

Este ano, começa a funcionar o maior acelerador de partículas do mundo. Mais conhecido pela sigla LHC, essa máquina, por seu tamanho, número de cientistas e técnicos, pela tecnologia empregada e pelos objetivos científicos, pode ser considerada o maior empreendimento científico e tecnológico da atualidade. O LHC (em inglês, algo como Grande Colisor de Hádrons) é um dos pontos mais altos na história do Homo faber. Sem exagero, é o maior instrumento científico do mundo, construído paradoxalmente para investigar as menores dimensões jamais observadas.

Esse 'supermicroscópio', com 27 km de circunferência, encravado a 100 m de profundidade, entre as fronteiras suíça e francesa, fará partículas nucleares se chocarem com velocidades e energias impressionantes, na busca de respostas sobre como a natureza se comporta. Esse megaprojeto de engenharia custou alguns bilhões de dólares, e sua inauguração fará de 2008 um marco para a história da física de altas energias.

Ignacio Bediaga

*Laboratório de Física Experimental de Altas Energias (Lafex),
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (R)*

LHC

O colosso criador e esmagador de matéria

CERN GENEBRA

Um acelerador de partículas e seus detectores estão para os físicos de partículas assim como o telescópio está para o astrônomo, o microscópio para o biólogo ou o olho para o ser humano. A função é praticamente a mesma: observar a natureza em dimensões ínfimas. No caso desse gigante de 27 km de circunferência, o objetivo é estudar a estrutura da matéria em dimensões inferiores ao tamanho dos prótons: 10^{-18} m, ou seja, 0,000000000000000001 m (figura 1).

O LHC está encravado a 100 m de profundidade, na fronteira da Suíça com a França (figura 2), onde está o laboratório que o abriga, a Organização Européia para a Pesquisa Nuclear, mais conhecida pela sigla CERN.

A primeira missão desse novo acelerador é estudar elementos previstos ou mal compreendidos na teoria atual, o chamado Modelo Padrão, com o qual os físicos estudam as partículas indivisíveis (elementares) e as forças (interações) que agem sobre elas. Quanto às forças, há quatro delas no universo: i) a força nuclear forte, responsável por manter o núcleo atômico coeso; ii) a nuclear fraca, que age quando uma partícula se transforma em outra; iii) a eletromagnética, que atua quando cargas elétricas estão envolvidas. Em nossa lista, a quarta força, a gravitacional (a primeira conhecida pelo ser humano), não faz parte do Modelo Padrão. Unir essas quatro forças em uma só teoria tem sido um tema de intensa pesquisa neste começo de século, e é possível que os resultados do LHC ajudem a indicar aos físicos que caminhos seguir nessa área.

A segunda missão desse acelerador (mais difícil de ser caracterizada) é buscar novos fenômenos físicos na altíssima escala de energia que será atingida por essa máquina em volumes infinitesimais de espaço.

OS NÚMEROS DE UM GIGANTE

O LHC foi feito usando os mesmos 27 km (mais exatamente, 26.659 km) de circunferência do túnel de outra façanha tecnológica, o LEP, que colidia elétrons com suas antipartículas, os pósitrons, a energias 70 vezes menores (200 bilhões de elétrons-volt). O LEP (cuja sigla, em inglês, significa Grande Colisor de Elétrons e Pósitrons) iniciou suas atividades em 1988 e foi desmontado a partir de 2002, para dar início à construção de seu primo mais robusto. De lá para cá, foram gastos cerca de US\$ 6 bilhões (aproximadamente R\$ 10 bilhões).

No LHC, a cada segundo, um pacote com cerca de 3 trilhões de prótons, viajando com velocidade próxima à da luz no vácuo (300 mil km/s), irá atravessar outro com as características idênticas. Choques ‘de frente’ ocorrerão à estonteante taxa de 40 milhões deles por segundo. Cada vez que houver uma colisão desse tipo, serão produzidas, em média, centenas de partículas de massas variadas.

COM BASE EM IMAGEM DO SÍTIO 'AVENTURAS DAS PARTÍCULAS'



Tamanho em metros

10^{-10}

Tamanho em átomos

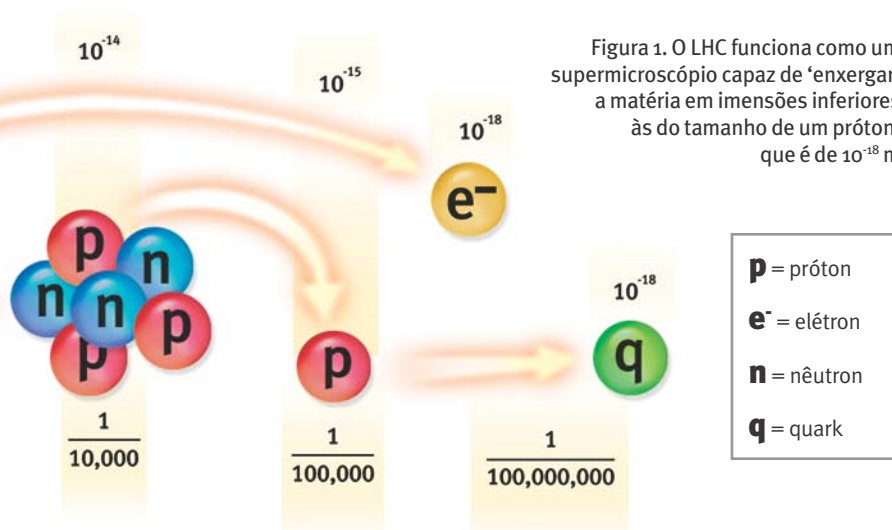


Figura 1. O LHC funciona como um supermicroscópio capaz de ‘enxergar’ a matéria em imensões inferiores às do tamanho de um próton, que é de 10^{-18} m

Quando atingir o máximo de energia, cada próton estará dando, por segundo, cerca de 11 mil voltas no anel de 27 km. Nessa fase, essas partículas nucleares estarão na casa dos 7 trilhões de elétrons-volt (7 TeV) por próton. Nas colisões, a energia chegará a 14 TeV. Apesar de a unidade elétron-volt ser muito pequena quando comparada a energias com que estamos acostumados no dia-a-dia, é preciso lembrar que a entidade que a carrega (no caso, um próton) é trilhões de vezes menor que um grão de areia. Somadas individualmente, as energias dos prótons envolvidos nas colisões seriam equivalentes à de um veículo de 1,5 tonelada, viajando a 25 mil km/h.

No quesito energia, o LHC será cerca de 10 vezes superior ao maior acelerador de prótons hoje em atividade no mundo, o Tévatron, situado no Fermilab (Estados Unidos). E milhões de vezes mais energético que o acelerador da Universidade de Califórnia (Estados Unidos), no qual o físico brasileiro César Lattes (1924-2005) e seu colega norte-americano Eugene Gardner (1913-1950) detectaram, há exatos 60 anos, os primeiros mésons pi (partículas que mantêm prótons e nêutrons ‘colados’ no núcleo) produzidos em aceleradores.

Em relação ao Tévatron, o LHC foi projetado para trabalhar com cerca de 100 vezes mais prótons circulando no anel, em cujo interior reina um vácuo no qual há menos matéria do que no espaço a mil km de altitude do solo terrestre. Para se ter uma idéia, a Estação Orbital Internacional (por sinal, outra maravilha da engenhosidade humana) está a meros 380 km do chão. No anel do LHC, serão apenas 3 milhões de moléculas por cm³, algo espantoso para um vácuo artificial.

O LHC usa ímãs supercondutores, cuja função é ‘forçar’ o feixe de prótons a fazer curvas e permanecer sempre na trajetória circular do anel. Esses equipamentos sofisticados irão trabalhar a 271 graus Celsius negativos, valor inferior à temperatura do espaço intergaláctico. Será aplicado sobre o feixe um campo magnético 100 mil vezes superior ao da Terra. Ao longo do túnel, serão instalados 1.640 ímãs supercondutores, que, em

média, terão 14 m de comprimento cada. Para manter esses artefatos a baixas temperaturas, serão usados 12 milhões de litros de nitrogênio líquido (para iniciar o processo de refrigeração) e, em seguida, 700 mil litros de hélio líquido, para atingir a temperatura desejada.

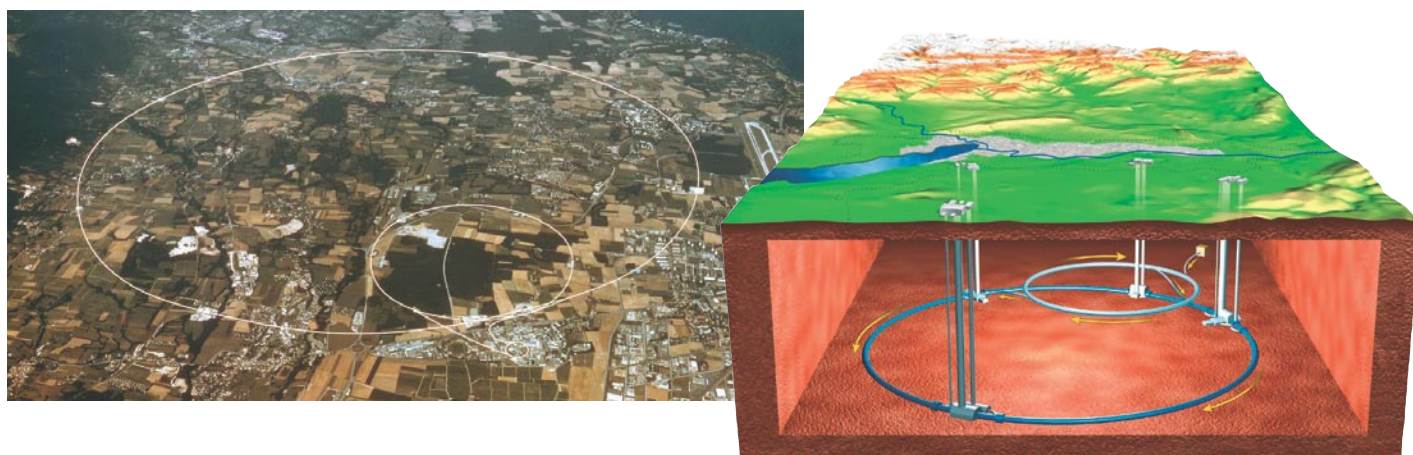
Os ímãs do LHC foram produzidos com fios de liga de cobre, titânio e nióbio (este último metal foi comprado do Brasil, que detém praticamente o monopólio das reservas mundiais). Quando refrigeradas, essas ligas conduzem eletricidade sem praticamente dissipar calor. Se unidos pelas pontas, o comprimento total desses fios (cuja espessura é semelhante à de um fio de cabelo) seria astronômico: o suficiente para cinco viagens de ida e volta ao Sol (correspondendo a cerca de 150 milhões de km cada uma delas). E ainda sobraria fio suficiente para ir algumas vezes à Lua (aproximadamente 360 mil km da Terra).

BOMBA ÀS AVESSAS

No momento da colisão de um próton com outro, a energia no LHC será suficiente para criar centenas de outras partículas, incluindo outros prótons. Essa transformação de energia em matéria tem como base a famosa equação de Einstein, $E = mc^2$, segundo a qual uma pequena quantidade de matéria (m) pode gerar uma porção descomunal de energia (E). Isso ocorre porque ‘m’ vem multiplicado por c^2 , que é a velocidade da luz no vácuo ao quadrado (algo como 10^{17} , ou seja, o algarismo 1 seguindo de 17 zeros). Uma demonstração dessa fórmula foi dada em um dos acontecimentos mais trágicos da história da humanidade: a explosão de duas bombas atômicas sobre o Japão, na Segunda Guerra Mundial, deixando centenas de milhares de mortos e feridos. Nela, alguns poucos quilos de material radioativo deram origem a um ‘cogumelo’ atômico com quilômetros de altura, mesmo que esse processo de transformação de matéria em energia tivesse uma eficiência baixíssima (cerca de 1%).

Nos aceleradores, ocorre o inverso: a energia das partículas (no caso do LHC, prótons) transforma-se, por meio das colisões, em matéria.

Figura 2. Com 4,3 km de raio, o anel maior do LHC, que fica a 100 m de profundidade, se estende por parte da Suíça e da França. No destaque, concepção artística mostra a disposição subterrânea dos anéis do LHC



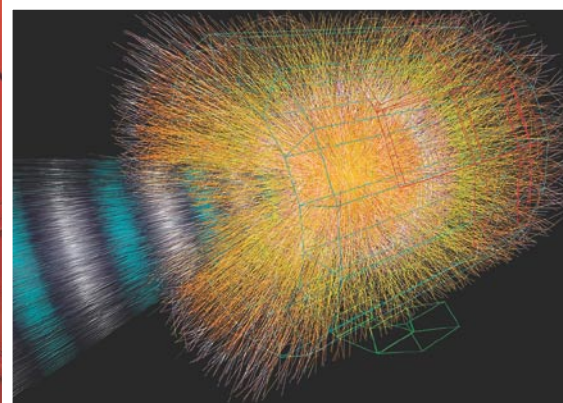
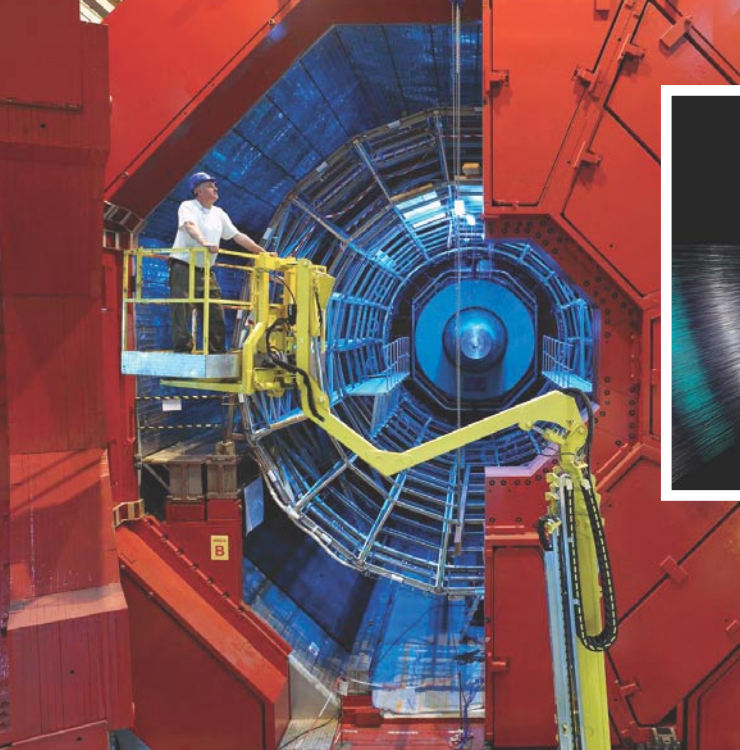


Figura 3. Instalação do detector Alice. No destaque, simulação de colisão de núcleos de chumbo

LIÇÃO DE FÍSICA EM TRÊS PERGUNTAS

O LHC deverá ajudar os cientistas a responder três questões centrais sobre o mundo das partículas elementares e das forças:

i) Existe o bóson de Higgs?

O Modelo Padrão (MP) tem como um de seus fundamentos a unificação de duas forças: a eletromagnética, que tem alcance ilimitado, e a força fraca, cujo raio de ação é inferior a 10^{-15} cm (diâmetro nuclear). Esse modelo foi testado com vigor nas últimas três décadas, e os resultados obtidos nesses experimentos comprovam sua solidez. Entretanto, a unificação entre forças tão dispares só é permitida, segundo o MP, por meio do chamado mecanismo de Higgs. Segundo esse processo, existiria uma partícula (hoje, denominada bóson de Higgs) que faria com que o fóton (que não tem massa e é responsável por 'carregar' a força eletromagnética) possa ser considerado um 'irmão' dos bósons Z^0 e W^+ (que são os 'carregadores' da força fraca, mas cujas massas são cerca de 90 vezes maiores que a do próton).

Os físicos têm muita convicção de que o bóson de Higgs (ele próprio cerca de 100 vezes mais pesado que o próton) seja a partícula responsável por gerar a massa nos bósons Z^0 e W^+ . Há uma alta expectativa de que o Higgs será detectado no LHC.

ii) Os físicos têm uma teoria adequada para explicar o que aconteceu com a antimatéria do universo?

Toda partícula de matéria tem sua antipartícula. Assim, o elétron (negativo) tem o pósitron (positivo). Quando matéria e antimatéria se encontram, elas se desintegram, transformando-se em energia, que, por sua vez, dá origem a outros pares de matéria e antimatéria.

No *Big Bang*, 'explosão' que deu início ao universo, deveria ter sido criada a mesma quantidade de matéria e antimatéria. Porém, observações mostram que o universo é majoritariamente dominado pela matéria. Surge assim uma das questões mais fundamentais da física atual: o que teria acontecido com a antimatéria?

Desde a década de 1970, os físicos têm uma teoria (conhecida como matriz CKM) para explicar, em parte, por que há essa assimetria entre matéria e antimatéria. Essas idéias mostraram estar no caminho certo quando, a partir dessa teoria, foi prevista a existência de dois novos *quarks*, o *top* e o *bottom*, detectados mais tarde. Porém, há evidências de que a matriz CKM não seja suficiente para explicar a esmagadora superioridade da matéria em nosso universo.

No mínimo, o LHC deverá determinar se essa teoria é exata ou não, o que já será uma grande contribuição dessa máquina. Mas ainda é possível que o LHC, ao investigar essa questão, encontre novos fenômenos que ajudem no entendimento do privilégio que a natureza deu à matéria em detrimento da antimatéria.

iii) Existe a 'sopa' quantíssima de *quarks* e glúons?

Na criação do universo, há 13,7 bilhões de anos, houve um momento em que a matéria não era constituída nem por prótons, nem por nêutrons. O que reinava era o plasma (um tipo de gás quantíssimo) formado pelos constituintes básicos daquelas partículas nucleares, os *quarks* e os glúons (estes últimos funcionam como uma 'cola' para manter os *quarks* unidos).

O LHC vai tentar reproduzir esse estado primordial do universo, previsto pela cromodinâmica quântica. Essa teoria é a parte do Modelo Padrão que lida com a força forte, que é cerca de 10^{39} vezes mais intensa que a gravitacional, mas só atua nas dimensões nucleares (10^{-15} m).

Para reproduzir o plasma de *quark*-glúons, será necessário gerar colisões cujas temperaturas serão cerca de 100 mil vezes superiores àquelas no centro do Sol, algo como 10^{20} graus Celsius. Para isso, segundo os planos do LHC, deverá haver um período de tomada de dados no qual, em vez de prótons colidindo contra prótons, os choques serão feitos entre núcleos de chumbo, elevando a densidade de energia (e, portanto, de temperatura) aos valores desejados (ver detalhe da figura 3).

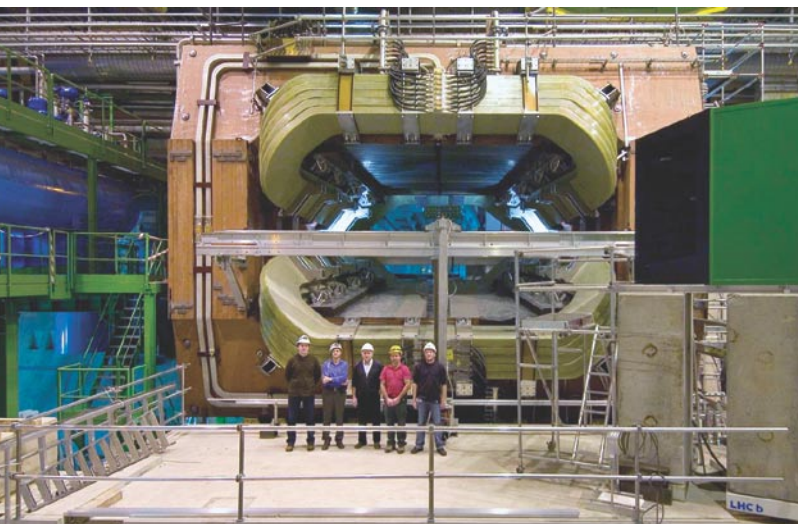


FOTO MAXIMILIEN BRICEY / CERN, GENEBRA

Figura 4. Ímã central do LHCb

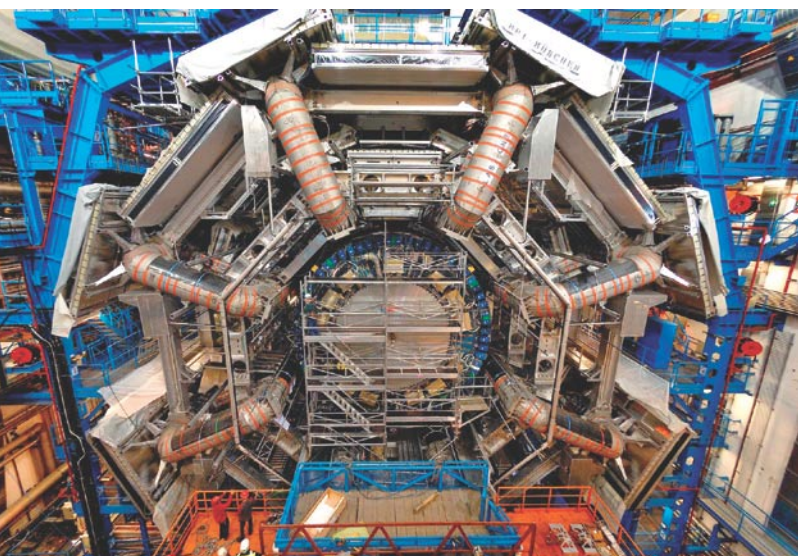


FOTO CLAUDIO MARCELLONI / CERN, GENEBRA

Figura 5. Montagem do Atlas



FOTO MAXIMILIEN BRICEY / CLAUDIO MARCELLONI / CERN, GENEBRA

Figura 6. Parte central do CMS

OS DETECTORES DE ESTILHAÇOS

Acelerar partículas a energias extremamente altas é apenas parte da tarefa de um acelerador. A outra, igualmente importante, é detectar um sem-número de estilhaços criados pelas colisões. Com a reconstrução desses fragmentos, procura-se entender qual foi o mecanismo (ou força) que participou na transformação da energia em matéria. Esse é o trabalho dos detectores, máquinas igualmente sofisticadas e gigantescas.

O LHC terá quatro detectores principais, posicionados em pontos diferentes de seu anel. Dois deles, o Alice e o LHCb, estão sendo construídos com objetivos bem específicos. O Brasil estará presente em cada um desses detectores (ver 'Presença brasileira')

Alice • O Experimento do Grande Colisor de Íons (que, em sigla em inglês, levou nome de mulher) é uma colaboração envolvendo mais de mil físicos e técnicos, de 30 países. Esse cilindro, com 5 m de diâmetro e outros 5 m de comprimento (figura 3), é o único detector dedicado praticamente ao estudo do plasma de *quark-glúons* no LHC. Se esse fenômeno existir, tudo indica que ele deva ser detectado no Alice.

LHCb • O objetivo principal é o de estudar o comportamento da matéria e da antimatéria, com base nas propriedades dos mésons do tipo B (beleza ou *beauty*). Essa máquina (figura 4) vai verificar se, no momento da criação desse tipo de méson, a natureza privilegia a matéria em detrimento da antimatéria (ou vice-versa). A colaboração LHCb conta com mais de 600 colaboradores (entre eles, o autor deste artigo), de 13 países diferentes.

Atlas • O nome revela muito de seu perfil: é o maior dos quatro detectores do LHC. Na caverna, no subsolo que o abriga, caberia a catedral de Notre Dame (figura 5). Não é por menos que ele leva o nome do titã que, segundo a mitologia grega, foi condenado a carregar o céu nas costas. Foi desenhado para determinar a existência (ou não) do Higgs, embora vá desempenhar outras tarefas. A equipe em torno desse colosso reunirá 1,8 mil colaboradores, de 34 países diferentes.

CMS • Assim como o gigante Atlas, é um detector com objetivos mais gerais, embora também esteja estruturado para caçar o bóson de Higgs (figura 6). A colaboração 'Solenóide Compacto para Mésons' é a maior entre as quatro. Em sua equipe, estão cerca de 2,5 mil participantes, de 37 diferentes países.

GRADE DE COMPUTADORES

O CERN revolucionou a informação com a criação da famosa 'www', que permite o acesso, neste início de século, a um número incontável de páginas eletrônicas. Só isso certamente já valeria todo o investimento feito nesse laboratório europeu, que acumulou, desde sua

fundação, em 1954, uma longa lista de bons serviços prestados à ciência e à humanidade. Hoje, 20 países são membros desse centro. Outros nove têm o *status* de observador. Mais 27 (entre eles, o Brasil) participam das atividades. Isso faz do LHC uma Babel ao contrário, onde todos se entendem.

Os experimentos que serão realizados no LHC irão gerar mais de 10 milhões de gigabytes de informação, o que equivale a uma pilha de 20 km de altura de CDs, com a capacidade máxima de armazenamento esgotada. Para analisar, gerenciar e armazenar essa quantidade astronômica de dados, o LHC criou uma rede (ou grade) de computadores interligados, com centenas de pequenos e grandes centros de computação (figura 7). Essa rede está baseada no mesmo conceito distributivo da *www*, com a diferença de esta última distribuir informação, enquanto a rede do LHC distribui potência computacional e capacidade de armazenamento de dados.

Essa malha gigantesca e hiperveloz de computadores, por meio do projeto EGEE (sigla inglesa para algo como 'Possibilitando uma Rede de Computadores para a Ciência), liderado pelo CERN, já está prestando serviços de utilidade pública: recentemente, os cerca de 300 mil componentes químicos do vírus da gripe aviária foram analisados por 2 mil computadores dessa grade. Objetivo: buscar potenciais medicamentos contra a doença. Outro exemplo: a infra-estrutura do EGEE fez simulações computacionais que permitiram avaliar mais de 40 milhões de candidatos a medicamentos contra a malária.

Em resumo: o LHC tem o apoio de um devorador de cálculos longos e complexos.

PRESENÇA BRASILEIRA

O Brasil está presente nos quatro detectores do LHC. Do LHCb, participam pesquisadores do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) e da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). No Alice, estão a Universidade de São Paulo e a Universidade Estadual de Campinas (SP). A UFRJ está no Atlas, e da equipe do CMS fazem parte o CBPF, a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e a Universidade Estadual Paulista (Unesp).

O autor deste artigo tem interesse especial pela assimetria entre matéria e antimatéria e, portanto, está trabalhando no LHCb, que poderá dar uma resposta para uma pergunta intrigante: por que há mais matéria do que antimatéria no universo?



FOTO MAXIMILIEN BRICE/CERN GENEVRA

Figura 7. Visão de um dos bancos de computadores do LHC

RESPOSTAS PARA AS PERGUNTAS

Desde sua fundação, o CERN tem se mostrado uma organização internacional no sentido amplo, um local onde o conhecimento é disseminado extensivamente, com a participação de todos, de forma aberta e democrática. Essa experiência de convivência e de esforço conjunto mostrou ser tão eficaz que tem servido de modelo para outros grandes projetos científicos, nas áreas de fusão nuclear, seqüenciamento de genomas e astronomia. Organizações como o CERN estão mudando o velho paradigma do cientista isolado e que fazia grandes descobertas em pequenos laboratórios. Artigos científicos das equipes que trabalham nos detectores do CERN chegam a ter centenas de assinaturas.

Uma rede de TV norte-americana ofereceu a seus telespectadores uma lista com sete opções para que, a partir dela, fossem escolhidas as maiores realizações humanas recentes. Em primeiro lugar, ficou a *www*; em segundo, o LHC; em terceiro, a invenção de braços biônicos. Os outros concorrentes eram façanhas igualmente respeitáveis: o desenvolvimento de Dubai (Emirados Árabes), a hidrelétrica de Três Gargantas (China), o túnel sob o canal da Mancha (que liga a o continente europeu à Grã-Bretanha) e o viaduto de Milau (França).

Dá para perceber que pesam sobre os ombros desse gigante criador (e esmagador) de matéria inúmeras responsabilidades. Os físicos, no entanto, apostam que essa 'rainha' das máquinas, supra-sumo do que há de mais moderno na tecnologia deste início de século, irá cumprir seu papel e responder, com um sim ou não, às perguntas feitas à natureza pela comunidade mundial de física de altas energias.

E, talvez, até apareça com respostas para perguntas que nem mesmo tenham ainda sido formuladas. ■

SUGESTÕES PARA LEITURA

BEDIAGA, I. LHC – o gigante criador de matéria.

Folder da série *Desafios da Física*.

Rio de Janeiro: CBPF (2008).

Em breve, disponível em formato PDF em <http://mesonpi.cat.cbpf.br/desafios/>

ANJOS, J. C. e

NATALE, A. A. Partículas elementares – (des)construção da matéria pelo homem.

Folder da série *Desafios da Física*.

Rio de Janeiro: CBPF (2005).

Disponível em formato PDF em <http://mesonpi.cat.cbpf.br/desafios/>

SYMMETRY. (Especial sobre o LHC).

v. 3, n. 6, agosto de 2006.

Disponível (em inglês) em <http://www.symmetrymagazine.org/cms/>

NATURE. (Especial sobre o LHC), v. 448, pp. 169-312 (2007)

Na internet:

AVENTURA DAS PARTÍCULAS. <http://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/> (em português)

CERN. The Large Hadron Collider. Disponível (em inglês) em <http://public.web.cern.ch/Public/en/LHC/LHC-en.html>