os 3MP foram utilizados como metodologia de ensino, orientando a elaboração e condução das atividades didáticas. Embora a proposta dos 3MP também possa atuar como estrutura organizadora de currículos, estudos têm evidenciado sua aplicação em múltiplas dimensões educativas, como na formação continuada de professores, na produção de materiais didáticos e até mesmo como ferramenta avaliativa de processos educativos (Santos et al., 2024). Dessa forma, buscou-se potencializar a aprendizagem a partir da articulação entre os saberes dos estudantes e os conhecimentos científicos, a partir de um tema problematizador e mediada por uma prática dialógica, crítica e contextualizada.

Nesse sentido, a dinâmica dos 3MP possibilita o rompimento com o paradigma curricular transmissivo, geralmente sustentado por uma abordagem conceitual. Essa dinâmica, quando usada como metodologia de ensino, se estrutura em três etapas: a Problematização Inicial, a Organização do Conhecimento e a Aplicação do Conhecimento, proposta por Delizoicov e Angotti (1991). Nessa metodologia, os conteúdos curriculares são trabalhados em consonância com situações vivenciadas no cotidiano dos estudantes, por meio de temas problematizadores, partindo da abordagem temática, que pode ser entendida como uma “perspectiva curricular cuja lógica de organização é estruturada com base em temas com os quais são selecionados os conteúdos de ensino das disciplinas. Nessa abordagem, a conceituação científica da programação é subordinada ao tema” (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002, p. 189). Essa perspectiva permite a valorização de suas concepções prévias e favorece a sistematização de conhecimentos científicos de forma contextualizada.

Além disso, é importante esclarecer que, diferentemente do que é proposto no processo de investigação temática, no qual seria encontrado o Tema Gerador que estruturaria as aulas, o tema desta sequência foi definido previamente. A escolha se deu em razão do interesse pessoal do autor e da relação com o grupo de pesquisa ao qual está vinculado, que já vinha desenvolvendo estudos sobre o tema. Tal decisão também se justifica pela relevância científica e educacional da temática dos Raios

Cósmicos. Além disso cabe reforçar que, quando vinculados a um Tema Gerador, a dialogicidade é potencializada na dinâmica dos 3MP. Contudo, a utilização de um Tema Conceitual, como foi feito no trabalho, também pode permitir a construção de bons diálogos, principalmente se este se aproximar, de alguma forma, do contexto dos educandos.

A seguir, serão apresentados e discutidos os três momentos que compõem a dinâmica didático-pedagógica dos 3MP.

1º Momento - Problematização Inicial (PI)

A problematização inicial é caracterizada pela apresentação de uma discussão que gere inquietação, curiosidade e dúvidas aos estudantes sobre o tema escolhido. É importante mencionar que essa escolha, mesmo que sem a etapa da redução temática, tem que dialogar de alguma maneira com a realidade vivenciada pelos educandos, de maneira que o diálogo faça com que os aproximem das discussões a serem realizadas.

Para este momento, o professor é responsável por apresentar problematizações sobre o tema escolhido, que façam emergir contradições ou concepções alternativas que não respondem satisfatoriamente ao problema, com liberdade para os estudantes apresentarem seus conhecimentos prévios sobre o assunto (Araújo, 2015). Este não é um momento para o professor fornecer explicações diretas de suas problematizações, e sim, mostrar o caminho para uma construção do conhecimento a partir da problematização do tema a ser trabalhado, uma vez que de maneira natural, o educando perceberá que com apenas seu conhecimento prévio não será suficiente para responder satisfatoriamente as questões apresentadas pelo professor (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2007).

Por mais que possua esse primeiro momento para o professor adotar uma postura que busque mais o diálogo sobre as problematizações apresentadas e que busque trabalhar suas habilidades críticas em relação a algum problema, não se pode abandonar esta postura nas duas etapas seguintes da dinâmica. Por isso a importância de elaborar uma sequência de aulas, em todos os momentos pedagógicos, problematizadora (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002).

2º Momento – Organização do Conhecimento (OC)

Neste segundo momento ocorre a sistematização do conteúdo necessário para o estudante compreender as problematizações iniciais, além de apresentar como esse conhecimento se relaciona na resolução de problemas. Esta se torna uma etapa desafiadora para o professor, justamente pela possibilidade de em um mero descuido, retornar às aulas com estratégias transmissivas de ensino, voltando a educação bancária. Por isso deve-se adotar metodologias de ensino-aprendizagem que não reproduzam essa lógica de uma educação transmissiva, mas sim, com foco na autonomia do estudante e buscando manter a dialogicidade durante todo o segundo momento (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002).

Como mencionado por Araújo (2015), a dialogicidade possibilita que os estudantes apresentem uma postura de participação na construção de seus conhecimentos, pois eles envolvem-se e buscam soluções e respostas, de forma compartilhada, para a compreensão das problematizações lançadas inicialmente a eles.

A atividade “Montando o Modelo Padrão” foi elaborada com o objetivo de ser aplicada justamente durante esse segundo momento pedagógico, atuando como uma estratégia de sistematização dos conceitos de Física de Partículas trabalhados ao longo da sequência didática. Dessa forma, a dinâmica da atividade foi pensada para manter a dialogicidade e a participação ativa dos estudantes, estimulando a discussão coletiva, a troca de argumentos e a construção compartilhada do conhecimento, em consonância com os princípios que orientam o segundo momento pedagógico.

3º Momento – Aplicação do Conhecimento (AC)

Por fim, no terceiro e último momento, as problematizações apresentadas inicialmente são retomadas para dar aos estudantes uma nova possibilidade de responder as perguntas iniciais, agora com o conhecimento necessário para respondê-las satisfatoriamente. Ou até mesmo, a partir da problematização inicial e dos conteúdos apresentados no segundo momento, apresentar novas situações propostas pelo professor.

Apesar da possibilidade de o professor optar por uma avaliação formativa neste momento, a aplicação do conhecimento se torna uma ótima oportunidade para uma avaliação dialógica-problematizadora, justamente pela necessidade que a maioria dos educadores tem de preencher boletins e documentos que visam classificar os estudantes pelos seus desempenhos nas avaliações.

Nesse sentido, a última etapa é o momento de o educador perceber como se deu a evolução e construção do conhecimento a partir da problematização inicial. Se houve superação dos limites explicativos das questões apresentadas e como os estudantes foram capazes de relacionar o conteúdo compreendido por eles durante a OC, com as novas propostas realizadas no último momento (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002).

A natureza da ciência

A física do modelo padrão pode ser relacionada aos conceitos propostos por Thomas Kuhn (1922-1996), especialmente no que se refere aos conceitos de paradigma e ciência normal. Para Kuhn (1970), a ciência não se desenvolve de forma linear e cumulativa, mas por meio de períodos relativamente estáveis, denominados ciência normal, nos quais a comunidade científica compartilha um conjunto de pressupostos teóricos, metodológicos e conceituais que orientam a pesquisa. Esses pressupostos constituem um paradigma, que define quais problemas são relevantes, quais métodos são aceitáveis e quais explicações são consideradas válidas. Durante a “ciência normal”, os cientistas dedicam-se à resolução e aprimoramento da teoria, isto é, à aplicação e ao refinamento do paradigma vigente.

Nesse sentido, os modelos científicos ocupam um papel central dentro de um paradigma, pois funcionam como estruturas explicativas que organizam o conhecimento e orientam a investigação. No entanto, Kuhn destaca que esses modelos não são definitivos, uma vez que a emergência de anomalias, ou seja, resultados experimentais ou observações que não podem ser explicados adequadamente pelo paradigma atual, podem levar a períodos de crise e, eventualmente, a uma revolução científica (Kuhn, 2001).

É possível incorporar a noção de conjectura de Karl Popper (1902-1994), entendida como uma proposição teórica formulada para explicar determinados fenômenos, mas que ainda carece de confirmação empírica direta. Na história da Física de Partículas, a introdução dos quarks constitui um exemplo emblemático desse processo. Inicialmente propostos teoricamente para organizar e explicar questões de simetria de partículas observadas experimentalmente, os quarks surgiram como uma conjectura que permitia dar coerência a resultados dispersos, mesmo sem evidências experimentais diretas de sua existência isolada (Popper, 1982). Essa característica evidencia que a ciência avança, muitas vezes, a partir de construções conceituais que antecedem a comprovação empírica, reforçando o papel dos modelos e das hipóteses na ciência normal.

Um exemplo prático disso é olharmos para o artigo de Moreira (2007), *A epistemologia dos Quarks*. Moreira discute a relação de conjectura com as relações dialéticas de teoria/experimentação na Física de Partículas. Relações como a de Gell-Mann e Zweig, ao postularem a existência dos quarks por uma questão de simetria, vista a partir de uma assimetria das partículas observadas experimentalmente na época. No caso, já era conhecido um grande número de hádrons, comparado a poucos léptons.

Podemos citar a hipótese dos neutrinos, postulados por Wolfgang Pauli (1900-1958), em 1931. O objetivo de Pauli era explicar os resultados experimentais no decaimento dos nêutrons. Mas os nêutrons foram apenas observados um ano depois, já os neutrinos, só foram detectados experimentalmente em 1956.

A história do méson π (píon) também envolve essas relações teoria/experimentação. Hideki Yukawa (1907-1981) propôs o píon em 1935, como uma partícula que seria a mediadora da interação que manteria nêutrons e prótons coesos no núcleo. Essa partícula, foi finalmente encontrada apenas em 1947, em um laboratório na Universidade de Bristol, em placas de emulsões fotográficas expostas a partículas cósmicas. O brasileiro César Lattes (1924-2005) teve um papel fundamental na descoberta do píon, tanto em sua detecção quanto em 1948, na sua produção dentro de aceleradores de partículas.

O próprio artigo de Moreira (2007) constitui um exemplo concreto da relação dialética entre teoria e experimentação e de como o conhecimento científico sobre o universo se desenvolve de maneira dinâmica. Ao longo do texto, o autor discute o caso do bóson de Higgs, partícula teorizada com o objetivo de explicar a origem da massa das partículas elementares no âmbito do Modelo Padrão. Moreira destaca que, à época, um grande acelerador de partículas estava em construção no CERN com a finalidade de testar experimentalmente essa previsão teórica. A partícula estava prevista para ser detectada por volta de 2010, quando o acelerador estivesse em pleno funcionamento. No entanto, a confirmação experimental do bóson de Higgs ocorreu apenas em 4 de julho de 2012, evidenciando o caráter não linear e contingente do processo científico. Além disso, o autor ressalta que, caso essa partícula não tivesse sido observada, a própria teoria associada ao Modelo Padrão precisaria ser revista ou modificada para dar conta das evidências experimentais disponíveis.

Ao relacionar o conceito de conjectura à física dos quarks, torna-se possível discutir com os estudantes como ideias científicas podem emergir como soluções teóricas provisórias, sendo posteriormente testadas, refinadas ou reformuladas à luz de novos dados experimentais, o que contribui para uma compreensão mais rica da natureza da ciência e de seu caráter dinâmico.

Essa perspectiva epistemológica permite compreender o conhecimento científico como historicamente situado, provisório e sujeito a revisões profundas, afastando-se da ideia de ciência como um corpo de verdades absolutas. Tal abordagem oferece um referencial fecundo para discutir, no contexto do ensino de Física Moderna, a construção e os limites de modelos explicativos amplamente aceitos, como o Modelo Padrão das partículas elementares.

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE

Para iniciar a dinâmica da atividade é importante o professor introduzir o conceito de partículas elementares. Por conta de a atividade estar inserida em um SD, a própria estrutura da sequência possui um momento de apresentar aos estudantes esses conceitos. Uma sugestão seria o professor discutir com os estudantes a montagem de um pequeno modelo de partículas até então descobertas, em 1932, com apenas 4 partículas ditas elementares (posteriormente descobriríamos que o próton e o nêutron possuem estrutura interna), o próton, o nêutron, o elétron e o pósitron. O objetivo da aula foi problematizar aos alunos a enorme quantidade de partículas que vieram a ser descobertas e a necessidade de se criar um modelo mais sofisticado para classificar e ajudar no entendimento dessa nova era da física de partículas.

Para iniciar a atividade, foi elaborado uma ficha para cada partícula que está inserida dentro do MP atual, com informações sobre massa, carga, spin e sobre sua descoberta, como está apresentado na figura 1. A sala pode ser dividida em grupos e o professor pode distribuir as 17 fichas para cada um dos grupos formados e realizar a seguinte proposta: vocês devem analisar as partículas e a partir

disso, classificar e organizar seu próprio modelo de partículas e descrever quais critérios e classificações utilizaram para fazer tal separação. Na aula seguinte, os grupos devem apresentar o modelo criado para a turma. É importante que nesse momento o professor crie um ambiente confortável para os grupos apresentarem suas ideias e expor sua atividade. Pode-se ressaltar nesse momento que não há modelos errados ou certos, e sim que há várias formas de classificar essas partículas.

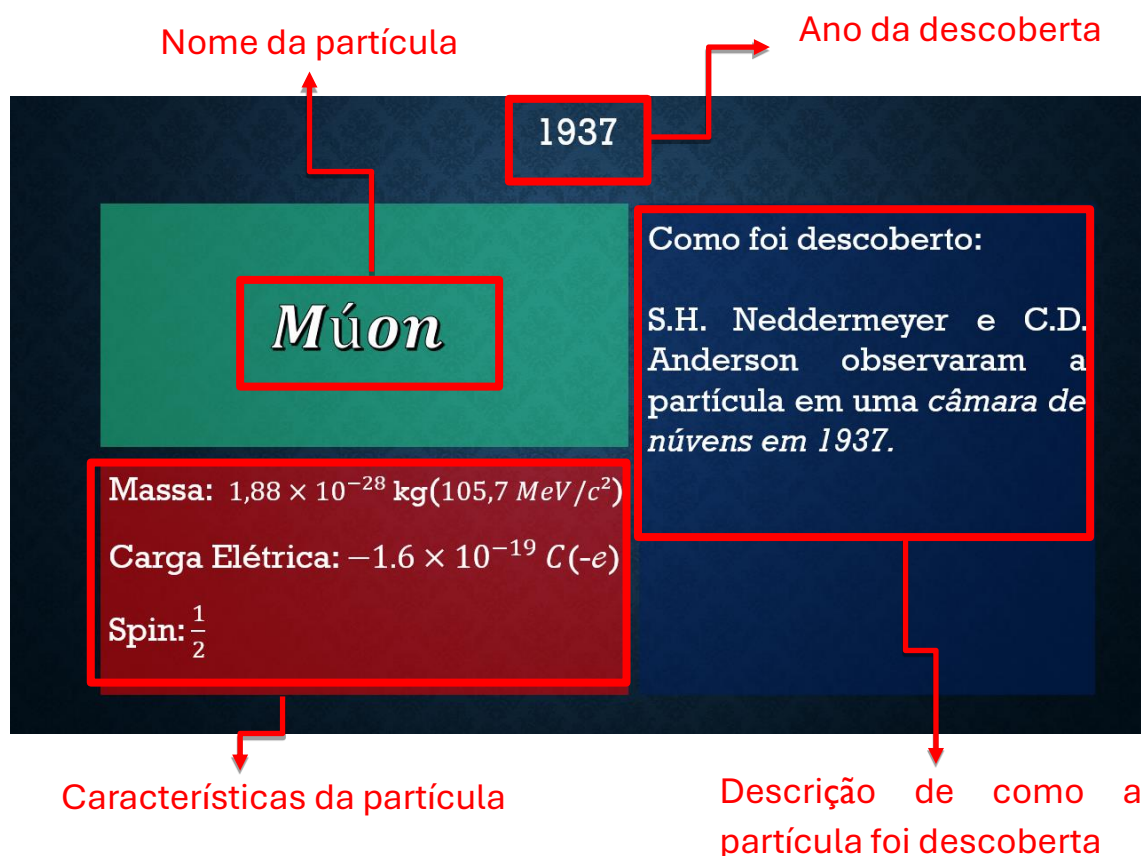


Figura 1 – Descrição da estrutura das fichas de partículas da atividade.

Apenas depois da apresentação de todos os grupos, o professor pode mostrar o modelo mais conhecido e utilizado atualmente. É importante questionar os estudantes sobre as semelhanças e diferenças que surgiram ao comparar seus modelos com o MP atual, criando novamente um espaço com trocas de ideias e discussões sobre essa relação da atualização das teorias elaboradas a partir das descobertas experimentais e previsões teóricas, e como a ciência deve adaptar seus modelos.

Para finalizar a atividade, além da apresentação do MP, o professor pode explorar outros conteúdos envolvidos ao MP, como as classificações derivadas: Hádrons, Léptons, Férmions e Bósons. A ideia aqui é retomar e dar significado a termos apresentados a eles anteriormente, como o conceito de mésons e de que prótons e nêutrons não são partículas elementares. Abre-se espaço para discutir sobre as quatro interações fundamentais: gravitacional, eletromagnética, forte e fraca, e suas respectivas forças. Dando significado a suas partículas mediadoras correspondentes, os Bósons, finalizando com uma breve discussão sobre Cromodinâmica Quântica, e o motivo de se existirem 8 tipos de glúons diferentes e de nunca encontrarmos partículas como os quarks de maneira isolada.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O propósito dessa atividade foi gerar uma discussão sobre a epistemologia da ciência, ao convidar os estudantes a construir seus próprios modelos de partículas elementares. Essa construção é uma estratégia fundamental no ensino de ciências, pois permite que os alunos compreendam a ciência como um processo de representação e interpretação da realidade, no qual diferentes modelos podem coexistir e evoluir conforme novas descobertas são feitas (Silva e Castelli, 2019). Assim, essa estratégia pedagógica permite que os estudantes exercitem sua criatividade, formulando hipóteses e categorizando as partículas de acordo com suas próprias interpretações, promovendo um aprendizado mais ativo, no qual os alunos não apenas recebem informações, mas também participam ativamente na construção do conhecimento.

Ao não apresentar previamente o MP, a atividade também funciona como um momento de reflexão e comparação para os estudantes. Após conhecerem o modelo real, eles têm a oportunidade de revisitar suas classificações iniciais, compará-las com o padrão científico utilizado e compreender os critérios que tornam o MP tão relevante na física de partículas.

Ao todo, duas turmas participaram da atividade, divididos em seis grupos de 4 a 6 estudantes, sendo três grupos de cada turma. No entanto, um dos grupos não conseguiu concluir a atividade dentro do tempo proposto. Na aula seguinte a elaboração dos modelos, o professor apresentou o Modelo Padrão atual, e assim cada grupo compartilhou com os colegas como estruturaram suas classificações e quais critérios utilizaram na elaboração do modelo proposto por eles. As atividades desenvolvidas pelos alunos demonstram organização de ideias e uma compreensão inicial dos conceitos abordados, com isso, mesmo sem a introdução formal ao MP, as soluções apresentadas revelam o potencial dos alunos para interpretar e categorizar as partículas.

Durante a apresentação do MP, os grupos discutiram entre si quais foram suas linhas de pensamento e compartilharam opiniões, promovendo um momento de troca de ideias e reflexão coletiva sobre as diferenças e semelhanças entre os modelos elaborados. A seguir, é apresentada uma análise detalhada das classificações utilizadas por alguns grupos que completaram a atividade.

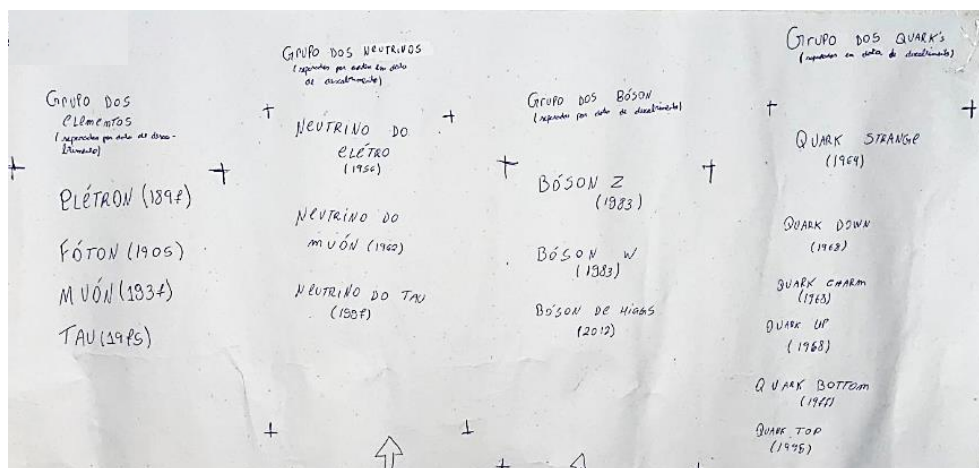
Grupo 1:

O grupo organizou as partículas em ordem cronológica, com base nos anos de suas descobertas, destacando partículas importantes como o elétron (1897), o fóton (1905), o quark strange (1964) e o bóson de Higgs (2012). Essa organização utilizou-se de uma classificação mais simples, que não necessita de uma análise mais profunda das propriedades de cada partícula, permitindo apenas ordená-las em ordem cronológica, de acordo com sua respectiva data de descoberta.

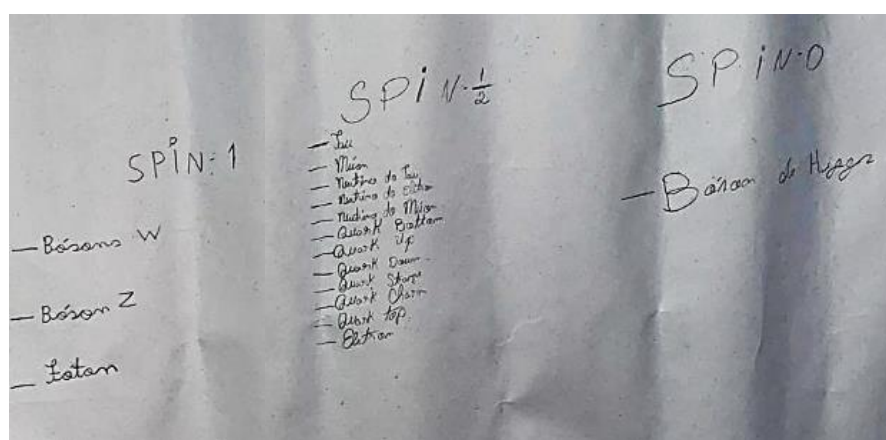
ORDEM CRONOLÓGICA	
Elétron - 1897	Quark Up - 1968
Fóton - 1905	Quark Charm - 1968
Muon - 1937	Quark Down - 1968
Neutrino do Elétron - 1956	Tau - 1975
Neutrino do muon - 1962	Quark Bottom - 1977
Quark Strange - 1964	Bóson Z - 1983
	Bóson W - 1983
	Quark Top - 1995
	Neutrino do Tau - 1997
	Bóson de Higgs - 2012

Figura 2 – Utilização da ordem cronológica como critério de organização.**Grupo 2:**

Nesse grupo, os alunos apresentaram classificações baseadas na nomenclatura das partículas, como "grupo dos neutrinos", "grupo dos quarks" e "grupo dos bósons", para os que não possuíam nomes semelhantes, como o próton e o fóton, eles criaram um grupo chamado de "grupo dos elementos". Essa abordagem demonstra um esforço criativo na organização, mesmo sem o conhecimento das divisões do MP, os alunos agruparam as partículas de acordo com suas características mais evidentes, seus nomes, o que aproxima a classificação utilizada pelo grupo do modelo padrão, talvez não pelos mesmos critérios, mas o fato de algumas partículas terem "nomes" parecidos, pode indicar propriedades semelhantes.

**Figura 3** – Utilização da nomenclatura das partículas como critério de organização.**Grupo 3:**

O grupo apresentou uma abordagem mais específica, com os alunos agrupando as partículas elementares de acordo com seu spin, sendo esse um critério bastante relevante dentro do contexto do Modelo Padrão, sugerindo que os alunos foram capazes de identificar e aplicar uma propriedade fundamental das partículas, talvez mesmo sem compreensão completa do conceito. Isso demonstra o potencial para aprofundamento em discussões futuras sobre propriedades intrínsecas das partículas e sua relevância nas interações fundamentais.

**Figura 4** - Atividade na qual os estudantes utilizaram o spin como critério de organização

Grupo 4:

A classificação utilizada por esse grupo também foi a partir do spin, com uma disposição das partículas não muito clara, em comparação ao grupo 3, mas com maior cuidado aos detalhes e capricho na exposição do modelo. Os estudantes começaram com o Bóson de Higgs, com spin igual a 0, depois alocaram as partículas com spin fracionário, acrescentando ainda o que eles chamaram de “subtópico” que seria uma ordenação dentro de cada spin, no qual essa ordenação se basearia na massa de cada partícula, porém, seguindo isso a posição de algumas partículas estaria errada. E por fim as partículas com spin igual a 1, o fóton e os bósons W e Z.

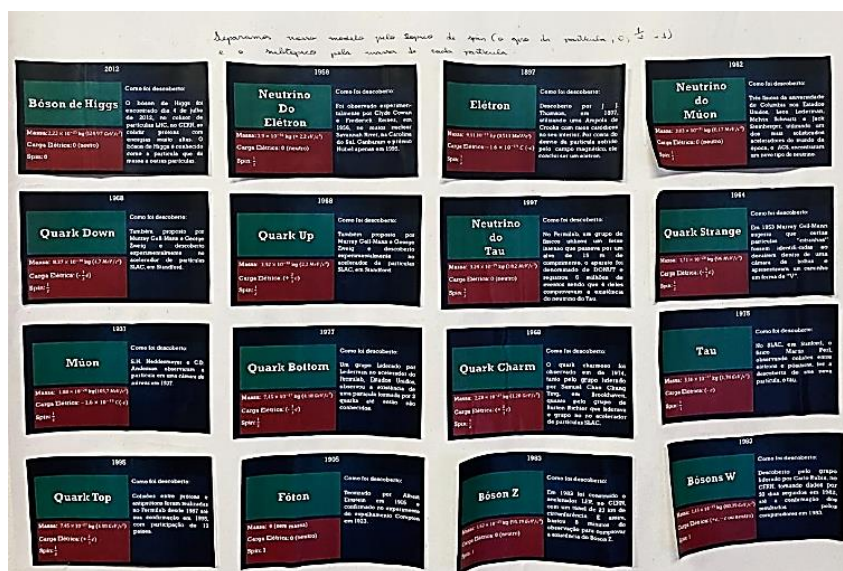


Figura 5 - Atividade na qual os estudantes utilizaram o spin como critério de organização.

Grupo 5:

Podemos considerar que esse grupo foi o que chegou mais próximo do MP atual. Inicialmente com um grupo para os quarks, mas separando eles em quarks com carga de $-1/3$ da carga do elétron e quarks com $2/3$ da carga do elétron, outro grupo para os bósons, separando-os pelo spin, um grupo para os neutrinos e por fim um último grupo, sem nome, mas que estava o elétron, múon, tau e fóton, sendo assim, em comparação com o MP, teríamos apenas o fóton alocado junto aos léptons, sem uma justificativa coerente. A partir disso, a organização reflete uma tentativa lógica de identificar padrões, mesmo sem conhecimento prévio do MP, com os estudantes se atentando a propriedades como spin, carga, massa e possivelmente a nomenclatura semelhante de algumas partículas. O modelo elaborado pelo grupo 5 está abaixo apresentado na figura 6.

Ao todo, as classificações utilizadas por cada grupo foram:

Classificações utilizadas:
 Nomenclatura (2)
 Spin (3)
 Ordem cronológica (1)
 Características semelhantes (2)

Vale ressaltar que em alguns casos, o grupo utilizou mais que uma das classificações acima, como por exemplo, utilizaram a nomenclatura e o spin. O termo “características semelhantes” foi

cunhado pelos próprios estudantes, para se referir a uma classificação que se preocupou em olhar para as características das partículas descritas na ficha, como massa, spin e carga.

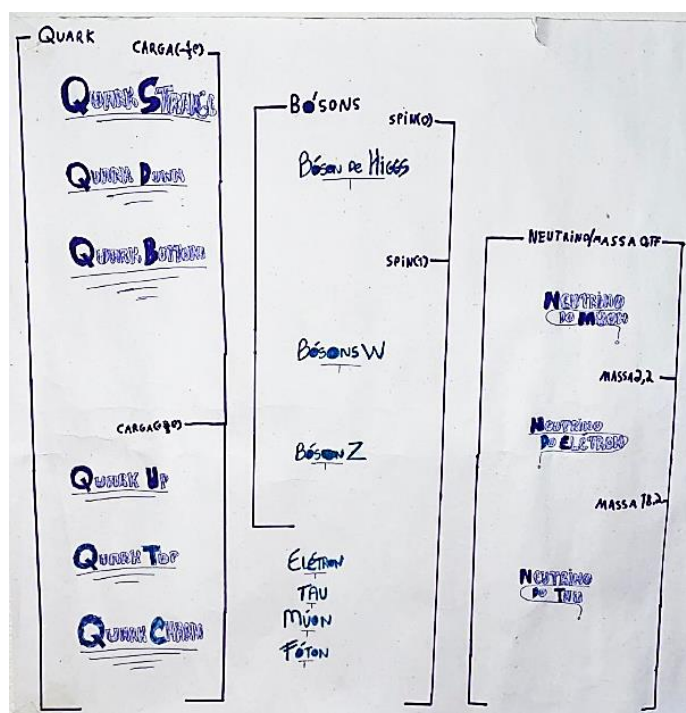


Figura 6 - Atividade na qual os estudantes utilizaram critérios de nomenclatura e spin.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dois referenciais teóricos apresentados no início desse artigo e que estruturaram a dinâmica dessa atividade, podemos dividir a conclusão final desse trabalho em dois pilares.

O primeiro, com um olhar aos 3MP. Na organização do conhecimento, a atividade “Montando o Modelo Padrão” se tornou um dos pilares dessa SD, seja pelo caráter incorporado a ela, discutindo sobre a epistemologia da ciência na construção de modelos, bem como a possibilidade de ser aplicada de forma independente, sem precisar estar vinculada exclusivamente a essa sequência. E olhar para essa atividade como um recorte, abre novas possibilidades para um aprimoramento, a nível pedagógico e a nível conceitual.

Uma das possibilidades, seria implementar o uso da gamificação a partir de jogos que trabalhem conceitos sobre Física de Partículas, como uma forma de “aplicação do conhecimento”. Discutindo sobre os conceitos trabalhados nas aulas de montagem e apresentação dos modelos. Alguns jogos estão sendo desenvolvidos nessa área¹, mas que ainda precisam ser avaliados como podem ser inseridos dentro de atividades como a proposta nesse trabalho.

A apresentação posterior do MP provocou discussões entre os estudantes sobre as semelhanças e diferenças em relação aos modelos que haviam construído, permitindo que eles compreendessem também sobre o fazer científico. O ensino a partir do diálogo permite que os alunos se sintam livres para expor suas opiniões e que aprendam a respeitar e ouvir as opiniões dos outros (Araújo, Niemeyer e Muenchen, 2013, p. 189).

¹ O grupo IPPOG-Brasil, que promove a divulgação do ensino em física de partículas, disponibilizou alguns materiais de eventos nessa área: <https://www1.fisica.org.br/ippog/>.

Portanto, a partir das análises das interações em sala de aula, das apresentações dos modelos criados pelos estudantes, aliada aos registros feitos no caderno de campo pelo professor, indicou que os objetivos de dialogicidade e discussões sobre a epistemologia da ciência foram alcançados, mas que também abre espaço para novas implementações e aprimoramentos.

O segundo pilar dessa conclusão se concentra sobre a epistemologia da ciência. Dessa forma, a atividade “Montando o Modelo Padrão” mostrou-se relevante não apenas para o ensino de conteúdos de Física de Partículas, mas também como uma estratégia capaz de promover reflexões sobre como o conhecimento científico é construído, validado e transformado ao longo do tempo.

Ao organizar e discutir os elementos que compõem os modelos, os estudantes entram em contato com a ideia de que, durante períodos de ciência normal, o trabalho científico se concentra no aprofundamento, na aplicação e no refinamento de um paradigma vigente, conectado as ideias de Kuhn de que paradigmas são “realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções exemplares para uma comunidade de praticantes de uma ciência” (Kuhn, 2001).

Além disso, a atividade favorece a compreensão da relação entre previsões teóricas e comprovação experimental, ao evidenciar que entidades como os quarks foram inicialmente propostas como construções teóricas para explicar simetrias observadas, sendo posteriormente testadas e corroboradas a partir de evidências experimentais. Essa dinâmica contribui para discussões de caráter filosófico sobre a natureza da ciência, transformando a atividade em uma proposta de caráter interdisciplinar, ao permitir o diálogo entre diferentes concepções epistemológicas, como as ideias de Popper sobre conjecturas e refutações e as contribuições de Kuhn acerca dos paradigmas e da ciência normal. Permitindo o professor articular com outros exemplos dentro da própria Física, como a física de Aristóteles, a astronomia de Ptolomeu, a mecânica e a óptica de Newton e a química de Lavoisier como exemplos de paradigmas porque “serviram, por algum tempo, para definir implicitamente os problemas e métodos legítimos de um campo de pesquisa para gerações posteriores de praticantes da ciência” segundo Kuhn. De mesmo modo, de acordo com Moreira (2007), isso se deve ao fato de que esses paradigmas reuniram duas características centrais: foram suficientemente inovadores para atrair e manter um grupo renomado de pesquisadores e, ao mesmo tempo, suficientemente abertos para possibilitar a investigação de diversos problemas por esse grupo.

Por tanto, ao integrar conceitos científicos e discussões epistemológicas em uma mesma proposta, a atividade contribui para uma abordagem mais crítica e formativa do ensino de Física, fortalecendo a compreensão dos estudantes sobre a ciência como uma atividade humana, histórica e em permanente construção.

REFERÊNCIAS

- Araújo, L. B. (2015). *Os Três Momentos Pedagógicos como estruturantes de currículos* (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria). Repositório Digital da UFSM. <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/6692>.
- Araújo, L. B., Niemeyer, J., & Muenchen, C. (2013). *Uma análise dos trabalhos presentes nos encontros de pesquisa em ensino de física (EPEF): Problematisações ou perguntas?* In: Anais do IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias. Girona: 2013. Atas... Girona: p. 188-193.
- Camargo, B. D. (2023). *Evolução biológica e mídia-educação: Problematisando uma sequência didática* (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos). Repositório UFSCAR.
- Delizoicov, D.; & Angotti, J. A. P. (1991). *Física*. São Paulo: Cortez.

- Delizoicov, D.; Angotti, J. A. P.; & Pernambuco, M. M. C. A. (2002). *Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos*. São Paulo: Cortez.
- Delizoicov, D.; Angotti, J. A.; & Pernambuco, M. M. C. A. (2007). *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. 2. ed. São Paulo: Cortez.
- Moreira, M. A. (2007). A física dos quarks e a epistemologia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(2), 161–173.
- Popper, K. R. (1982). *Conjecturas e refutações*. Brasília: Editora da Universidade de Brasília.
- Kuhn, T. S. (1970). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva.
- Kuhn, T. S. (2001). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Editora Brasiliense.
- Santos, A. J.; Santos, P. J.; Júnior, M. G. A.; Gehlen, S. T. (2024). O modelo fractal dos Três Momentos Pedagógicos em um processo formativo de professores de Ciências e Matemática. *Investigações em Ensino de Ciências*, 29(2), 32–56.