

— OBSERVATÓRIO PIERRE AUGER

Raios cósmicos, ainda um enigma

Análise da origem e da identidade de partículas de altíssimas energias avança e traz outras perguntas difíceis

Carlos Fioravanti



Uma das notícias distribuídas pela agência internacional Reuters em 8 de novembro de 2007 foi “Cosmic rays believed to start in black holes” (em uma tradução livre, “ Raios cósmicos, acredita-se, se originam em buracos negros”). A revista inglesa *The Economist* abdicou da habitual cautela e, no mesmo dia, estampou: “Eles vêm do espaço exterior – um mistério de 40 anos está solucionado”, referindo-se à possível origem dessas partículas. Os resultados do trabalho de uma equipe internacional de físicos e engenheiros do Observatório Pierre Auger, na Argentina, ganharam uma imensa repercussão – o site do Auger selecionou 65 reportagens de jornais e revistas de todo o mundo que deram a novidade, detalhada no principal artigo científico publicado na revista científica *Science* no dia seguinte –, mas o mistério ainda não se desfez.

Quatro anos depois, persistem as indicações de que os núcleos ativos de galáxias, onde se formam os buracos negros, podem mesmo ser o berçário dos raios cósmicos de energia ultra-alta, acima de 10^{19} elétron-Volt (eV). “O sinal se mantém, embora menos intenso”, diz a física Carola Dobrigkeit Chinellato, professora da Universidade

Estadual de Campinas (Unicamp) e coordenadora da equipe paulista. Dos cerca de 450 autores dos artigos científicos com dados do observatório, 30 são brasileiros, dos quais 19 são paulistas. Resultado de uma colaboração internacional que reúne hoje cerca de 500 físicos de 90 instituições de 19 países, o observatório começou a ser construído há dez anos ao pé dos Andes em uma planície semidesértica dos arredores de Malargüe, noroeste da Argentina. Os físicos começaram a coletar dados em janeiro de 2004, enquanto a construção seguia, até ser concluída em 2008.

A taxa de correlação entre os raios cósmicos e os núcleos ativos de galáxias, que era de 69% em 2007, caiu para aproximadamente 40%, estabilizando nesse patamar, nos anos seguintes, à medida que os detectores de superfície e os telescópios detectavam mais partículas, mas ainda está acima dos 21% de que essa relação seja puro acaso. Diferentemente dos físicos dos aceleradores de partículas, que podem produzir colisões entre prótons quando quiserem, os do Pierre Auger têm de esperar que cheguem do céu. Por ano, apenas umas poucas dezenas de raios cósmicos de altíssimas energias chegam ao topo da atmosfera terrestre. Cada um deles atravessa a atmosfera e

Uma planície ao pé dos Andes: espaço ideal para a captura de partículas que vêm do espaço

interage com os núcleos de átomos e moléculas do ar, produzindo um chuveiro atmosférico formado de bilhões de partículas. Parte dessas partículas irá atingir os 1.660 detectores de superfície, os chamados tanques Cerenkov, cada um com 12 mil litros de água puríssima. Os sensores dos tanques detectam a luz azulada emitida na água quando as partículas eletromagnéticas passam pelos tanques. (veja ilustração na página seguinte).

Espalhados por 3,3 mil quilômetros quadrados – o dobro da área da cidade de São Paulo –, os detectores de superfície funcionam de modo integrado com os 27 telescópios de fluorescência, os chamados olhos-de-mosca, capazes de registrar a tênue luz emitida pelas moléculas de nitrogênio da alta atmosfera quando excitadas pelas partículas do chuveiro iniciado pelo raio cósmico que chegou à Terra. Por serem tão sensíveis é que os detectores de fluorescência, instalados em quatro prédios, só funcionam às escuras, em noites sem lua, enquanto os tanques captam as partículas do chuveiro o tempo todo.

O Pierre Auger foi o experimento pioneiro em integrar os dois métodos independentes de observação, até então adotados isoladamente em observatórios menores

como o Fly's Eye, que funcionou de 1981 a 1992 nos Estados Unidos com 67 telescópios, e o Akeno Giant Air Shower Array (Agasa), no Japão, com 111 detectores de superfície. “Vários detalhes inovadores do projeto original estão mostrando valor agora”, observa o físico Carlos Escobar, professor da Unicamp que coordenou a equipe brasileira e a negociação com as empresas ao longo da construção do observatório na Argentina desde as primeiras reuniões de planejamento, participando como um dos dois representantes brasileiros, ao lado de Ronald Shellard, pesquisador do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), do Rio de Janeiro, e atual coordenador da participação brasileira no Auger. Desde abril de 2011, Escobar trabalha como pesquisador convidado no Fermilab, em Chicago, Estados Unidos.

Só uma partícula de altíssima energia chega à Terra por quilômetro quadrado por século

RAIOS RAROS

O físico francês Pierre Victor Auger identificou os chuveiros de partículas em um experimento histórico realizado nos Alpes em 1938. Tantos anos depois, ainda não se conhece a composição dos raios cósmicos de altíssima energia. A principal razão é que são bastante raros. Quanto maior a energia, mais raras as partículas. “Quando a energia aumenta dez vezes, o número de raios cósmicos que chegam à Terra com energia acima desse valor fica cem vezes menor”, diz Carola. “Os raios cósmicos mais energéticos têm mais do que 10^{19} eV e somente uns poucos deles chegam à Terra por quilômetro quadrado por ano. Para as partículas com energia acima de 10^{20} eV, essa taxa cai para uma partícula por quilômetro quadrado por século.”

Segundo ela, nas análises dos raios cósmicos ultraenergéticos detectados no Observatório Auger, o resultado da correlação com os núcleos ativos de galáxias reforça a hipótese de que os raios cósmicos sejam prótons, ou seja, núcleos de hidrogênio. “O raciocínio por trás dessa interpretação é que os raios cósmicos teriam sido pouco desviados pelos campos magnéticos

que atravessaram, guardando, assim, a proximidade angular com suas possíveis fontes”, diz. “Caso fossem núcleos de elementos mais pesados, como o ferro, por exemplo, eles teriam sofrido deflexões maiores nos campos magnéticos, o que acabaria com essa correlação.”

Mas não é assim tão simples. As observações do desenvolvimento dos chuveiros de partículas pelos telescópios de fluorescência e comparações com previsões teóricas indicam que os raios cósmicos poderiam ser – ao menos alguns deles – núcleos mais pesados, como o ferro, ou seja, blocos de 26 prótons e 30 nêutrons. “Essa interpretação é bastante dependente da validade dos modelos teóricos na descrição do desenvolvimento dos chuveiros”, observa Carola. “Os modelos teóricos são, em parte, baseados em extrapolação de observações em experimentos com aceleradores de partículas a energias bem inferiores.” Na prática, por enquanto não há como simplesmente optar por uma conclusão ou outra.

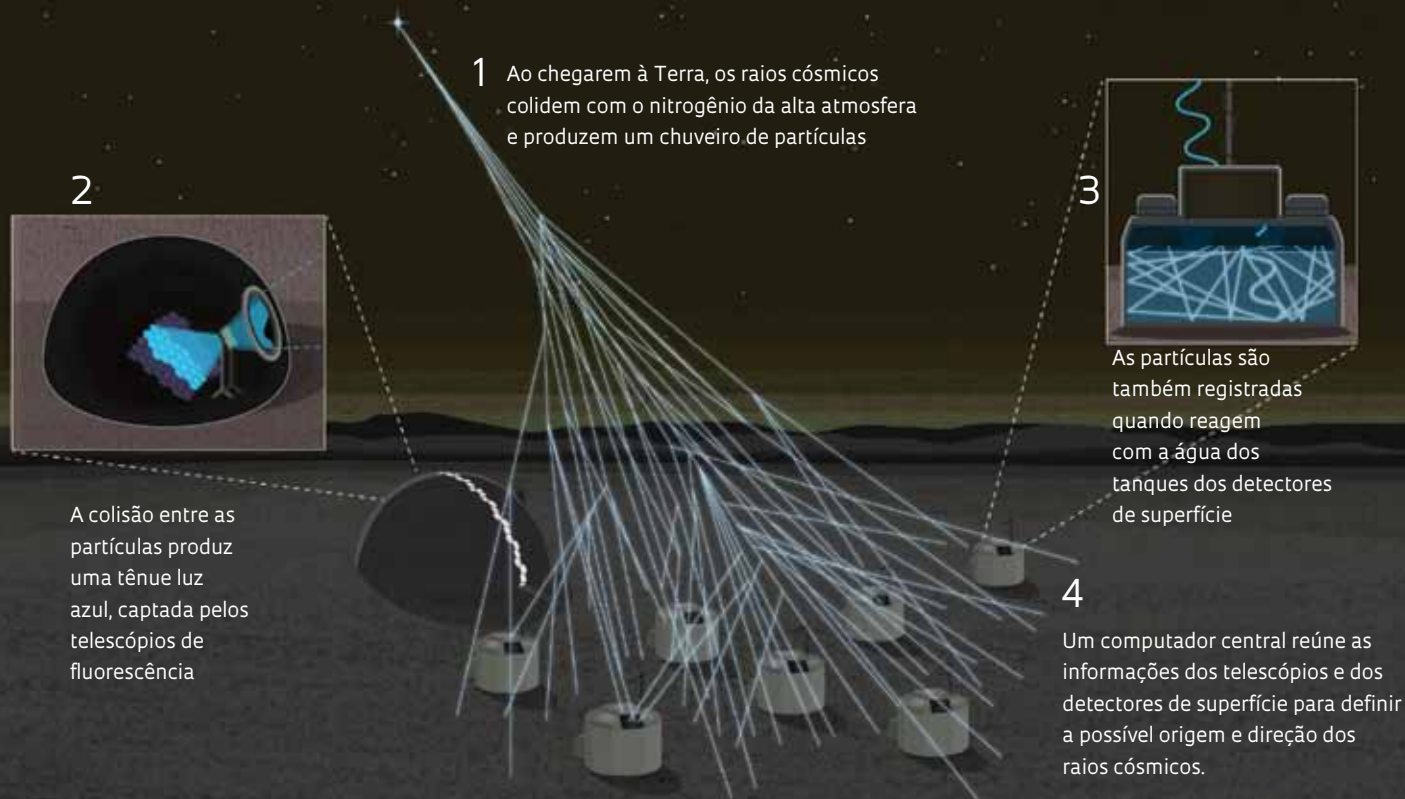
Detectores em campo

O Observatório Pierre Auger ocupa 3,3 mil quilômetros quadrados, o dobro da área da cidade de São Paulo ou 10 vezes a de Paris



À espera das partículas

O Observatório Pierre Auger integra duas formas independentes de detecção de raios cósmicos



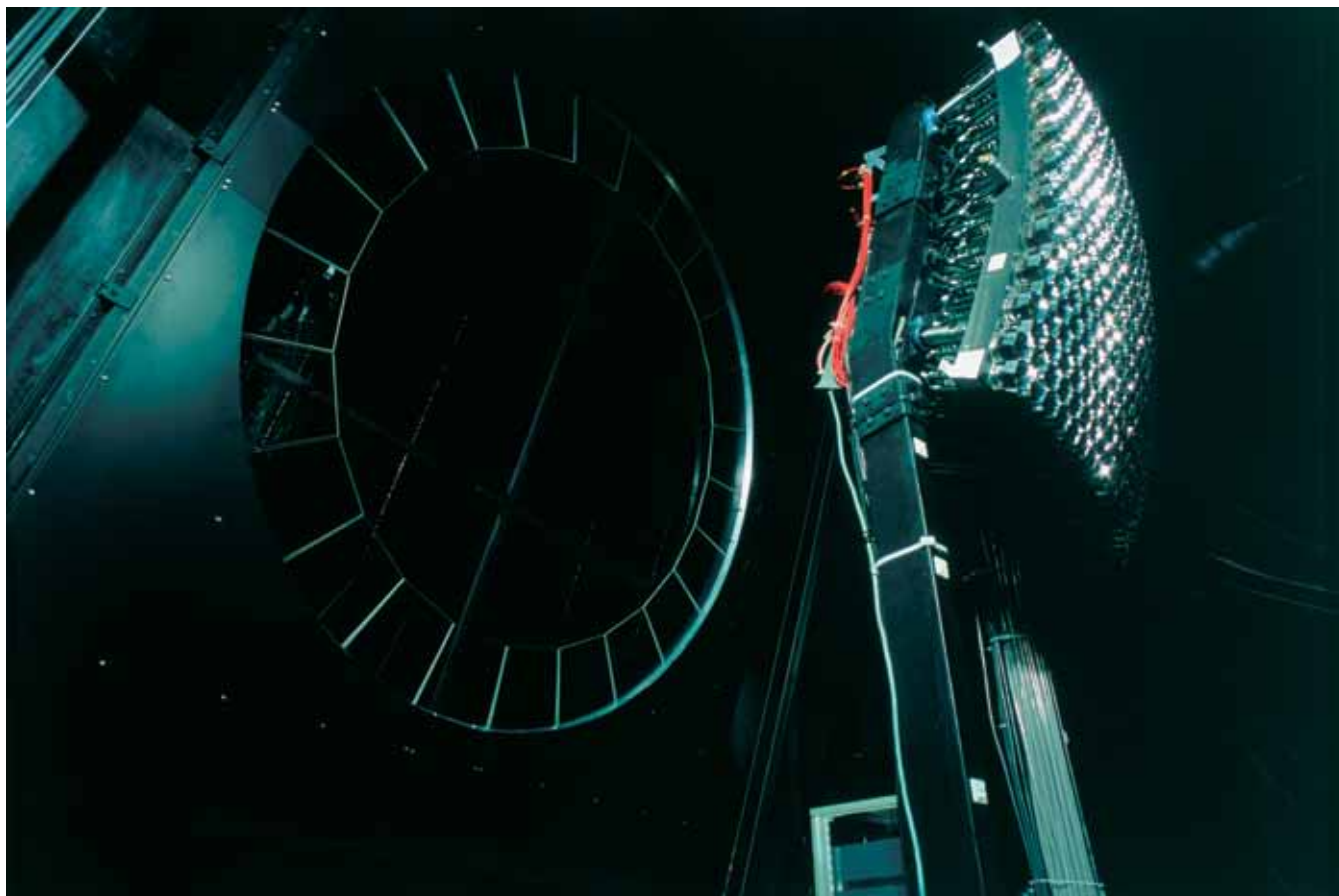
Para chegar a uma resposta menos dúbia, os físicos terão de ajustar, corrigir ou ampliar essas abordagens teóricas para elucidarem a identidade dos raios cósmicos. A física teórica não explica como os raios cósmicos podem adquirir uma energia 100 milhões de vezes superior à das partículas do mesmo tipo produzidas no Tevatron, o mais poderoso acelerador de partículas do mundo, situado no Fermilab. Ou seja, as ferramentas conceituais são limitadas e as alternativas, ainda frágeis. “Nossos dados de 2007 enfraquecem ainda mais os modelos *top down*”, diz Escobar. Defendidos por outros grupos de físicos, os modelos *top down* pressupõem a existência de partículas com energias ainda mais altas que as detectadas, acima de 10^{20} eV. Em oito a dez artigos científicos publicados a cada ano, os físicos do Auger têm detalhado essas e outras conclusões, além de apresentarem as novas possibilidades de uso dos equipamentos, como o monitoramento do clima ou do movimento de placas tectônicas.

Os patamares de energias totais nas colisões das partículas que estão analisando são cerca de 100 a 200 vezes mais altos que os das produzidas no Large Hadron Collider (LHC), o maior acelerador de partículas do mundo, situado no Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (Cern), em Genebra. Os grupos do LHC também vivem avanços, recuos e desvios para confirmar a existência do chamado bóson de Higgs, uma partícula hipotética que deveria conferir massa às demais partículas e confirmar as fórmulas com que os físicos trabalham há 50 anos. “Heráclito já dizia que a natureza ama esconder-se”, diz Escobar. “Para sabermos com precisão se os raios cósmicos são prótons ou núcleos de ferro, precisaremos de mais 15 anos de tomada de dados”, diz ele. “Na época em que construímos o observatório não parecia, mas 3 mil quilômetros quadrados, a área atual do observatório, é pouco.”

Construído de 2002 a 2008, o Pierre Auger é o maior observatório de raios cósmicos em funcionamento. A área que

ocupa é tão grande que mesmo o mais alucinado dos motoqueiros que voam entre carros na cidade de São Paulo dificilmente conseguiria ver em apenas um dia todos os 1.660 tanques cilíndricos de 3,7 metros de diâmetro por 1 de altura, cada um a uma distância de 1,5 quilômetro de outro, formando uma malha triangular. De dois anos para cá, conta Escobar, os tanques ganharam mais dispositivos eletrônicos e, além de registrarem a luz produzida na colisão com a água dos tanques, estão servindo para registrar a chegada das partículas formadas quando os raios cósmicos se fragmentam ao bater na atmosfera terrestre, reforçando a argumentação para desvendarem a identidade dos raios cósmicos.

Os leitores eletrônicos dos tanques do Observatório Pierre Auger já são capazes de detectar chuvinhos iniciados por neutrinos e fótons na alta atmosfera; neutrinos são partículas com uma quantidade ínfima de massa e muito abundantes, só menos abundan-



A participação brasileira no Observatório Pierre Auger

INVESTIMENTOS

FAPESP, US\$ 2,5 milhões; Finep/MCT, US\$ 1 milhão; CNPq, US\$ 300 mil; FAPERJ: R\$ 200 mil

INSTITUIÇÕES

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF); Pontifícia Universidade Católica – Rio de Janeiro (PUC-RJ); Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Física, São Paulo; Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS); Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (Uesb); Universidade Federal da Bahia; Universidade Federal do ABC (UFABC); Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

EMPRESAS

Alpina Termoplásticos; Rotoplastyc Indústria de Rotomoldados; Equatorial Sistemas; Schwantz Ferramentas Diamantadas; e Acumuladores Moura

tes que as partículas de luz, os chamados fótons. “Existem atualmente modelos teóricos que preveem a produção de neutrinos e fótons nas mesmas fontes de raios cósmicos ou mesmo durante a propagação dos raios cósmicos pelo espaço, mas até agora ainda não detectamos nenhum deles chegando à Terra”, diz Carola. “O fato de não os detectarmos também é importante.”

Como atual coordenadora do projeto temático ligado ao Auger (os projetos anteriores estavam sob a coordenação de Escobar), ela está acompanhando a troca das baterias dos tanques Cerenkov. As baterias armazenam a energia produzida pelos painéis solares e usada por um miniprocessador que detecta os sinais dos raios cósmicos e os transmite ao computador central, a quilômetros de distância.

“O trabalho de trocar as duas baterias de cada um dos 1.600 tanques, à medida que vão se esgotando as suas vidas úteis, é contínuo, e a reposição durante os próximos quatro anos está garantida pelo apoio da FAPESP”, diz Carola. São em média 600 baterias por ano ou duas

por dia em média a serem trocadas. Ela conta que está acompanhando os testes nos Estados Unidos com dez tanques experimentais, em novo formato e com nova eletrônica, “também adquiridos com apoio da FAPESP”, ressalta ela. Os novos tanques usam apenas um leitor da luz, em vez de três, como nos atuais.

O trabalho atual é relativamente simples, diante da quantidade de imprevistos que já enfrentaram. No início, os tanques Cerenkov não funcionavam por uma razão simples: as vacas do pasto se interessaram pelos novos vizinhos, os tanques, e algumas começaram a mastigar os fios de transmissão de dados. Foi o argentino Ricardo Perez, responsável pela manutenção dos tanques, que usou seu conhecimento de ex-técnico em mineração e bolou uma caixa de proteção dos fios – e as vacas nunca mais atrapalharam a ciência.

“Quando esse projeto começou”, recorda-se Carola, “tudo parecia um sonho inatingível”. O maior observatório de raios cósmicos do mundo começou a ser planejado em 1992 pelo físico norte-

Ciência em campo: o norte-americano Patrick Allison e o francês Xavier Bertou instalam a eletrônica em um detector de superfície. À esquerda, um dos fotodetectores de raios cósmicos



-americano James Cronin, professor da Universidade de Chicago premiado com o Nobel de Física em 1980, e pelo escocês Alan Watson, da Universidade de Leeds, da Inglaterra. Como a necessidade de cooperação internacional se tornava clara em vista das proporções que o projeto original assumia, eles convidaram uns poucos colegas interessados e experientes na área de física de partículas para uma primeira conversa, em junho de 1995. Um dos participantes era Escobar, na época professor da Universidade de São Paulo (USP).

Em uma reunião realizada na sede da Unesco, em Paris, em novembro de 1995, Escobar, Ronald Shellard, do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), e Armando Turtelli, da Unicamp, e os colegas argentinos Alberto Etchegoyen e Alberto Filevich defenderam arduamente a possibilidade de o novo observatório ser construído na Argentina. “Esse foi um momento crucial”, conta o físico Marcelo Leigui, que participou dessa pesquisa como pós-doutor

pela Unicamp e agora a acompanha como professor da Universidade Federal do ABC. “A participação brasileira teria sido menor se tivesse sido escolhido um dos outros dois países candidatos, a África do Sul ou a Austrália.” A participação brasileira, oficializada em 17 de julho de 2000 na Unicamp, traduziu-se em investimen-

tos de cerca de US\$ 4 milhões, na forma de equipamentos comprados de indústrias nacionais e no custeio de bolsas de pós-graduação e de despesas de viagens.

Malargüe, cidade de 23 mil habitantes e dois cruzamentos com semáforo a 420 quilômetros de Mendoza, o centro urbano mais próximo dotado de linhas aéreas regulares, começou a mudar com o início das obras, em meados de 1999. Começaram a chegar os pesquisa-

dores estrangeiros, vindos dos Estados Unidos, Itália, Alemanha, Polônia, Eslovênia e muitos outros países. Depois de vencerem o estranhamento inicial, os malarguenses correram para aprender inglês e incluíram visitas à sede do

observatório, um belíssimo prédio com largos vidros no lugar de paredes, como parte dos passeios de finais de semana. Conhecida como principal região produtora de vinhos da Argentina, Mendoza avançava também no campo científico.

Logo começaram a chegar os caminhões – muitos caminhões – com equipamentos. Desde o início de 2001, a Alpina, uma empresa de São Paulo, fabricou e despachou os tanques Cerenkov, em viagens que não levavam menos de duas semanas e estavam sujeitas a todo tipo de imprevisto, de buracos em estradas estreitas a guardas rodoviários que pediam para ver o que havia dentro dos tanques. A Rotoplastyc, uma empresa do Rio Grande do Sul, fez parte dos tanques em operação e participou do desenvolvimento e produção dos tanques em novo formato.

A Schwantz, de Indaiatuba (SP), fez e enviou as lentes corretoras dos telescópios de fluorescência; feitas com vidro alemão, as lentes convergentes em formato de trapézio, com 25 centímetros de altura, formam um anel corretor ao longo das bordas do diafragma, que regula a entrada de luz, como o diafragma de uma câmera fotográfica, e aumenta o raio da lente de 85 para 110 centímetros, sem perder a qualidade da imagem. A Equatorial, de São José dos Campos (SP), fabricou o protótipo de um dispositivo

Em 2011 começou a troca das baterias dos 1.600 detectores de superfície



de 2,5 metros de diâmetro que permite a regulação automática das lentes dos telescópios e os *shutters* (obturadores), que expõem o telescópio para observação noturna. A Moura, de Recife, tem feito as baterias para os painéis solares dos detectores de superfície.

Cada um dos 17 países participantes contribuiu com o envio de equipamentos e de pesquisadores, de modo que o observatório guarda um pouco da melhor tecnologia do mundo. A Argentina entrou com a infraestrutura, com as máquinas para purificação de água dos tanques e uma parte dos tanques e das baterias para os painéis solares que alimentam os detectores de superfície, numa divisão de tarefa com os mexicanos e os norte-americanos. Da Austrália saíram os detectores de nuvens e da França, os dispositivos eletrônicos para os detectores de superfície. Os tchecos enviaram os espelhos dos telescópios e os espanhóis, os painéis solares dos tanques. Os detectores de luz fluorescente dos telescópios integraram câmeras italianas e comandos eletrônicos feitos por ingleses e por alemães.

Os leitores desta revista acompanharam a construção do Pierre Auger. Em agosto de 2000, a matéria de capa de *Pesquisa FAPESP*, escrita por Mariluce Moura, contava dos bastidores das negociações e do início da construção. Em abril de 2002, outra matéria descrevia o ritmo das obras: “Neste momento, num espaço que às vezes lembra o refinamento de uma nave espacial e outras, as obras robustas de uma hidrelétrica, dezenas de operários, técnicos e pesquisadores trabalham intensamente na montagem dos equipamentos de medição dos raios cósmicos”. Nessa época, José Fernando Perez, então diretor-científico da FAPESP e presidente do comitê financeiro do Observatório Auger, visitou as obras em Ma-

largüe. Com ele estava José Roberto Leite, físico da Universidade de São Paulo (USP) e diretor da Sociedade Brasileira de Física (SBF), que faleceu inesperadamente no ano seguinte.

A construção guarda algumas coisas notáveis. A primeira é que os dados já eram coletados à medida que os equipamentos eram instalados. Outra, que os físicos e engenheiros não hesitavam em fazer qualquer trabalho que fosse necessário. “Temos de fazer o que for preciso”, disse-me em 2003 o francês Xavier Bertou, coordenador de operações científicas. Bertou deixara Paris no ano anterior, instalara-se em Malargüe e não dispensava mais o chimarrão no final de tarde. Ele e outros físicos, na maioria pós-doutores na casa dos 30 anos, montavam equipamentos durante o dia nos tanques ou nos prédios dos telescópios e à noite, muitas vezes até 3 da madrugada, nas oficinas do prédio da cidade.

“Mostramos que é possível executar um projeto de grande porte com um orçamento inferior ao planejado”, disse Escobar em 2007. Os gastos totais foram de US\$ 54 milhões, US\$ 6 milhões abaixo do previsto. Como conseguiram, se a maioria dos projetos estoura os orçamentos? Negociando preços com os fornecedores de equipamentos e economizando o máximo possível. Em 2005, ao ver que estavam gastando muito, Escobar decidiu que os integrantes da equipe brasileira deixariam de ir para o Observatório Pierre Auger por meio de dois voos e começariam a ir de avião só até Buenos Aires, de onde poderiam tomar um ônibus e chegar a Malargüe depois de 16 horas de viagem. Ninguém contestou. Em um ano, Sérgio Carmelo Barroso, como pós-doutor da Unicamp, teve de ir dez vezes a Malargüe para montar e testar equipamentos. Ele continua participando desse trabalho, agora como professor da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (Uesb). ■

O físico indonésio Richard Randria analisa chuveiros de partículas na central de aquisição de dados

OS PROJETOS

1. Estudo dos raios cósmicos de mais altas energias com o Observatório Pierre Auger – nº 2010/07359-6 (2010-2014)
2. Observatório Pierre Auger – nº 1999/05404-3 (2000-2007)

MODALIDADE

1. e 2. Projeto Temático

COORDENADORES

1. Carola Dobrigkeit Chinellato – Unicamp
2. Carlos Ourívio Escobar

INVESTIMENTO

1. R\$ 3.064.952,43
2. R\$ 6.034.341,71

ARTIGO CIENTÍFICO

The Pierre Auger Collaboration. Correlation of the Highest-Energy Cosmic Rays with Nearby Extragalactic Objects. *Science*. v. 318, n. 5852, p. 938-43, 2007.

DE NOSSO ARQUIVO

Mais massa para os raios cósmicos
Edição nº 170 – abril de 2010

Enigmas do espaço
Edição nº 167 – janeiro de 2010

Pierre Auger é inaugurado
Edição nº 154 – dezembro de 2008

Pierre Auger, agora pronto
Edição nº 149 – julho de 2008

A longa jornada dos raios cósmicos...
Edição nº 142 – dezembro de 2007

Chuva de partículas
Edição nº 116 – outubro de 2005

Os olhos do deserto
Edição nº 90 – agosto de 2003

Os raios cósmicos estão chegando
Edição nº 74 – abril de 2002

Cerco no ar, captura na terra
Edição nº 56 – agosto de 2000