

Desenvolvimento em Ensino de Física

Explorando o CERN na física do Ensino Médio

(Exploring CERN in the High School physics content)

Fabiana Botelho Kneubil¹

Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, SP, Brasil

Recebido em 11/4/2012; Aceito em 2/2/2013; Publicado em 24/4/2013

Este artigo tem como objetivo mostrar que, mesmo no maior centro de pesquisa do mundo, onde se produz conhecimento científico e tecnológico, é possível transmitir conhecimentos aos alunos de Ensino Médio, baseados nos conteúdos do currículo escolar. Hoje se defende muito a inserção de física moderna e contemporânea no Ensino Médio e as razões para tais inovações curriculares são bem compreendidas no meio acadêmico, uma vez que é notável o desenvolvimento tecnológico que nos cerca. Entretanto, queremos mostrar que, mesmo no CERN, os conhecimentos considerados “antigos” estão muito presentes, não só nas instalações, como também no dia-a-dia de todos que atuam e colaboram nesse ambiente.

Palavras-chave: inovação curricular, competências, contextualização da ciência, CERN.

This article aims at showing that even in the world's largest research center, where scientific and technological knowledge is produced, it is possible to transmit knowledge to high school students. Nowadays it is widely defended the need of inserting modern and contemporary physics topics into high school curricula. The reasons for such kind of innovations are well understood in the academia, since the technological development that surrounds us is remarkable. However, we want to show that even at CERN, “old knowledge” is still very present, both in the equipment and in the daily life of everybody working in this environment.

Keywords: curricula innovation, competencies, science contextualization, CERN.

1. Introdução

A realidade com que o Ensino Médio brasileiro se depara nos dias de hoje é, muitas vezes, desanimadora para os professores de física. Qual professor pode dizer que nunca ouviu de um aluno a pergunta “para que serve isso que você está ensinando?” numa aula tradicional de física? Professores passam diariamente por situações como esta e, na maioria das vezes, se sentem desamparados, sem saber muito o quê fazer para melhorar o ensino e contextualizar essa ciência, que parece estar tão desconectada da vida real dos alunos. Cada vez mais, os avanços tecnológicos estão presentes no nosso cotidiano e, inevitavelmente, questões sobre ciência e tecnologia são levantadas pelos alunos em sala de aula. É sonho de muito professor poder falar de física moderna no Ensino Médio. Entretanto, parece que esse desejo é inatingível e, à medida que ele aumenta, outras questões aparecem, que evidenciam a dificuldade disso acontecer.

As pesquisas sobre inovações curriculares no Ensino Médio brasileiro vêm crescendo nos últimos anos e a inclusão de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) tem ganhado destaque. Muitos autores apon-

tam fatores que impedem a inserção efetiva de FMC nas escolas, tais como a má formação docente nos cursos de licenciatura e, principalmente, a escassez de materiais didáticos [1-5]. Esses fatores comprometem um ensino básico voltado à formação científica de um cidadão para atuar na sociedade.

Nas ciências, o conhecimento está em contínua transformação, e o mesmo acontece com os valores sociais. Isso motiva a necessidade da constante reestruturação do sistema de ensino. No Brasil, em 1996, a LDB orientou a direção de mudanças da educação básica e, dois anos depois, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) foram publicados para sugerir uma reorientação das práticas educacionais e ampliar os objetivos da escola. Segundo eles, o ensino deveria ser baseado na construção de competências e habilidades [6] e, a partir daí, o ensino por competências começou a ser alvo do discurso educacional.

Observa-se, porém, que na prática poucas ações foram efetivamente feitas nesta direção [7]. Um dos motivos para a não implementação das propostas dos PCN em sala de aula é a pouca compreensão do que são as competências propostas e, principalmente, como as aliar ao conteúdo já pré-estabelecido no currículo [8].

¹E-mail: fkneubil@ig.com.br.

Nos PCN+, o conhecimento das ciências da natureza está organizado em três grandes áreas, sendo que uma delas é a Contextualização sócio-cultural, que tem com foco principal a tecnologia aliada com a ciência [9]:

Contextualização sócio-cultural
Ciência e tecnologia na história Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social.
Ciência e tecnologia na cultura contemporânea Compreender a ciência e a tecnologia como partes integrantes da cultura humana contemporânea.
Ciência e tecnologia na atualidade Reconhecer e avaliar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social.
Ciência e tecnologia, ética e cidadania Reconhecer e avaliar o caráter ético do conhecimento científico e tecnológico e utilizar esses conhecimentos no exercício da cidadania.

É interessante notar que essas competências sugeridas pelos PCN+ não citam quais conteúdos devem ser abordados. Isso permite ao professor ter a liberdade de escolher os tópicos de física que ele julga que cumprem tais objetivos traçados anteriormente. Mesmo com essa aparente liberdade, os saberes que chegam à sala de aula são ditados por normas curriculares, pelos vestibulares e são aqueles presentes nos manuais didáticos, dos quais os professores acabam ficando dependentes.

Esses saberes que chegam à sala de aula decorrem de um percurso epistemológico que pode ser descrito pela Teoria da Transposição Didática (TD), da didática francesa, proposta por Yves Chevallard [10]. Segundo ele, a construção do saber escolar acontece numa relação *ternária* entre o professor (P), o aluno (A) e o saber (S). Cada um desses elementos se relaciona com os demais, através de dimensões *cognitiva* (entre A e S), *epistemológica* (entre P e S) e *sociológica* (entre P e A). Na representação da Fig. 1, temos os três elementos citados. Além deles, existem outras influências externas, que fazem parte de um contexto mais amplo, denominado *Sistema de Ensino*.

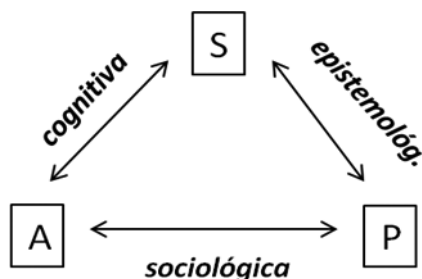


Figura 1 - Relação ternária da TD.

Segundo Chevallard, os saberes passam por dois processos de didatização e, em todo processo de ensino,

²Esse termo é usado por Chevallard e corresponde a uma atitude individual que permite ao professor refazer o percurso do saber e verificar a pertinência e validade do processo de ensino.

existem três níveis diferentes para este saber, desde a sua origem no ambiente acadêmico até a sala de aula: o *Saber Sábio*, o *Saber a Ensinar* e o *Saber Ensinado*.

A teoria da transposição didática surgiu na matemática e é um referencial teórico bastante útil, que também pode ser aplicado ao ensino de ciências. O saber sábio é produzido pelos cientistas e diz respeito a um saber na sua forma “bruta”, sem didatização, presente nos *papers*, universidades, artigos acadêmicos e centros de pesquisa científica. Esse saber, em geral, não chega à sala de aula, pois possui uma linguagem muito específica à comunidade científica.

O saber a ensinar é o saber presente nos manuais e programas didáticos, após sofrerem uma transposição, chamada *externa*, que modifica o saber inicial e o didatiza, transcrevendo-o com uma linguagem mais acessível aos alunos. Por fim, o saber ensinado é o saber que chega efetivamente na sala de aula, sendo o professor um agente que trabalha no interior dessa transposição, chamada *interna*. Verifica-se que, nesse processo de transposição, supostamente acontece uma simplificação, gerando um outro saber com um novo estatuto epistemológico, chamado *saber escolar* [11-12]. Um esquema geral da transposição didática pode ser visualizado na Fig. 2. As etapas (1) e (2) correspondem às transposições externa e interna, respectivamente.

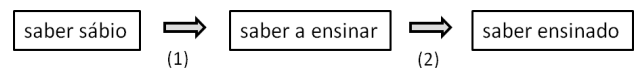


Figura 2 - Esferas do saber da transposição didática.

Embora saibamos que, inevitavelmente, o saber que aparece na sala de aula é diferente do saber original, cabe ao professor praticar a *vigilância epistemológica*² para garantir se aquilo que ele está ensinando cumpre com os objetivos deliberados anteriormente.

Hoje, quando se fala em ampliar os objetivos do ensino de física, normalmente referimo-nos num ensino contextualizado. O enfoque ciência-tecnologia-sociedade (CTS) é uma abordagem possível e promove o interesse dos estudantes em relacionar a ciência com aspectos tecnológicos e sociais, discute as implicações sociais e éticas relacionadas ao uso da ciência-tecnologia (CT), “adquire uma compreensão da natureza da ciência e do trabalho científico, forma cidadãos científica e tecnologicamente alfabetizados, capazes de tomar decisões informadas e desenvolve o pensamento crítico e a independência intelectual” [13]. Essa abordagem CTS está alinhada com as competências e habilidades da área Contextualização Sócio-Cultural dos PCN+, citadas anteriormente.

Nesse enfoque, obviamente, além do conteúdo específico de física, cabe ao professor transmitir aos alunos também os aspectos da natureza da ciência, promovendo, assim, uma real aproximação da atividade

científica.

2. Uma viagem ao CERN:³ o maior centro de saber sábio do mundo

No caso da física, o CERN (Centro Europeu de Pesquisas Nucleares) é, hoje, considerado o maior centro de pesquisa de desenvolvimento científico e tecnológico do mundo. Nas suas instalações, o conhecimento científico é gerado, os modelos teóricos são testados e o limite da ciência está presente em grande parte dos experimentos. Numa gigantesca obra de engenharia e avançada tecnologia, os cientistas buscam entender a constituição da matéria numa escala microscópica, por meio de experimentos de altíssima energia.

Pesquisas sobre anti-matéria, neutrinos, vácuo, energia escura, isótopos radioativos, cosmologia, big-bang, super-simetria, buracos negros, radiação cósmica de fundo, bóson de Higgs e outros temas, fazem parte do cotidiano dos cientistas e colaboradores que lá trabalham. Embora os temas de física que são investigados no CERN não cheguem à sala de aula do Ensino Médio, grande parte da estrutura dos aparatos experimentais é baseada em conhecimentos da física clássica. Esses tópicos podem ser adaptados para alunos da escola secundária, numa tentativa de aproximação e contextualização da ciência.

2.1. Descrição dos experimentos no CERN, baseada no currículo escolar

O CERN emprega nas suas instalações um conjunto de 6 aceleradores. Cada um tem por finalidade aumentar a energia do feixe das partículas recebidas antes de as enviar a experiências ou a um outro acelerador. O mais famoso deles é o LHC, do inglês **L**arge **H**adron **C**ollider (*Grande Colisor de Hádrons*) com os seus 27 km de circunferência, a 100 metros de profundidade, onde partículas circulam durante 20 minutos antes de atingirem a energia e velocidade máximas, para colidirem entre si. A vista aérea da região do LHC pode ser vista na Fig. 3.

As colisões entre as partículas são planejadas para acontecerem em quatro pontos específicos, onde estão localizados os quatro detectores do LHC, mostrados na foto acima. O Atlas (A Toroidal LHC ApparatuS), o CMS (Compact Muon Detector), são detectores genéricos, capazes de detectar inúmeros tipos de partícula; até mesmo as desconhecidas. Os outros dois detectores, LHCb (LHC-beauty) e ALICE (A Large Ion Collider Experiment), são “dedicados” a partículas mais específicas.

O LHC foi projetado para dois feixes contrários de prótons ou dois feixes de íons pesados colidirem. A fonte de prótons é o gás H₂ (Fig. 4), que é ejetado

primeiramente a uma câmara onde há a separação das cargas.

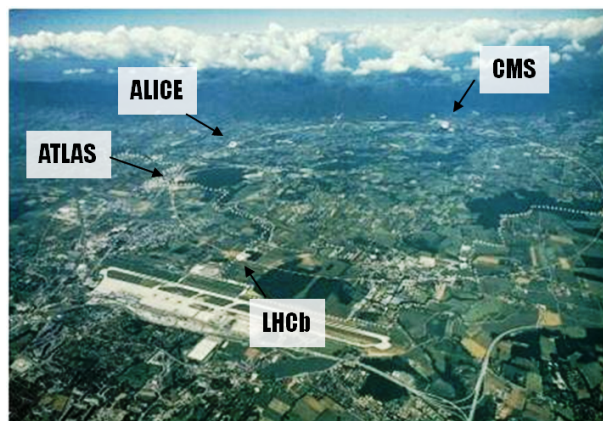


Figura 3 - Vista aérea do CERN. O anel desenhado representa a posição do túnel subterrâneo onde se encontra o acelerador, com os respectivos detectores: ALICE, ATLAS, LHCb e CMS.

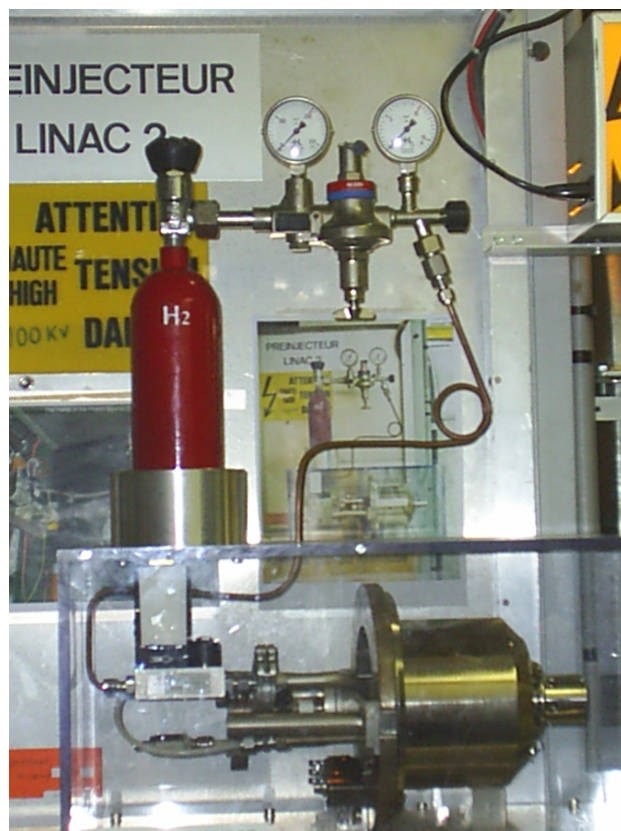


Figura 4 - Cilindro que fornece os prótons.

2.1.1. Força coulombiana

O hidrogênio é constituído de um próton em seu núcleo e um elétron girando em torno dele. Esse elétron, com carga negativa, está ligado ao átomo pela força elétrica que é atrativa, dada pela expressão $F = K_0 \frac{q_1 q_2}{d^2}$.

³Todas as informações referentes ao CERN foram tiradas das palestras do curso de física de partículas “Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa” dado em setembro de 2011. Esse material está disponível na Ref. [14].

Substituindo os valores $K_0 = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$, $q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ e $d \cong 10^{-10} \text{ m}$, temos que a força de ligação elétrica que mantêm o átomo de hidrogênio vale $F \cong 2 \times 10^{-8} \text{ N}$. Essa força pode parecer pequena comparada com forças que lidamos no cotidiano, como o peso de uma pessoa, que pode ser aproximadamente 700 N. Entretanto, estamos lidando com partículas que tem uma massa da ordem de 10^{-27} kg (próton) e 10^{-31} kg (elétron).

Ao saírem do cilindro, os prótons são separados dos elétrons por um campo magnético. A ação do campo magnético sobre as cargas em movimento é desviar suas trajetórias através de uma força magnética que, para cargas positivas tem sentido contrário ao das cargas negativas.

Antes de entrarem no LHC, são pré-acelerados num acelerador linear, chamado LINAC 2 (Figs. 5 e 6).

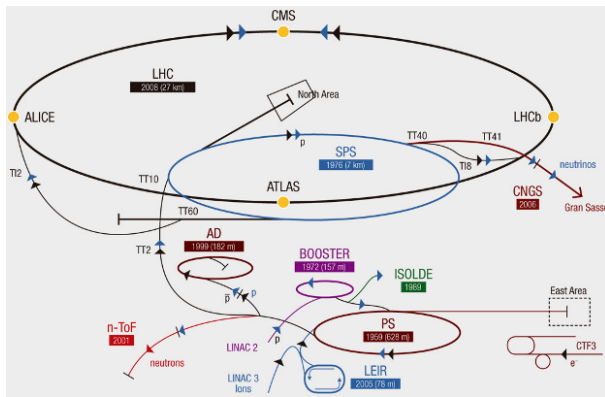


Figura 5 - Estrutura do conjunto de aceleradores no CERN. O feixe inicia seu movimento no LINAC 2.



Figura 6 - LINAC 2: acelerador linear por onde os prótons iniciam o movimento.

Esse acelerador LINAC 2 é constituído de um tubo, onde os prótons são acelerados pelo campo elétrico de ondas eletromagnéticas de radio frequência. Essa radiação é inserida pelas cavidades calculadas com grande precisão para que o próton, ao passar, pegue a fase da

onda certa, ou seja, a crista da onda, onde o campo elétrico é máximo.

Os prótons passam também por mais dois aceleradores e, ao entrarem no maior deles, o LHC, já estão com uma velocidade próxima à da luz.

2.1.2. Campo elétrico e a aceleração de cargas

Quando os prótons entram no LINAC 2 estão sujeitos uma voltagem oscilante de rádio frequência de 400 MHz. Portanto, o campo elétrico é também oscilante e seu valor máximo é de 5 MV/m (ver Fig. 7)⁴ [14].

Sujeitos a esse campo elétrico, numa aproximação clássica, os prótons podem atingir uma aceleração de valor máximo igual a

$$a = \frac{qE}{m} = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 5 \times 10^6}{1,67 \times 10^{-27}} = 5 \times 10^{14} \text{ m/s}^2.$$

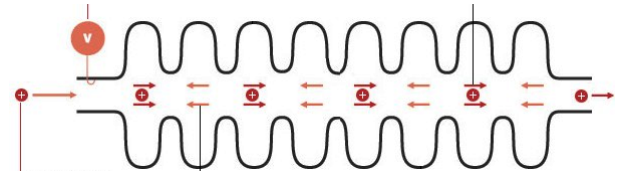


Figura 7 - Os prótons são acelerados pelo campo elétrico nas cavidades RF (radio frequência).

2.1.3. Energia dos feixes

As partículas são aceleradas no LHC até atingirem 99,9999991% da velocidade da luz. Portanto, durante seu movimento, estão bem mais pesadas (a previsão da relatividade especial é que uma partícula numa velocidade próxima da luz tem uma energia muito maior).

Essa energia relativística pode ser calculada pela fórmula $E = \gamma mc^2$, onde $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. Para a velocidade citada acima, o fator γ vale 7453, o que indica que os prótons, nessa velocidade, estão 7453 vezes mais pesados do que se estivessem parados.

Substituindo a massa do próton ($1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$) e a constante c ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$), temos que a energia de cada próton é $E = 1,12 \times 10^{-6} \text{ J}$.

A unidade de medida usada nos laboratórios de física nuclear não é o joule, a unidade do sistema internacional. Nesses experimentos, a unidade usada é o elétron-volt, que vale $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Portanto, essa energia de $1,12 \times 10^{-6} \text{ J}$ corresponde a $7 \times 10^{12} \text{ eV} = 7 \text{ TeV}$ (tera-elétron-volt). Esse valor é o máximo de energia que o experimento previsto para ser realizado em 2012 pretende alcançar.

Como a colisão dos feixes é frontal, a energia liberada é o dobro, pois num choque onde partículas têm sentidos contrários a velocidade relativa é maior e a variação de energia é a soma das energias de cada feixe.

⁴Parte dos cálculos aqui apresentados e algumas figuras referentes a eles foram tiradas da Ref. [15].

Assim, considera-se que nesse experimento a energia liberada na colisão é de aproximadamente 14 TeV.

A energia de 7 TeV, que corresponde a $1,12 \times 10^{-6}$ J, é a energia de um único próton. No feixe de prótons que circula no LHC, eles não estão distribuídos continuamente e sim agrupados em pacotes, chamados *bunches*. Devido à repulsão eletrostática, esses pacotes são instáveis e tendem a se dispersarem. Porém conseguiu-se agrupar em torno de $1,15 \times 10^{11}$ prótons num único pacote.

Ao longo dos 27 km, circulam 2808 pacotes de prótons. Então, a energia total que tem um feixe no LHC é $1,15 \times 10^{11} \times 2808 \times 1,12 \times 10^{-6} = 3,62 \times 10^8$ J.

Será que esse valor de energia é alto? Considerando que o calor latente de fusão do ouro é 63,71 kJ/kg e a energia para derreter um metal depende da massa e do calor latente, conforme a expressão $Q = m.L$, com a energia que circula no LHC é possível derreter 5,65 toneladas de ouro!!!

2.1.4. Campo magnético

Ao longo dos 27 km de extensão do LHC, existem aproximadamente 1200 dipolos, fechando o círculo, onde são criados os campos elétrico e magnético que aceleram e desviam as cargas. Cada dipolo possui 6 magnetos – eletroímãs - que geram o campo magnético para os prótons fazerem a trajetória curva. As Figs. 8 e 9 mostram um dipolo e seu interior.



Figura 8 - Dipolo na frente do museu de ciência nas mediações do CERN. Cada dipolo tem 15 metros de comprimento e ao longo dos 27 km existem 1232 dipolos.

O campo magnético dentro dos dipolos necessário para desviar as partículas deve ser vertical apontado para baixo pois, pela regra da mão esquerda, a força aponta para o centro da trajetória e a velocidade é tangente ao círculo. Olhando a trajetória dos prótons de cima, como na Fig. 10, temos representados os vetores velocidade, campo e força magnética. Como ao longo dos 27 km existem 1232 dipolos de 15 metros cada um, o valor exato do raio é

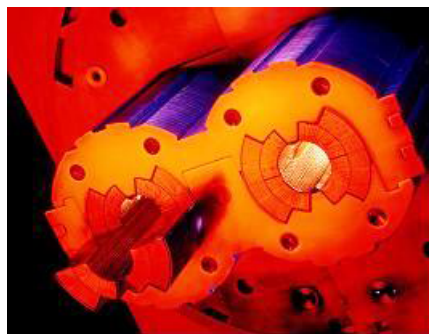


Figura 9 - Dipolo por dentro, com duas cavidades por onde os feixes passam. Ao redor estão os enrolamentos super condutores (eletroímã) por onde passa uma corrente altíssima para criar o campo magnético. Esse campo magnético é vertical apontado para baixo na cavidade cilíndrica.

$$R = \frac{1232 \times 15}{2\pi} = 2943 \text{ m.}$$

$$R \cong 2,94 \text{ km}$$

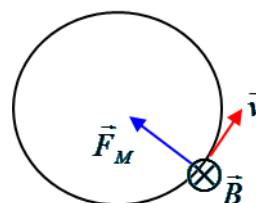


Figura 10 - Esquema dos vetores força, campo magnético e velocidade.

Para que um próton consiga fazer uma curva com um raio de 2,94 km, é necessário um campo magnético muito intenso, que pode ser calculado pela expressão advinda da igualdade da força magnética (força de Lorentz) com a força resultante centrípeta (2ª lei de Newton). Entretanto, para uma velocidade relativística ($v \cong c$), temos que acrescentar o fator γ na energia.

$$F_M = qvB \text{ e } F_{CP} = \frac{\gamma m v^2}{R},$$

onde

$$\gamma m c^2 = E \text{ (energia relativística).}$$

Temos, então, que o campo magnético **B** tem intensidade dada pela expressão

$$B = \frac{\gamma m c}{qR}.$$

Substituindo os valores para o próton, $m = 1,67 \times 10^{-27}$ kg, $q = 1,6 \times 10^{-19}$ C, $R = 2943$ m, $c = 3 \times 10^8$ m/s,

$$B \cong 8 \text{ T.}$$

O módulo do campo magnético **B** necessário para realizar o experimento dentro do LHC é de aproximadamente 8 T, um valor que corresponde a cerca de 10 mil vezes o campo magnético da Terra. Por essa razão,

na montagem do LHC, os dipolos não puderam ser testados isoladamente, pois o campo “vazaria” para fora e atrairia tudo que é feito de metal num raio de 20 km, inclusive os aviões do aeroporto de Genebra! Ao se fechar o LHC com os 1232 dipolos na circunferência de 27 km de extensão, o campo magnético produzido por eles fica dentro do tubo.

Além dos magnetos (eletroímãs) responsáveis pelo campo que desvia as cargas, existem em torno de 400 quadrupolos com uma função muito específica. São ímãs corretores que servem para agrupar os prótons do feixe. A luminosidade pretendida para o experimento de 2012 é de 10^{34} prótons por cm^2 , o que é um número extremamente alto. Como essas partículas são carregadas positivamente, a força coulombiana de repulsão é muito grande e a tendência é que o feixe se disperse. Por isso, os quadrupolos, ilustrados na Fig. 11, são localizados estrategicamente dentro do dipolo para recuperar e concentrar o feixe.

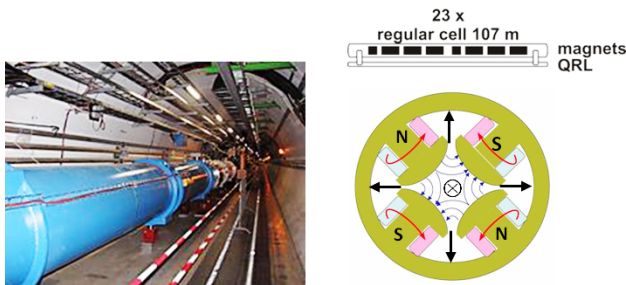


Figura 11 - Dipolos dentro do túnel do LHC. Por dentro ele é constituído de 6 magnetos e 2 quadrupolos que focalizam o feixe.

2.1.5. Corrente elétrica

Para gerar um campo magnético tão intenso, é necessária uma corrente elétrica passando pelos enrolamentos de imensa magnitude. Sabemos que o campo gerando por correntes é proporcional à permeabilidade magnética do vácuo ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m}/\text{A}$) e à corrente (i). No caso de um fio retilíneo, o campo \mathbf{B} vale

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi d}$$

Os magnetos dentro do dipolo no LHC têm cerca de 150 enrolamentos por onde circula a corrente e a distância média dos cabos ao centro do tudo é de 45 mm (Fig. 12).

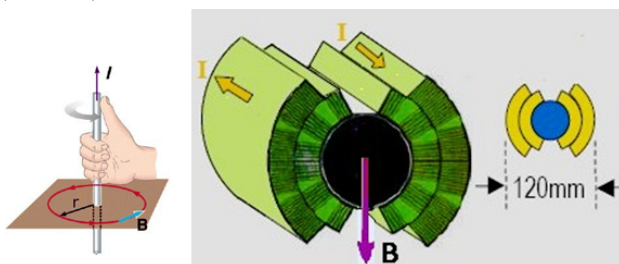


Figura 12 - Enrolamento que produz o campo magnético dentro dos dipolos.

Portanto, para essas medidas, a corrente necessária para criar um campo de 8 T é

$$i = \frac{B2\pi d}{\mu_0 N} = \frac{8 \times 2 \times \pi \times 0,045}{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 150} \Rightarrow i = 12000 \text{ A}.$$

A corrente que circula nos enrolamentos supercondutores do LHC é de 12 kA, que corresponde a 10 vezes o valor da corrente numa descarga elétrica de uma tempestade. Obviamente, com esse valor de corrente, não há metal que resista à sua passagem. O efeito Joule é um problema sério que deve ser evitado nos eletroímãs e, para isso, há um sistema avançadíssimo de refrigeração para diminuir a temperatura dos condutores e para abaixar a sua resistividade.

Existem usinas de criogenia no CERN que produzem Hélio líquido para que no interior do LHC a temperatura chegue a 2 K, ou seja, $-271 \text{ }^\circ\text{C}$. Esta é menor temperatura observada no Universo! Um sistema eletrônico com mais de 10 mil sensores regula a entrada de 700 mil litros Hélio líquido pelos tubos QRL (Fig. 11). Como não existem termômetros que possam medir tão baixa temperatura, ela é medida através da resistência elétrica da platina, que também diminui com a temperatura.

2.1.6. Corrente do feixe de prótons

O número de pacotes que agrupam os prótons, ou *bunches*, no LHC é 2808, portanto, cada pacote está a uma distância de $\frac{27000}{2808} \cong 9,62 \text{ m}$ ($27 \text{ km} =$ extensão do LHC).

Que valor de corrente elétrica representa esse feixe de prótons dentro no LHC? Lembrando que corrente é a quantidade de carga elétrica que atravessa uma seção transversal de um “fio” por unidade de tempo, temos

$$i = \frac{ne}{\Delta t}$$

Resta saber quantos prótons passam por segundo numa seção transversal. O total de carga dentro do tubo é $Q_T = 2808 \times 1,15 \times 10^{11} \times 1,6 \times 10^{-19} = 5,2 \times 10^{-5} \text{ C}$. Como eles estão numa velocidade próxima à da luz, em um segundo, eles dão $\frac{300000}{27000} = 11000$ voltas. Ou seja, em um segundo passam 11000 vezes a carga total acima!!

Assim, a corrente $i = \frac{5,2 \cdot 10^{-5} \cdot 11000}{1} = 0,57 \text{ A}$.

2.1.7. Por quê tanta energia?

A energia que se chegou hoje nos experimentos do CERN é suficiente para estudar a matéria e o Universo no início da sua criação, alguns segundos após a ocorrência do big bang. Acredita-se que, nesses segundos iniciais, toda a energia da “bola primordial” foi expandindo-se e resfriando-se, criando e compondo a matéria que hoje temos no Universo.

Com o desenvolvimento dos modelos teóricos da física quântica, os cientistas acreditam que o Universo é

preenchido por um vácuo, denominado *campo de Higgs*, associado a um condensado formado por partículas muito pesadas. Esse condensado é responsável por dar massa às partículas elementares através da sua interação com elas.

Num experimento de alta energia, um feixe com 7 TeV se choca com outro, e muitas outras partículas são criadas a partir desse vácuo. Por isso que, com o avanço tecnológico e desenvolvimento da ciência a partir da década de 30, muitas partículas começaram a serem descobertas. Essa energia é da ordem de grandezas necessária para excitar o condensado de Higgs, de maneira a perceber um bóson isoladamente.

2.1.8. Aquisição de dados em um experimento

Um experimento típico no detector ALICE (Fig. 13) produz muitas partículas e dados para serem analisados. Esses dados são, primeiramente, selecionados por um sistema eletrônico altamente complexo chamado *Trigger*, desenvolvido no CERN, que decide em tempo real quais eventos são interessantes e devem ser armazenados. Mesmo após três etapas de filtro de dados, as informações geram 100 Mega Bytes por segundo de memória. Seriam necessários 20 milhões de CD ou 100 mil computadores para armazenar tamanha quantidade de informação[16]. A solução encontrada foi o sistema de *GRID*, também inventado no CERN, que corresponde a uma rede que envia dados para todos computadores dos países que colaboram com os experimentos (Figs. 14 e 15).

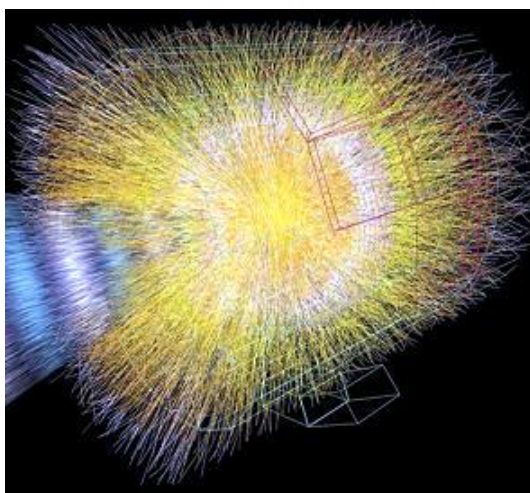


Figura 13 - Partículas geradas numa colisão dentro do detector ALICE.

3. CERN e epistemologia

Além dos conteúdos de física específicos que citamos, os aspectos da natureza da ciência estão muito presentes no dia-a-dia do CERN e podem ser explorados por professores que têm a intenção de mostrar como a ciência é de fato.



Figura 14 - Sala de controle central do CERN, onde os resultados de um experimento são mostrados.



Figura 15 - Sistema de GRID inventado no CERN para armazenar os dados advindos de um experimento.

Erroneamente, muitos professores acreditam e ensinam aos seus alunos que a ciência ainda é construída de maneira linear, com etapas bem definidas do método científico. Isso é uma concepção epistemológica ingênua acerca da produção do conhecimento científico e, segundo Moreira e Ostermann [17],

O método científico é interpretado como um procedimento definido, testado, confiável, para se chegar ao conhecimento científico: consiste em compilar fatos através de observação e experimentação cuidadosas e em derivar, posteriormente, leis e teorias a partir destes fatos mediante algum processo lógico.

A partir do século XX, a forma com a qual o conhecimento científico passa a ser produzido se modifica. A teoria da relatividade de Einstein, em 1905, marcou essa mudança, pois não houve comprovações experimentais anteriores à sua formulação. Einstein fez experimentos mentais e supôs que, de princípio, a velocidade da luz era constante para poder deduzir as consequências da relatividade.

A partir daí a prática científica tomou outro rumo e muitas teorias começaram a ser feitas antes da observação dos fenômenos. A intencionalidade passa a comandar a observação dos fenômenos.

E a ciência foi além... Num grau mais elevado, essa intencionalidade passou a induzir os fenômenos que

nunca aconteceriam espontaneamente, como por exemplo, a descoberta de partículas microscópicas nos aceleradores. É o que Bachelard [18] chama de *fenomenotécnica*.

Então, é preciso que o fenômeno seja escolhido, filtrado, depurado, vazado no molde dos instrumentos, produzido no plano dos instrumentos. Ora, os instrumentos não são senão teorias materializadas. Deles saem fenômenos que trazem por todos os lados a marca teórica.

O progresso científico é o principal fator da inovação tecnológica e um dos traços mais característicos da ciência contemporânea é ser “artificial” e ter como elemento essencial técnicas de produção de fenômenos. Conforme aponta Lopes [19], para Bachelard existe uma estreita relação entre a teoria e instrumento: “O próprio instrumento é a teoria materializada, teorema reificado. Existe a teoria que permite a construção do aparelho e a teoria que permite a interpretação dos resultados.”

O CERN é um dos maiores produtores de tecnologia do mundo, onde se desenvolve e se inventa instrumentos, equipamentos, softwares, e tudo que é necessário para se conseguir produzir e interpretar os fenômenos, aprimorando-os cada vez mais.

Outro aspecto muito presente nos centros de pesquisa que caracteriza a natureza da ciência é o uso de modelos e da matemática para expressar o conhecimento físico. Atualmente, os pesquisadores estão empenhados em detectar o bóson de Higgs no LHC. Como eles podem ter certeza da existência de uma partícula antes de detectá-la? Há aproximadamente 20 anos atrás, um físico chamado Peter Higgs propôs a existência desse bóson baseado num modelo teórico matemático. Ao resolver uma expressão matemática, teve a idéia de desassociar a massa das partículas da equação e para sua surpresa, conseguiu a solução da tal equação. Ele sugeriu, então, que a massa não é uma propriedade intrínseca das partículas e sim a forma como ela interage com esses bósons, que são pré-existentes e lhe conferem a massa. Segundo os cientistas do CERN, caso o bóson de Higgs não seja descoberto, o LHC continuará em uso, pois tem muitos outros propósitos e o modelo teórico vigente terá que ser aprimorado para “funcionar” mesmo sem o bóson de Higgs.

A matemática é essencial para estruturar o pensamento físico e tem um poder de predição muito grande, que quando se está na fronteira da ciência, permite a descoberta de novos conhecimentos. A descoberta da anti-matéria é um exemplo disso. Em 1930, Paul Dirac concluiu através da análise da expressão da energia relativística das partículas, $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$, que deveriam existir duas soluções para tal expressão, advindas da raiz quadrada: uma positiva e outra negativa. Após quatro anos dessa previsão teórica, o *pósitron* foi detectado experimentalmente.

É interessante observar também que, embora as pesquisas atuais no CERN sejam baseadas em física moderna e contemporânea, cujos conteúdos foram citados no início, a validade da física clássica continua. Ou seja, a física clássica ensinada na escola não é invalidada pela física moderna, tão almejada de entrar no currículo secundário. Visto que todo funcionamento dos equipamentos e instrumentos, além dos cálculos dos campos, da trajetória, da velocidade, da temperatura, da resistência elétrica, da corrente, etc... que ensinamos em sala para nossos alunos, foram usados na descrição dos experimentos.

4. Considerações finais

O que quisemos mostrar nesse artigo é que, embora se busque um ensino de física mais contextualizado e que possa gerar nos alunos uma aprendizagem dessa ciência que lhe permitam entender melhor o mundo a sua volta, muitas vezes os professores de física têm uma concepção ingênua da ciência e do ensino.

Nas discussões sobre inovações curriculares, cabe uma reflexão a respeito da inserção da física moderna no Ensino Médio. Se o objetivo do professor é um ensino por competências, conforme sugerido pelos PCN, quais competências estão relacionadas ao conteúdo de física moderna? Será que esse conteúdo de FMC não permite a construção de outras habilidades e outras competências cognitivas que os conteúdos clássicos? Nesse caso, surgem outras questões que devem ser analisadas pelos educadores:

1. Quais são essas outras competências?
2. É necessário e prioritário ensinar essas outras competências?
3. Um aluno do nível secundário tem maturidade intelectual e desenvolvimento cognitivo para essas competências?

Observe que ao falarmos de competências estamos lidando com a relação direta do aluno (A) com o saber (S), que corresponde à dimensão cognitiva do esquema 1. Por isso, uma análise mais aprofundada sobre essas questões deve ser considerada e não é nossa intenção respondê-las, apenas queremos mostrar que antes da escolha dos conteúdos, um professor deve ter claro o objetivo e a *atenção didática*, praticando a *vigilância epistemológica* para garantir se esse objetivo está sendo cumprido. Se é objetivo mostrar aos nossos alunos uma física real, sem ilusões e ingenuidade, o conteúdo não é o único elemento importante, temos que considerar também a abordagem, a estratégia e a metodologia com que se ensina, pois são esses fatores que poderão aproximar o aluno da ciência verdadeira tal qual é praticada no CERN. Mesmo no maior centro de pesquisa e desenvolvimento científico do mundo,

a física clássica, considerada conteúdo ultrapassado no ensino, está presente no cotidiano dos físicos.

Divulgar a ciência é uma necessidade. Incentivar jovens para a carreira científica faz parte da construção do futuro da humanidade. É possível sem o ensino de física moderna, mostrar aos nossos alunos a importância do desenvolvimento científico para melhorar as condições de vida das pessoas. Entender o mundo a nossa volta é um passo que a humanidade deve dar em direção à ampliação da consciência e a educação em Ciência faz parte dessa caminhada. Será que não é isso que gostaríamos de passar aos nossos alunos? Um entendimento da ciência que está além do além daquilo que ensinamos na sala de aula?

Depois desse banho de tecnologia e desenvolvimento científico, o aluno que perguntar “para que serve isso que você está ensinando?”, poderá ouvir do professor que grande parte dos conteúdos que estão em sala de aula fazem parte da mesma ciência que está presente nos maiores centros de pesquisa e, principalmente, sustentam os saberes contemporâneos. Os conteúdos de física clássica são as raízes da ciência atual e permitem a ela chegar aonde chegou. E ainda bem que existem cientistas no mundo que fazem tudo que fazem não só no CERN, mas em todos os centros de pesquisa do mundo, porque há bem pouco tempo atrás não existia nem aparelho celular, muito menos GPS, lep tops, HDs externos, pendrives, Ipods, I pads, I phones, etc... E se hoje, a sociedade vive com toda essa tecnologia, é graças ao desenvolvimento dessa coisa maluca chamada Ciência.

Hoje podemos dizer: o CERN é um universo desconhecido para quem nunca foi lá, uma fonte inesgotável de conteúdos de física específicos e epistemológicos. Tão inesgotável quanto a quantidade de bósons que existe no vácuo!

5. Agradecimentos e um depoimento

Gostaria de agradecer a oportunidade que tive de participar da “Escola de Professores do CERN 2011”. Esse evento, pelo terceiro ano consecutivo levou professores brasileiros ao CERN, graças à Sociedade Brasileira de Física e ao Laboratório de Instrumentação de Partículas (LIP) de Portugal. Essa atividade foi coordenada pela Secretaria para Assuntos de Ensino da Sociedade Brasileira de Física e financiada pela Diretoria de Educação Básica Presencial da CAPES e pelo Departamento de Popularização e Difusão da Ciência do Ministério da Ciência e Tecnologia. Além disso, agradeço ao apoio financeiro da CAPES e ao apoio financeiro e incentivo intelectual-pedagógico do Colégio São Luís.

Observei nessa viagem que a física presente no ar do CERN não é didatizada e aparece de uma maneira direta, afinal é o espaço aonde se faz a pesquisa científica. Por incrível que pareça, muito do que vi lá e nos foi transmitido nesse curso, também passei di-

retamente para alunos do Ensino Médio, sem transposição intencional. Muitas das informações descritas nas seções acima foram transmitidas para os meus alunos e, para minha surpresa, a grande maioria ficou boquiaberta com aquilo que estava sendo dito. Isso pode ser facilmente verificado por mim pelas expressões faciais durante a explanação: olhos arregalados e bocas abertas, sem palavras!! Muitos alunos chegaram a dizer que não acreditavam no que estavam ouvindo... Realmente, esses alunos captaram uma sensação muito semelhante a que eu tive lá no CERN! É inacreditável o que se faz lá! Mesmo para professores formados em física, conhecer o CERN foi uma experiência fantástica!

Referências

- [1] F. Ostermann e M.A. Moreira, *Investigações em Ensino de Ciências* **5**, 23 (2000).
- [2] F. Ostermann e M.A. Moreira, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **18**, 135 (2001).
- [3] G. Brockington, *A Realidade Escondida: A Dualidade Onda-Partícula para Alunos do Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2005.
- [4] D.P. Gil, F. Senent y J. Solbes, *Enseñanza de las Ciencias*, **n. extra**, 209 (1987).
- [5] E.A. Terrazzan, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **9**, 209 (1992).
- [6] Brasil. *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias* (Ministério da Educação, Brasília, 1999).
- [7] E.C. Ricardo e A. Zylbersztajn, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **19**, 351 (2002).
- [8] P. Perrenoud, *Pátio – Revista Pedagógica* **11**, 15 (1999).
- [9] Brasil, *PCN+ Ensino Médio – Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias* (Ministério da Educação, Brasília, 2002), p. 32.
- [10] Y. Chevallard, *La Transposición Didáctica: Del Saber Sábido al Saber Enseñado* (Aique Grupo Editor, Buenos Aires, 1991).
- [11] M. Pietrocola, *Inovação Curricular em Física: Transposição Didática de Teorias Modernas e a Sobrevivência dos Saberes* (Projeto Temático FAPESP, São Paulo, 2008).
- [12] J.P. Astolfi e M. Develay, *A Didática das Ciências* (Editora Papirus, Campinas, 1995), 4ª ed.
- [13] D. Auler, *Ciência & Ensino* **1**, 1 (2007).
- [14] <https://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=149267>.
- [15] <http://www.lhc-closer.es/php/index.php?i=1&s=4&p=4&e=0>. Acesso em 6/11/2011.
- [16] CERN, *Material curso Escola de Física do CERN para Professores do Ensino Médio*, disponível em <https://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=149267>. Acesso em 12/9/2011.

- [17] M.A. Moreira e F. Ostermann, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **10**, 108 (1993).
Tempo Brasileiro, Rio de Janeiro 2000), 3^a ed., p. 19.
- [18] G. Bachelard, *O Novo Espírito Científico* (Editora
[19] A.R.C. Lopes, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **13**, 260 (1996).