



*O texto a seguir é uma publicação da revista bilingue Uniso Ciência, da Universidade de Sorocaba, para fins de divulgação científica.*

*The following story is part of the bilingual magazine Science @ Uniso, published by the University of Sorocaba, for the purpose of scientific outreach.*

*Acesse aqui a edição completa/  
Follow the link to access  
the full magazine:*



**PARCERIA • PARTNERSHIP**

**CIÊNCIA**  
que olha para dentro

**SCIENCE**  
that searches inwards

**Por/By: Maria Luiza de Oliveira (IF-USP\*, reportagem/reporting),  
com edição final de/edited by Guilherme Profeta (GpexDC-Uniso\*\*)  
Foto/Photo: Paulo Ribeiro**

Investigando de que é feito o universo  
Investigating the formation of the universe

*\*Com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) do Ministério da Educação, processo nº 2017/17487-0. As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do(s) autor(es) e não necessariamente refletem a visão da FAPESP e da CAPES.*

*\*\*Grupo de produção experimental em Divulgação Científica da Universidade de Sorocaba, em parceria com a Rede Nacional de Física de Altas Energias (Renafae). Edição da foto: André Rocha; modelos: Tami Dagnes e Danielle Berti.*

*\*Funded by FAPESP and CAPES, grant no. 2017/17487-0. The opinions, hypotheses, and conclusions or recommendations hereby expressed are the responsibility of the author(s) and do not necessarily reflect FAPESP and CAPES' views on any matter.*

*\*\*Uniso's Group for experimental writing on Science Communication, in partnership with Renafae, the Brazilian National Network of High Energy Physics. Photo editing: André Rocha; models: Tami Dagnes, Danielle Berti.*

*Há pesquisadores olhando para fora: para o céu, para as estrelas, para o cosmo. Enquanto isso, outros pesquisadores olham para dentro: para as profundezas invisíveis da matéria, investigando muito além do próprio átomo. Costuma-se dizer que a verdade está lá fora, mas alguns a estão buscando aqui dentro.*

Tudo o que existe no mundo e no universo conhecido pelo homem se resume a uma combinação de 118 elementos químicos, dos quais 92 são encontrados na natureza (e os outros 26 são sintéticos). São elementos tão distintos, ao menos ao olho nu, quanto o oxigênio que você está respirando agora mesmo, enquanto lê este texto, e um meteorito de ferro maciço em órbita no espaço. Pode parecer que eles não têm absolutamente nada em comum, mas que tal olhar mais de perto?

Todo e qualquer átomo, independentemente do elemento, é composto das mesmas partes fundamentais: os prótons e nêutrons, aglutinados num núcleo de carga positiva, e os elétrons girando em volta, numa espécie de nuvem de carga negativa. É a quantidade de prótons que vai determinar o elemento do átomo — um átomo de oxigênio, por exemplo, tem oito prótons, enquanto um átomo de ferro tem 26.

Mas o modelo atômico de um núcleo rodeado por elétrons, resultado de pesquisas datadas entre o fim do século XIX e as primeiras décadas do século XX, continha uma questão que ainda intrigava os estudiosos: se cargas elétricas opostas se atraem e cargas iguais se repelem, como o núcleo pode ser estável se apresenta carga positiva? Por que os prótons não fogem uns dos outros e vão buscar os elétrons à sua volta? Isso se dá, dizem os físicos, devido a uma propriedade chamada força forte, que atua no interior dos núcleos atômicos e é uma das **QUATRO FORÇAS** em ação na natureza.

Essa força forte é ainda mais evidente quando olhamos mais para dentro: prótons e nêutrons são formados por três partículas chamadas quarks, as quais se mantêm ligadas umas às outras pela mesma propriedade. Na natureza, não há quarks em estado livre, apenas confinados uns aos outros, pois essa força forte entre os quarks tem por característica aumentar conforme eles se afastam.

Contudo, acredita-se que houve um breve momento na história do universo, quando sua densidade era tão elevada, que os quarks estavam livres numa espécie de “sopa”, à qual os cientistas dão o nome de plasma de quarks e glúons (QGP, na sigla em inglês). Supõe-se que isso tenha acontecido durante apenas alguns milionésimos de segundo logo após o **BIG BANG**, mas o mais incrível é que é possível recriar essa mesma situação em laboratório.

**O EXPERIMENTO ALICE**

## PARA SABER MAIS: AS FORÇAS QUE ORGANIZAM O UNIVERSO

De acordo com o Modelo Padrão das Partículas Elementares, todas as forças em ação na natureza se resumem a quatro tipos: força forte, força fraca, força eletromagnética e força gravitacional. A força forte atua apenas no interior do núcleo atômico e faz com que os hádrons se mantenham unidos. A força fraca está relacionada a um tipo de decaimento radioativo dos átomos, que ocorre em elementos instáveis formados por muitos prótons ou muitos nêutrons — os quais, ao perder parte desses prótons ou nêutrons, se transformam em outros elementos. As outras duas forças podem ser experimentadas no mundo macroscópico (mesmo quando recebem outros nomes, como força de atrito ou força elástica). A menos intensa das quatro forças básicas é a gravitacional. Se lembrarmos, por exemplo, que o ser humano está fixado ao chão devido a uma força causada pela enorme massa da Terra e, mesmo assim, consegue saltar, a baixa intensidade da força gravitacional pode ficar mais óbvia.

## PARA SABER MAIS: DO BIG BANG AO NOSSO UNIVERSO DE HOJE

A teoria do Big Bang atribui a origem do universo a uma grande explosão, ocorrida há 13,7 bilhões de anos. Logo após o Big Bang, a matéria teria ficado em estado de QGP, o plasma de quarks e glúons, antes de se expandir, perder calor e favorecer a formação dos hádrons. Assim que eles surgiram, o universo teria sofrido uma nova expansão e um novo esfriamento, que teriam sido abruptos. Com isso, os prótons e nêutrons se juntaram em pequenos grupos, dando origem aos núcleos atômicos. Desde então, as mudanças foram lentas: 380 mil anos para que os elétrons passassem a orbitar os núcleos e formar átomos, sendo mais abundantes os elementos mais simples: hidrogênio (em sua forma mais frequente, um próton e um elétron) e hélio (dois prótons, dois nêutrons, dois elétrons). Em vez de corpos celestes, havia nuvens de gás. Passaram-se aproximadamente 1,6 milhão de anos para as estrelas e galáxias se formarem, por ação da força gravitacional entre os átomos. Aos poucos, surgiram os elementos mais pesados, com muito mais prótons e nêutrons no núcleo, e o universo foi ganhando a configuração que conhecemos hoje. Hidrogênio e hélio continuam sendo os elementos mais comuns.

## TO KNOW BETTER: FORCES THAT ORGANIZE THE UNIVERSE

According to the Standard Model of Particle Physics, all forces at work in nature come down to four types: strong force, weak force, electromagnetic force, and gravitational force. The strong force only takes place within the atomic nucleus, making hadrons stick together. The weak force is related to a kind of atomic radioactive decay, which occurs in unstable elements formed by many protons or many neutrons—the ones that, after losing part of these protons or neutrons, transform themselves into other elements. The other two forces can be experienced in the macroscopic world (even when they receive other names, such as friction or elastic force). The least intense of the four basic forces is the gravitational one. If we take into account, for example, that human beings are fixed to the ground due to a force caused by the enormous mass of the Earth and are still able to jump, the low intensity of the gravitational force may seem more obvious.

## TO KNOW BETTER: FROM THE BIG BANG TO OUR UNIVERSE NOWADAYS

The Big Bang theory attributes the origin of the universe to a major explosion, which occurred 13.7 billion years ago. Soon after the Big Bang, matter was in the QGP state, the quarks and gluons plasma, before expanding, losing heat, and thus favoring the formation of hadrons. As soon as they appeared, the universe probably went through a new expansion and a new cooling, which were most likely abrupt. Just like that, the protons and neutrons gathered together in small groups, thus being born the atomic nuclei. Since then, changes have been slow: 380,000 years for electrons to orbit nuclei and form atoms, the simplest elements being the most abundant ones: hydrogen (mostly often a proton and an electron), and helium (two protons, two neutrons, two electrons). Instead of celestial bodies, there were clouds of gas. Around 1.6 million years went by until stars and galaxies started to form, by the action of gravitational force between atoms. Gradually, the heavier elements appeared, with much more protons and neutrons in their nuclei, and the universe got into the shape we know today. Hydrogen and helium still remain the most common elements.

*There are researchers searching outside: in the sky, in the stars, in the cosmos. Meanwhile, other researchers search inwards: in the invisible depths of matter, investigating beyond the atom itself. It is often said that the truth is out there, but some are searching for it in here.*

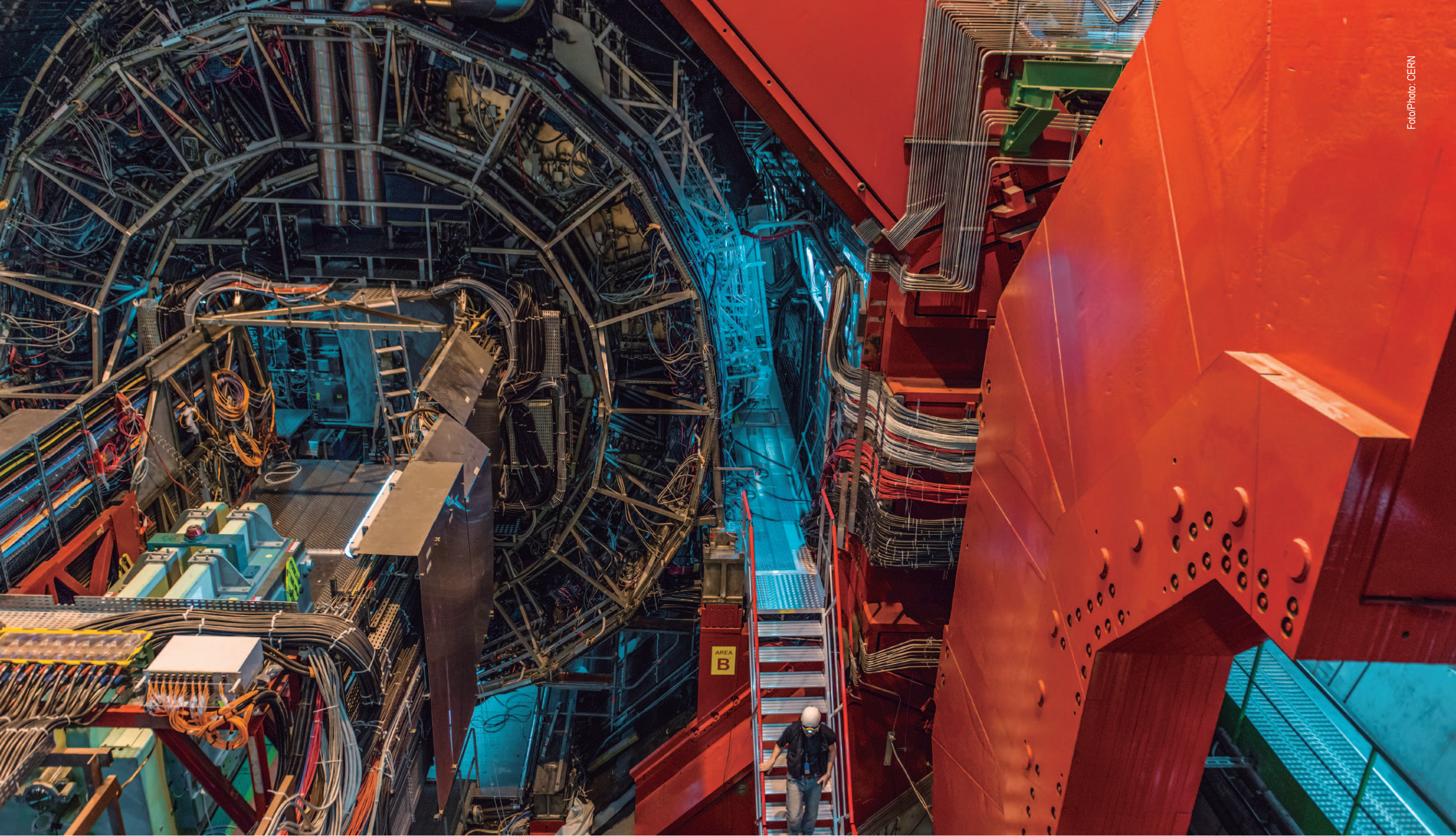
Everything that exists in the world and in the known universe comes down to a combination of 118 chemical elements, of which 92 are found in nature (and the other 26 are synthetic). They are as distinct, at least to the naked eye, as the oxygen you are breathing right now as you read through this text, and a meteorite made of massive iron in orbit in space. It may seem that they have absolutely nothing in common, but how about getting a little closer?

Each and every atom, regardless of the element, is composed of the same fundamental parts: the protons and the neutrons, bound together into a positively charged nucleus, and the electrons spinning around in a kind of negatively charged cloud. It is the amount of protons that will determine the element of the atom—an atom of oxygen, for example, has eight protons, while an atom of iron has 26.

But the atomic model of a nucleus surrounded by electrons, result of researches dating back to the end of the 19th century and the first decades of the 20th century, contained an issue that still intrigued academics: if opposing electric charges are attracted to each other, and equal charges repel each other, how can the nucleus be stable if it has a positive charge? Why do not the protons run away from each other and go towards the electrons around them? This happens, according to physicists, because of a property called strong nuclear force, which acts within atomic nuclei and is one of the **FOUR FORCES** at work in nature.

This force is even more evident when we look inwards: protons and neutrons are formed by three particles called quarks, which are held together by the same property. In nature, there are no quarks roaming freely, only confined to each other, because this strong force has the characteristic of only increasing as quarks move away from one another.

However, it is believed that there was a brief moment in the history of the universe, when its density was so high that the quarks were roaming freely in a kind of “soup”, which scientists call quarks and gluons plasma (QGP). It is assumed that this happened for only a few millionths of a second shortly after the **BIG BANG**, but the most incredible thing is that it is possible to recreate this same situation in the laboratory.



O experimento ALICE  
The ALICE experiment

Num túnel anelar de 27 quilômetros de extensão, feixes de átomos de chumbo acelerados a uma velocidade próxima à da própria luz chocam-se em pontos específicos, espalhando para todos os lados os seus estilhaços de matéria, os quais, uma vez registrados por detectores, podem ajudar a solucionar uma série de questões ainda não respondidas pela Física. Grandes experimentos desse tipo estão sendo conduzidos atualmente na fronteira entre a Suíça e a França, nas instalações do LHC (ou, na sigla, em inglês, o Grande Colisor de Hádrons), o maior colisor de partículas em operação, com a participação de brasileiros.

Nessas colisões artificiais entre núcleos atômicos provocadas em laboratório, a energia gerada é tão alta que os quarks se soltam uns dos outros, adquirindo o mesmo estado de plasma existente poucos instantes após o Big Bang. Mesmo em laboratório, no entanto, isso acontece por um instante muito curto, cerca de  $10^{-22}$  segundos (o que equivale ao número 1 antecedido por 21 zeros depois da vírgula). Em seguida, os quarks se aglomeram novamente e são formados novos hádrons (nome dado às partículas que se aglutinam de acordo com as regras da força forte). Nessa breve janela de tempo, é possível dar uma espiada no que aconteceu durante a infância do universo. É isso que faz o chamado experimento ALICE (sigla em inglês para *A Large Ion Collider Experiment*, ou Um Grande Experimento de Colisor de Íons), um dos quatro experimentos principais do LHC.

“No ALICE, a gente joga um núcleo de chumbo contra outro núcleo de chumbo, numa tentativa de recriar uma situação em que havia uma grande densidade de energia, como no começo do universo”, explica o professor David Chinellato, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), um dos físicos à frente do ALICE desde 2013. “Tal qual aconteceu depois do Big Bang, esse sistema também vai se expandir e resfriar, e os quarks e glúons vão se combinar novamente em hádrons, num processo que é chamado de hadronização. A quantidade de plasma é minúscula e ele está em altíssima temperatura. Esse plasma se expande rapidamente e se resfria, e toda aquela energia condensada se espalha. Em  $10^{-22}$  segundos já não existe mais o QGP. Em seu lugar, existem hádrons e outras partículas. O que a gente mede, então, são essas partículas resultantes, pois não conseguimos acessar o plasma diretamente.”

### COM QUANTOS BYTES SE FAZ PESQUISA EM FÍSICA DE PARTÍCULAS?

Não é possível observar diretamente os resultados de uma colisão de partículas. Na verdade, o que os cientistas observam é uma tela de computador, cheia

### THE ALICE EXPERIMENT

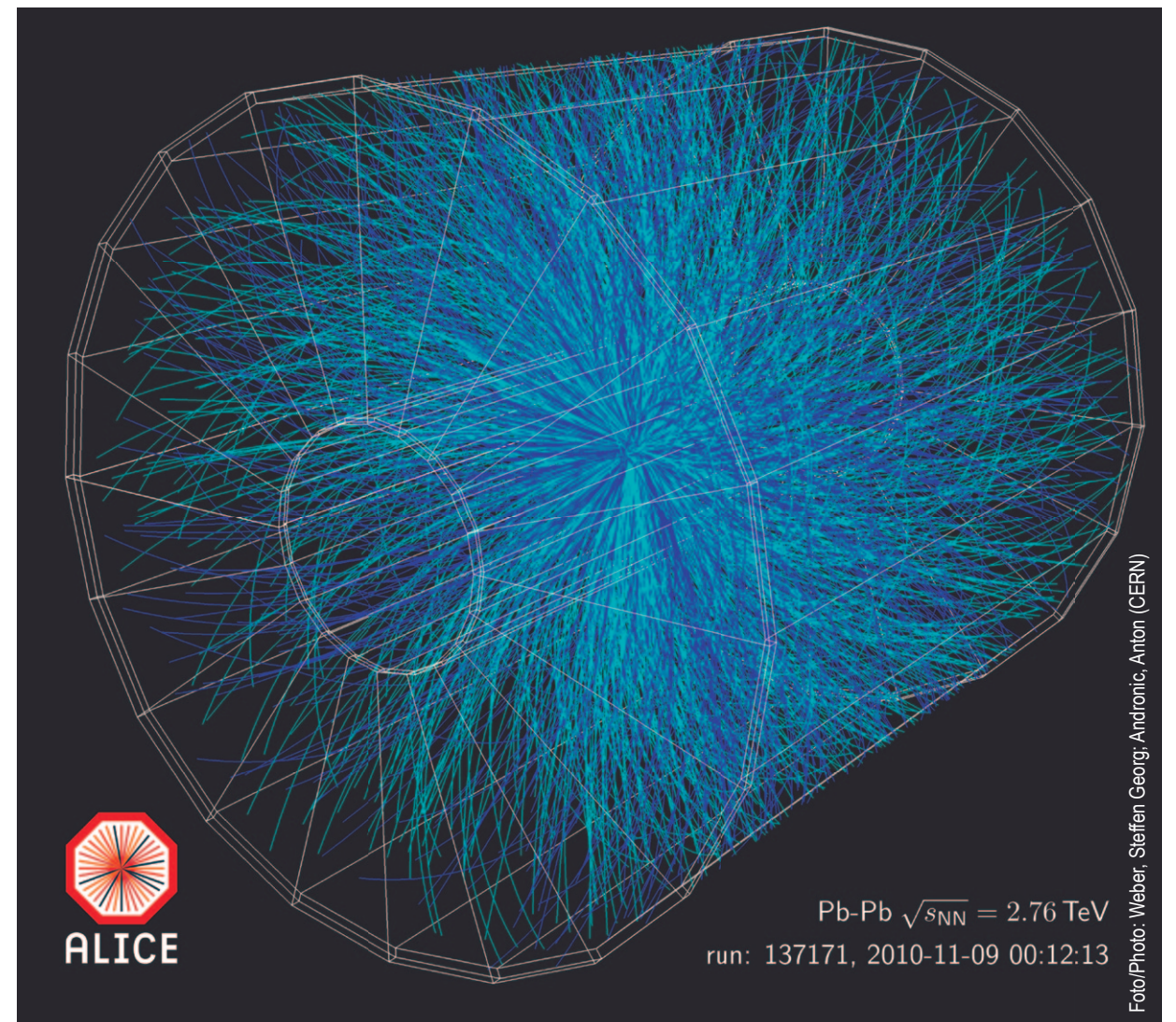
Inside a 27-kilometer-long ring-shaped tunnel, which is part of the LHC (Large Hadron Collider), the largest particle collider in the world, beams of lead atoms accelerate almost as fast as lightspeed and crash against other beams at specific points, scattering their shards of matter around. Once recorded by detectors, these “shards of matter” can help solve a number of questions not yet answered by Physics.

In these artificial laboratory-generated collisions between atomic nuclei, the resulting energy is so high that quarks break loose from one another, acquiring the same state of plasma that existed just a few moments after the Big Bang. Even in the laboratory, however, this happens for a very short time, about  $10^{-22}$  seconds (which is equivalent to the number 1 preceded by 21 zeros after the comma). The quarks then gather together again and new hadrons are formed (particles that clump together according to the rules of strong nuclear force). In this brief gap of time, it is possible to take a peek into what happened during the birth of the universe. This is what the so-called ALICE (A Large Ion Collider Experiment), one of the four main LHC experiments, is meant to do.

“At ALICE, we throw a lead nucleus against another lead nucleus in an attempt to recreate a situation where there was high energy density, just like it was at the beginning of the universe,” explains professor David Chinellato, of the State University of Campinas (Unicamp), one of the physicists working at ALICE since 2013. “Just like it happened after the Big Bang, this system will also expand and cool down, and the quarks and gluons will re-combine into hadrons in a process that is called hadronization. The amount of plasma is minuscule, and it is at very high temperature. This plasma expands rapidly and cools down, and all that condensed energy dissipates. In  $10^{-22}$  seconds the QGP no longer exists. Hadrons and other particles take its place. Then, these resulting particles are what we measure, because we cannot access the plasma directly.”

### HOW MANY BYTES DOES IT TAKE TO DO RESEARCH IN PARTICLE PHYSICS?

It is not possible to observe the results of a particle collision directly. In fact, what scientists do observe is a computer screen full of graphics and tables, generated from the detection instruments that record the particles



Uma das primeiras colisões de núcleos de chumbo no LHC, registrada em 2010 pelo detector do experimento ALICE  
One of the first collisions of lead nuclei at the LHC, registered in 2010 by the ALICE detector

de gráficos e tabelas, gerados a partir dos instrumentos de detecção que registram as partículas resultantes de cada colisão entre hádrons. Atualmente, o experimento ALICE registra 500 colisões por segundo (o que, na verdade, representa uma pequena fração das colisões que acontecem efetivamente). A partir de 2020, depois da atualização do LHC, os feixes de partículas serão mais intensos e a taxa de registro deverá atingir 50.000 por segundo.

Hoje, os dados gerados no LHC atingem a marca de 15 milhões de gigabytes por ano, um volume tão grande que um centro de processamento sozinho não daria conta de analisar, armazenar e distribuir. Então, as tarefas são organizadas numa imensa rede

that result from each hadron collision. Currently, the ALICE experiment registers 500 collisions per second (which represents a small fraction of all collisions that actually take place). From 2020 onwards, after the LHC upgrade, the particle beams will be more intense and the registering rate should reach 50,000 per second.

Today, data generated at the LHC reaches the mark of 15 million gigabytes per year, such a large volume that a processing center alone would not be enough to analyze, store, and distribute. Therefore, tasks are organized in a huge worldwide network,

mundial, que conta com 170 clusters distribuídos em 42 países, inclusive no Brasil. Um desses clusters é o Sistema de Análise e Multiprocessamento Avançado (cujo acrônimo forma o simpático apelido Sampa), localizado no Departamento de Física Nuclear do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP). Somando 7,6 terabytes de memória RAM e 800 terabytes de espaço em disco, esse cluster é um dos principais da América Latina e há anos vem atendendo ao experimento ALICE.

Aumentar a intensidade dos feixes — e, conseqüentemente, a capacidade de processamento dos clusters — é crucial para dar continuidade às pesquisas, pois significa aumentar a probabilidade de os pesquisadores se depararem com partículas elementares muito raras, que ainda não foram encontradas ou raramente são produzidas a partir de colisões (e muito menos registradas). É o caso, por exemplo, do famoso bóson de Higgs. A partícula, até então hipotética e confirmada em março de 2013, era uma peça que faltava para explicar o porquê de as outras partículas apresentarem massa.

“Não é em todo evento que essas partículas são produzidas”, comenta Jun Takahashi, professor da Unicamp e outro dos pesquisadores do experimento ALICE. “Essas partículas são muito raras. Milhões e milhões de prótons precisam colidir para se achar um Higgs, por exemplo. E há outras, como as partículas de super simetria, que talvez sejam ainda mais raras. Pode ser que elas existam, mas é preciso analisar mais e mais colisões, porque a frequência de ocorrência delas deve ser muito baixa.”

Para dar conta do aumento da quantidade de dados, que possibilitará o registro dessas novas partículas, dispositivos mais avançados estão sendo desenvolvidos. Recentemente, por exemplo, um projeto coordenado pelos professores Marcelo Gameiro Munhoz (IF-USP) e Wilhelmus Van Noije (Escola Politécnica da USP) se propôs a desenvolver um novo chip para transformar em bits a avalanche de sinais analógicos que os detectores do ALICE irão passar a receber. Esse chip, que também recebeu o nome de Sampa, foi projetado pelo grupo brasileiro e está atualmente em fase de produção em Taiwan.

É importante para o Brasil, do ponto de vista científico e tecnológico, que equipamentos usados em grandes colaborações internacionais como o ALICE sejam desenvolvidos por aqui, em universidades brasileiras”, defende Munhoz, acrescentando que esse tipo de estudo cria uma demanda única por

with 170 clusters distributed in 42 countries, including Brazil. One of these clusters is the System of Analysis and Advanced Multiprocessing (whose Portuguese acronym is the sympathetic nickname Sampa, alluding to the city of São Paulo), located in the Department of Nuclear Physics of the Institute of Physics in the University of São Paulo (USP). Totalling 7.6 terabytes of RAM, and 800 terabytes of disk space, this is one of the top clusters in Latin America, and has been serving the ALICE experiment for years.

Increasing the intensity of particle beams—and consequently the processing power of clusters—is crucial for keeping the research going, because it means increasing the likelihood of researchers encountering very rare elementary particles that have not yet been found or are rarely produced from collisions (thus less recorded). This is the case of the famous Higgs boson, for example. The particle, back then still hypothetical, was confirmed in March 2013, and was a missing piece to explain why other particles have mass.

“These particles are not produced in every event,” says Jun Takahashi, a professor at Unicamp and another of the researchers working at the ALICE experiment. “These particles are quite rare. Millions and millions of protons need to collide in order for us to find a Higgs, for example. And there are others, like the super symmetry particles, which may be even rarer. They may exist, but more and more collisions have to be analyzed, because their frequency of occurrence must be very low.”

In order to handle the increased amount of data, which will make possible to register these new particles, more advanced devices are being developed. Recently, for example, a project coordinated by professors Marcelo Gameiro Munhoz (IF-USP) and Wilhelmus Van Noije (Engineering School-USP) proposed to develop a new chip to turn the avalanche of analog signals that ALICE detectors will start receiving into bits. This chip, also called Sampa, was designed by the Brazilian group and currently is in production in Taiwan.

“It is important for Brazil, from a scientific and technological point of view, that equipments used in large international collaborations such as ALICE are developed here in Brazilian universities,” Munhoz defends, also stating that this kind of study creates a unique demand for new technologies. “These



Foto/Photo: Paulo Ribeiro

Prof. Marcelo Munhoz (IF-USP) em visita a um dos laboratórios de Física da Uniso  
Prof. Marcelo Munhoz (IF-USP) visiting one of Uniso's Physics labs

novas tecnologias. “Essas tecnologias nunca seriam desenvolvidas em outro contexto senão o estudo da ciência básica, como a investigação da constituição elementar da matéria. Mas, uma vez disponível, a tecnologia pode ser aplicada ao nosso dia a dia. É assim que caminha a ciência: a curiosidade pelo desconhecido nos leva a descobertas e desenvolvimentos que beneficiam a todos.” No caso do *chip* Sampa, os equipamentos que estão em desenvolvimento poderão vir a ser usados no monitoramento de reatores nucleares e até mesmo no estudo de peças arqueológicas.

technologies would never be developed in any other context besides the study of basic science, such as the investigation of the elementary constitution of matter. But once available, this technology can be applied to our daily life. This is how science works: curiosity about the unknown leads us to discoveries and developments that do benefit everyone.” When it comes to the Sampa chip, the equipment currently being developed may be used in the monitoring of nuclear reactors, and even in the study of archaeological pieces.