



FÍSICA

A longa jornada dos raios cósmicos

CARLOS FIORAVANTI

Mapa celeste mostrando as direções de chegada dos 27 raios cósmicos de energia mais alta detectados pelo Pierre Auger (*círculos brancos*) e os Núcleos de Galáxias Ativas mais próximos (*asteriscos vermelhos*). O asterisco branco representa a galáxia Centauro A



e dos cientistas que quiseram saber de onde poderiam vir

Uma dúvida antiga sobre os raios cósmicos pode ter sido resolvida. Há quase 70 anos o físico francês Pierre Auger identificou essas partículas – as mais energéticas do Universo – se desfazendo em bilhões de outras ao colidir com a atmosfera terrestre, mas não tinha nenhuma certeza sobre dois pontos aparentemente simples: de onde poderiam vir e o que exatamente eram. Agora uma equipe de 370 pesquisadores de 17 países, incluindo o Brasil, tem uma resposta para a primeira pergunta (a segunda continua no ar). Como detalhado na *Science* de 9 de novembro, os raios cósmicos de energia mais alta devem se formar nas proximidades de buracos negros – sorvedouros de matéria e energia – encontrados nos núcleos de galáxias ativas das vizinhanças de nossa própria galáxia, a Via Láctea.

Os raios cósmicos de energia mais alta nascem em meio a uma mistura de partículas eletricamente carregadas que os buracos negros mais ativos liberam depois de se saciarem de gases, poeira cósmica e estrelas. Essa situação dantesca se passa em galáxias ativas como a Centauro A, a mais próxima, a 12 milhões de anos-luz da Via Láctea, ou em outras a até 300 milhões de anos-luz – não é lá tanto se lembrarmos que o Universo se estende por 13 bilhões de anos-luz. Os raios cósmicos de energia mais alta que chegaram hoje à Terra podem portanto ter se originado às vésperas de uma superextinção ter apagado 95% das formas de vida em nosso planeta (há 250 mi-

lhões de anos) ou de os répteis terem gerado os rascunhos dos dinossauros (por volta de 230 milhões de anos atrás).

Os físicos dessa área se interessam pouco pelos raios cósmicos de energia mais baixa. São mais comuns e de origens ainda mais incertas, mesmo que sejam os que podem interromper a conversa no celular ou o filme na TV quando formados nas explosões solares mais intensas. Os de alta energia são mais atraentes, em primeiro lugar, por carregarem uma energia quase inconcebível, de até 60×10^{18} elétron-volts (1 elétron-volt, a unidade de energia das partículas, corresponde à energia do elétron, a menor partícula elementar). Em segundo lugar, por serem muito raros: deve chegar à Terra apenas um raio de energia mais alta em cada quilômetro quadrado a cada século (o nome dessas partículas sugere que chegam em feixes, mas não: são viajantes solitários). Em terceiro lugar, porque podem se tornar outra forma de ver o céu.

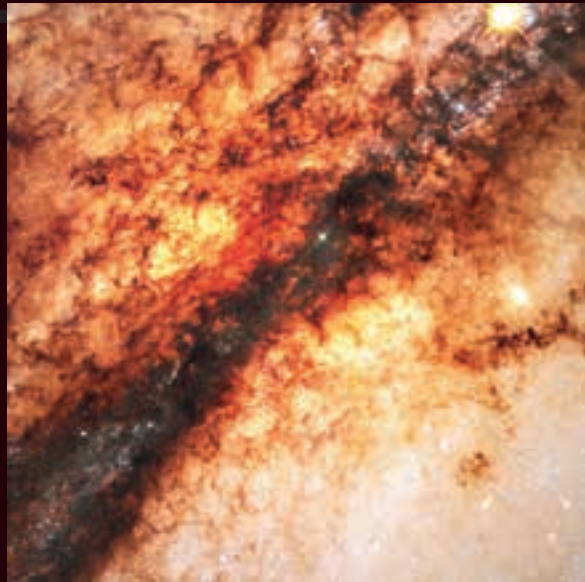
“Este artigo da *Science* abre a possibilidade de estudarmos os objetos celestes também por meio dos raios cósmicos”, celebra o físico Carlos Escobar, professor da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e coordenador da participação brasileira. Desde os tempos de Galileu os astrofísicos contam somente com a luz – inicialmente só a luz visível e mais tarde em vários comprimentos de onda, do infravermelho até os raios gama – para observar o Universo. Os raios cósmicos poderiam ajudar a estudar inicialmente os fenômenos que ocorrem nas centenas de galáxias ativas, cujos núcleos emitem uma

A participação brasileira

> 18 pesquisadores de dez instituições de São Paulo, Rio de Janeiro e Bahia, além de alunos de mestrado, doutorado e iniciação científica

> Cinco empresas: Alpina Termoplásticos, Rotoplastyc Indústria de Rotomoldados, Equatorial Sistemas, Schwantz Ferramentas Diamantadas e Acumuladores Moura

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



De onde vêm

Um dos berçários de raios cósmicos, a 12 milhões de anos-luz: o núcleo de Centauro A, uma das galáxias mais próximas da Via Láctea. As partículas mais energéticas do Universo podem vir de núcleos de galáxias situados a até 300 milhões de anos-luz

quantidade de energia milhares de vezes superior à produzida em toda a Via Láctea. Os núcleos dessas galáxias muitas vezes abrigam buracos negros de massa respeitável – milhões de vezes maior que a do Sol – que absorvem tudo ao redor. Os raios cósmicos de energia mais alta resultam dessa voracidade insaciável, como as migalhas de um pão comido às pressas, e são depois impulsionados por meio de turbulências dos campos magnéticos do espaço.

Em um trabalho recente publicado na *Nature*, físicos do Japão, Irlanda, Alemanha e Estados Unidos mostraram que raios cósmicos com energia 10 mil vezes mais baixa que os apresentados na *Science* podem ser acelerados por explosões conhecidas como estrelas supernovas, que podem liberar em pouco tempo a mesma energia que o Sol emitiria em 10 bilhões de anos. Esse estudo confirmou um fenômeno previsto há décadas pelo físico italiano Enrico Fermi, mas deixava no ar a dúvida sobre onde essas partículas poderiam se formar.

A equipe de que o Brasil fez parte conseguiu detectar a origem dos raios cósmicos mais energéticos porque contou com um aparato monumental: o Observatório de Raios Cósmicos Pierre Auger, que ocupa 3 mil quilômetros quadrados, o dobro da área da cidade de São Paulo, em uma região semidesérti-

ca do oeste da Argentina próxima a Mar del Plata, uma cidade de 20 mil habitantes. O que hoje é o maior observatório do mundo em sua modalidade começou a ser planejado em 1992 pelo físico norte-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, 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 Filevicvh 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 escolhi-

do um dos outros dois países candidatos, a África do Sul e a Austrália.” A participação brasileira, oficializada em 17 de julho de 2000 na Unicamp, traduziu-se em investimentos 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.

Os leitores desta revista puderam acompanhar os principais momentos da lenta e suada construção do Pierre Auger. Já em agosto de 2000 a matéria de capa de *Pesquisa FAPESP* 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”.

Então já operavam 40 dos 1.600 detectores de superfície, os chamados tanques Cerenkov, cada um com 11 mil litros de água puríssima, que captam a radiação azulada produzida quando um raio cósmico colide com a água. Os tanques funcionam em conjunto com 24 telescópios de fluorescência, que registram a luz produzida quando os raios cósmicos colidem com a atmosfera. O Pierre

Onde chegam

Tanque com 11 mil litros de água pura de um dos 1.600 detectores do maior observatório de raios cósmicos do mundo: experimento pioneiro em integrar dois métodos de estudo, os detectores de superfície como este e 24 telescópios de fluorescência



OBSERVATÓRIO PIERRE AUGER

Auger foi o experimento pioneiro em integrar os dois métodos de observação, até então adotados isoladamente em observatórios menores nos Estados Unidos e no Japão.

A engenhosidade dessa construção, retratada já na etapa final em uma reportagem de agosto de 2003, resulta também da colaboração de empresas de 19 países. Do Brasil participaram a Alpina e a Rotoplastyc, que fabricaram os tanques Cerenkov, a Schwantz, com as lentes corretoras dos telescópios, a Equatorial, que montou dispositivos de regulação dos telescópios, e a Moura, com as baterias dos painéis solares dos detectores de superfície. O físico Vitor de Souza conta que aprendeu “a superar as barreiras de entendimento entre o pensamento acadêmico e o industrial” à medida que ajudava a construir e a instalar os equipamentos.

Pesquisa FAPESP acompanhou também a chegada dos raios cósmicos. Em outubro de 2005, data de outra reportagem, havia registros de 3 mil partículas, das quais 20 eram preciosas: estavam na faixa de energia mais alta. Este ano os físicos reuniram as 27 partículas com energia superior a 57×10^{18} elétron-volts registradas de 2004 a 2007 e verificaram que elas vinham de direções específicas, relacionadas aos núcleos de galáxias ativas próximos da Via Láctea. A conclusão descartou a possibilidade de as

partículas virem da própria Via Láctea ou de regiões mais distantes (neste caso se distribuiriam de forma homogênea no céu em vez de se agruparem de acordo com as prováveis origens).

“Mostramos que é possível executar um projeto de grande porte com um orçamento inferior ao planejado”, avalia Escobar. Os investimentos dos 17 países chegaram a US\$ 54 milhões, US\$ 6 milhões abaixo do previsto, apesar dos imprevistos de todo tipo. “O aprendizado em administração de projetos foi imenso.” Os brasileiros também apertaram o cinto. Há dois anos, por exemplo, Escobar decidiu que todos os integrantes da equipe brasileira deixariam de ir para o Pierre Auger por meio de dois vôos 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.

“Além do conhecimento em si, aprendemos a conviver com diferentes formas e ritmos de trabalho”, reconhece Sérgio Carmelo Barroso, que em um ano teve de ir dez vezes a Malargüe para montar e testar equipamentos – e ainda participa desse trabalho, agora como professor da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). “Aprendi como se projeta, constrói e testa um experimento, como se analisam seus dados e finalmente como extrair os resultados científicos de interesse”, acrescenta Sou-

za, que desde janeiro trabalha na Universidade de Karlsruhe, Alemanha.

“Ainda não chegamos aonde queríamos”, inquieta-se Leigui. Para começar, falta confirmar se os raios cósmicos de ultra-alta energia são mesmo prótons – um dos componentes do núcleo atômico, quase 2 mil vezes maior que os elétrons – ou núcleos de oxigênio ou de carbono ou qualquer outra coisa. “Os resultados que temos são coerentes com a idéia de que os raios cósmicos sejam realmente prótons, de baixa carga elétrica”, afirma Escobar.

Com esse trabalho, os físicos testam a validade de algumas teorias. Haveria um limite máximo de energia que os raios cósmicos poderiam apresentar ao chegar à Terra, o chamado corte GZK, próximo a 60×10^{18} elétron-volts, mas, claro, era preciso confirmar. Segundo Escobar, o fato de só terem obtido correlações com objetos extragalácticos próximos indica que o corte GZK está funcionando.

Como o fim de uma jornada pode marcar o início de outras ainda mais longas, a equipe do Auger se atém também ao plano de construir nos Estados Unidos uma versão similar do observatório da Argentina, que poderá revelar mais alguns segredos do céu do hemisfério Norte. Depois, claro, que estiver funcionando, daqui a pelo menos dez anos. ■