

Depois de mais de dez anos de construção, deverá entrar em funcionamento este ano no CERN, laboratório europeu em Genebra (Suíça), uma verdadeira máquina do tempo: o grande anel de colisões de partículas batizado LHC, suas iniciais em inglês. Ele vai acelerar partículas girando em sentidos opostos e fazê-las colidir frontalmente com tamanha energia que poderá recriar condições e temperaturas características da infância de nosso universo. Assim, poderemos estudar o que aconteceu em um passado remoto, logo após a grande explosão que deu início ao universo como o conhecemos hoje.

O programa científico do LHC é riquíssimo, com potencial para grandes descobertas: Qual o mecanismo que permite transformar energia em massa? Por que a antimatéria sumiu do universo? Será que existem superpartículas até hoje não detectadas? Será que o universo tem dimensões extras e que vivemos confinados em um subconjunto delas? Quais as propriedades da escaldante sopa de matéria criada nas colisões? Essas são algumas das questões que o LHC nos permitirá estudar e para as quais, quem sabe, nos dará respostas.

Sessenta anos depois de o físico brasileiro César Lattes (1924-2005) ter detectado a partícula responsável pela coesão do núcleo atômico, o méson pi, no então maior acelerador de partículas do mundo, na Universidade da Califórnia, estamos certos de que teremos pela frente uma década de surpresas e descobertas emocionantes. Fique ligado no LHC. Esse colosso poderá mudar sua concepção do universo!

João dos Anjos  
COORDENADOR DO PROJETO DESAFIOS DA FÍSICA

PRESIDENTE DA REPÚBLICA  
Luiz Inácio Lula da Silva

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
Sergio Machado Rezende

SUBSECRETÁRIO DE COORDENAÇÃO DAS UNIDADES DE PESQUISA  
Luiz Fernando Schettino

DIRETOR DO CBPF  
Ricardo Magnus Osório Galvão

COORDENADOR DO PROJETO DESAFIOS DA FÍSICA  
João dos Anjos (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas)

REDAÇÃO E EDIÇÃO CIENTÍFICA  
Ignácio Bediaga (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas)

EDIÇÃO DE TEXTO  
Cássio Leite Vieira (Instituto Ciência Hoje)

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO  
Ampersand Comunicação Gráfica  
(ampersand@amperdesign.com.br)

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS  
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150  
22290-180 – Rio de Janeiro – RJ  
Tel: (21) 2141-7100  
Fax: (21) 2141-7400  
Internet: <http://www.cbpf.br>

Para receber gratuitamente pelo correio um exemplar deste folder, envie pedido pelo site do projeto Desafios da Física (<http://mesonpi.cat.cbpf.br/desafios/>), onde estão disponíveis, em formato PDF, todos os folders da série. No portal <http://www.cbpf.br/Publicacoes.html>, estão disponíveis outras iniciativas de divulgação científica do CBPF.



Ministério da  
Ciência e Tecnologia



Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

2008

# LHC

## O gigante criador de matéria

Sugestão  
para leitura

NATURE. (especial sobre o LHC), v. 448, pp. 169-312 (2007)  
CERN. The Large Hadron Collider. Disponível em <http://public.web.cern.ch/Public/en/LHC/LHC-en.html> (em inglês)  
AVENTURA DAS PARTÍCULAS. <http://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/> (em português)  
SYMMETRY. (especial sobre o LHC). v. 3, n. 6, agosto de 2006. Disponível (em inglês) em <http://www.symmetrymagazine.org/cms/>  
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/>  
BEDIAGA, I. 'LHC – o colosso criador e esmagador de matéria'. *Ciência Hoje*, v. 42, nº 247 (abril de 2008)

### ERA DE UM COLOSSO

Grande colisor  
Dimensões ínfimas  
Duas missões básicas

### A MÁQUINA EM NÚMEROS

Números impressionantes  
Batida de frente  
1,5 tonelada  
Vácuo interplanetário  
Temperatura intergaláctica  
Da Terra ao Sol  
 $E = mc^2$

### FÍSICA NO LHC

Questões centrais  
A partícula das massas  
Onde está a antimatéria?  
Sopa quentíssima

### DETECTORES DO LHC

Capturadores de estilhaços  
Alicé  
LHCb  
Atlas  
CMS  
Participação brasileira

### GRADE DE COMPUTADORES

Web  
20 km de CDs  
Utilidade pública

### RESPOSTAS PARA AS PERGUNTAS

Mudança de paradigma  
Enquete na TV  
Rainha das máquinas

LHC – o gigante criador de matéria



# ERA DE UM COLOSSO

**GRANDE COLISOR** • 2008 é um marco para a física de altas energias: este ano, terá início o funcionamento do maior acelerador de partículas no mundo, o LHC (sigla, em inglês, para Grande Colisor de Hádrons). Essa máquina, por seu tamanho, número de cientistas e tecnólogos envolvidos, pelas tecnologias desenvolvidas e pelos objetivos científicos, pode ser considerada o maior empreendimento científico e tecnológico da atualidade. É um dos pontos mais altos na história do *Homo faber*.

**DIMENSÕES ÍNFINAS** • Um acelerador e seus detectores estão para o físico 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 nas dimensões ínfimas. No caso desse gigante de 27 km de circunferência – encravado a 100 m de profundidade, na fronteira da Suíça com a França, onde está o laboratório que o abriga, o Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (CERN) –, o objetivo é estudar a estrutura da matéria em dimensões inferiores ao tamanho

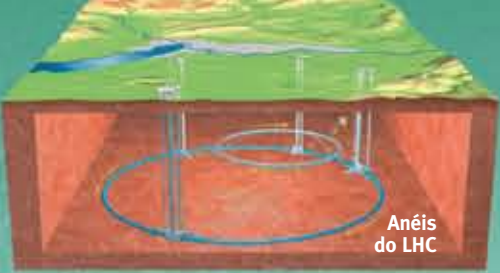


ILUSTRAÇÃO PHILIPPE MOUTCHE/CERN

dos prótons: 0,000000000000000001 ( $10^{-18}$  m). Em resumo: o LHC é o maior instrumento científico do mundo, feito para investigar as menores dimensões jamais observadas.

**DUAS MISSÕES BÁSICAS** • A primeira missão desse novo acelerador é investigar 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: i) a forte, que mantém o núcleo atômico coeso; ii) a fraca, que age quando uma partícula se transforma em outra; iii) e a eletromagnética, que atua quando cargas elétricas estão envolvidas. A força gravitacional não faz parte do Modelo Padrão. A segunda missão – mais difícil de ser caracterizada – é buscar novos fenômenos físicos na altíssima escala de energia que será atingida por ele em volumes infinitesimais de espaço.

# A MÁQUINA EM NÚMEROS

**NÚMEROS IMPRESSIONANTES** • O LHC foi feito usando os mesmos 27 km (mais exatamente, 26,659 km) de circunferência do túnel de uma 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 iniciou suas atividades em 1988 e foi desmontado a partir de 2002, para dar início à construção do LHC, seu primo mais robusto. De lá para cá, foram gastos cerca de US\$ 6 bilhões.

**BATIDA DE FRENTE** • No LHC, a cada segundo, um pacote com cerca de 3 trilhões de prótons, viajando com velocidade próxima à da luz (300 mil km/s), irá atravessar um outro com características idênticas. Choques ‘de frente’ ocorrerão à estonteante taxa de 600 milhões de vezes por segundo. Cada vez que houver uma colisão desse tipo, serão produzidas, em média, centenas de partículas de massas variadas.

**1,5 TONELADA** • 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 impressionante casa dos 7 trilhões de elétrons-volt

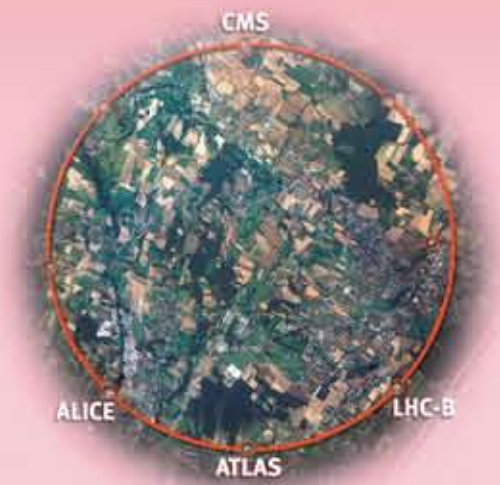


FOTO JEAN-LUC CARON/CERN

(7 TeV) por próton, um patamar descomunal para algo que é trilhões de vezes menor que um grão de areia. Somadas individualmente, as energias dos prótons envolvidos na colisão seriam equivalentes à de um veículo de 1,5 tonelada, viajando a 25 mil km/h.

**VÁCUO INTERPLANETÁRIO** • No quesito energia, o LHC será cerca de dez vezes superior ao maior

# FÍSICA NO LHC

**QUESTÕES CENTRAIS** • O LHC deverá ajudar os cientistas a responder a três questões centrais sobre o mundo das partículas e das forças: i) existe o bóson de Higgs? ii) os físicos têm uma teoria adequada para explicar o que aconteceu com a antimatéria do universo?; iii) existe a ‘sopa’ quântica de quarks e glúons?

**i) A PARTÍCULA DAS MASSAS** • O Modelo Padrão tem como um dos 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). Essa teoria foi testada com vigor nas últimas três décadas, e os resultados obtidos nesses experimentos comprovam a solidez desse modelo. Entretanto, a unificação entre forças tão dispares só é permitida, segundo a teoria padrão, 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 mas-



CERN

Simulação de buraco negro no detector ATLAS

sas são cerca de 90 vezes maiores que a do próton. Os físicos têm muita convicção de que o bóson de Higgs (provavelmente 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 forte expectativa de que o Higgs será detectado no LHC.

**ii) ONDE ESTÁ A ANTIMATÉRIA?** – Toda partícula de matéria conhecida tem sua antipartícula. Assim, o elétron tem o pósitron, que praticamente difere do primeiro apenas por ter uma carga elétrica contrária.

acelerador de prótons hoje em atividade no mundo, o Tévatron, situado no Fermilab (EUA). A máquina européia foi projetada para trabalhar com cerca de 100 vezes mais prótons circulando no anel, em cujo interior reina um vácuo no qual há menos matéria que no espaço a mil km de altitude (para se ter uma idéia, a Estação Orbital Internacional – por sinal, outra maravilha da engenhosidade humana – está a meros 380 km do chão). Serão apenas 3 milhões de moléculas por  $cm^3$ , algo espantoso para um vácuo artificial.

**TEMPERATURA INTERGALÁCTICA** • 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 cada. Para manter esses artefatos a baixas temperaturas, serão usados 12 milhões de litros de nitrogênio líquido (para iniciar o processo refrigeração) e, em seguida, 700 mil litros de hélio líquido, para atingir a temperatura desejada.

**DA TERRA AO SOL** • 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 a 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 dela), com uma ‘sobra’ que daria para ir à Lua algumas vezes.

**E=MC<sup>2</sup>** • 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 pode gerar uma porção descomunal de energia, como ficou demonstrado num dos acontecimentos mais trágicos da história: a explosão de duas bombas atômicas sobre o Japão, na Segunda Guerra Mundial, deixando centenas de milhares de mortos e feridos. Nela, com uma eficiência baixíssima (cerca de 1%), alguns poucos quilos de material radioativo deram origem a um ‘cogumelo’ atômico com quilômetros de altura. Nos aceleradores, ocorre o inverso: a energia dos prótons acelerados se transforma, por meio das colisões, em matéria.

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 (resumidamente, conhecida como matriz CKM) para explicar, em parte, por que há essa assimetria entre matéria e antimatéria. Essas idéias se mostraram no caminho certo quando, a partir dessa teoria, foi prevista a existência de dois novos quarks, o top e o bottom, descobertos 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 dessa assimetria.

# DETETORES DO LHC

**CAPTURADORES DE FRAGMENTOS** • Acelerar partículas a energias extremamente altas é apenas parte da tarefa de um acelerador. A outra, tão importante quanto, é detectar um sem-número de estilhaços que se espalham pelo espaço depois das 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:

**>> ALICE** • O Experimento do Grande Colisor de Íons (que 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, é o primeiro detector dedicado praticamente ao estudo do plasma de quark-glúons. Se esse novo estado da matéria 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 vai verificar se, no momento da criação desse tipo de méson, a natureza privilegia a matéria em detrimento da antimatéria (ou vice-versa). O LHCb conta com mais de 600 colaboradores, de 13 países diferentes.

**>> ATLAS** • O nome revela algo de seu perfil: é o maior dos quatro detectores do LHC. Na caverna



FOTO JEAN-LUC CARON/CERN

Detector ALICE

subterrânea que o abriga, caberia a catedral de Notre Dame. 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 ou não a existência 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. A colaboração ‘Solenóide Compacto para Múons’ é a maior entre as quatro. Em sua equipe, estão cerca de 2,5 mil participantes, de 37 diferentes países.

**PARTICIPAÇÃO 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. Fazem parte da equipe do CMS o CBPF, a Universidade Estadual do Rio de Janeiro e a Universidade Estadual Paulista.

# GRADE DE COMPUTADORES

**WEB** • O CERN revolucionou a informação com a criação da *world wide web* (a ‘www’), que permitiu o acesso a páginas da web na internet. Só isso certamente já valeria todo o investimento feito nesse laboratório europeu, fundado em 1954, que tem uma extensa lista de bons serviços prestados à ciência e do qual hoje 20 países são membros. Outros nove têm o *status* de observadores, e mais 27 (entre eles, o Brasil) participam das atividades desse centro de pesquisa. Isso faz do LHC uma Babel ao contrário, onde todos se entendem.

**20 KM DE CDS** • 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 esse número astronômico de dados, o LHC criou uma rede (ou grade) de computadores interligados, com centenas de pequenos e grandes centros de computação.

**UTILIDADE PÚBLICA** • 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.



Uma das grades de computadores do LHC

MAXIMILIEN BRICE

# RESPOSTAS PARA AS PERGUNTAS

**MUDANÇA DE PARADIGMA** • 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, sequenciamento 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.

**ENQUETE NA TV** • 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 sobre o canal da Mancha (que liga o continente à Grã-Bretanha) e o viaduto de Milau (França).

**RAINHA DAS MÁQUINAS** • Dá para perceber que pesa 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.

simulação de colisão de íons de chumbo no ALICE