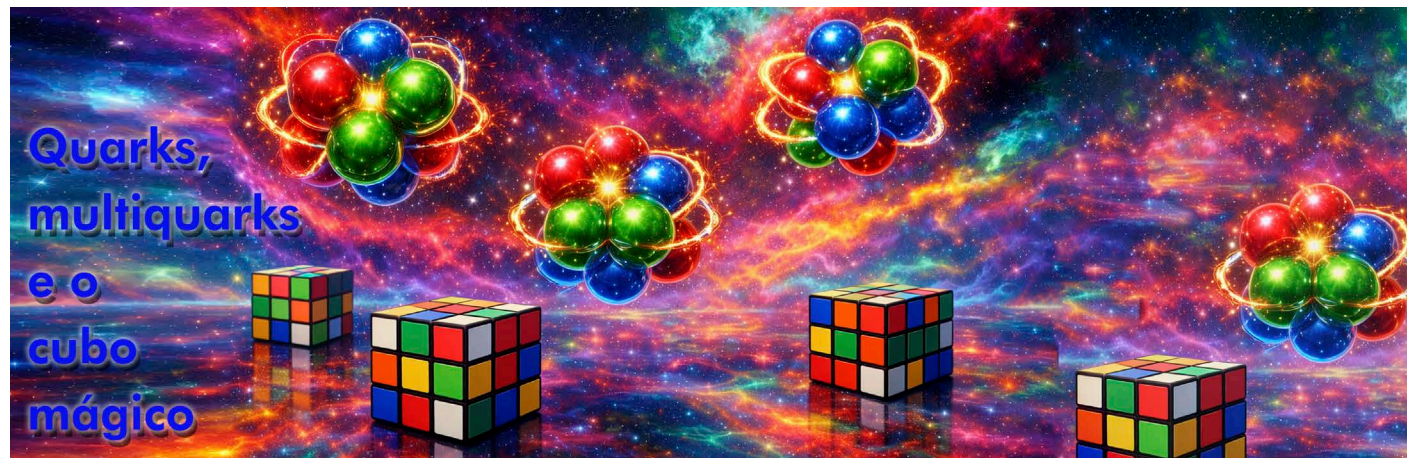




Raffael Frota Souto Teixeira^{1#} , Makarius Oliveira Tahim¹ 

¹Faculdade de Educação, Ciências e Letras do Sertão Central, Universidade Estadual do Ceará, Quixadá, CE, Brasil.

Palavras-chave

cubo mágico
física de partículas
quarks

Resumo

No presente artigo, é promovida uma discussão quanto à intrínseca relação entre torções em células dos oito vértices de um Cubo de Rubik (ou cubo mágico) e os quarks. Estes, postulados em 1964 de maneira independente por Murray Gell-Mann e George Zweig, são alguns dos componentes fundamentais do Universo. Eles constituem, por exemplo, prótons e nêutrons, além de possuírem interação no núcleo atômico com os glúons, por meio da força nuclear forte. Um cubo mágico possui seis faces, assim como os quarks têm igual quantidade de “sabores”: *up*, *down*, *bottom*, *top*, *charm* e *strange*. Por meio da metodologia discutida, é possível, dentre outras coisas, estabelecer um paralelo entre soluções e não-soluções do cubo com aspectos de física de confinamento de quarks. Pode-se realizar, ainda, uma demonstração de suas estruturas mais conhecidas, mésons e bárions, e de sua antipartícula, o anti-quark. Por outro lado, respeitando-se o modelo de Gell-Mann, é factível também a “criação”, no mesmo jogo, de formações maiores, exóticas e, para algumas situações, apenas hipotéticas. São elas: tetraquarks, pentaquarks, hexaquarks, heptaquarks e até mesmo octaquarks. Esse processo idealizado é limitado apenas pelo número de *corners* de um cubo. Com essas considerações, foram ampliados os horizontes originais da produção de Solomon W. Golomb. Todas elas podem ser ensinadas de maneira lúdica e didática a alunos da educação básica, propiciando a popularização e a difusão da ciência e a exposição desse público a tópicos de física moderna e contemporânea.

Autor de correspondência. E-mail: raffaelfisica@gmail.com.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Copyright © 2026, Copyright by Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

1. Introdução

O famoso cubo mágico, além de ser um passatempo bastante desafiador, pode ilustrar uma maneira de compreender um modelo para o comportamento dos quarks. Integrantes do núcleo atômico, os quarks são algumas das partículas elementares conhecidas na atualidade.

A relação é feita por meio de rotações nas oito células das extre-

midades do tradicional cubo $3 \times 3 \times 3$ (três linhas e três colunas em seis faces), com cores distintas em cada um de seus lados. Contudo, uma vez que apenas os vértices são essenciais a este estudo e que hoje são vários os formatos produzidos, basta que o cubo utilizado na ilustração do modelo seja o do tipo $2 \times 2 \times 2$ (dois por dois por dois), o denominado supercubo [1].

No mesmo sentido, pode-se estabelecer uma analogia entre

soluções do cubo e estados detectados e previstos de quarks e antiquarks, como mésons e bárions. Os preceitos em questão decorrem do princípio do confinamento de quarks e do desenvolvimento de ideias contidas no artigo de Solomon W. Golomb, de 1982. Entretanto, não há qualquer violação ao modelo de Gell-Mann na previsão da existência de tetraquarks, pentaquarks, hexaquarks, heptaquarks ou octaquarks, sendo possível também demonstrá-los por meio do referido quebra-cabeças [2].

Como se percebe, foram promovidos avanços nas considerações da obra de Golomb (1982), com a contribuição de outras representações mais complexas de quarks no cubo. Isso vai ao encontro do que afirma Moreira (2007), segundo o qual não há obstáculos epistemológicos a que se ensinem tais conteúdos a alunos da educação básica. Afinal, estes podem e devem ser inseridos no mundo das constantes descobertas científicas por meio de temas decorrentes da física moderna e contemporânea [3]. Mais especificamente, em se tratando de física de partículas, já há várias propostas que atingem esse fim de maneira bastante criativa, o que certamente se coloca como um grande desafio aos professores da área.

Com isso, o objetivo desta construção é a divulgação de um produto educacional capaz de favorecer a aprendizagem de alunos da educação básica sobre o tema dos quarks. Isso reduz a carência, para esse público, de conteúdos atualmente discutidos em grandes centros especializados ao redor do mundo, contribuindo efetivamente para a popularização da ciência entre os jovens.

Esse aprendizado tem amparo na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), uma vez que conhecer sobre os quarks tem especial valor para os estudantes, por estarem entre os constituintes basilares da matéria [4]. Além disso, pode-se concatenar esses estudos com outros, mais atuais, como projetos voltados à produção e análise do plasma de quark-glúon. Originado apenas sob a ação de altas energias, é altamente provável que esse composto ilustre o Universo logo após o *Big Bang* [5].

2. Os quarks

Os quarks, representados artisticamente na Fig. 1, assim como outras partículas elementares, são constituintes fundamentais da matéria e não possuem estrutura interna, portanto não se classificam como hádrons [3]. Foram postulados em 1964 por Murray Gell-Mann e George Zweig, de modo independente. A primeira detecção aconteceu anos mais tarde, em 1968, no Centro de Aceleração Linear de Stanford (SLAC). Em interações com os glúons, estão sob a ação da força forte

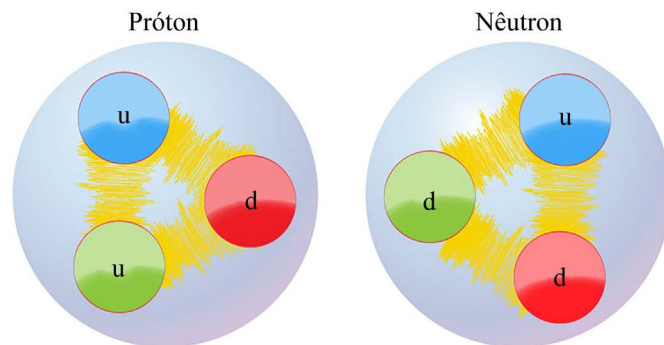


Figura 1 - Representação de quarks e glúons em prótons e nêutrons. Fonte: Ref. [6].

nos núcleos atômicos, para que estes não se desintegram [3].

Os quarks não são detectados de maneira isolada, apenas confinados em hádrons. Isso significa que ou se apresentam em pares com um antiquark ou compõem estruturas maiores, por meio de combinações ou caminhos permitidos. As restrições daí decorrentes estão pre-

vistas no princípio do confinamento de quarks. A expressão “quarks confinados” significa que eles estão sempre “presos” no interior de partículas maiores, como prótons e nêutrons. O conceito de quark isolado, na realidade, é uma impossibilidade física, assim como monopolos magnéticos de um ímã - ao se partir um ímã ao meio, o resultado é a formação de dois novos ímãs, cada um com dois polos magnéticos [1].

Naturalmente, as partículas elementares têm propriedades fundamentais, como a carga e o spin intrínseco. A noção de carga abrange diferentes tipos e indica a interação à qual a partícula está sujeita - por exemplo, a carga gravitacional, associada à massa, ou a carga elétrica, ligada à interação eletromagnética. Quando as partículas se combinam, formam outras com propriedades resultantes da soma de suas massas, cargas elétricas, cores e spins.

Essas combinações, no entanto, obedecem às leis da física de partículas, como a conservação de cargas, de momento angular e de “cor” [3].

Pelo princípio da exclusão de Pauli, seria possível questionar a existência de partículas compostas por três quarks iguais ou de mesmo “sabor”. Contudo, Murray Gell-Mann e Yuval Ne'eman, em previsão teórica de 1962, chegaram à partícula Ω , formada exatamente por três quarks idênticos [3]. A partir daí, tornou-se possível esboçar o atual modelo de quarks, com os hádrons passando a ser compreendidos como estados ligados desses constituintes [7]. Em 1964, Oscar Greenberg sugeriu que os quarks, além do “sabor”, possuíam também a propriedade da “cor”. Esta, embora

O conceito de quark isolado é uma impossibilidade física, assim como monopolos magnéticos de um ímã

A combinação de três quarks de cores primárias diferentes, assim como de um quark e de um antiquark de cores opostas, dá origem a uma partícula “branca”

semelhante à carga elétrica, apresentaria três variedades. Assim como o “sabor”, não corresponde ao significado habitual da óptica, mas deriva de uma analogia com a teoria das cores de Isaac Newton [3].

Portanto, a associação de três quarks de cores primárias diferentes, assim como de um quark e de um antiquark de cores opostas, produz uma partícula “branca” [7]. Tais variedades foram denominadas vermelho, verde (ou amarelo) e azul, para os quarks, e antivermelho, antiverde e antiazul, para os antiquarks. Logo, enquanto algumas partículas possuem “cor”, outras não, sendo “brancos” os léptons e “coloridos” os quarks. A conclusão a que se chega é de que a “cor” é uma característica capaz de diferenciá-las [3]. Somando-se o total de quarks e antiquarks, chega-se a 36. Isso porque cada um dos 6 “sabores” de quarks pode se manifestar em 3 cores, totalizando 18. O mesmo ocorre com os antiquarks e suas respectivas anticolors, em igual quantidade [8].

Os hádrons, que são estruturas compostas por quarks e representam a grande maioria das partículas elementares, podem ser geralmente mésons, originados a partir de um par quark-antiquark, ou bárions, quando formados por três quarks ou três antiquarks [9]. Apesar de os quarks possuírem carga elétrica fracionária, $(+2/3)e$ ou $(-1/3)e$, a soma algébrica destas, em uma partícula maior, é um número inteiro múltiplo de e [3].

2.1. Formações complexas de quarks

Embora mésons e bárions sejam as formações mais comuns na natureza, a cromodinâmica quântica (QCD) não proíbe a existência de partículas com estruturas mais complexas do que as formadas por três quarks ou três antiquarks. Tampouco isso representa qualquer violação ao modelo de Gell-Mann, como mencionado [8].

Essa possibilidade é respaldada por um número crescente de resultados experimentais, que sugerem a existência de estados exóticos como tetraquarks e pentaquarks (estes últimos ilustrados na Fig. 2). Tais partículas integram os chamados sistemas multiquarks, visto que diversas combinações de quarks e antiquarks ainda são matematicamente permitidas [8]. Além disso, essa perspectiva também é reforçada pelo estudo dos quarks por meio do cubo mágico, como se verá adiante.

Tetraquarks são estruturas formadas por dois quarks e dois antiquarks, enquanto pentaquarks seriam compostos por quatro quarks e um antiquark ou quatro antiquarks e um quark. Os tetraquarks seriam constituídos por estados ligados de dois mésons, ao passo que os pentaquarks resultariam da união entre um bárion – constituído apenas por quarks ou somen-

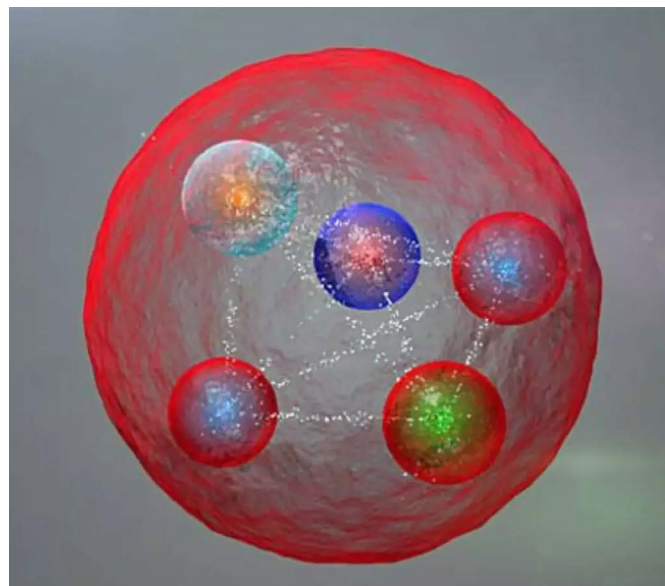


Figura 2 - Pentaquark artístico. Fonte: Ref. [10].

te por antiquarks – e um méson. Essas configurações não violam os princípios da QCD, pois também dão origem a estruturas “sem cor” [8].

Após essa breve introdução, são apresentados tópicos relativos ao cubo mágico, sua criação e características e a possibilidade de utilizá-lo como um modelo para os quarks, representando-os em uma atividade lúdica e instigante, com muitos e surpreendentes pontos de similaridade.

3. O cubo mágico

O cubo mágico é um quebra-cabeças geométrico também conhecido como Cubo de Rubik, nome que remete ao seu inventor, Erno Rubik. Ainda hoje faz muito sucesso, principalmente entre os jovens, havendo inclusive competições premiando quem o resolve no menor tempo. Até mesmo artigos científicos, como o de Golomb (1982), e jornais de grande circulação já lhe dedicaram espaço, destacando-o sob os mais diversos aspectos [2].

Atualmente, é produzido em vários tamanhos e formatos, sendo o modelo tradicional o $3 \times 3 \times 3$, mas também é comum o $2 \times 2 \times 2$, ambos ilustrados na Fig. 3. Foi criado em 1974 como ilustração da terceira dimensão para alunos de um curso de arquitetura. A produção em escala comercial iniciou-se na década de 1980.

Trata-se de um quebra-cabeças tridimensional em que o jogador deve devolvê-lo ao seu estado original, após um processo de embaralhamento, com cada face em somente uma cor. Suas divisões horizontais são linhas e as verticais, em igual quantidade, colunas. Conforme veremos a seguir, é um instrumento muito útil para o ensino de física, sendo usado na apresentação e

Diversas combinações de quarks e antiquarks, integrantes dos sistemas multiquarks, ainda são matematicamente permitidas



Figura 3 - Cubos de Rubik $3 \times 3 \times 3$ e $2 \times 2 \times 2$, respectivamente. Fonte: Ref. [2].

ilustração de diversos conceitos e modelos científicos [2].

3.1. Os quarks pelo cubo mágico

Para construir essa analogia, é preciso estabelecer duas relações básicas no cubo mágico: uma rotação de 120° , no sentido horário, aplicada a uma célula de canto (*corner*) situada na diagonal do cubo representa um quark; por outro lado, um giro de 120° no sentido anti-horário dessa mesma célula corresponde a um antiquark [1].

Além disso, conforme apresentado por Golomb (1982), a torção de apenas um vértice do cubo em sua configuração original, seja no sentido horário ou anti-horário, impossibilita sua resolução. Isso equivale à afirmação de que não se pode “produzir” um quark ou antiquark isoladamente, como já abordado no tópico sobre o princípio do confinamento de quarks. Todavia, a rotação de dois *corners* quaisquer em sentidos opostos leva à “criação” de um méson, formado por um par quark-antiquark, situação que encontra paralelo direto na natureza.

Já as torções de três células de canto, todas no mesmo sentido - 120° horários ou anti-horários, representando três quarks ou três antiquarks, respectivamente - “correspondem” a um bárion. E, assim como nos sistemas reais, verifica-se que a soma algébrica dos giros é um número múltiplo de 360° [1]. Dessa forma, mapeiam-se soluções do cubo para partículas compostas de quarks observadas na natureza e não-soluções para quarks e antiquarks isolados e demais arranjos não permitidos, como indicado pela Eq. (1):

$$q \cdot 120^\circ - aq \cdot 120^\circ = n \cdot 360^\circ, \quad (1)$$

onde q representa a quantidade de quarks envolvida na estrutura e aq , a de antiquarks. Por outro lado, n é o número de voltas realizadas no ciclo trigonométrico, resultando, portanto, em um múltiplo de 360° . Assim, considerando-se, por exemplo, um pentaquark, sendo uma de suas possibilidades constituída por quatro quarks e um

antiquark, temos:

$$(4) \cdot 120^\circ - (1) \cdot 120^\circ = n \cdot 360^\circ \quad (2)$$

$$480^\circ - 120^\circ = (1) \cdot 360^\circ = 360^\circ \quad (3)$$

Assim, com essa metodologia, aspectos de física de confinamento de quarks podem ser demonstrados de maneira bastante lúdica e compreensível. A Fig. 4 ilustra um quark (à esquerda) e um antiquark (à direita) isolados, combinações que não podem ser solucionadas no cubo mágico [2].

Em ambas as situações ilustradas na Fig. 4, é impossível devolver o cubo à configuração original, assim como se isolar um quark ou antiquark, ao menos em processos que não envolvam altas energias. Já em outra análise, um quark em um vértice do cubo (Fig. 5) conjugado com um antiquark em qualquer dos outros sete *corners* é uma configuração permitida, da mesma forma que um méson real [2].

Similarmente, podem ser representados três quarks ou três antiquarks no cubo (Fig. 6), duas configurações diferentes de um bárion [2].

Retomando os conceitos de “cores” e “sabores”, observamos que tais ideias não dizem respeito à aparência ou ao sabor em seu sentido habitual. Nesse contexto, são consideradas “brancas” as configurações observáveis de quarks, pois resultam de combinações

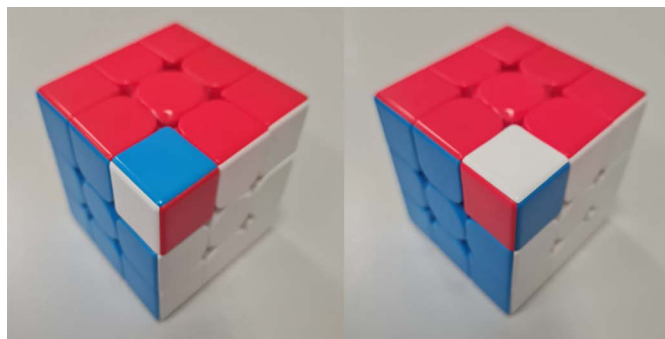


Figura 4 - Quark e antiquark isolados no cubo mágico. Fonte: Ref. [2].

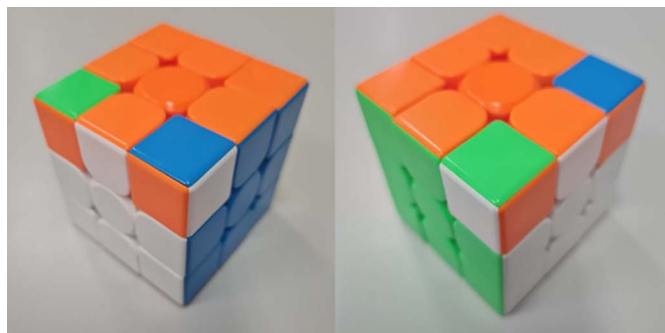


Figura 5 - Méson no Cubo de Rubik. Fonte: Ref. [2].

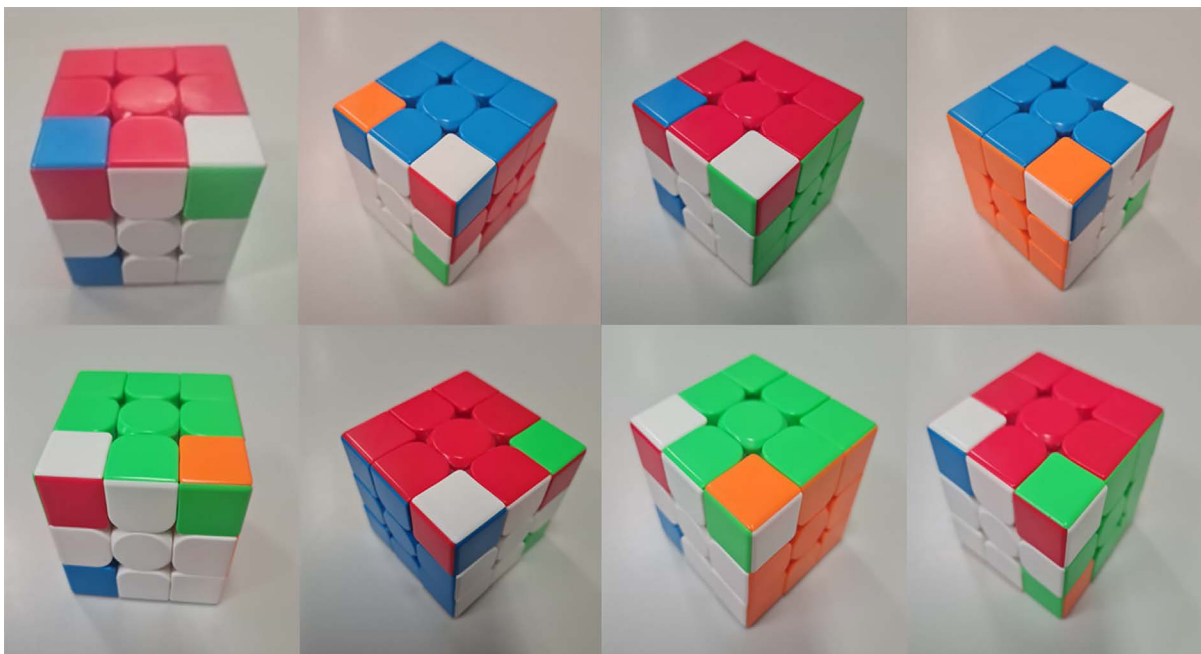


Figura 6 - Bárions no cubo mágico. Fonte: Ref. [2].

de cores como vermelho com antivermelho ou vermelho com azul e verde [1]. Por essa razão, no arranjo mais comum do cubo, percebem-se quantidades idênticas das três cores e suas respectivas três anticores. Independentemente da quantidade de giros, o número total de facetas de cada cor não se altera. Assim, ao se obter uma configuração de quarks no cubo, ele permanecerá, como na realidade, sem “cor”. Desse modo, é estabelecida a analogia entre as seis “cores” dos quarks e as seis cores das faces do cubo [1].

Considerando que a unidade de análise para quarks e antiquarks em um Cubo de Rubik são apenas seus vértices, pode-se afirmar que, para representá-los, o modelo mínimo necessário é o cubo do tipo $2 \times 2 \times 2$, ou supercubo, formado somente por *corners* [1]. Na Fig. 7, ele é apresentado em seu estado inicial (imagem superior esquerda), com um quark (superior direita) e com um antiquark (central, à esquerda), situações de resolução impossível; com um méson (central, à direita) e com bárions, formados apenas por quarks (abaixo, à esquerda) ou por antiquarks (abaixo, à direita).

Utilizando conceitos de teoria de grupos, observa-se que a simetria de “cores” dos quarks deriva do $SU(3)$, o grupo unitário especial em três dimensões, contínuo e com infinitos elementos. Ele é representado por matrizes unitárias 3×3 de entradas complexas, podendo ser compreendido a partir de transformações análogas às rotações usuais. Estas, por sua vez, também formam um grupo importante em física, descrito em termos de mudanças dos eixos coordenados (X , Y e Z) especificamente pelas matrizes de rotação do $SO(3)$. Enquanto as rotações do $SO(3)$ acontecem no espaço real, as transformações do $SU(3)$ também podem ser

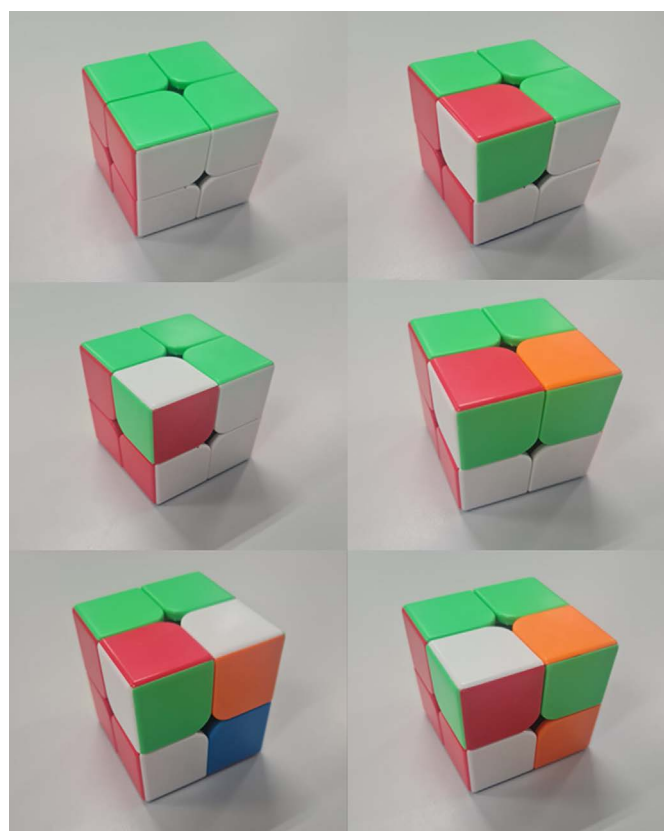


Figura 7 - O supercubo.

interpretadas como rotações, porém em um “espaço interno” ao modelo físico [11].

Nesse sentido, uma nova analogia se mostra útil. Imagine-se uma caixa com algumas bolinhas em seu interior: as rotações da caixa correspondem às trans-

formações $SO(3)$ no espaço real, enquanto as mudanças internas das posições das bolinhas (invisíveis externamente, pois estão no espaço interno da caixa) são interpretadas como as transformações do $SU(3)$. De fato, não é absurdo se pensar nas bolinhas como grupos de quarks e na caixa como uma partícula formada por quarks. O $SU(3)$ descreve as propriedades de formação dessas partículas, mas é possível distinguir diferentes “representações” dele, ou seja, diferentes maneiras como as características do grupo se manifestam. A analogia da caixa pode ser aplicada diretamente ao cubo mágico, já que as rotações $SO(3)$ correspondem às rotações do cubo no espaço real. Por outro lado, rotações de faces, de camadas simples e de camadas duplas, representam as rotações internas nessa analogia com o $SU(3)$. Assim, ao se considerar quarks como *corners* rotacionados do cubo, as rotações internas simplesmente mudariam as posições deles, como ocorre com as bolinhas dentro da caixa [11].

3.2. Configurações complexas de quarks no cubo mágico

O encadeamento das ideias aqui discutidas levou à proposição de um avanço em relação ao trabalho de Golomb (1982). Neste, destacou-se a possibilidade de representação, no cubo mágico, de um modelo que explicita soluções relativas a mésons e bárions, bem

Também é possível a resolução do cubo para combinações maiores de quarks, mesmo que exóticas ou hipotéticas

como a impossibilidade de existência de quarks ou antiquarks isolados. Contudo, durante a elaboração deste artigo, verificou-se que também é possível resolver o cubo para outras combinações de quarks, mesmo que exóticas ou hipotéticas. O Quadro 1 traz demonstrações em consonância com o modelo de Gell-Mann,

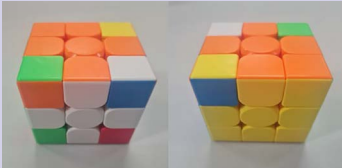
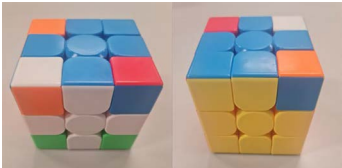
embora limitadas à quantidade de oito vértices do cubo [2]:

Um exemplo dessas estruturas, o pentaquark (Fig. 8), resultaria da combinação de um méson e de um bárion. A quantidade finita de vértices dos dois modelos de cubo utilizados,

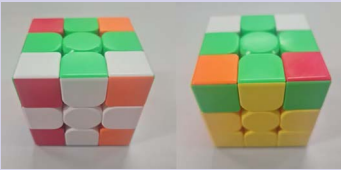
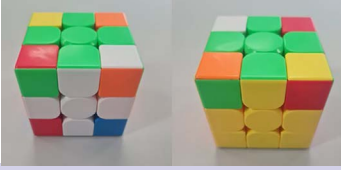
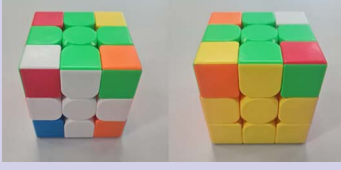
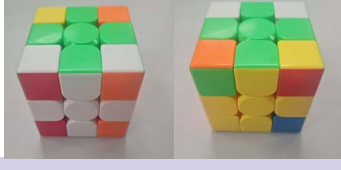
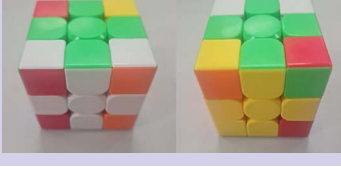
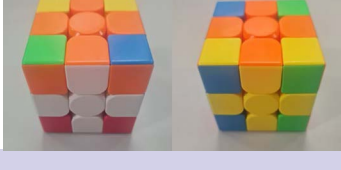
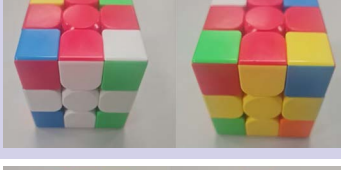
entretanto, inviabilizou que mais estruturas fossem conjecturadas. Novas similaridades com esses conceitos científicos, possivelmente existentes, teriam de ser testadas em outros formatos, dessa vez com mais de oito células de canto [2].

Eis, portanto, uma ampliação significativa em relação às conclusões de Golomb (1982), ressaltando-se novamente a consonância com as previsões de Gell-Mann. O avanço na postulação e detecção de outras formações de quarks foi o elemento propulsor da curiosidade científica que levou à testagem e descoberta de estruturas mais complexas no cubo. Isso só se tornou possível agora porque, após a publicação do artigo de Golomb (1982), ocorreram, por exemplo, detecções de espécies de tetraquarks e pentaquarks realizadas por experimentos como o Belle, no Japão, e no acelerador de partículas do Conselho Europeu de Pesquisa Nuclear (CERN) [2].

Quadro 1: Outras configurações de quarks no cubo mágico.

Estrutura	Formação	Representação no Cubo de Rubik
Tetraquark	2 quarks e 2 antiquarks (2 mésons).	
Pentaquark	4 quarks e 1 antiquark (1 méson e 1 bárion formado apenas por quarks).	
Pentaquark	4 antiquarks e 1 quark (1 méson e 1 bárion constituído apenas por antiquarks).	

(continua)

Quadro 1 - Continuação		
Estrutura	Formação	Representação no Cubo de Rubik
Hexaquark	3 quarks e 3 antiquarks (3 mésons ou 2 bárions, sendo um destes formado apenas por quarks e o outro somente por antiquarks).	
Hexaquark	6 quarks (2 bárions produzidos apenas por quarks).	
Hexaquark	6 antiquarks (2 bárions compostos apenas por antiquarks).	
Heptaquark	5 quarks e 2 antiquarks (2 mésons e 1 bárion formado somente por quarks).	
Heptaquark	5 antiquarks e 2 quarks (2 mésons e 1 bárion constituído apenas por antiquarks).	
Octaquark	4 quarks e 4 antiquarks (4 mésons).	
Octaquark	7 quarks e 1 antiquark (1 méson e 2 bárions concebidos a partir de 6 quarks).	
Octaquark	7 antiquarks e 1 quark (1 méson e 2 bárions originados por 6 antiquarks).	
Octaquark	4 quarks e 4 antiquarks (1 méson e 2 bárions, sendo um destes formado apenas por quarks e o outro unicamente por antiquarks).	

Fonte: Ref. [2].

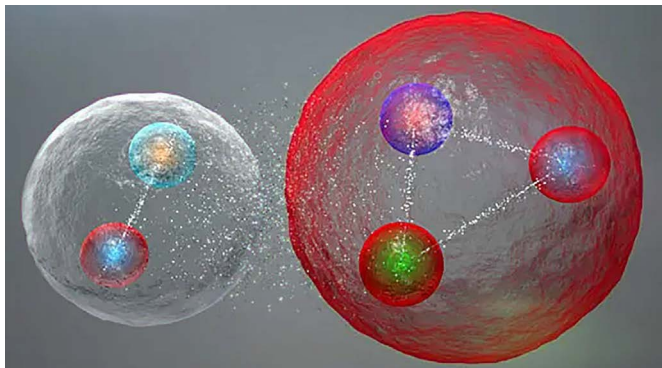


Figura 8 - Representação de uma das possíveis combinações que dão origem a um pentaquark. Fonte: Ref. [10].

4. Sequência didática sugerida para aplicação do produto educacional

Para evidenciar o papel pedagógico desta proposta educacional, o [Quadro 2](#) traz uma sequência didática composta por 12 aulas, em sua forma mais sucinta, a título de exemplo. As aulas, respaldadas pela teoria da aprendizagem significativa, de David Ausubel, têm duração de 50 min cada e são direcionadas a alunos de quaisquer das séries do Ensino Médio.

É preciso se destacar que disciplinas eletivas estão inseridas no âmbito da atual política educacional brasileira. Elas abrangem diferentes habilidades e promovem a diversificação didática de saberes, aprofundando, enriquecendo e ampliando o conhecimento dos discentes sobre um ou mais componentes curriculares. São, portanto, matérias pelas quais os alunos poderão livremente optar, seja por maior aptidão natural ou aspiração profissional, e que não fazem parte, necessariamente, de seus respectivos itinerários formativos.

5. Conclusões e perspectivas de trabalho

Diante do exposto, é fascinante como o mecanismo apresentado pode favorecer o aprendizado de conheci-

O mecanismo apresentado pode favorecer o aprendizado de conhecimentos relativos à física moderna e contemporânea ainda distantes do grande público. Fica demonstrado, portanto, que não existem obstáculos epistemológicos ao ensino de quarks para alunos da educação básica

mentos ao mesmo tempo tão relevantes e, infelizmente, ainda distantes do grande público. Assim, mesmo que inicialmente pareça inimaginável, vemos um elemento basilar da matéria “concretizado” nas faces do popular cubo mágico, de forma lúdica e repleta de analogias ricas e ações instigantes, sem nenhum prejuízo aos conceitos ou aos aspectos teóricos envolvidos.

Esse instrumento não é um fim em si mesmo; ao contrário, pode, e deve, ter sua utilização replicada com finalidade pedagógica, já que seus fundamentos são compreensíveis para as mais diversas faixas etárias. Com isso, alcançou-se o objetivo descrito na introdução: a elaboração de um produto educacional capaz de promover a aprendizagem sobre quarks na educação básica. A consequência esperada é o aumento da oferta de conteúdos relacionados à física moderna e contemporânea nesse nível de ensino, o que acaba por contribuir para a popularização da ciência entre o público-alvo.

Como se disse, houve livre inspiração no artigo de Golomb (1982) para a produção deste artigo. Contudo, existiu a preocupação de se trazer novidades científicas que pudessem ampliar as já significativas concepções físicas e matemáticas tratadas. Desse modo, fomos além de resoluções para os casos de mésons e bárions fictícios no cubo, assim como de configurações que atestassem a não existência de quarks e antiquarks isolados. Exploramos, assim, a comprovação de soluções para outros estados exóticos, ou até mesmo hipotéticos, como tetraquarks, pentaquarks, hexaquarks, heptaquarks e octaquarks. Só

não foram verificadas mais possibilidades por haver apenas oito *corners* para cubos dos tipos $2 \times 2 \times 2$ e $3 \times 3 \times 3$, que foram os modelos empregados nesta pesquisa.

Vale ressaltar que este é um trabalho ainda em desenvolvimento, que conta com diversas perspectivas promissoras, as quais esperamos implementar em outros artigos ou em uma tese. O saber aqui contido é tão

Quadro 2: Sequência didática sugerida.

Aulas	Conteúdos
1	Aplicação de avaliação diagnóstica.
2 e 3	Aulas expositivas dialogadas contendo os modelos atômicos.
4	Aula expositiva dialogada sobre as principais partículas subatômicas conhecidas na atualidade.
5	Realização de avaliação de percurso, como forma de, ao longo da sequência, ser aferido o desenvolvimento dos alunos.
6	Aula expositiva dialogada sobre o conceito e as principais características dos quarks, englobando o antiquark, os seis tipos de quarks, suas cargas elétricas de caráter fracionário, mésons e bárions e o princípio do confinamento de quarks.
7 e 8	Aulas práticas com o Cubo de Rubik ($2 \times 2 \times 2$ ou $3 \times 3 \times 3$), para explicação de seu funcionamento e objetivo.
9 e 10	Utilização do Cubo de Rubik para demonstração de possíveis estados de quarks e antiquarks.
11	Oficina de culminância da disciplina eletiva, com apresentação, por uma equipe de alunos, daquilo que foi aprendido durante as aulas anteriores.
12	Avaliação de resultados, com relatos individuais dos estudantes.

vasto que não encontra limites em física de partículas, podendo ser expandido para outras áreas de estudo, como a astrofísica, visto que também já se produziram trabalhos relacionando o Cubo de Rubik a buracos negros.

Para além disso, aspiramos a um aprofundamento das ideias relacionadas à teoria de grupos, em especial no que diz respeito à simetria do tipo $SU(3)$, uma vez que a essência de conceitos como o de carga de “cor” deriva desse grupo unitário especial. Do mesmo modo, pretendemos abordar as principais aplicações tecnológicas associadas ao estudo de quarks e outras partículas fundamentais, como é o caso do plasma de quark-glúon.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio dispensado pela Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap), pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela Sociedade Brasileira de Física (SBF) e pela Universidade Estadual do Ceará (Uece) para a produção deste trabalho.

Recebido em: 9 de Setembro de 2025

Aceito em: 22 de Dezembro de 2025

Referências

- [1] S.W. Golomb, *American Scientist* **70**, 257 (1982).
- [2] R.F.S. Teixeira, *O Cubo de Rubik como instrumento para aprendizagem de Física de Quarks*. Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Estadual do Ceará, Quixadá, 2025.
- [3] M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 161 (2007). doi
- [4] Brasil, Ministério da Educação, *Base Nacional Comum Curricular: Educação é a Base*. (MEC, Brasília, 2018). Disponível em https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf, acesso em 18/7/2025.
- [5] J. Noronha-Hostler, B. Betz, J. Noronha, M. Gyulassy, *Arxiv* **2**, 1 (2016). doi
- [6] B. Abdalla, *Jornal da USP* (2019) Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/maior-acelerador-de-particulas-do-mundo-passa-por-um-upgrade-o-que-vem-por-ai/>, acesso em 30/6/2025.
- [7] T. Mendes, A. Cucchieri, T.B. Moraes, *Yuval Ne'eman e o Grupo de Simetria dos Quarks* (Instituto de Física de São Carlos, São Carlos, 2019). Disponível em: https://www.ifsc.usp.br/~lattice/simetria_quarks7_clean, acesso em 31/1/2024.
- [8] C.O. Silva, P.L. Natti, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 175 (2007). doi
- [9] M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **31**, 1306 (2009). doi
- [10] D. Dominguez, *CERN* (2015) Disponível em: <https://home.cern/news/news/accelerators/discovery-new-class-particles-lhc>, acesso em 30/6/2025.
- [11] A. Zee. *Group Theory in a Nutshell for Physicists* (Princeton University Press, Princeton, 2016).