

OS QUARKS E O CUBO DE RUBIK: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOB O OLHAR DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO MÉDIO

Quarks and the Rubik's Cube: A Teaching Sequence from the Perspective of Meaningful Learning for High School

Raffael Frota Souto Teixeira [raffaelfisica@gmail.com]

Makarius Oliveira Tahim [makarius.tahim@uece.br]

Universidade Estadual do Ceará (Uece)

Faculdade de Educação, Ciências e Letras do Sertão Central (Feclesc)

Rua José de Queiroz Pessoa, 2554 – Planalto Universitário – Quixadá/CE – CEP 63902-098

Recebido em: 18/01/2026

Aceito em: 14/08/2026

Resumo

Este artigo apresenta uma sequência didática criada com o objetivo de ser ensinado um modelo para os quarks a alunos da Educação Básica. Valendo-se dos princípios e diretrizes da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel, a referida sequência utiliza um produto educacional especialmente desenvolvido para essa finalidade, materializado através do Cubo de Rubik (ou simplesmente Cubo Mágico). Com isso, espera-se promover uma discussão de elementos fundamentais da matéria com aspectos lúdicos e acessíveis à respectiva faixa etária, ou seja, sem obstáculos epistemológicos. É prevista a ilustração, por exemplo, de essências da Física de Confinamento de Quarks e algumas estruturas destes (mésons e bárions). Assim, estimam-se, para esse intuito, doze aulas de cinquenta minutos de duração cada uma, com espaço para avaliação diagnóstica e de resultados. É sugerido que sua aplicação se dê no âmbito de turmas de disciplinas eletivas do Ensino Médio, dada a maior liberdade de conteúdos envolvida, em formato de estudo de caso para o fim de ser realizada a coleta dos respectivos dados (subsúncos). Das investigações realizadas, notou-se, inclusive, a possibilidade de representação no Cubo de estruturas de quarks maiores e mais complexas, as quais serão objeto de estudo de outros trabalhos. Considerando-se o recurso pedagógico relacionado, tem-se grande probabilidade de êxito quando da efetivação de todo o processo educacional em volta dele construído.

Palavras-Chave: Aprendizagem Significativa; Cubo de Rubik; sequência didática; jogos; quarks.

Abstract

This article presents a teaching sequence created with the objective of teaching a model for quarks to students in Basic Education. Using the principles and guidelines of Meaningful Learning, by David Ausubel, the sequence utilizes an educational product specifically developed for this purpose, materialized through the Rubik's Cube (or simply Magic Cube). With this, it is hoped to promote a discussion of fundamental elements of the subject matter with playful aspects accessible to the respective age group, that is, without epistemological obstacles. The illustration includes, for example, the essences of Quark Confinement Physics and some of their structures (mesons and baryons). Thus, it is estimated that twelve fifty-minute classes are needed for this purpose, with space for diagnostic and results assessment. It is suggested that its application take place within elective subject classes in High School, given the greater freedom of content involved, in a case study format for the purpose of collecting the respective data (subsumers). The investigations carried out also revealed the possibility of representing larger and more complex quark structures in the Cube, which will be the subject of study in other works. Considering the related pedagogical resource, there is a high probability of success when the entire educational process built around it is implemented.

Keywords: Meaningful Learning; Rubik's Cube; didactic sequence; games; quarks.

1 INTRODUÇÃO

A atual conjuntura do ensino de física no Brasil remete os professores da área a um constante exercício de criatividade. Em tal disciplina, o uso exclusivo do tradicional quadro branco resulta em um nível de abstração prejudicial ao interesse dos alunos. Logo, agregar a participação destes se torna a cada dia mais desafiador.

Assim, a figura do físico-professor, aquele que não apenas se preocupa com a carga de conteúdos a ser transmitida, mas principalmente com a efetividade de todo esse processo, torna-se fundamental. Por essa razão, esse profissional se vê, muitas vezes, às voltas da elaboração de mecanismos não convencionais e que estimulem as mais diversas funções sensoriais do estudante, a fim de que este vivencie toda a teoria exposta (Moreira, 2021).

A proposta aqui apresentada, de ensino de quarks através de um jogo, propicia a aprendizagem significativa e a aquisição de novos conhecimentos, valendo-se de uma linguagem acessível aos jovens (Silva-Pires; Trajano; Araujo-Jorge, 2020). Com livre inspiração nos aspectos descritos por Golomb (1982), explora-se a possibilidade de utilização do Cubo de Rubik, ou simplesmente cubo mágico, como um importante recurso pedagógico.

O objetivo deste trabalho é o de produzir uma sequência didática que reúna elementos capazes de favorecer o ensino de física de quarks de maneira lúdica e inovadora. Garante-se, com isso, que mesmo assuntos originalmente oportunizados apenas no Ensino Superior possam ser compreendidos por alunos da educação básica, dada sua apresentação através de linguagem e métodos a eles acessíveis. Afinal, não se pode mais conceber que as grandes e atuais descobertas científicas ainda permaneçam distantes das salas de aula. A física clássica já não é mais capaz de cumprir, isoladamente, seu papel de captar a atenção de crianças e adolescentes em idade escolar. Por essa razão, uma consequência esperada de sucessivas aplicações da sequência didática aqui apresentada é a redução de uma incômoda carência de conteúdos de física moderna e contemporânea, dentre os quais se encontram os quarks, na educação básica brasileira (Araújo; Killner, 2019).

A referida sequência é composta por doze aulas de cinquenta minutos cada. Em geral, são desenvolvidas em três momentos pedagógicos. Ao longo delas, são ministrados os conteúdos entendidos como essenciais a uma compreensão adequada do tema. Tendo em vista que é utilizada a aprendizagem significativa, de Ausubel, como embasamento didático-pedagógico, reserva-se a primeira e a última aulas, respectivamente, para fins de aplicação de pré-teste e pós-teste, de modo que se possa levantar subsunçores que nortearão todo o processo, além de ser aferido o nível de absorção por parte dos discentes após sua conclusão. Não apenas o aprendizado científico, mas também a construção de um pensamento crítico e reflexivo é estimulada nessa jornada.

Houve a preocupação de que as aulas tivessem uma evolução gradativa e ordenada dos assuntos estudados, de modo que não se estabelecesse uma brusca ruptura com os conteúdos habituais. As atividades, então, têm início com as concepções filosóficas de Leucipo e Demócrito, na Antiguidade. Na ordem cronológica dos acontecimentos, logo após segue-se com os modelos atômicos, discorrendo-se sobre as particularidades de cada um deles até se chegar à ideia de átomo atualmente aceita, bem como de suas principais subpartículas. Na concepção de Ausubel, isso se chama diferenciação progressiva, ao passo que a reconciliação integrativa, também presente em sua teoria e nesta produção, seria a junção final de tudo o que foi experienciado (Moreira, 2021).

A estratégia de avaliação de aprendizagem formulada baseia-se não somente na mensuração

de respostas mecanicamente escritas, mas também no sentimento e percepção dos alunos em relação a aulas que com eles dialoguem (Moreira, 2021). Para isso é que o Cubo de Rubik é empregado, na busca pelo estabelecimento de uma relação professor-aluno mais informal e espontânea, que consiga ser mais próxima da realidade dos aprendizes do que o ensino tradicional.

Quanto à distribuição dos assuntos, tem-se na seção 2, a seguir, uma breve concatenação da aprendizagem significativa com o presente trabalho, sendo demonstrado por qual motivo ela foi escolhida para alicerçá-lo. Já na seção 3, conceitua-se os quarks, bem como suas principais características e marcos históricos. Na sequência, na seção 4, discorre-se acerca do Cubo de Rubik e sua estreita conexão com os quarks. O principal resultado deste artigo, a sequência didática, é apresentada em uma visão pormenorizada na seção 5. Por fim, o arremate de todas essas ideias está contido na seção 6 (conclusão).

2 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

David Ausubel defendia que a aprendizagem ocorresse de forma significativa, ou não automática. Para isso, em toda a sistemática há que se ter uma grande participação ativa dos alunos, não se configurando estes em meros expectadores. Verifica-se, por conseguinte, uma veemente oposição à aprendizagem mecânica, em cujo processo a incorporação de novos conhecimentos é pautada é indiscutivelmente aleatória (Moreira, 2021).

A verdadeira compreensão de determinado conceito ou proposição, para Ausubel (2002), está diretamente associada a uma posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis. Com o intuito de se confirmar tal compreensão através de testes que requerem do educando a menção a atributos primordiais de um conceito ou a elementos essenciais de uma proposição, pode-se incorrer na armadilha de serem estimuladas apenas respostas mecanicamente memorizadas. Por conta disso, o primeiro e mais importante fator cognitivo a ser considerado em todo o processo é a estrutura cognitiva do aprendiz (Ausubel, 2002).

Por intermédio da avaliação diagnóstica, o professor obtém os subsunçores que irão sustentar seu plano de aula. Deve adequar esse instrumento à realidade dos discentes com os quais trabalhará. Da mesma forma, a avaliação de resultados, ao final da sequência didática, verifica o que realmente foi aprendido pelos estudantes. É essencial para se atestar o alcance ou não dos objetivos estipulados (Teixeira; Saraiva; Castro, 2025). Isso tudo tem grande relação com as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), levando os discentes a refletirem sobre o universo científico e tecnológico em que se inserem. Isso significa relacionar os ensinamentos, a realidade e aquilo que os aprendizes já saibam ou tenham vivenciado (Brasil, 2018).

Como se infere, este trabalho traz, na condição de um dos principais fatores que auxiliam na construção do conhecimento, o jogo. O conceito em questão decorre de um sistema linguístico inserido em um contexto. Sendo um fato social, assume a imagem e o sentido que cada sociedade lhe atribui. Suas regras claras e objetivas proporcionam maior fluidez ao diálogo em sala de aula (Kishimoto, 2011). Os jogos, portanto, criam um ambiente que favorece a aprendizagem significativa por atenderem, a um só tempo, a distintas fases de desenvolvimento cognitivo, permitindo a aquisição de novos conhecimentos em decorrência dos desafios propostos (Silva-Pires; Trajano; Araujo-Jorge, 2020).

Em um jogo educacional, diversas imagens representativas de conceitos são apresentadas, favorecendo a solução de problemas e a construção de novos saberes, desde que tenham valor didático e estejam de acordo com a carga cognitiva de quem dele se utiliza (Mayer, 2005). É bem verdade que os jogos e brincadeiras sempre estiveram presentes na história da humanidade. No meio escolar, operam como facilitadores da aprendizagem. São estratégias com alto potencial de sucesso que trazem orientações aos aprendizes sobre como reagir às mais diversas situações (Cabreiras, 2019).

Mas a grande pergunta ainda reside em como se relacionar tudo isso aos aspectos de física sobre os quais se discute neste artigo. Assim, após todo esse panorama educacional são trazidas as concepções que fundamentam a existência dos quarks. Isso, porém, em um encadeamento lógico que proporcione uma aprendizagem de caráter realmente significativo.

3 OS QUARKS

Os quarks (Figura 1), juntamente com os léptons, constituem fundamentalmente a matéria, não possuindo estruturas internas, o que equivale a dizer que não são enquadrados como hádrons (Moreira, 2007). Foram postulados, em 1964, de maneira independente por Murray Gell-Mann e Jorge Zweig. Experimentam a força forte, que mantém os núcleos atômicos unidos (Golomb, 1982).



Figura 1 – Representação de uma estrutura de quarks de um nêutron.

Fonte: Arscimed/Science Photo Library, 2024.

Nunca foram encontrados de forma isolada na natureza, somente em pares com sua partícula oposta, o antiquark, ou em formações maiores. Existem, então, o que se chama de combinações permitidas, cujas restrições são descritas pelo princípio do confinamento de quarks. Através da observação destas, chegou-se à conclusão de que suas cargas elétricas são fracionárias, representando múltiplos de $1/3$ da carga dos elétrons (Golomb, 1982).

O princípio da exclusão de Pauli estabelece o impedimento de duas partículas de um mesmo tipo ocuparem o mesmo estado quântico. Ou seja, dois ou mais quarks do mesmo tipo (ou “sabor”) não podem ocupar o mesmo estado. Com base nisso, uma partícula formada por três quarks idênticos não teria como existir (Moreira, 2007). De fato, três elétrons nunca serão capazes de formar um sistema estável. Porém, quando se trata de três quarks, tal afirmação não se mostra verdadeira, dada a existência da força forte (Moreira, 2007).

Uma explicação para isso foi trazida por Oscar Greenberg, em 1964, quando sugeriu que os quarks, além do “sabor”, possuiriam uma outra propriedade, a “cor”, muito semelhante à carga elétrica. Ao contrário desta, no entanto, seria dividida em três tipos. Assim como o “sabor”, não tem o mesmo da óptica ou do senso comum (Moreira, 2007). A associação de três quarks de “cores” primárias distintas (verde, azul e vermelho) se dá de modo similar à combinação de um quark, detentor de uma “cor”, e um antiquark, com sua correspondente “anticor” (antiverde, antiazul ou antivermelho). Esses fenômenos dão origem a uma partícula “branca” ou sem carga de cor (Mendes; Cucchieri; Moraes, 2019).

Chega-se à conclusão de que algumas partículas são “coloridas”, mas outras não. Os léptons são “brancos”, ao passo que os quarks têm “cor”. Logo, é esta propriedade que faz com que os quarks possam ser diferenciados (Moreira, 2007). A partir disso, chega-se a um total de trinta e seis deles.

Suas espécies, ou “sabores” são *u* (*up*), *d* (*down*), *s* (*strange*), *c* (*charm*), *b* (*bottom*) e *t* (*top*). Cada uma se apresenta através de três “cores”, resultando em dezoito, mesmo número de antiquarks, materializados em suas respectivas “anticores” (Silva; Natti, 2007). Como se verá na próxima seção, essas perspectivas se tornarão mais concretas quando da representação dos quarks em um Cubo de Rubik.

4 O CUBO DE RUBIK

Recebeu esse nome em homenagem ao seu criador, o húngaro Erno Rubik, que o fabricou em 1974, para ilustrar a ideia de terceira dimensão para alunos de um curso de arquitetura (Silva; Anjos, 2014). É um quebra-cabeças tridimensional, cujo objetivo é retornar todas as faces ao estágio inicial, após serem embaralhadas, onde cada uma possui apenas “cubinhos” de mesma cor. Em um Cubo de Rubik 3x3x3, há três linhas e três colunas.

O cubo mágico, como se pretende demonstrar, possui grande valor didático, sobretudo no ensino de física, visto que pode ser utilizado para a ilustração de conceitos científicos. Nesse sentido, as relações que se estabelecem, a partir dele, são as seguintes: “definem-se” os quarks por rotações de 120° no sentido horário de um cubo localizado nas extremidades (*corners*) sobre a diagonal do Cubo; e os antiquarks, por giros de 120°, porém no sentido anti-horário de tais cubos (Golomb, 1982).

A partir da configuração inicial padrão do Cubo de Rubik, é impossível a resolução deste quando é feita a rotação de apenas um cubo dos vértices. Identicamente, não se pode produzir, de forma isolada, um quark ou antiquark, aos menos em situações que não envolvam altas energias, conforme tratado na seção relativa aos quarks. Movendo-se dois *corners* em ângulos opostos, por outro lado, “produz-se” um méson (par quark-antiquark), uma formação existente na natureza, cuja resolução analogamente é alcançada no Cubo (Golomb, 1982).

Já a torção de três cubos de canto em um mesmo sentido (a 120° horário ou anti-horário) “equivale” a um bárion (três quarks ou três antiquarks, respectivamente). Na figura 2, são apresentadas combinações permitidas e não permitidas de quarks no Cubo de Rubik (Golomb, 1982). No canto superior esquerdo, há um cubo mágico em seu estado original; na imagem superior, à direita, observa-se um “quark isolado”, situação que não permite resolução, assim com não há paralelo na natureza. No centro, à esquerda, é a vez de se vislumbrar um “antiquark isolado”, o que tem o mesmo efeito descrito no período anterior. Porém, quando representado em conjunto com um “quark” em outro vértice, como na figura central, à esquerda, passa-se à configuração de um “méson”. Por fim, nas imagens inferiores, tem-se “bárions”, constituídos por três “quarks” (direita) ou três “antiquarks” (esquerda) (Golomb, 1982).

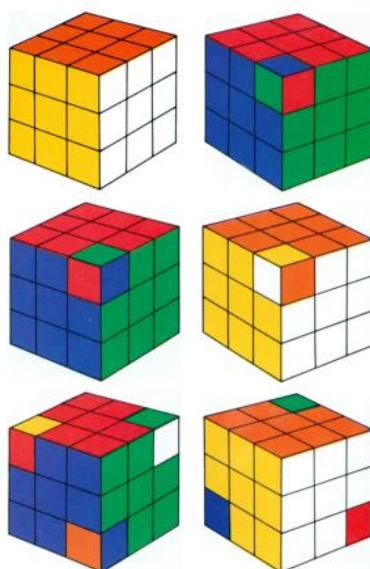


Figura 2 – O Cubo de Rubik visto por ângulos opostos.

Fonte: GOLOMB, 1982.

Como as ilustrações utilizam apenas os vértices de um cubo mágico para a representação de quarks e antiquarks nele, o mesmo resultado pode ser alcançado com um modelo menor, o 2x2x2, ou Supercubo. Mantendo-se a mesma sistemática do 3x3x3, na figura 3, um Supercubo é mostrado em seu estado inicial no canto superior esquerdo; com um “quark”, em um dos vértices no canto superior direito; e com três “quarks” (“bárion”), em visão a partir de ângulos opostos, na parte inferior (Golomb, 1982).

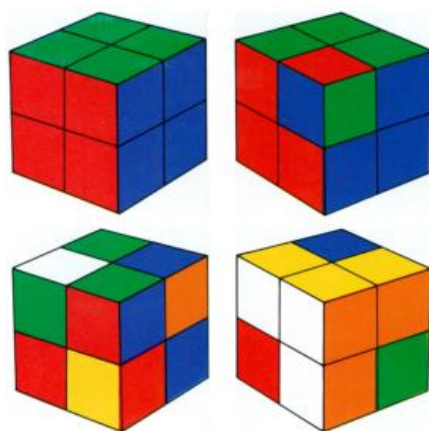


Figura 3 – O Supercubo.

Fonte: Golomb, 1982.

São essas as razões que levam ao uso do Cubo de Rubik como um produto educacional voltado ao ensino de física de quarks na sequência didática produzida neste trabalho. Além disso, diversos benefícios podem advir de seu uso em sala de aula, como o aumento da autoconfiança, a promoção da aprendizagem cooperativa, a melhora da percepção espacial, além do estímulo do raciocínio, da memória e da capacidade de planejamento (Teixeira, 2025).

Tendo em vista que se discorrer acerca dos quarks significa retratar realidades cujas ordens de grandeza são significativamente pequenas, encontrar uma maneira de representar o comportamento deles pode se mostrar uma tarefa de difícil execução. Mas para que se torne interessante aos alunos, necessariamente deve, ao menos, “existir” na mente destes. Isso vai ao encontro dos preceitos contidos na BNCC, onde se defende que os conceitos ensinados devem servir de base para que os estudantes compreendam e interpretem leis, teorias e modelos, além de aplicá-los na resolução de problemas que se apresentem à sua volta (Brasil, 2018).

Tudo isso é albergado por este trabalho, uma vez que o retorno de um resultado prático para a comunidade, levado pelos estudantes, é algo que faz com que o conhecimento não seja entendido apenas como um fim em si mesmo. Por intermédio de ações como essa é que se associa corretamente desenvolvimento científico à melhora da vida humana, por meio da compreensão do meio no qual esta se insere.

5 METODOLOGIA

A fim de se embasar futuros estudos de caso, foi desenvolvida uma sequência didática para se explicar aos discentes sobre a cronologia dos modelos atômicos, além das partículas conhecidas até os dias de hoje. Com isso, torna-se possível explicar aspectos dos quarks e de suas interações, sem grandes rupturas com a habitual linha de conhecimento dos discentes, o que vai ao encontro da diferenciação progressiva, abordada na introdução. Na sequência, introduz-se o Cubo de Rubik para se ilustrar de maneira lúdica os aspectos estudados.

A coleta dos dados deve ocorrer por meio de respostas escritas dos entrevistados, tanto ao pré-teste quanto ao pós-teste. As perguntas objetivas podem ser escalonadas de acordo com a Escala Likert. Já as discursivas, devem abrir espaço para que os estudantes se sintam à vontade para expressar o sentimento prévio e posterior à aplicação da sequência, especialmente, em relação a este último, com a avaliação de todo o processo. Como tamanho ideal, estima-se que ambas as avaliações sejam compostas por dez perguntas, que explorem a inter-relação entre as áreas do conhecimento, bem como o interesse dos aprendizes acerca disso. Isso está em consonância com a aprendizagem significativa, já que se afigura como um mecanismo ao mesmo tempo eficaz e objetivo, com menor influência de vieses (Teixeira; Saraiva; Castro, 2025).

Sugere-se que este estudo seja conduzido em uma turma de disciplina eletiva, formatada especificamente para a aplicação do produto educacional subjacente, com discentes de todas as três séries do Ensino Médio. A justificativa para tanto é a maior liberdade pedagógica esperada, que tende a conceber melhores resultados. Lembrando que as eletivas fazem parte da atual política educacional brasileira, abrangendo diferentes habilidades e promovendo a diversificação didática de saberes, com a inclusão de novos componentes curriculares ou novas perspectivas dos já existentes.

Com todo esse conteúdo, foi pensada a sequência didática contida no Quadro 1, a qual é formada por doze aulas, cada uma com cinquenta minutos de duração. Em muitos de seus trechos, há a presença de uma divisão dos intervalos da aula de acordo com a técnica dos três momentos pedagógicos. É esperado, com isso, o fomento ao pensamento crítico e reflexivo, tão ausente nos estudantes brasileiros atualmente.

Quadro 1: Sequência didática

Aula 1	AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA	Duração
	Aplicação de Avaliação Diagnóstica, como previsto na Aprendizagem Significativa, a fim de se averiguar o grau de conhecimento prévio dos estudantes em relação a conceitos básicos de Física de Partículas e do Cubo de Rubik; realização da coleta de subsunçores, para melhor elaboração e direcionamento das aulas subsequentes, bem como da predisposição ao aprendizado e à assimilação de conteúdos da turma.	50 minutos

Aula 2	MODELOS ATÔMICOS	Duração
Etapas	Aula expositiva dialogada sobre o período em que filósofos, como Leucipo e Demócrito, levantaram as primeiras hipóteses acerca do átomo, no século V a. C., propiciando mais subsunções e o fortalecimento das estruturas cognitivas prévias. Esta e as outras duas etapas da aula fazem parte de uma sistemática marcada pelos conceitos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, ambos oriundos da Aprendizagem Significativa.	15 minutos
	Exposição interativa com os modelos atômicos, de forma cronológica, iniciando-se pelos de John Dalton (1808) e de Joseph John Thomson (1898), trazendo-se o que cada um propunha e garantindo-se o processo de apropriação de conteúdos, como idealizado por Ausubel (2002).	25 minutos
	Debate acerca das diferenças entre ambos os modelos e, considerando-se o que se tem atualmente catalogado, quais os erros encontrados neles. Isso tudo utilizando-se uma bola de bilhar e um <i>slime</i> como ilustração, de acordo com descrição abaixo.	10 minutos
Materiais de apoio		
Experimento	“Modelos de Dalton e de Thomson na prática”: utilização de uma bola de bilhar, para ilustração do Modelo de Dalton; de um <i>slime</i> transparente (semelhante a uma massa de modelar infantil), como representação do átomo, e de caroços de feijão ou de milho, como analogia para prótons (localizados no núcleo) e elétrons, aderidos à superfície atômica, para que os alunos compreendam a ideia do Modelo de Thomson (pudim de passas).	
Vídeos	“Modelo atômico de Dalton”, disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/videos/modelo-atomico-de-dalton.htm ; “Modelo atômico de Thomson - Brasil Escola”, disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=BQBaN2IAQEQ .	
Textos e artigos	“Modelos atômicos”, disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/modelos-atomicos.htm .	
Aula 3	MODELOS ATÔMICOS	Duração
Etapas	Exposição dialogada dos Modelos Atômicos de Ernest Rutherford (1911), tratando-se de seu experimento com partículas alfa em uma fina lâmina de ouro, e de Niels Bohr (1913), trazendo-se o que cada um propunha e garantindo-se o processo de assimilação de conteúdos, como idealizado por Ausubel (2002).	20 minutos
	Exposição dialogada do Modelo Atômico de Erwin Schrödinger (1926), passando-se por contribuições anteriores de Arnold Sommerfeld (1916 – órbitas eletrônicas elípticas) e de Louis de Broglie (1923 – dualidade onda-partícula).	20 minutos
	Análise comparada das distinções entre as ideias de Rutherford-Bohr e de Schrödinger, construindo-se, de maneira significativa, o aprendizado sobre o tema, chegando-se ao que se tem como aceito na atualidade.	10 minutos

Materiais de apoio		
Vídeos	“Modelo atômico de Rutherford - Brasil Escola”, disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Fgnd8EB-dbE; “Modelo atômico de Bohr - Brasil Escola”, disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=lZnO6KsMvfM; “Modelo Atômico Atual (modelo atômico de Schrödinger)”, disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=DprJOgOFIgo; “Estrutura Atômica XII Modelo Atômico de Sommerfeld”, disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=f9l0kp35IP0; “Comprimento de Onda de De Broglie e a Dualidade Onda-Partícula”, disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=-cqtwlKxZME.	
Textos e artigos	“Modelos atômicos”, disponível em: https://brasilecola.uol.com.br/fisica/modelos-atomicos.htm; “Modelo atômico de Rutherford”, disponível em: https://brasilecola.uol.com.br/quimica/o-atomo-rutherford.htm; “O átomo de Bohr”, disponível em: https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/o-atomo-bohr.htm; “Modelo atômico de Schrödinger”, disponível em: https://brasilecola.uol.com.br/quimica/modelo-atômico-de-schrodinger.htm; “Modelo atômico de Sommerfeld”, disponível em: https://www.infoescola.com/quimica/modelo-atômico-de-sommerfeld/; “Os cem anos do átomo de Sommerfeld”, disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/8XfSsYvXWcWDBjpPvTYJPFq/?lang=pt; “Dualidade onda-partícula”, disponível em: https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-natureza-dual-luz.htm.	
Aula 4	PARTÍCULAS SUBATÔMICAS	
Etapas	Aula expositiva dialogada sobre prótons, nêutrons e elétrons, a cronologia de suas respectivas descobertas e algumas de suas aplicações, em uma discussão comparada com os modelos atômicos, preparando-se as estruturas cognitivas prévias dos alunos a fim de se propiciar a introdução dos quarks, em momento posterior.	35 minutos
	Promoção de debate e reflexão, retomando-se as primeiras ideias de indivisibilidade de Dalton sobre o átomo, buscando-se refutá-las com os estudo de prótons, nêutrons e elétrons. Finalização com um importante questionamento sobre o qual o estudantes serão instigados a pesquisar e a trazer respostas no início da aula 6: serão estas as verdadeiras partículas elementares ou existirão outras menores ainda?	15 minutos
Materiais de apoio		
Vídeos	“Estrutura Atômica IV A descoberta dos prótons”, disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=li9vilcWwAY; “O que é um Nêutron?”, disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=zmSFEMeyhp0; “Aula 03: O Elétron”, disponível em: https://caulas.usp.br/portal/video?idItem=3660.	

Textos e artigos	“Prótons”, disponível em: https://brasilecola.uol.com.br/quimica/protons.htm; “Nêutrons”, disponível em: https://brasilecola.uol.com.br/quimica/neutron.htm#:~:text=%C3%A1reas%20da%20ci%C3%Aancia.-,O%20que%20%C3%A9%20um%20n%C3%AAutron%3F,em%201932%20por%20James%20Chadwick.; “Elétrons”, disponível em: https://brasilecola.uol.com.br/quimica/eletrons.htm.	
Aula 5	AVALIAÇÃO DE PERCURSO	Duração
	Avaliação composta por dez questões discursivas contendo um resumo sobre os pontos principais do assunto modelos atômicos, como maneira de se ter maior convicção da absorção de um conhecimento basilar para se dar início às lições referentes ao tema principal deste produto. Assim, assegura-se uma modificação significativa na estrutura cognitiva dos discentes, preparando-os para novas informações a serem edificadas sobre as primeiras.	50 minutos
Aula 6	QUARKS	Duração
Etapas	Início com as respostas trazidas pelos estudantes ao questionamento lançado ao final da aula 4, com a escrita no quadro das principais ideias trazidas, objetivando-se uniformizá-las e transportá-las, o mais próximo possível, para a concepção científica contemporaneamente aceita.	10 minutos
	Aula expositiva dialogada sobre as principais características dos quarks. Isso engloba o antiquark; os seis tipos de quarks; suas cargas elétricas de caráter fracionário; como constituem partículas maiores e mais conhecidas, além de se nomear e descrever suas principais conjugações, os mésons e os bárions (que têm como exemplos de destaque prótons e nêutrons). Ainda se explora, mesmo que de modo mais superficial, o Princípio do Confinamento, o qual discorre acerca da impossibilidade de se verificarem quarks ou antiquarks isolados, ao menos em condições normais, na natureza.	30 minutos
	Conversa acerca da importância da revelação da existência dos quarks e o que isso representou para a comunidade científica e para toda a humanidade. Esclarecimento de que se trata de uma descoberta em andamento, já que é possível a existência de estruturas maiores e mais complexas envolvendo tais partículas. Com isso, lança-se o desafio: como se verificar de modo mais simples um modelo para os quarks, proporcionando-se que haja uma verdadeira investigação científica, voltada não apenas à constatação de suas estruturas já conhecidas, como também ao levantamento de hipóteses quanto à ocorrência de outras?	10 minutos
Materiais de apoio		
Vídeos	“QUARKS: TIJOLOS DA MATÉRIA”, disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=s0IJvsz1ulA; “O QUE SÃO QUARKS, FÉRMIONS, LÉPTONS E BÓSONS”, disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=8exyu9gYf6U.	

Textos e artigos	“Os quarks e suas combinações exóticas”, disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/os-quarks-e-suas-combinacoes-exoticas/; “A estranha vida dos quarks: uma investigação atenta da matéria”, disponível em: https://parajovens.unesp.br/a-estranha-vida-dos-quarks-uma-investigacao-atenta-da-materia/.	
Aula 7	O CUBO DE RUBIK 3x3x3	Duração
Etapas	Aula prática e interativa, com manuseio do Cubo de Rubik 3x3x3 por parte dos alunos, sendo distribuído um por estudante, mediante explicação de seu funcionamento e objetivo, bem como de técnicas de resolução. Apresenta-se, assim, uma possibilidade frente à indagação de encerramento do encontro imediatamente anterior.	30 minutos
	Espaço reservado para que os discentes busquem, individualmente ou em grupo, resolver o Cubo 3x3x3, aplicando as técnicas e conceitos observados na aula.	20 minutos
Materiais de apoio		
Vídeos	“Como Resolver Rapidamente um Cubo de Rubik 3x3 O Tutorial Mais Fácil”, disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=aJuUOG9FYIM; “Movimentos Básicos”, disponível em: https://cubovelocidade.com.br/tutorial/cubo-magico-3x3x3-movimentos-basicos/.	
Textos e artigos	“O CUBO MÁGICO E O APRENDIZADO DA FÍSICA”, disponível em: https://www2.unicentro.br/fisica/files/2017/12/TCC-Dijoli-versao-final.pdf?x63480; “Cubo De Rubik: Uma Ferramenta Para O Ensino De Física”, disponível em: https://www.academia.edu/86600478/Cubo_De_Rubik_Uma_Ferramenta_Para_O_Ensino_De_F%C3%ADsica; “OS BENEFÍCIOS DO CUBO MÁGICO NAS AULAS DE MATEMÁTICA NO ENSINO MÉDIO”, disponível em: https://monografias.brasilecola.uol.com.br/matematica/os-beneficios-cubo-magico-nas-aulas-matematica-no-ensino-medio.htm; “Movimentos Básicos”, disponível em: https://cubovelocidade.com.br/tutorial/cubo-magico-3x3x3-movimentos-basicos/.	
Aula 8	O CUBO DE RUBIK 2x2x2 (SUPERCUBO)	Duração
Etapas	Aula prática e interativa, com manuseio do Cubo de Rubik 2x2x2 por parte dos alunos, com a utilização de um por estudante, por meio de explicação de seu funcionamento e objetivo, além de técnicas de resolução, buscando-se explorar as distinções em relação ao 3x3x3.	30 minutos
	Momento dedicado a que os discentes busquem, por iniciativa própria, de modo individual ou em grupo, solucionar o Cubo 2x2x2, aplicando as técnicas e conceitos aprendidos na aula.	20 minutos
Materiais de apoio		
Vídeos	“Como Resolver o Cubo 2x2 (Método Básico)”, disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=m0lkYWPGp7Y.	

Textos e artigos	“O CUBO MÁGICO E O APRENDIZADO DA FÍSICA”, disponível em: https://www2.unicentro.br/fisica/files/2017/12/TCC-Dijoli-versao-final.pdf?x63480; “Cubo De Rubik: Uma Ferramenta Para O Ensino De Física”, disponível em: https://www.academia.edu/86600478/Cubo_De_Rubik_Uma_Ferramenta_Para_O_Ensino_De_F%C3%ADsica; “OS BENEFÍCIOS DO CUBO MÁGICO NAS AULAS DE MATEMÁTICA NO ENSINO MÉDIO”, disponível em: https://monografias.brasilecola.uol.com.br/matematica/os-beneficios-cubo-magico-nas-aulas-matematica-no-ensino-medio.htm.	
Aula 9	O CUBO DE RUBIK COMO INSTRUMENTO PARA APRENDIZAGEM DE FÍSICA DE QUARKS	Duração
Etapas	Aula expositiva interativa, com a utilização de Cubos em quantidade suficiente para cada um dos alunos, com a demonstração de que não há solução em um Cubo de Rubik, seja 2x2x2 ou 3x3x3, quando se “produz” apenas um quark ou um antiquark, isolados, no mesmo.	15 minutos
	Demonstração interativa, novamente com a repetição de passos pelos aprendizes, cada um com seu respectivo Cubo, do processo de “criação” de mésons neste para, a seguir, comprovar-se a existência de uma solução para tal configuração.	25 minutos
	Discussão e reflexão sobre as situações observadas e praticadas referentes aos quarks e suas respectivas representações no Cubo de Rubik, a fim de se promover a fixação de saberes.	10 minutos
Materiais de apoio		
Textos e artigos	“Rubik's Cube and Quarks: Twists on the eight corner cells of Rubik's Cube provide a model for many aspects of quark behavior”, disponível em: https://www.jstor.org/stable/27851433?searchText=rubik%27s%20cube%20solomon%20golomb%201982&searchUri=%2Faction%2FdoBasicSearch%3FQuery%3Drubik%2527s%2Bcube%2Bsolomon%2Bgolomb%2B1982%26so%3Drel&ab_segments=0%2Fbasic_search_gsv2%2Fcontrol&refreqid=fastly-default%3A7444da36b04e932b09dcd0b02c56d5f4; “Qbe: Quark Matter on Rubik's Cube”, disponível em: https://arxiv.org/abs/1702.06217.	
Aula 10	O CUBO DE RUBIK COMO INSTRUMENTO PARA APRENDIZAGEM DE FÍSICA DE QUARKS	Duração
Etapas	Aula expositiva interativa, com a utilização de Cubos por todos os discentes, demonstrando-se a “originação” de bárions constituídos apenas por quarks, resolvendo-se o cubo mágico adiante.	23 minutos
	Demonstração interativa da “originação” de bárions compostos apenas por antiquarks, solucionando-se o Cubo de Rubik na sequência.	23 minutos

	Instigação para que os alunos tentem, em casa, configurações superiores a mésons e bárions no Cubo de Rubik, promovendo-se a Aprendizagem Significativa através da investigação de novas hipóteses, algo que encontra total amparo na BNCC (Brasil, 2018).	4 minutos
Materiais de apoio		
Textos e artigos	“Rubik's Cube and Quarks: Twists on the eight corner cells of Rubik's Cube provide a model for many aspects of quark behavior” , disponível em: https://www.jstor.org/stable/27851433?searchText=rubik%27s%20cube%20solomon%20golomb%201982&searchUri=%2Faction%2FdoBasicSearch%3FQuery%3Drubik%2527s%2Bcube%2Bsolomon%2Bgolomb%2B1982%26so%3Drel&ab_segments=0%2Fbasic_search_gsv2%2Fcontrol&refreqid=fastly-default%3A7444da36b04e932b09dcd0b02c56d5f4 ; “Qbe: Quark Matter on Rubik's Cube” , disponível em: https://arxiv.org/abs/1702.06217 .	
Aula 11	OFICINA DE CULMINÂNCIA DA DISCIPLINA ELETIVA	Duração
Realização de oficina de culminância (encerramento) da disciplina eletiva, disseminando-se seu propósito a toda a escola e, até mesmo, à comunidade local. Assim, os discentes realizam apresentações acerca daquilo que aprenderam, demonstrando, inclusive, no Cubo de Rubik, as configurações permitidas e não permitidas de quarks e antiquarks presentes no artigo de Golomb (1982).		1 hora e 40 minutos
Aula 12	AVALIAÇÃO DE RESULTADOS	Duração
Produção, por parte dos estudantes, de seus respectivos relatos individuais quanto a todas as aulas e demais recursos pedagógicos que experienciaram, como forma de fixar o aprendizado e demonstrar a apropriação deste. Aplicação, também, da Avaliação de Resultados, para ser objetivamente aferido o grau de aprendizagem e compreensão dos alunos de acordo com os conteúdos apresentados, verificando-se a não existência de mera simulação da aprendizagem ou que esta não tenha ocorrido apenas mecanicamente.		50 minutos

Fonte: Teixeira, 2025.

Não se pode deixar de ressaltar que, no entendimento de Zabala (1998), a sequência didática se constitui em uma importante ferramenta que tem como meta facilitar o processo de ensino e aprendizagem. Nela, são ordenadas, estruturadas e articuladas atividades que, em conjunto, levem ao alcance dos objetivos educacionais esperados. Não tem caráter aleatório, uma vez que seu princípio e fim são do conhecimento tanto dos professores quanto dos alunos. Em que pese seja esse planejamento essencial para o sucesso da ação, sua execução se dá de forma dinâmica, havendo espaço para alterações e adaptações que se mostrarem necessárias, haja que não se trata de um processo estático. Nesse sentido, deve haver uma constante checagem dos resultados a cada etapa concluída (Zabala, 1998).

Mas a grande preocupação que se busca expressar por meio da sequência didática acima contida é, sobretudo, a da necessidade da incorporação de conteúdos de física moderna e contemporânea, ou seja, de tudo aquilo que é mais atual na disciplina, nos currículos da educação básica. Assim, o professor, ao planejar todo o encadeamento de uma proposta educacional, deve estar atento a essa constante nova realidade que se abre diante de todos e exige sua presença no cotidiano escolar.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por todo o exposto, nota-se uma relevante contribuição ao estudo de um constituinte fundamental da matéria, tendo como instrumento o cubo mágico. Com o uso da ludicidade, é perceptível o atingimento do objetivo proposto na introdução, sendo viável, portanto, que se ensine física de quarks seguindo-se a sequência didática proposta. Possibilita-se, através dos estímulos fornecidos, uma aprendizagem consideravelmente significativa, sem a necessidade de memorização ou repetição mecânica de conceitos.

Em consonância com as ideias de Ausubel, promoveu-se a diferenciação progressiva dos conteúdos ao se iniciar as aulas com os pensamentos filosóficos de Leucipo e Demócrito sobre o átomo, a fim de que não haja uma ruptura com os conhecimentos prévios dos alunos. Somente após toda a exposição acerca dos modelos atômicos é que se mostra, então, propícia a abordagem acerca dos quarks.

Assim, a estratégia de avaliação construída retrata mais fielmente o nível de aprendizado de uma turma. Atividades como a produção por parte dos alunos de relatos de experiências pode mensurar mais adequadamente o conhecimento adquirido, uma vez que os sujeita, em menor escala, a oscilações temporárias de seus estados emocionais em virtude da aplicação de uma prova tradicional ou mesmo à formulação inadequada de questões.

No que se refere ao Cubo de Rubik, este de fato ilustra um modelo para os quarks que seja compreensível aos estudantes. É estabelecida uma relação entre o jogo e a física de partículas, podendo-se afirmar que o aprendizado dos jovens sob aspectos não tradicionais é assegurado. A proposta de ensino científico através de um jogo popular e estimulante tende a ser bem recebida, promovendo a inclusão até mesmo dos alunos menos participativos.

O entretenimento, nesta jornada, foi um importante recurso pedagógico na busca por uma educação mais acessível a todos. Houve, também, um olhar atento às necessidades deste país, onde o incentivo à ciência e à tecnologia ainda se mostra incipiente. A inserção de componentes de física moderna e contemporânea na educação básica concede a todos, de forma democrática, a chance de aprender sobre um tema atual e relevante. Afinal, o conhecimento promovido nas escolas deve sempre caminhar ao lado das grandes descobertas científicas.

REFERÊNCIAS

A. Zabala. *A prática educativa: como ensinar* (Artmed, Porto Alegre, 1998).

Autor X₁. *O Cubo de Rubik como instrumento para aprendizagem de Física de Quarks*. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Estadual do Ceará, Quixadá, 2025.

Autor X₂; G.D. Saraiva; A.J.R. de Castro. Abordagem Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente para o ensino de Termodinâmica nas Mudanças Climáticas para alunos do Ensino Médio. *Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental*, [S. L.], v. 29, n. 2, p. 1–22, 2025. DOI <https://10.14295/ambeduc.v29i2.16459>

BRASIL. Ministério da Educação (MEC). *Base Nacional Comum Curricular: educação é a base*. Brasília, DF, [2018]. Disponível em https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf, acesso em 18 jul. 2025.

C.O. Silva, P. L. Natti. Revista Brasileira de Ensino de Física 29, 175 (2007). DOI <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172007000200002>

D.P. Ausubel. *Adquisición y Retención del Conocimiento: una perspectiva cognitiva*. (Paidós, Barcelona, 2002).

F.E.S. Silva-Pires; V.S. Trajano; T.C. de Araujo-Jorge. A Teoria da Aprendizagem Significativa e o jogo. Revista Educação em Questão, [S.L.], v. 58, n. 57, p. 1-21, 3 set. 2020. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. DOI <http://dx.doi.org/10.21680/1981-1802.2020v58n57id21088>

F.G. Araújo; G.I. Killner. A FÍSICA CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO: uma proposta utilizando o conceito de refração negativa. Revista Vivências em Ensino de Ciências, Recife, v. 3, n. 1, p. 146-159, 27 dez. 2019. Centro de Educação da Universidade Federal de Pernambuco.

Disponível em:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/vivencias/article/view/243827#:~:text=Embora%20a%20F%C3%ADsica%20Moderna%20e,la%20na%20sala%20de%20aula>. Acesso em: 05 maio 2024.

G.R. da Silva; P.H.R. dos Anjos. Cubo de Rubik: uma ferramenta para o ensino de Física. 2014.

Departamento de Física - Universidade Federal de Goiás. Disponível em:

<https://pdf.blucher.com.br/physicsproceedings/sefiscac/005.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2024.

K.T.S. Cabreiras. Aprendizagem significativa através de jogos e brincadeiras. Eventos Pedagógicos, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 335-349, 17 jun. 2019. Universidade do Estado do Mato Grosso - UNEMAT.

DOI <http://dx.doi.org/10.30681/rep.v10i1.10197>

M.A. Moreira. Teorias de Aprendizagem. (Ltc, Rio de Janeiro, 2021).

R.E. Mayer. *Cognitive Theory of Multimedia Learning*. **The Cambridge Handbook Of Multimedia Learning**, [S.L.], p. 31-48, 15 ago. 2005. Cambridge University Press. DOI <http://dx.doi.org/10.1017/cbo9780511816819.004>

S.W. Golomb. *American Scientist* **70**, 257 (1982).

T. Mendes, A. Cucchieri, T.B. Moraes. 2019. Instituto de Física de São Carlos - Universidade de São Paulo. Disponível em: https://www.ifsc.usp.br/~lattice/simetria_quarks7_clean, acesso em 31 jan. 2024. M.A. Moreira. Revista Brasileira de Ensino de Física 29, 161 (2007). DOI <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172007000200001>