

Do Centro da Terra às Fronteiras do Universo

Um compêndio de pesquisas em Astronomia,
Geofísica e Ciências Atmosféricas | IAG | 2002–2013

AUGUSTO JOSÉ PEREIRA FILHO

CARLOS ALBERTO MENDONÇA (ORGANIZADORES)



Do Centro da Terra às Fronteiras do Universo

Um compêndio de pesquisas em Astronomia,
Geofísica e Ciências Atmosféricas | IAG | 2002–2013

AUGUSTO JOSÉ PEREIRA FILHO

CARLOS ALBERTO MENDONÇA (ORGANIZADORES)

Universidade de São Paulo

Marco Antonio Zago

reitor

Vahan Agopyan

vice-reitor

Pró-Reitoria de Pesquisa

José Eduardo Krieger

pró-reitor

Antonio Mauro Saraiva

pró-reitor adjunto

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Laerte Sodré Junior

diretor

Marcelo Sousa de Assumpção

vice-diretor

Comissão de Pesquisa – IAG/USP

Membros titulares

Augusto José Pereira Filho

presidente

Claudia Lucia Mendes de Oliveira

vice-presidente

Carolina Barnez Gramscianinov

Elisabete Maria de Gouveia Dal Pino

Fernando Brenha Ribeiro

Mauricio de Souza Bologna

Tércio Ambrizzi

Membros suplentes

Augusto Damineli Neto

Edmilson Dias de Freitas

Eduardo Janot Pacheco

Jorge Luís Porsani

Leila Soares Marques

Rita Yuri Ynoue

Apoio técnico

Cintia Barcellos Lacerda

Flavio Nakasato

Luciana Silveira

Foto da capa

Thin Blue Line (11/25/2009) – NASA

Ficha catalográfica elaborada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do IAG-USP

Pereira Filho, Augusto José

Do centro da Terra às fronteiras do Universo: um compêndio de pesquisas em Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas: IAG, 2002-2013 / Augusto José Pereira Filho, Carlos Alberto Mendonça, orgs. São Paulo: Comissão de Pesquisa do IAG-USP, 2014.

268 p.

ISBN 978-85-85047-16-0

1. Astronomia. 2. Geofísica. 3. Ciências Atmosféricas. I. Mendonça, Carlos Alberto.
II. Título

Sumário

Prefácio do Diretor do IAG.....	05
Prefácio da Comissão de Pesquisa do IAG.....	07
Breve panorama histórico.....	09
Astronomia	
Onde pode haver vida.....	18
Sol pulsante.....	23
Onde nascem as estrelas.....	26
Explosão de energia.....	30
A mais velha (por enquanto).....	32
Luzes do passado.....	35
Espirros cósmicos.....	38
Brilho único.....	41
Em boa companhia.....	46
Perdidas no espaço.....	50
Outras estrelas, outros mundos.....	53
Fermento cósmico.....	58
Nos confins do universo.....	60
Chuva de partículas.....	65
O grande ímã da Via Láctea.....	66
Além das estrelas.....	69
A ousadia de desafiar Einstein.....	71
Poeira de estrelas.....	73
O céu é o limite.....	76
O céu é aqui.....	78
O buraco estava ao lado.....	80
Valsa em descompasso.....	84
Terra inóspita.....	86
Rumo às estrelas.....	88
O segredo de Perseu.....	96
Seres do Espaço.....	100
Via Láctea revisitada.....	106
Os pesos-pesados do Universo.....	112
Competição no céu.....	116
Nas redondezas de outros mundos.....	120
Mais do que um eclipse.....	124
Um segundo sol.....	128
O início e o fim dos raios cósmicos.....	132
Saltos astronômicos.....	138
No rastro das primeiras estrelas.....	146
Sentinela das trevas cósmicas.....	154

Geofísica

Terra Mãe.....	160
Dez tremores por dia.....	164
O calor que faz o chão tremer.....	167
A Terra coberta de gelo.....	171
Viagem ao centro da Terra.....	174
Bactérias eletrizantes.....	178
... E a América do Sul se fez.....	181
Quando os homens fazem a terra tremer.....	186
A última peça do Gondwana.....	188
A Terra moldada pela gravidade.....	190
A história magnética do Brasil.....	194
Por que a terra treme no Brasil.....	200
A estufa de Araguainha.....	206
Geobaterias: da interpretação de dados à intervenção no meio físico.....	211

Ciências Atmosféricas

Estufa que exporta poluição.....	214
Sombras sobre a floresta.....	222
Os senhores da chuva.....	228
As faces da Amazônia.....	232
Por dentro das nuvens.....	235
Um rio que flui pelo ar.....	240
Ondas da previsão.....	242
De olho no furacão.....	246
Tempo firme.....	248
Da garoa à tempestade.....	252
Boias ao mar.....	258
Desafios no campo e nas cidades.....	262

Prefácio do Diretor do IAG

É com grande satisfação que apresento aos leitores esta publicação, preparada por iniciativa da Comissão de Pesquisa do IAG.

A FAPESP vem tendo um papel determinante no desenvolvimento científico do Estado de São Paulo e do Brasil. E, claro, não poderia ser diferente com as atividades científicas do IAG, como esta coletânea de artigos publicados na revista *Pesquisa FAPESP* demonstra com muita clareza.

O IAG tem se destacado, em suas áreas de atuação – Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – no cenário científico do país, e o apoio concedido pela FAPESP a nossas atividades de pesquisa tem sido determinante para isso.

Assim, não é de surpreender que a revista editada pela FAPESP, tenha, ao longo dos últimos anos, produzido matérias envolvendo professores do IAG, seus alunos, colaboradores e/ou pesquisas conduzidas em nosso instituto.

Uma leitura cuidadosa dos artigos contidos nesta coletânea mostra a diversidade do pensamento de nossos pesquisadores. Em alguns casos, são mostradas opiniões que se opõem, em outros, apresentam-se problemas cujas respostas ainda não encontramos ou temas onde nossa contribuição foi decisiva. Em todos os casos, os artigos demonstram a vitalidade e o vigor de nossa atividade científica e o firme compromisso do Instituto em contribuir para o desenvolvimento e consolidação do pensamento científico de vanguarda na USP, no Brasil e no mundo.

Finalmente, o que torna a leitura desta coletânea particularmente interessante e agradável é a qualidade dos artigos, graças à competência dos editores, jornalistas e profissionais de artes gráficas que tornam a revista *Pesquisa FAPESP* exemplar na divulgação científica em nosso país.

Boa leitura a todos.

LAERTE SODRÉ JÚNIOR

Diretor

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP

Prefácio da Comissão de Pesquisa do IAG

Este compêndio compreende uma série de reportagens científicas publicadas pela *Revista Pesquisa* entre 2001 e 2013 sobre as pesquisas desenvolvidas com recursos de projetos financiados pela FAPESP em Ciências Atmosféricas, Geofísica e Astronomia. As reportagens abordam temas de pesquisa fundamental às suas aplicações numa linguagem simples e bem ilustrada acessível ao público em geral.

O objetivo desta coleção de reportagens é promover a divulgação das pesquisas realizadas pelo IAG USP financiadas pela FAPESP. Trata-se de uma amostra relevante do conjunto de pesquisas e atividades desenvolvidas por pesquisadores e estudantes do Instituto.

Há uma lacuna dessa literatura para despertar e estimular o interesse da Sociedade, em particular dos mais jovens, por assuntos importantes em Ciências Exatas, da Terra, e do Universo. Esta proposta faz parte de uma iniciativa no âmbito do programa IAG 2020 para pensar o futuro das pesquisas nas próximas décadas.

Esta obra é dirigida a visitantes, estudantes, funcionários, docentes e o público em geral para uma leitura apazível sobre diversos assuntos intrinsecamente ligados com a Vida, o Homem, o Ambiente, ao Sistema Solar, à Galáxia e ao Universo. Temas esses que sempre estimularam a imaginação humana e o seu desenvolvimento intelectual.

A Comissão de Pesquisa deseja a todos uma leitura profícua. O ponto de partida é aquele preferido do leitor, de uma espiada aleatória à leitura sistemática do conjunto das reportagens científicas.

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas: breve panorama histórico

Origem no Século 19

A história do IAG é feita de pioneiros. As bases para a fundação do Instituto começaram a ser fincadas ainda em 1886, com a criação da Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, sob a chefia de Orville A. Derby, geólogo americano que estudava o Brasil desde a faculdade. Uma das divisões dessa Comissão era a Seção de Botânica e Meteorologia, dirigida pelo sueco Alberto Loefgren, e que logo daria origem ao Serviço Meteorológico do Estado de São Paulo.



Primeiros técnicos da Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo, em foto de 1886

As primeiras observações meteorológicas foram realizadas em uma estação instalada na residência do próprio Loefgren, localizada na Rua da Consolação, antes de serem transferidas para o Jardim da Luz. A Comissão trouxe continuidade às observações meteorológicas, que até então eram feitas esporadicamente.

Foi também na casa de outro diretor do órgão que os registros astronômicos ganharam regularidade. José Nunes Belfort Mattos construiu em 1901 seu Observatório da Avenida, em sua residência na Avenida Paulista. Chefe do Escritório Meteorológico da Comissão Geográfica e Geológica a partir do ano seguinte, ele instalou no mesmo local um posto meteorológico.

Em 1912, ainda sob a liderança de Belfort Mattos, o escritório passou a ser chamado Seção Meteorológica e mudou-se para sua nova sede, o Observatório de São Paulo, situado na Avenida Paulista (no terreno hoje vizinho ao MASP).

Considera-se que a origem do IAG tenha sido o Serviço Meteorológico e Astronômico do Estado de São Paulo, criado em 31 de dezembro de 1927 sob a direção do engenheiro geógrafo Alypio Leme de Oliveira. O Serviço permaneceu no Observatório de São Paulo e era também responsável pela hora oficial do estado.

O IAG e a USP

Alypio Leme de Oliveira foi o responsável, no início da década de 1930, pelo projeto do novo Observatório Astronômico de São Paulo, que seria construído no Parque do Estado – local mais adequado que a Avenida Paulista para as observações do céu na cidade. A nova Estação Meteorológica entrou em funcionamento já em 1932, mas a inauguração do Observatório ocorreu apenas em 1941.

Projeto de Alypio Leme de Oliveira



Projeto de Alypio Leme de Oliveira (detalhe) para o novo Observatório Astronômico de São Paulo, na Água Funda

No período da construção da nova sede, o Serviço Meteorológico e Astronômico foi bastante afetado pela instabilidade política de São Paulo. Com a denominação Instituto Astronômico e Geográfico, o órgão passou a ser subordinado à Secretaria de Viação e Obras Públicas em 1931 e, dois anos mais tarde, à Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio.

O primeiro vínculo do IAG com a Universidade de São Paulo ocorreu logo após a criação da USP, em 1934, como um instituto complementar. A incorporação definitiva como instituto anexo aconteceu apenas em 1946, ainda sob a direção de Alypio Leme de Oliveira e após uma década de desmembramentos e reestabelecimentos sob secretarias estaduais.

Dentro da Universidade, a pesquisa científica do IAG floresceu em suas três áreas de atuação. Então diretor do Instituto, o docente da USP Abrahão de Moraes incentivou e conduziu a participação do IAG em programas de cooperação internacional e idealizou a construção de um novo observatório, agora na cidade de Valinhos. O Observatório Abrahão de Moraes foi inaugurado em 1972, homenageando o ex-diretor.

Em 1972, o IAG foi finalmente transformado em unidade de ensino, pesquisa e extensão, com três departamentos: Astronomia, Geofísica e Meteorologia (atualmente denominado “Ciências Atmosféricas”).

Longa Tradição de Pesquisa

A vocação do IAG para a pesquisa pode ser exemplificada com observações meteorológicas na cidade de São Paulo iniciadas no século 19, continuadas no Observatório de São Paulo e, posteriormente, no IAG da Água Funda. A Estação Meteorológica do IAG opera ininterruptamente desde 1º de janeiro de 1933, contribuindo para uma valiosíssima série de mais de 100 anos de dados contínuos – uma das mais longas da América do Sul. Estes dados têm permitido estudos sobre o aquecimento global, além de demonstrarem a transformação da cidade de São Paulo numa “Ilha de Calor”, fenômeno importantíssimo relacionado ao aumento de enchentes e maior incidência de raios.

O clima da Região Metropolitana de São Paulo continua a ser monitorado e estudado. Torres de observação com instrumentação moderna e uma rede de observações contínuas e de alta resolução investigam atualmente vários fenômenos na troca

de energia entre a superfície e a atmosfera, levando ao maior entendimento de efeitos relacionados à urbanização. Os processos e efeitos da poluição atmosférica são também uma importante área de pesquisa no IAG, envolvendo desde características químicas e físicas a interfaces com saúde.

As pesquisas em ciências atmosféricas do IAG não se limitam ao estado de São Paulo, estendendo-se da Amazônia à Mata Atlântica, estudando regiões de vegetação nativa, exploração agropecuária e urbanização em todo o país. Pesquisados do Instituto coordenam também iniciativas nacionais



como a rede de detecção de descargas atmosféricas STARNET, que fornece as localizações dos raios de forma gratuita e pública, em tempo real. O trabalho desenvolvido pelos pesquisadores do IAG tem contribuído significativamente para a melhoria dos sistemas de previsão meteorológica brasileira, combinando modelagem numérica e dados obtidos localmente e remotamente.

Mais recentemente, estudos sobre as mudanças globais vêm ganhando força, com trabalhos voltados ao clima brasileiro. Pesquisadores do IAG também participam de órgãos internacionais como o IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas).

Mas, desde os primórdios, as atenções dos pesquisadores também se voltavam à Astronomia, participando de observação de objetos e fenômenos com instrumentos instalados inicialmente na Avenida Paulista (início do século 20), mais tarde no Parque da Água Funda (década de 1930) e finalmente no município de Valinhos (década de 1970). Hoje, os astrônomos do IAG utilizam recursos do Laboratório Nacional de Astrofísica, em Brazópolis (MG), e nos grandes observatórios internacionais Gemini e SOAR.

A construção de seus observatórios – cada vez mais distantes dos centros urbanos – e a participação na instalação do LNA deram ao IAG uma sólida experiência em instrumentação astronômica e permitiram ao Instituto participação decisiva, nos anos 1990, no consórcio para construção do Gemini e do SOAR, dois grandes observatórios astronômicos nos Andes.

A mecânica celeste e a astrometria são áreas de pesquisa exploradas desde a criação do

Departamento e continuam a produzir excelentes resultados. Mais recentemente, pesquisadores em astrometria do Departamento voltaram-se também para os novos recursos observacionais tais como o satélite Gaia, cujos resultados podem revolucionar este campo e impactar muitas áreas da astronomia.

Além dos trabalhos mais tradicionais voltados a objetos do Sistema Solar tais como satélites e asteroides, especialistas em mecânica celeste agora conhecem novos campos de pesquisa proporcionados pelo crescimento exponencial do número de planetas extrassolares descobertos, como a caracterização destes objetos e de suas órbitas ou suas potencialidades para abrigar vida. A astrobiologia está em franco desenvolvimento no IAG, com a implantação de uma câmara de simulação de ambientes extraterrestres – equipamento único no hemisfério sul.

Pesquisadores do IAG vêm obtendo resultados importantes sobre a evolução de nossa galáxia e de suas estruturas, bem como à evolução de distintos objetos e de distintos estágios da evolução



Governador Laudo Natel e reitor Miguel Reale na inauguração do Observatório Abrahão de Moraes, em 1972

estelar. A descrição e a modelagem de objetos sistemas binários e estrelas variáveis é outro campo que gera pesquisas importantes, como as relacionadas ao sistema Eta Carinae.

Áreas como magnetohidrodinâmica, transferência radiativa e mecânica celeste foram impulsionadas com a criação do Laboratório de Astroinformática, equipado com o melhor computador do Brasil destinado à astronomia, e também um dos melhores do mundo em sua categoria. Trata-se de um cluster com 2304 processadores, com uma potência de cálculo de 20 teraflops, destinados exclusivamente à pesquisa astronômica.

Similarmente, a pesquisa em Geofísica também vem gerando importantes resultados. O Instituto trabalha com o tema da Sismicidade no Brasil desde sua fundação: as medições começaram ainda na sede na Avenida Paulista, até passarem a ser afetadas pelos bondes elétricos, e hoje são realizadas por meio de uma extensa rede coordenada pelo Centro de Sismologia IAG/IEE-USP. Dados coletados após dezenas de projetos vêm ajudando na compreensão da relação entre tremores de terra e feições geológicas superficiais, algo que sempre foi de difícil compreensão em regiões intraplaca como o Brasil.

Outro marco para a pesquisa do Instituto foi a participação, em 1957 e 1958, das atividades do Ano Geofísico Internacional. Na ocasião, o IAG colaborou em um programa para determinação precisa de longitudes e latitudes ao redor do globo.

Nas décadas de 1970 e 1980, época de grande efervescência das Ciências da Terra, a pesquisa em Geofísica abrangia temas fundamentais ligados à dinâmica interna do planeta. Impulsionadas pela teoria da tectônica de placas, as áreas de maior interesse eram Paleomagnetismo, Sismologia, Geodésia, Geofísica Nuclear, Fluxo Térmico e Métodos Potenciais. Nesse período, o IAG colaborou com diversos grupos internacionais em um grande projeto multidisciplinar sobre a origem dos derrames basálticos da Bacia do Paraná, um dos mais extensos do planeta e que antecede a abertura do Oceano Atlântico Sul.

Outra pesquisa importante desenvolvida no IAG investiga a configuração paleogeográfica do planeta a partir do uso do magnetismo fóssil das rochas. Os geofísicos do IAG foram pioneiros na definição de dois dos supercontinentes mais antigos reconstruídos até o momento: o Columbia (cerca de 1800 Ma) e o Rodinia (cerca de 1000 Ma).

Mais recentemente, estudos de Geofísica Aplicada vêm se consolidando e adquirindo reconhecimento internacional. Um dos principais recursos para testes e pesquisas na área é o Sítio Controlado de Geofísica Rasa (SCGR), instalado pelo IAG de forma pioneira no Brasil.

Modelagens numéricas também ganharam espaço, e as novas pesquisas em Tectonofísica fazem uso dessas tecnologias para obter importantes resultados no estudo das conexões entre os processos litosféricos profundos e a evolução da topografia nas margens costeiras – com aplicação direta nas estratégias de prospecção de petróleo.

É notável ainda o crescimento de pesquisas em Geofísica com enfoque ambiental, com modelos conceituais e quantitativos para interpretação de sinais geofísicos em áreas contaminadas (modelo de bio-geobateria), métodos quantitativos para caracterizar áreas contaminadas usando-se medidas de condutividade complexa, procedimentos para investigação integrada de geofísica e amostragem direta, e procedimentos para aquisição de dados quando o meio é estimulado por bombeamento.

Em suas três áreas de atuação, a liderança científica do IAG é demonstrada por suas excelentes avaliações pela Capes e diversos prêmios de tese. Vários professores são membros da Academia Brasileira de Ciências, tendo oito deles recebido a Ordem Nacional do Mérito Científico.

Formação de Recursos Humanos

Uma grande contribuição do IAG para a sociedade e para a ciência brasileira é a formação de recursos humanos em todos os níveis: graduação, mestrado, doutorado e pós-doutorado.

O bacharelado em Meteorologia, iniciado em 1977, já formou 272 meteorologistas e recebe nota máxima (5) no Guia do Estudante desde 2008. O curso trouxe inovações com o uso dos la-



Telescópio SOAR, radar meteorológico móvel e geofísica aplicada exemplificam pesquisas recentes do Instituto

boratórios de pesquisa apoiando o ensino. A nova geração de meteorologistas formada pelo IAG, com bases mais sólidas e modernas, contribui para a melhoria da previsão de tempo e seu uso cada vez mais rotineiro. Cerca de um terço dos graduados atua em empresas de meteorologia privadas ou governamentais, e um terço dá continuidade a seus estudos na pós-graduação.

Em 1984, o IAG criou o primeiro bacharelado em Geofísica oferecido no Brasil. Esse pioneirismo teve como obstáculo a resistência de alguns setores da comunidade geológica brasileira, mas a consolidação do bacharelado é comprovada com o surgimento de outros oito cursos de graduação em Geofísica desde então. Também avaliado com nota máxima pelo Guia do Estudante, o curso do IAG já formou 277 profissionais muito bem recebidos no mercado de trabalho.

O bacharelado em Astronomia recebeu sua primeira turma apenas em 2009, mas o Instituto já vinha contribuindo com o curso de Física com habilitação em Astronomia, que é oferecido pelo Instituto de Física da USP. O novo bacharelado foi criado para atender a demanda por profissionais especializados em institutos de pesquisa e empresas de tecnologia, e foi recebido com interesse pelos estudantes. No vestibular de 2014, a procura foi de 19,33 candidatos por vaga em primeira opção, uma das mais altas entre os cursos de ciências exatas

Na pós-graduação, o IAG vem atuando desde 1973 com o programa de Astronomia. Foram 229 mestres e 189 doutores titulados até o final de 2013, e mui-

tos deles ajudaram a implantar outros programas de pós-graduação em astronomia e formaram novos grupos de pesquisa em todas as regiões do Brasil e em diversos países da América Latina, como Argentina, Chile, Uruguai, Equador e Peru. Não há grupos de pesquisa em astronomia no Brasil sem profissionais formados pelo IAG.

A cada ano, são concedidos entre 15 e 20 títulos – o maior entre todos os programas de pós-graduação em Astronomia no Brasil. O número de matriculados nos últimos anos está em torno de 70 – um terço do total de estudantes de pós-graduação nessa área no país. O programa sempre teve nota máxima na avaliação da Capes (nota 7 atualmente, e A anteriormente).

O segundo programa de pós-graduação do IAG foi o de Geofísica, iniciado em 1974. Os pós-graduados em Geofísica do IAG também vêm contribuindo de forma decisiva na implantação de centros análogos em diversas partes do país. Até o final de 2013, 155 mestres e 84 doutores foram formados no programa – e 70% dos doutores titulados pelo IAG tornam-se professores em outras universidades brasileiras e no exterior. Atualmente o programa de Geofísica tem nota 6 na avaliação da Capes.

A Pós-Graduação em Meteorologia, por sua vez, teve início em 1975 dentro do programa de “Geofísica e Meteorologia”, tornando-se um programa independente em 1984. De 1984 a 2013 foram formados 256 mestres e 90 doutores. O programa, que também recebeu nota máxima na avaliação da Capes, tem papel fundamental na pesquisa na área no Brasil: cerca de 26% dos egressos são hoje professores em outras universidades do país, e vêm contribuindo para a criação de núcleos de pesquisa em diversas áreas das ciências atmosféricas.

O mais novo programa de pós-graduação do IAG é o Mestrado Profissional em “Ensino de Astronomia”, iniciado em 2013 com 15 ingressantes. O programa, voltado fundamentalmente para educadores, tem grande potencial multiplicador para melhorar o ensino de Ciências nas escolas secundárias do país e representa uma importante contribuição do IAG na formação de recursos humanos na área de educação.

O IAG atua também na consolidação da formação científica por meio de seu programa de Pós-Doutorado, para formar pesquisadores de alto nível capazes de atuar em centros de Astronomia em qualquer parte do mundo. Os doutores engajados no programa são oriundos do Brasil e de outros países da América e da Europa.

Extensão de serviços à comunidade

A missão do IAG inclui a difusão cultural por meio dos programas de extensão universitária. Desde 1977 são oferecidos diversos cursos de extensão, principalmente para professores do ensino médio e fundamental, para estudantes e profissionais da área de ciências exatas, e para o público da terceira idade. Desde 1999, o IAG organiza a Escola de Verão de Geofísica com cursos de difusão, aperfeiçoamento e mesmo de pós-graduação.

A partir de 2014, o Departamento de Astronomia passou a oferecer também um curso de Astronomia na modalidade Ensino a Distância (EaD) para professores de primeiro e segundo grau do ensino público. A modalidade EaD, por sua flexibilidade e possibilidade de acesso remoto, faz o curso acessível aos 102 alunos matriculados, que se tornarão agentes multiplicadores do conhecimento aqui adquirido.

Os esforços de difusão cultural incluem ainda serviços de assistência à população e à mídia em assuntos científicos, palestras e materiais didáticos relacionados a efemérides astronômicas. A divulgação de dados de observações meteorológicas e parcerias com a Defesa Civil para previsão meteorológica de curto e curtíssimo prazo também são exemplos do relacionamento entre IAG e sociedade.

Astro

The background is a deep space photograph. It features a vast field of stars of various colors, including white, yellow, and orange. A prominent feature is a large, diffuse nebula with a reddish-pink hue, which appears to be a star-forming region. The nebula is partially obscured by the text. To the left of the text, there is a bright, dense cluster of stars, possibly a star cluster or a young stellar population. The overall scene is a rich and colorful representation of the universe.

nomia

Onde pode haver vida

Estabelecida uma conexão entre a evolução química da Via Láctea e a formação de planetas terrestres

EDIÇÃO 69 · OUTUBRO DE 2001

Imagine um mapa da Via Láctea que localize os nichos mais favoráveis à formação de planetas do tipo terrestre, onde há maior probabilidade de se desenvolverem seres vivos. Esse poderá ser o desdobramento de um estudo da evolução de nossa galáxia feito por Hélio Jaques Rocha-Pinto, do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG-USP). Na pesquisa que acaba de concluir, ele estabeleceu como os elementos químicos se distribuem na Galáxia ao longo do espaço e do tempo.

O estudo teve outros resultados importantes. Um dos mais significativos é a correção do método de calcular a idade das estrelas. Também descobriu um tipo de estrela que pode ter a velocidade

de um astro antigo e a atividade de um jovem. E demonstrou que, ao contrário do que se pensava, a taxa de formação de estrelas não é constante, mas varia periodicamente. Todas as conclusões foram desenvolvidas nas fases de doutoramento e pós-doutoramento do astrônomo, recentemente convidado pela Universidade da Virgínia, Estados Unidos, para uma temporada de dois anos como pesquisador associado, a partir de novembro.

O estudo mais fascinante é o que envolve os pressupostos para a vida extraterrestre em planetas da Via-Láctea – galáxia espiral cujo disco visível, com cerca de 400 bilhões de estrelas, é tão grande que a luz leva 100 mil anos para atravessá-lo de ponta a ponta. A hipótese de que planetas da idade da Terra possam abrigar vida parte de uma analogia: o tempo necessário para a vida se desenvolver em nosso planeta. Como se calcula que a vida aqui surgiu há 3,8 bilhões de anos, de moléculas orgânicas em estágio protobiótico, noutros planetas da mesma idade também se teria desenvolvido num período de tempo similar. “Indícios de vida em rochas muito antigas levam a crer que a

Como se calcula que a vida aqui surgiu há 3,8 bilhões de anos, de moléculas orgânicas em estágio protobiótico, noutros planetas da mesma idade também se teria desenvolvido num período de tempo similar.

vida se desenvolve tão logo existam as condições necessárias”, diz Rocha-Pinto.

“Investigando a composição química da Galáxia”, ele relata, “constatamos que planetas de tipo terrestre eventualmente existentes teriam uma idade média de 4,9 bilhões de anos, aproximadamente a mesma que a Terra”. Essa datação de planetas do tipo terrestre – ou seja, rochosos, como Terra e Marte, em contraposição aos gasosos como Júpiter e Saturno – também sugere que, se houver outras civilizações na Via Láctea, devem ter um nível tecnológico comparável ao nosso. Civilizações super evoluídas, como as que povoam livros e filmes de ficção científica, dificilmente seriam encontráveis na Galáxia, pois não teria havido tempo suficiente. “Nessa escala de tempo de 4,9 bilhões de anos”, observa o astrônomo, “é provável que o desenvolvimento de uma eventual civilização extraterrestre seja semelhante ao da Terra”.

Com base numa fórmula matemática especulativa, o chamado Número de Drake – que parte de estimativas de parâmetros como taxa de formação de estrelas, número de planetas habitáveis em cada sistema solar e tempo médio de vida de uma civilização capaz de comunicar-se por ondas eletromagnéticas –, calcula-se que poderiam existir entre 100 e 200 civilizações na Via Láctea.

A busca de planetas fora do sistema solar – os exoplanetas – é uma das atividades mais concorridas da astronomia e os resultados se acumularam rapidamente nos últimos anos: já foram identificados cerca de 70. Todos, contudo, são gigantes gasosos, com massas próximas às de Júpiter e Saturno – portanto, com altíssima gravidade e sem condições mínimas para alojar formas de vida.

O que se deseja é achar planetas semelhantes à Terra. Isso é impossível com os equipamentos atuais, mas três grandes aparatos serão lançados ao espaço até o final desta década ou início da próxima: os telescópios Corot e Darwin, da Agência Espacial Européia, e o interferômetro Terrestrial Planet Finder (descobridor de planeta terrestre), da Nasa, a agência espacial dos Estados Unidos. Quando esses instrumentos estiverem operando, os dados que Rocha-Pinto levanta podem ajudá-los a apontar lentes e espelhos coletores para os alvos corretos.

Para ele, quem quiser encontrar organismos vivos – não seres exóticos cuja existência é mera especulação, mas seres de algum modo parecidos com os que habitam a Terra – deve começar por regiões do espaço ricas em carbono, nitrogênio e oxigênio, fundamentais para a formação do DNA (ácido desoxirribonucléico, portador do código genético presente em todas as células), das proteínas e de outras moléculas associadas à vida.

Tais elementos não são abundantes como o hidrogênio e o hélio, criados já nos primeiros minutos do universo, na “nucleossíntese primordial”. Carbono, nitrogênio, oxigênio e outros de massa atômica mais elevada são filhos das estrelas: seus núcleos complexos se formam pela fusão de núcleos simples, nos ferventes centros estelares, num processo de fusão nuclear – responsável pela luz e o

calor que recebemos do Sol – que continua a ocorrer em bilhões de estrelas, sempre enriquecendo o cosmo de átomos pesados.

Como as linhas espectrais de carbono, nitrogênio e oxigênio são difíceis de observar, uma estratégia para mapear potenciais nichos de vida é buscar estrelas ricas em ferro. Explica-se: na linha de montagem da fusão nuclear, o ferro (de massa atômica 56) forma-se depois do carbono (massa 12), do nitrogênio (14) e do oxigênio (16). Assim, quando há muito ferro, é de se esperar que esses outros elementos também estejam presentes. E a detecção do ferro é facilitada pelo fato de seu átomo ter várias camadas eletrônicas: afinal, são os saltos dos elétrons de uma camada a outra que fazem o átomo emitir a radiação eletromagnética que torna possível observá-lo. Por isso, falar em evolução química da Galáxia e prospecção da vida é falar em pesquisa da abundância de ferro – a chamada metalicidade.

Marcadas a ferro

“O potencial de excitação do ferro – a energia necessária para que seus elétrons saltem de uma camada a outra – é comparável à energia da superfície de estrelas semelhantes ao Sol, da ordem de 5 a 6 mil graus kelvin (o zero da escala Kelvin, ou zero absoluto, é igual -273,16 graus Celsius). Por isso, no espectro eletromagnético dessas estrelas, identificadas como anãs G, o ferro é o elemento mais bem representado”, justifica Rocha-Pinto. O ferro é, na verdade, o marcador característico desse tipo de astro.

Em estrelas muito quentes (tipos O, B e A), o ferro não pode ser detectado, pois seus átomos estão ionizados. Nas muito frias (dos tipos K e M), sua presença é mascarada por linhas espectrais características de estruturas moleculares. O ferro aparece com destaque justamente nos astros que interessam: os dos tipos F e G, que não são demasiado quentes nem frios demais.

“Uma das vantagens de se trabalhar com esses astros é que eles têm uma expectativa de vida extremamente longa. Enquanto as estrelas enormes e quentes do tipo A só duram 300 milhões de anos, as estrelas do tipo solar, as anãs G, sobrevivem tanto quanto a idade da Galáxia – mais de 10 bilhões de anos. Por isso, ao menos como possibilidade, estamos em condições de observar todas as estrelas

dessa espécie que já se formaram na Via Láctea.”

Esses astros são os mais fortes candidatos a abrigar vida em seus planetas. A taxa moderada de fusão nuclear lhes dá temperatura amena o bastante para que seres vivos se desenvolvam por perto, bem como existência suficientemente longa para que esses organismos se desenvolvam. “Além disso, a radiação dessas estrelas é muito menos nociva a componentes essenciais da vida, como a molécula de DNA. O mesmo não acontece com as estrelas do tipo A, que emitem quantidades letais de ultravioleta”, acrescenta Rocha-Pinto.

Nova datação

Quando iniciou o doutoramento, em 1996, ele ainda não estava diretamente envolvido com astrobiologia. Seu foco era o aumento da metalicidade – presença de ferro –, de acordo com a idade das estrelas. “As pesquisas anteriores”, conta, “investigavam basicamente estrelas do tipo F como Prócion, cujo tempo de vida é consideravelmente longo – de 5 a 6 bilhões de anos –, porém menor que a idade da Galáxia. Por isso, as épocas mais antigas da Via-Láctea não ficavam bem representadas nesses estudos. O ideal seria pesquisar estrelas do tipo G, como o Sol. O problema é que a temperatura desses astros não possibilitava uma boa estimativa de suas idades. Nossa contribuição foi adotar outra forma de datação, chamada idade cromosférica. Graças a isso, pudemos correlacionar idade e metalicidade de um elenco de 552 estrelas.”

Uma das vantagens de se trabalhar com esses astros é que eles têm uma expectativa de vida extremamente longa. As estrelas do tipo solar, as anãs G, sobrevivem tanto quanto a idade da Galáxia.

Esse levantamento preliminar permitiu que, ao longo do pós-doutoramento, se interessasse por planetas do tipo terrestre: “Verificamos que apenas 10% dos astros da geração do Sol, constituídos há cerca de 4,6 bilhões de anos, têm metalicidade superior à do Sol. Isso significa que o Sol nasceu com abundância de ferro bem superior à média. Não é uma estrela típica, portanto. Essa atipicidade parece ter sido decisiva para a formação de um planeta terrestre na zona de habitabilidade e o conseqüente desenvolvimento de organismos vivos”.

Para esclarecer isso, o pesquisador recorda a hipótese dominante acerca da formação dos sistemas planetários, que propõe a seguinte seqüência. Inicialmente, uma nuvem de gás e poeira cósmica contrai-se por efeito gravitacional. A concentração passa a atrair a matéria circundante. Essa matéria não cai diretamente no objeto protoestelar: assenta-se em forma de disco no plano equatorial do objeto.

Com o encolhimento, a nuvem passa a girar e assume forma de disco. Aquecido pela contração, o objeto passa a emitir luz e, ao atingir uma temperatura crítica, transforma-se em estrela, convertendo hidrogênio em hélio por meio da fusão nuclear. Enquanto isso, os grãos materiais da região exterior do disco atuam como atratores gravitacionais, acumulando gás e poeira em torno. A agregação de matéria origina planetésimos, corpos rochosos do tamanho dos menores asteróides. Por fim, os planetésimos se juntam e formam planetas.

Os grãos, decisivos na gênese dos planetas, parecem depender criticamente da metalicidade na nuvem protoestelar: “Ambientes muito pobres em metais não conseguiriam formar planetas terrestres, devido à falta de grãos capazes de agregar matéria. Já os ambientes demasiadamente metalizados tenderiam a gerar uma quantidade excessiva de grãos, produzindo planetas jovianos – semelhantes a Júpiter, com núcleo rochoso e enorme invólucro gasoso – numa região mais próxima da estrela.

Esses planetas jovianos não só poderiam migrar para a parte mais interna do sistema, instabilizando a órbita de qualquer planeta terrestre existente no local, como deixariam de oferecer um escudo gravitacional contra a penetração de cometas – o que é feito por Júpiter, no caso do sistema solar. O resultado é a baixíssima probabilidade de esses sistemas abrigarem vida em sua zona de habitabilidade”, conclui Rocha-Pinto.

Segundo Charley Lineweaver, da Universidade de New South Wales, Austrália, a faixa de metalicidade propícia à formação de planetas terrestres vai de 0,5 a 1,2 vez a do Sol. Rocha-Pinto concorda, mas não com a datação dos planetas terrestres de Lineweaver: enquanto o brasileiro calcula a idade média desses planetas em 4,9 bilhões de anos, para o australiano são 6,4 bilhões. É que Lineweaver não chegou ao número só a partir de dados da Via Láctea. “Ele juntou informações relativas a um grande número de galáxias e estabeleceu um valor médio. É claro que isso não leva em conta as especificidades da Via Láctea. As contas de Lineweaver deslocam o auge da formação de estrelas para o passado, o que resulta em sistemas planetários muito antigos.

Não é o que acontece em nossa galáxia, que teve vários períodos de intensificação da formação estelar, coincidentes com as épocas de maior aproximação das Nuvens de Magalhães – duas galáxias pequenas, de formato irregular, que gravitam em torno da Via Láctea. Foi justamente numa dessas ocasiões que o sistema solar se constituiu.” Se o número de Lineweaver estivesse certo, haveria a perspectiva de se encontrar, na Galáxia, as supercivilizações descritas pela ficção científica. Com a datação calculada por Rocha-Pinto, é menos provável que isso aconteça.

Com Walter Maciel, da USP, e Gustavo Porto de Mello, do Observatório do Valongo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rocha-Pinto calcula as abundâncias de ferro, níquel, sódio, cálcio e silício numa nova amostra de 325 estrelas de tipo solar, obtida no Laboratório Nacional de Astrofísica de Itajubá. “Para que haja vida, é preciso que quantidades críticas de vários componentes sejam alcançadas”, diz ele. “Queremos saber como essas abundâncias se distribuem pelo espaço e como variaram ao longo do tempo. O resultado será uma espécie de gráfico das probabilidades de vida na Galáxia.”

Retificando a idade das estrelas

No Sol, cromosfera é a coroa que brilha no eclipse, zona rarefeita formada por átomos e elé-

trons que o astro emite. Em estrelas do tipo solar, a temperatura na fotosfera (superfície luminosa) é de 5.600 Kelvin e na cromosfera vai de 10 a 100 mil graus. Na fotosfera, átomos ou elétrons absorvem fótons (partículas de luz) e na cromosfera os emitem. Por isso, no espectro eletromagnético, fotosfera é identificada por linhas de absorção e cromosfera geralmente por linhas de emissão. A análise dessas linhas permite estimar a idade da estrela, pois, à medida que envelhece, ela gira cada vez mais devagar, o que afeta seu campo magnético e, portanto, a temperatura da cromosfera, diminuindo a intensidade da linha de emissão.

O fato é conhecido desde os anos 60, mas, por não considerar a metalicidade, os estudiosos erravam na construção das linhas de absorção e, assim, avaliavam incorretamente as de emissão – já que, nos gráficos, ambas se sobrepõem. O resultado eram determinações equivocadas da idade estelar. Rocha-Pinto corrigiu isso e refez a datação de muitos astros. “Com isso, pudemos estabelecer uma correlação adequada entre a idade das estrelas e sua metalicidade. E, portanto, chegar a um quadro muito mais realista da evolução química da Galáxia.”

Coroou o estudo a constatação de que a taxa de formação de estrelas varia na Galáxia, alterando fases mais e menos prolíficas. Isso provavelmente se deve à interação entre a Via Láctea e as duas Nuvens de Magalhães, que periodicamente se aproximam: “Há uma ponte de gás entre a Via Láctea e as Nuvens de Magalhães, o que indica recentes interações entre elas. Aos períodos de maior aproximação corresponde uma intensificação da formação estelar, tanto aqui como lá”.

Ainda quanto à idade estelar, ele descobriu o que chamou de crojoca (de “cromosfericamente jovem e cinematicamente antiga”), tipo de estrela de comportamento paradoxal: como nas jovens, a cromosfera tem intensa atividade, mas a estrela se desloca em altas velocidades, como as antigas. Ela resulta da fusão de duas estrelas binárias, que nascem muito próximas. “Esse tipo de estrela só era encontrado entre as de tipo A, com grande massa e vida curta, onde é chamada *blue straggler* (retardatária azul).

As crojocas são astros análogos do tipo G, de massa relativamente pequena e vida longa. E não são azuis, mas amarelas.” Na verdade, são estrelas velhas cuja cromosfera rejuvenesceu na fusão, que faz o astro girar mais rápido do que os que lhe deram origem. “Um dado que corrobora nossa hipótese é que as crojocas quase não possuem lítio, característica das estrelas antigas, porque o lítio é rapidamente queimado nas etapas iniciais da vida estelar.”

O PROJETO

A Evolução Galáctica e a Atividade Cromosférica

MODALIDADE

Bolsa de Pós-Doutoramento

COORDENADOR

Hélio Jaques Rocha-Pinto – Instituto Astronômico e Geofísico da USP

INVESTIMENTO

R\$ 34.320

Sol pulsante

Grupo do IAG descobre que variação no diâmetro solar é pelo menos dez vezes menor do que se acreditava

FRANCISCO BICUDO | EDIÇÃO 73 · MARÇO DE 2002

Há quase quatrocentos anos que, ao observar o diâmetro do Sol, os astrônomos sabem que ele pode aumentar ou diminuir. O que não conseguiam determinar com segurança era a amplitude dessa variação. No ano passado, depois de um longo caminho, essa dúvida começou a ser esclarecida: estudo feito por pesquisadores do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP) oferece dados que estão mais perto da realidade. Utilizando métodos de observação e medição mais precisos, desenvolvidos por eles próprios com base em imagens de satélite, constataram que a oscilação do raio solar pode chegar a apenas 15 quilômetros – bem menos do que se imaginava.

Antes, trabalhavam com a idéia de que a variação fosse de 150 quilômetros – para um diâmetro solar total de aproximadamente 1 milhão e 400 mil quilômetros. O estudo mostrou ainda que a energia responsável pela variação do diâmetro e da luminosidade do Sol não provém do seu núcleo, como se pensava, mas de camadas mais externas – especificamente, das manchas solares, que indicaram o quanto o diâmetro solar pode variar em função do período de atividade do astro. As descobertas chegam em boa hora.

Entre 2000 e 2002 ocorre o período de máximo solar, que se repete a cada 11 anos, caracterizado por uma atividade solar mais intensa, causada pela variação do campo magnético solar. Os resultados podem ajudar a entender a influência da variação do diâmetro solar nesse pico de atividade e sobre o clima terrestre: o aumento ou diminuição da luminosidade solar poderia provocar mudanças de temperatura e períodos de glaciação e de seca, além de interferências nas telecomunicações de um modo geral.

23

A idéia que levou a esses resultados surgiu quando o professor Nelson Vani Leister e o pós-doutorando Marcelo Emílio, sob sua supervisão, perceberam que era preciso deixar para trás as técnicas de medição do diâmetro desenvolvidas a partir de observatórios terrestres. Trabalhando com esse método tradicional, Leister fez a primeira série histórica brasileira de medições do diâmetro do Sol com informações acumuladas ao longo de vinte anos, de 1974 a 1994. Feito em parceria com pesquisadores franceses, esse levantamento apontou para uma oscilação de cerca de 150 quilômetros no raio solar. Era um avanço, mas o número obtido não era muito confiável: suspeitava-se que a refração e a turbulência atmosféricas da Terra pudessem ter interferido nos resultados finais.

Então veio a inspiração: por que não tentar observar o Sol do espaço? Ao desejo juntou-se a possibilidade. Em janeiro de 1999, Emílio, então doutorando, recebeu um convite para passar um ano e três meses na Universidade do Havaí, Estados Unidos. É um dos centros onde se trabalha com imagens do Sol captadas diretamente pelo SOHO (Satélite de Observação da Heliosfera Solar), lançado em 1995 em parceria pelas agências espaciais européia (ESA) e norte-americana (Nasa). A oportunidade foi decisiva para se chegar a dados mais conclusivos sobre a variação do diâmetro solar.

Em órbita a aproximadamente 1,5 milhão de quilômetros do Sol, o SOHO alimenta estudos de cerca de 500 pesquisadores em 20 países. Envia informações sobre os fenômenos que ocorrem na coroa solar, erupções, ventos e variações do campo magnético. Foi projetado para acompanhar essas atividades, não as variações do diâmetro do Sol, embora isso fosse viável, desde que houvesse programas de computador adequados para analisar as imagens que chegavam. Os dados estavam lá: bastava que alguém fosse capaz de decifrá-los.

Interferências

Foi aí que a criatividade brasileira entrou em ação. Na bagagem para o Havaí, Emílio levou

seu computador, com os programas que havia desenvolvido e utilizado nas pesquisas com Leister, já imaginando que poderiam ser úteis para confrontar os resultados da observação terrestre. Tinha a forma de interpretar as imagens, mas o trabalho não seria fácil. O fato de o SOHO não ter sido planejado para registrar diretamente as medidas do diâmetro do Sol causava alguns problemas. Desde o princípio, a análise de imagens coletadas entre julho de 1996 e julho de 1998 revelou que realmente existia alguma oscilação no diâmetro solar.

Mas havia três obstáculos que poderiam estar mascarando os resultados: a imagem do Sol era registrada a partir de distâncias variadas, mudanças deliberadas no foco do instrumento aumentavam e diminuíam artificialmente o diâmetro do Sol – o que poderia provocar falsas impressões – e a própria temperatura da lente também não era constante. Foi preciso eliminar esses efeitos das observações. Nesse momento, Emílio recorreu aos programas de leitura e análise de imagens que havia levado do Brasil. Era como se o próprio computador acompanhasse o deslocamento do Sol, marcando os pontos de medição e tomando as decisões por conta própria. Por segurança, o pesquisador avaliou, uma a uma, as imagens de cerca de 2 milhões de limbos (pontos de limite) do Sol.

O SOHO gera 120 imagens por dia, cada uma delas com 16 limbos, o que corresponde a 1.920 pontos por dia. Nos três anos que tomou para analisar, Emílio observou aproximadamente 2 milhões de limbos. Foi esse trabalho de comparação, baseado em cálculos matemáticos, que permitiu separar o joio do trigo e eliminar, em seqüência, as interferências causadas pela distância do satélite ao Sol, pela variação do foco e pelo efeito da variação de temperatura a que o satélite fica submetido.

O que sobrou foi a oscilação do diâmetro do Sol: “Chegamos àquilo que a gente chama de limite superior de variação, a oscilação máxima do diâmetro solar. Ela pode até ser menor, se no futuro forem identificados outros elementos desconhecidos, mas nunca será maior do que isso”, relata Emílio.

Divisor de águas

Depois de percorrer toda essa trajetória, e agora livre das interferências geradas pela Terra, os pesquisadores conseguiram mostrar que, vista do espaço, a variação do diâmetro solar é dez vezes menor do que a observada da superfície terrestre. Os resultados abalaram pressupostos vigentes. A diferença é significativa, o que levou os pesquisadores a crer que aquilo que determinavam a partir da Terra não era certo. “Entre o espaço e a superfície, há numerosos efeitos, muita coisa que age e modula, e que a gente ainda não conhece direito”, afirma Leister. Sua conclusão lembra a fala clássica de Hamlet: “Há mais coisas entre o céu e a Terra do que supõe nossa vã filosofia”.

Na verdade, explica Leister, a atmosfera terrestre, que não é homogênea, introduz efeitos que desviam o feixe luminoso e perturbam as medidas. As condições climáticas – variações de temperatura, umidade e pressão – também influem sobre a refração. As constatações do grupo representam um divisor de águas nos estudos sobre variação do diâmetro solar. Em novembro de 2000, o trabalho de Emílio apareceu no *Astrophysical Journal*, num artigo assinado por ele, Jeffrey Kuhn, da Universidade do Havaí, mais Rock Bush e Philip Scherrer, da Universidade de Stanford.

Pouco depois, na edição de 15 de março de 2001 da revista *Nature*, Douglas Gough, do Instituto de Astronomia de Cambridge, reconhecia a importância do trabalho: “Essa observação não é certamente a primeira que detecta pequenas variações no raio solar, mas deverá ser a primeira a sobreviver ao teste do tempo”. Com essa repercussão, as pesquisas feitas na área poderão passar a ser divididas entre antes e depois do SOHO. Leister não tem a pretensão de que seja assim, mas admite que as mudanças são mesmo de grande impacto.

As avaliações feitas do espaço tornam-se a referência para novas empreitadas e fundamentam pesquisas mais direcionadas, por exemplo, para apurar a interferência dos campos magnéticos – que geram as manchas solares – na variação do diâmetro do Sol. Nessa área, com pesquisas semelhantes, trabalham pesquisadores do Observatório Nacional, no Rio de Janeiro, e do Centro de Radioastronomia e Aplicações Espaciais (CRAAE) do Instituto Mackenzie, em São Paulo. No cenário internacional,

estão na linha de frente os especialistas do Centre d'Etudes et de Recherches en Géodynamique et Astrométrie (Cerga), na França; da Universidade de Yale, Estados Unidos; e do Observatório de Locarno, Suíça.

Astrolábio e câmara

“Chamo todo esse processo de descoberta à brasileira”, diz Leister, que começou a fazer as medições nos anos 70 com um astrolábio solar. Esse instrumento, formado por uma luneta horizontal com 1,20 metro de foco e objetiva de 10 centímetros, estava no Observatório Abrahão de Moraes, em Valinhos (SP). O princípio técnico era simples: mede-se o intervalo de tempo que o Sol leva para passar por uma linha imaginária no céu, definida pelo instrumento. O inconveniente é que o olho humano, embora seja um excelente instrumento de observação, tem suas limitações, e podem ocorrer variações, por exemplo, de um pesquisador para outro.

Na primeira metade dos anos 90, na tentativa de superar essa dificuldade, o IAG/USP adquiriu uma sofisticada câmara CCD (Charge Coupled Device), que foi acoplada ao astrolábio, a essa altura já transferido para o IAG da Água Funda, na capital. As imagens captadas pela câmara eram transmitidas para um computador. A decepção: mesmo com todo esse aparato, os resultados de novas observações mostraram que os ganhos na precisão, em termos de variação do diâmetro solar, tinham sido mínimos.

Em compensação, foi todo esse processo de acúmulo de conhecimentos que permitiu a Emílio desenvolver suas técnicas e seus programas de tratamento de imagens. Um pouco mais tarde, eles seriam fundamentais para o sucesso de seu doutorado, que durou 50 meses – período relativamente curto na carreira de um pesquisador.



Leister e Emílio com o astrolábio solar, empregado nas observações terrestres

Miguel Boyayan

OS PROJETOS

Astrolábio Solar

MODALIDADE

Linha regular de auxílio à pesquisa

COORDENADOR

Nelson Vani Leister – IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 5.918,32

Estudo da Variabilidade do Diâmetro Solar

MODALIDADE

Bolsa de doutorado

INVESTIMENTO

R\$ 64.238,72

Onde nascem as estrelas

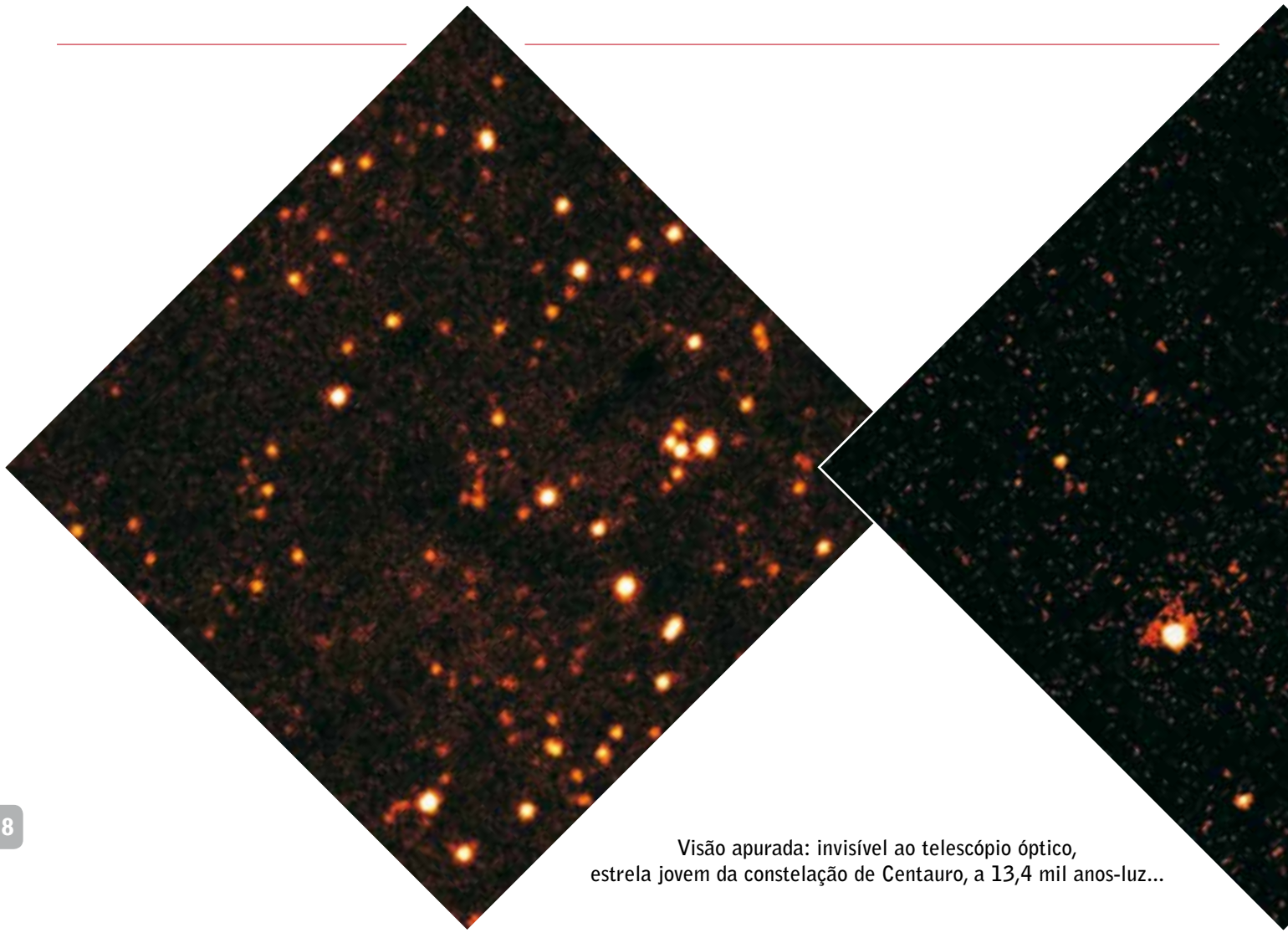
Mapeamento inédito detecta 150 berçários no Hemisfério Sul

26

Astrônomos paulistas encontraram muito mais do que esperavam nos chamados berçários de estrelas, regiões de nossa galáxia, a Via Láctea, que abrigam estrelas numa fase inicial da vida – pouco estudadas e de difícil observação por estarem envolvidas em densas nuvens escuras de gás e poeira –, num mapeamento inédito do céu do Hemisfério Sul. Em menos de um ano, os pesquisadores do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP) detectaram 157 prováveis nascedouros de estrelas em áreas do céu com dimensões correspondentes a um décimo da superfície do Sol visto da Terra. Das 46 nuvens analisadas nos últimos dois meses, 32 (70%) abrigam estrelas raras, com massas muito elevadas e poucos milhões de anos de idade – verdadeiros bebês frente aos 14,5 bilhões de anos das mais antigas do Universo.

As estrelas não haviam sido vistas antes por causa da densidade e do tamanho das chamadas nuvens moleculares, algumas com 4 anos-luz de extensão (um ano-luz corresponde a 9,5 trilhões de quilômetros), cerca de 270 mil vezes a distância da Terra ao Sol. Por não permitirem a passagem da luz, são

Atrás das nuvens:
berçário de estrelas
(*mancha à direita*)
da constelação
Norma, a 10,4
mil anos-luz da Terra



Visão apurada: invisível ao telescópio óptico, estrela jovem da constelação de Centauro, a 13,4 mil anos-luz...

uma barreira intransponível para os mais potentes telescópios ópticos. O grupo do IAG conseguiu vencer as nuvens com uma câmara detectora de infravermelho, capaz de captar a energia emitida pelas estrelas jovens na forma de calor – a radiação infravermelha, não absorvida pela poeira das nuvens.

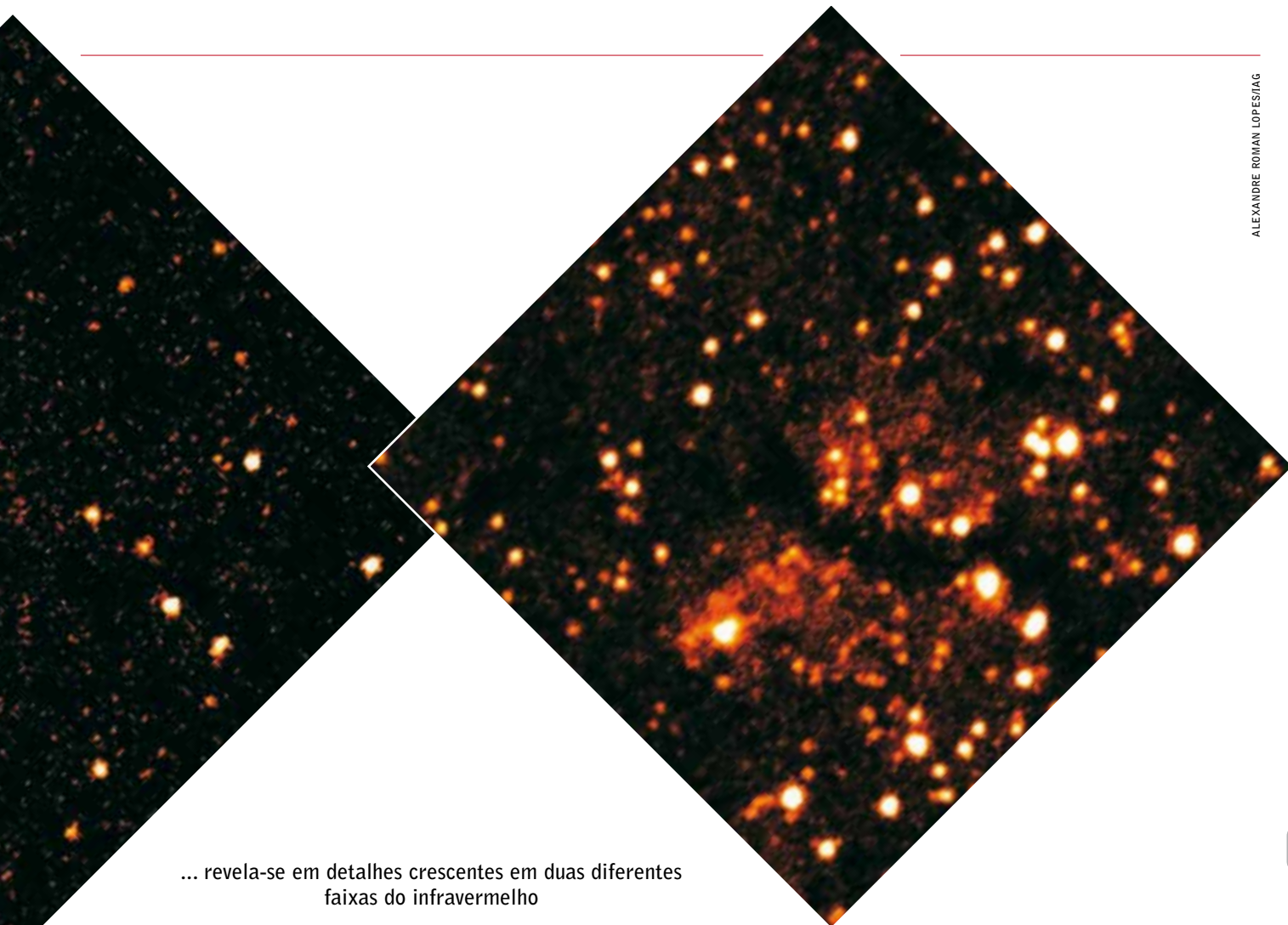
Essa câmara é a única do país. Comprada por US\$ 300 mil, consiste em uma caixa metálica de 40 por 30 centímetros que abriga um detector mantido em nitrogênio líquido, a 203°C negativos, para evitar qualquer interferência do calor do ambiente. Funcionou acoplada a um telescópio óptico do IAG, instalado no Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), em Brasópolis, Minas Gerais, e apurou as informações de outras duas fontes, o Satélite Astronômico de Infravermelho (Iras) e o Telescópio Submilimétrico Sueco do Observatório Europeu do Sul (Sest), em La Silla, no Chile. Foi ela que permitiu ao grupo do IAG ousar. “Queríamos estudar as estrelas que

nem sabíamos se realmente existiam”, comenta Zulema Abraham, coordenadora do trabalho.

As dezenas de estrelas dessas primeiras áreas recém-descobertas têm uma massa 15 a 50 vezes maior que a do Sol, de 2 oitilhões (o número 2 seguido de 27 zeros) de toneladas. São de quatro a oito vezes mais quentes que o Sol, com a temperatura na superfície variando de 25 mil a 50 mil graus Celsius, e situam-se a distâncias que variam de 600 anos-luz a 18 mil anos-luz da Terra (o Sol fica a apenas 8 minutos-luz). E apresentam uma característica peculiar: morrem cedo. Em poucos milhões de anos, consomem o combustível que as mantém ativas – o hidrogênio, convertido constantemente em hélio – e desaparecem numa espécie de implosão, originando um buraco negro, região do espaço de densidade tão elevada que absorve tudo ao redor, inclusive a luz. “Se não as observarmos dentro das nuvens, elas podem desapa-

recer sem ser conhecidas”, comenta Alexandre Roman Lopes, do grupo do IAG. A análise dessas regiões ajudará a estimar se as estrelas se formam igualmente em todas as regiões da Via Láctea ou se existem áreas que favorecem a condensação dos gases que as originam. Até o momento, os dados comprovam uma das hipóteses da teoria da evolução estelar: regiões muito densas no interior de nuvens de gases e poeira contêm estrelas em formação.

Onde olhar - O grupo do IAG conseguiu resultados relativamente rápidos porque resolveram com sucesso uma questão primordial, sem a qual o detector de infravermelho de nada adiantaria: saber em qual região do espaço procurar as nuvens moleculares. Essas áreas de formação de estrelas, ricas em hidrogênio, monóxido de carbono, amônia e hélio, concentram-se na direção do centro da galáxia, mas procurar ao acaso seria um missão impossível.



... revela-se em detalhes crescentes em duas diferentes faixas do infravermelho

29

O caminho óbvio seria procurar pela assinatura das estrelas recém-formadas: as nuvens de gás, ionizadas pela energia emitida pelas estrelas contidas em seu interior, conhecidas como regiões HII. Mas, além de um empecilho natural – a radiação emitida por essas regiões é absorvida pela nuvem molecular –, a equipe do IAG pretendia observar regiões novas, ainda não classificadas como HII. A solução inovadora para acertar o alvo sem desperdiçar tempo foi associar pistas de diferentes fontes de observação.

Primeiro, Zulema selecionou 1.427 prováveis berçários registrados pelo Iras, que em dez meses de operação encontrou mais de 320 mil fontes emissoras de radiação infravermelha, das quais 5 mil apenas na Via Láctea. Depois, verificou que necessitava de mais um elemento que sugerisse que uma determinada região poderia conter estrelas em formação. Em busca de evidências indiretas, sua equipe avaliou um mapa de 873 fontes de ondas de rádio, cujo compri-

mento de onda vai do milímetro a centenas de quilômetros, produzido pelo observatório de La Silla. As emissões nessa faixa de energia são uma espécie de impressão digital de moléculas encontradas em nuvens muito densas, possíveis áreas de formação de estrelas.

Após confrontar os dois tipos de dados, os pesquisadores restringiram ainda mais os prováveis berçários, seguiram para o LNA e passaram 15 noites examinando nascedouros de estrelas na

faixa do infravermelho próximo – radiação com comprimento de onda de 0,8 a 2,5 micrômetros, a milionésima parte do metro. O trabalho mal começou: apenas no Hemisfério Sul existem pelo menos 600 berçários. Não se sabe ao certo quantos existem no Hemisfério Norte, mas é provável que o Sul seja mais rico, por abrigar o centro da galáxia, onde mais se formam estrelas.

Até o final do ano, após concluir a análise de outras 111 regiões, os astrofísicos do IAG pretendem selecionar algumas áreas para investigar detalhadamente, em um telescópio do LNA com um espelho de 1,6 metro de diâmetro, mais potente que o usado nesse trabalho, de 0,6 metro. Os próximos capítulos devem contar também com o telescópio do Rádio Observatório do Itapetinga, em Atibaia, com uma antena de 13,7 metros de diâmetro, que poderá detalhar a temperatura, densidade e extensão das nuvens de gás que envolvem os berçários de estrelas. •

O PROJETO

A Galáxia e a Formação de Estrelas

MODALIDADE

Projeto temático

COORDENADORA

ZULEMA ABRAHAM –IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 3.133.845,64

Explosão de energia

Soma de técnicas permite a identificação de fontes mais fracas de raios gama

EDIÇÃO 80 • OUTUBRO DE 2002

Uma equipe de astrofísicos brasileiros e astrônomos norte-americanos identificou um tipo bastante raro de galáxia, conhecida como blazar, situado a 10 bilhões de anos-luz da Terra (cada ano-luz corresponde a 9,5 trilhões de quilômetros) – um dos mais distantes objetos cósmicos já encontrados. Entre as 93 galáxias desse tipo já conhecidas, essa é a mais fraca fonte de emissão em raios gama e em ondas de rádio. Mesmo assim, é mil vezes maior que a emitida por toda a Via Láctea e 100 quadrilhões de vezes superior à liberada pelo Sol.

Só foi possível descobrir esse blazar, chamado 3EG J2006-2321, porque técnicas refinadas de pesquisa se uniram a recursos que poderiam ser chamados de arcaicos. Vai longe o tempo em que bastava apontar o telescópio para o céu e encontrar novas galáxias. Hoje, a busca de objetos celestes, sobretudo os mais distantes, exige a integração de técnicas que detectam a energia emitida nas diferentes formas de radiação eletromagnética, de um extremo a outro do espectro – dos raios gama às ondas de rádio, passando pelos raios X e pela luz visível. Cada tipo de radiação funciona como peças de um quebra-cabeça que se encaixam e lentamente dão uma idéia da imagem que vai se formar.

A descoberta partiu das informações do Telescópio de Experimentos Energéticos em Raios Gama (Egret) do Observatório Compton, o satélite da Nasa, a agência espacial norte-americana, que vasculhou o céu de 1991 a 2000 em busca de fontes de raios gama, catalogou algumas novas possíveis galáxias. Mas foi um telescópio do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP), equipado com uma câmara digital e cristais de calcita – material usado pelos vikings há mil anos para navegar por permitir localizar a posição do Sol com base na polarização da luz –, que confirmou a identificação do blazar. A cooperação aprimorou o método de detecção desses objetos, com a associação da análise da emissão de raios gama, ondas de rádio e luz visível.

“Está cada vez mais claro que é preciso coletar informação de vários comprimentos de onda para compreender melhor um objeto”, afirma o astrofísico Antônio Mário Magalhães, do IAG, que

Está cada vez mais claro que é preciso coletar informação de vários comprimentos de onda para compreender melhor um objeto

coordenou a etapa brasileira desse estudo, publicado na edição de abril da revista *The Astrophysical Journal*. A soma de técnicas permite

compreender melhor a estrutura e a formação dos blazars já conhecidos e identificar outras fontes fracas de raios gama, radiação composta por luz de comprimento de onda da ordem da milésima trilionésima parte do metro (o tamanho do núcleo dos átomos) e milhões de vezes mais energética que a luz visível.

Os blazars pertencem a uma classe de galáxias com núcleos ativos, que apresentam uma característica que as distingue de galáxias mais calmas, como a Via Láctea: a região central das galáxias ativas, concentrada numa região menor que o Sistema Solar, emite mais energia que o restante da galáxia, justificando o nome de núcleos ativos de galáxias ou NAGs. O blazar recém-identificado, mesmo com emissão de radiação gama relativamente baixa entre os já conhecidos, libera 10^{40} watts (o número 1 seguido de 40 zeros).

Os pesquisadores acreditam que a energia dos núcleos ativos de galáxias resulte de um buraco negro com massa muito elevada, de 100 milhões a 1 bilhão de sóis, situado no centro daquela galáxia, que pode permanecer ativo por 100 milhões de anos. A cada ano, esse buraco negro consome o equivalente a um Sol e lança dois jatos de gás, em sentidos opostos, a uma velocidade próxima à da luz, com até 100 mil anos-luz de extensão. Os elétrons desses jatos emitem radiação com compri-

mento de onda nas faixas de raios X, ondas de rádio e luz visível. Presume-se que sejam os fótons de rádio que, espalhados pelos elétrons energéticos, se convertam em raios gama.

Apenas com o método tradicional os astrônomos não conseguiam avançar. Após analisar as 271 fontes de radiação dessa mesma faixa do espectro eletromagnético catalogadas pelo telescópio Egret, Paul Wallace, do Berry College, selecionou um objeto que apresentava maior probabilidade de ser um blazar entre os ainda não-identificados. Essa provável galáxia, embora emitisse pouca energia, tinha uma das marcas dos núcleos ativos: o fluxo de energia variava com o tempo. Diferentemente dos objetos observados no óptico, porém, as fontes de raios gama vêm de uma direção no céu não conhecida com exatidão.

Fontes de Rádio

Seguindo por um caminho complementar, Dave Thompson, do Centro de Vôos Espaciais Goddard, da Nasa, analisou fontes de rádio, as menos energéticas do espectro eletromagnético, que no céu apareciam próximas à fonte de raios gama. Thompson encontrou seis objetos que poderiam corresponder à fonte gama identificada por Wallace. Quatro foram logo excluídos. Os restantes eram peculiares: geravam um fluxo de energia em ondas de rádio entre quatro e seis vezes mais fraco que o normal para um blazar.

Jules Halpern, da Universidade de Colúmbia, tomou imagens ópticas e notou que uma das fontes era uma galáxia normal e a outra, um objeto pontual. Por ser pontual, podia ser um blazar ou qualquer outro astro dentro ou fora de nossa galáxia. Mas o espectro da radiação emitida por esse objeto exibiu um deslocamento para o vermelho, o chamado redshift, indicando que a fonte estava bem distante da Via Láctea.

Magalhães deu a palavra final. Com o polarímetro que ele mesmo havia projetado, a equipe do IAG estudou as duas fontes de rádio, mas na luz visível. Acoplado ao telescópio do IAG no Laboratório Nacional de Astrofísica, em Brasópolis, Minas Gerais, o polarímetro mede qual fração da luz captada é polarizada, ou seja, vibra num único plano. Em seis horas de observação, em duas noites de 2000 e 2001, os astrônomos paulistas fecharam o diagnóstico ao associar o 3EG J2006-2321 à fonte distante de luz visível que também emitia em rádio: o objeto pontual apresentava variação da polarização da luz, outra característica dos blazars. O próximo passo: avaliar a polarização da luz de outros 15 possíveis blazars do Egret com um polarímetro conectado a um telescópio de Cerro Tololo, no Chile. “A identificação de fontes ainda não estudadas ajudará a conhecer a origem dos fótons mais energéticos que permeiam o Universo”, conclui Magalhães.

O PROJETO

Manutenção das Atividades em Polarimetria Astronômica

MODALIDADE

Linha regular de auxílio à pesquisa

COORDENADOR

Antônio Mário Magalhães – IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 73.106,21

A mais velha (por enquanto)

Estrela mais antiga já descoberta alimenta dúvidas sobre a formação do Universo

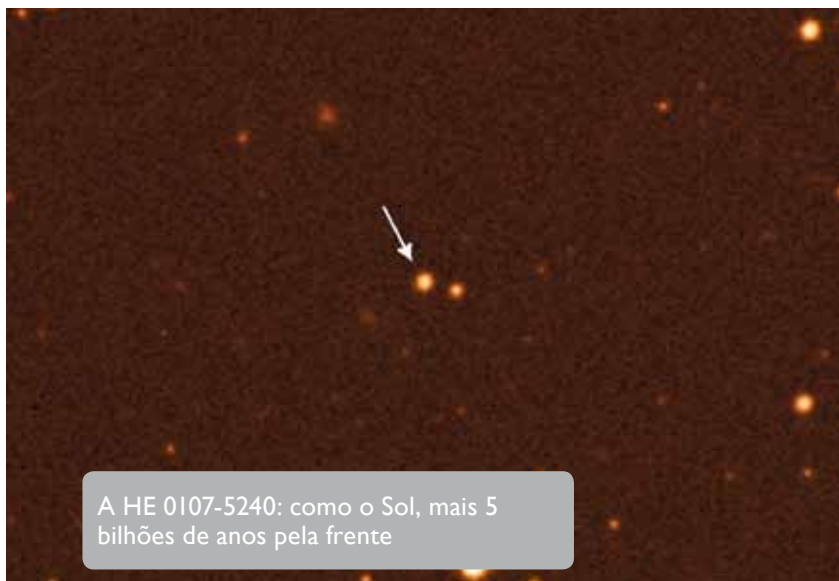
CARLOS FIORAVANTI | EDIÇÃO 83 · JANEIRO DE 2003

Ela ainda brilha como a estrela mais antiga do Universo. Pode ser que a qualquer momento surja outra, ainda mais velha, já que a pesquisa só deve terminar em dois anos, mas a descoberta desse fóssil cósmico com 12 a 15 bilhões de anos, situado a 36.000 anos-luz de distância (um ano-luz equivale a 9,5 trilhões de quilômetros), abriu uma saída numa labiríntica busca que durava 20 anos e havia mobilizado uma equipe internacional de pesquisadores, com uma intensa participação de Silvia Rossi, astrônoma da Universidade de São Paulo (USP). Com seu sutil lirismo, apoiado em lembranças, músicas ou poesias retidas na memória, esse raro objeto celeste despontou como fonte de admiração e, para os cientistas, de dúvidas, especialmente sobre os processos pelos quais as primeiras estrelas se formaram. Parece haver mais de um roteiro pelo qual nasceram os primeiros corpos celestes com luz própria.

Até que essa estrela fosse registrada pela primeira vez às 2 horas da madrugada de 12 de novembro de 2001 num telescópio da Austrália, confirmada dez semanas depois num aparelho mais potente, no Chile, e anunciada ao mundo há três meses, num artigo na edição de 31 de outubro da revista científica *Nature*, pensava-se que os metais, sobretudo o ferro, fossem indispensáveis para resfriar e adensar as nuvens precursoras das estrelas, formadas por hidrogênio e hélio. Mas a estrela hoje vista como a mais antiga, cuja descoberta resulta do trabalho coordenado por um físico de 36 anos, Norbert Christlieb, da Universidade de Hamburgo, na Alemanha, exibe uma escassez de metais nunca observada: 200 mil vezes menos que o Sol e 20 vezes menos que a ex-mais antiga, conhecida pela sigla CD-38°245, pelo menos 2 bilhões de anos mais nova, que se manteve no posto durante dois anos.

32

ESO



A HE 0107-5240: como o Sol, mais 5 bilhões de anos pela frente

Supõe-se, assim, que, por processos ainda desconhecidos, a estrela mais antiga formou-se num ambiente praticamente desprovido de metais – como são chamados os elementos químicos mais pesados que o hélio. Situada no halo (borda) de nossa galáxia, a Via Láctea, ela é constituída por hidrogênio (90%), um pouco de hélio (menos de 10%) e uma reduzidíssima quantidade de lítio (estimada em 0,0005%). É intrigante: ninguém compreende ao certo como o lítio foi parar lá, uma vez que esse elemento não é, ao que se sabe, formado pelas

reações de fusão entre os átomos de hélio e hidrogênio. Outros metais participam de modo inexpressivo: enquanto no Sol há um átomo de ferro para cada 31 mil de hidrogênio, deve existir apenas um átomo desse elemento químico para cada 6,8 bilhões de átomos de hidrogênio na estrela batizada com a sigla HE 0107-5240 – as iniciais correspondem a Hamburgo e a ESO (Observatório Europeu do Sul), e os números, à posição aproximada da estrela no céu no momento em que foi encontrada.

A mais pura das estrelas deve ter tomado forma apenas 1 bilhão de anos depois do Big Bang, a explosão que teria dado início ao Universo. Portanto, dessa relíquia podem surgir pistas cruciais

sobre a história de formação das estrelas e dos elementos químicos no Universo primitivo. “Obviamente, muita coisa deve ter ocorrido entre o Big Bang e a formação dessa estrela”, comentou Christlieb, o coordenador da pesquisa.

Segundo ele, a HE pode ter herdado o pouco metal que contém de companheiras ainda mais antigas e maiores, embora já se questione se as primeiras estrelas teriam sido realmente tão maiores – ou “massivas”, como diriam os astrônomos. Acredita-se que, quanto maior uma estrela, mais rapidamente o hidrogênio e o hélio se consomem, em reações que produzem energia e luz, e mais rapidamente a estrela chega ao final. As estrelas de maior massa desaparecem em uma explosão em que se formam metais mais pesados que o ferro – lançados para o espaço, aumentam a densidade das nuvens interestelares de hidrogênio e hélio, que se integram originando novas estrelas. Assim é que, de acordo com a teoria ainda em vigor, quanto mais velha uma estrela, menos metal terá.

Se tiver mesmo ganho seu escasso metal de estrelas já extintas, a HE 0107-5240 seria um exemplo da segunda geração de estrelas formadas com o hidrogênio e o hélio que restaram do Big Bang, com um tempero extra das companheiras extintas. Mas pode também ser uma representante da primeira geração: os pesquisadores consideram também a possibilidade de a estrela recém-conhecida ter se formado de uma nuvem composta somente por hidrogênio e hélio – os metais teriam se agregado e se acumulado à medida que a estrela passou ao redor do disco galáctico, como são chamados os braços da Via Láctea, muito mais povoados de estrelas que o halo.

Foi Christlieb quem forneceu a matéria-prima sobre a qual o grupo começou a trabalhar: dezenas de milhões de fontes celestes de baixa luminosidade. Era um dos resultados de um levantamento do céu do Hemisfério Sul, feito desde os anos 90 em um dos telescópios do Observatório Europeu do Sul – localizado em Paranal, nos Andes chilenos. As fontes de luz distribuíam-se em grupos de cinco em milhares de placas fotográficas, que registravam na forma de traços mais ou menos longos a intensidade de luz emitida pelos diferentes elementos químicos – o chamado espectro, uma espécie de impressão digital, obtido por meio de um prisma acoplado ao telescópio de Paranal.

O pesquisador alemão sabia que, sozinho, levaria décadas para filtrar esse material. Num congresso realizado em agosto de 1998 em Camberra, na Austrália, ele conheceu outros dois pesquisadores que já trabalhavam juntos em levantamentos similares: o norte-americano Timothy Beers, da Universidade Estadual de Michigan, que desde os anos 80 havia colecionado milhares de estrelas anciãs para entender como a Via Láctea se formou; e a brasileira Silvia Rossi, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP, que buscava estrelas pobres em metal desde 1995, quando iniciou o pós-doutorado com Beers. No mesmo dia, somaram as descobertas e dúvidas, checaram os métodos de trabalho e planejaram a maior garimpagem estelar da história da astrofísica.

Alianças

Em dois anos, os três pesquisadores, a cujo projeto logo aderiram astrônomos da Austrália e da universidade alemã de Munique, fizeram uma primeira filtragem por meio de programas de computadores que eles próprios criaram. Reduziram para cerca de 50 mil objetos a serem estudados – e eis que, esgotados os limites do computador, a seleção visual tornava-se inevitável. Durante duas semanas, em agosto de 2001, Silvia e Beers reuniram-se com Christlieb em Hamburgo e, trabalhando 12 horas por dia, analisaram um a um os registros de metalicidade.

Avaliaram, em especial, o espectro de emissão de luz do íon de cálcio (íon é uma partícula atômica eletricamente carregada), um primeiro indicador do conteúdo metálico de uma estrela – quanto mais fraco, menor tende a ser a participação de metais. “No começo examinávamos uma placa por minuto, depois foi muito mais rápido”, conta a pesquisadora. Selecionaram 8 mil objetos candidatos a estrelas com baixíssima metalicidade, nos quais a linha de cálcio era pouco intensa. Mas era preciso tomar fôlego e seguir para a etapa seguinte, a triagem feita diretamente nos telescópios, com uma precisão maior do que a empregada para fazer as placas, necessária para se calcular o teor de ferro, agora sim o indicador padrão dos elementos mais pesados que hidrogênio e hélio.

A lista foi dividida entre os integrantes do grupo, que trataram de observar cada uma das 8.000 estrelas candidatas nos telescópios a que tinham acesso. Seis meses depois, o líder da equipe australiana, Michael Bessel, deu ao grupo uma razão de contentamento ao descobrir uma estrela com uma metalicidade impressionantemente baixa, com a razão entre os teores de ferro e hidrogênio igual a -5,3. Mas o telescópio do Observatório de Monte Stromlo, onde ele estava, tinha um espelho de 2,3 metros – uma resolução média, insuficiente para os propósitos do grupo.

Bessel avisou Christlieb, que batalhou um horário extra no telescópio de Paranal, um dos maiores do mundo, com um espelho de 8,2 metros de diâmetro, e, sob as coordenadas indicadas pelo australiano, confirmou-se finalmente a estrela mais antiga do Universo, com um brilho 10 mil vezes menor que a mais tênue das estrelas observáveis a olho nu. Foi nessa etapa que surgiram as imagens mais habituais aos não-especialistas, em que as estrelas aparecem como pontos mais ou menos luminosos. Passar por uma experiência desse tipo é algo como viver uma gestação sem data certa para acabar. “Esperávamos encontrar estrelas antigas, mas nada assim tão surpreendente”, comenta Silvia, cujo trabalho integra um projeto temático coordenado por Beatriz Barbuy, do IAG.

Os próprios pesquisadores, aparentemente pouco dispostos a manter por muito tempo o título que atribuíram à HE 0107-5240, não pararam de varrer o céu. Beers trabalhou durante quatro noites em dezembro em um telescópio com um espelho de 2,1 metros, em Tucson, Arizona, nos Estados Unidos; em fevereiro Silvia e Beers passarão cinco dias no observatório de Cerro Tololo, também no Chile, com espelho de 4 metros de diâmetro, e até dezembro haverá pelo menos outras cinco rodadas de observações.

Até agora, os astrônomos examinaram apenas um terço da lista das estrelas candidatas, de modo que não é inteiramente improvável que, ainda este ano, surjam irmãs ou primas da anciã do Universo – quem sabe, até mesmo um inquestionável exemplar da primeira geração de estrelas, ainda mais puro. “Seria muito estranho se existisse apenas uma estrela como essa no Universo”, observa Silvia. “Acreditamos que ainda podemos encontrar talvez uma dezena de estrelas com metalicidade tão baixa ou ainda menor.”

A estrela mais antiga do Universo tem uma origem incerta, mas um destino previsível: deve viver mais uns 5 bilhões de anos e morrer talvez na mesma época em que o Sol. Já numa espécie de velhice, como uma estrela gigante vermelha, a HE converte hélio em carbono. Ainda brilha intensamente e suas camadas externas estão ligadas gravitacionalmente, formando uma espécie de atmosfera da qual não se notam os limites.

Não será assim por muito tempo. As camadas mais externas vão se desprender, como uma casca se soltando do fruto – é a fase de nebulosa planetária, que dura somente algumas dezenas de milhares de anos –, e a estrela perderá massa e luminosidade. Estará então em agonia, como uma anã branca, difícil de ser observada até pelos mais potentes telescópios. Depois, será um planetóide. Então, já terá apagado.

O PROJETO

Evolução Química e Populações Estelares da Galáxia, Nuvens de Magalhães e Galáxias Elípticas, através de Espectroscopia e Imageamento

MODALIDADE

Projeto temático

COORDENADOR

Beatriz Leonor Silveira Barbuy – IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 174.890,15

Luzes do passado

Dois projetos registram as variações de temperatura que mostram o Universo há 13 bilhões de anos

EDIÇÃO 85 • MARÇO DE 2003

Em fevereiro, dois projetos divulgados quase simultaneamente deixaram um pouco mais claros a origem e o futuro do Universo, do qual agora se pode afirmar que tem uma idade bastante próxima a 13,7 bilhões de anos e um destino definido: expandir-se para sempre. No dia 11 de fevereiro, a Nasa, agência espacial norte-americana, apresentou os dados de seu satélite Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP), lançado em junho de 2001 a um custo de US\$ 45 milhões.

Antes, porém, um grupo que trabalhou em paralelo – formado por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), da Universidade Federal de Itajubá (Unifei), de três instituições de pesquisa norte-americanas e de duas universidades italianas – conseguiu pôr no ar suas próprias conclusões, que se encontram desde o dia 3 no *astro-ph*, um espaço na Internet para o qual os cientistas enviam resultados inéditos quando não querem esperar os trâmites habituais de uma revista científica.

Enquanto a equipe da qual os brasileiros participaram comemorou o pioneirismo na publicação dos resultados, embora com um trabalho de porte menor que o da Nasa, os especialistas em cosmologia ganharam duas bases de dados complementares, ambas construídas com a mesma matéria-prima: a chamada radiação cósmica de fundo em microondas, um tipo de radiação eletromagnética produzida nos momentos iniciais do Universo. O estudo coordenado pela Nasa com outras cinco universidades norte-americanas é mais abrangente: registrou as sutis variações de temperatura que correspondem à radiação de fundo no céu todo e em cinco frequências de microondas.

O outro projeto, chamado Advanced Cosmic Explorer (ACE), concentrou-se em uma área equivalente a 4% da esfera celeste, que inclui parte de nossa galáxia, a Via Láctea, analisada há dois anos em apenas duas faixas de frequência por meio do radiotelescópio Background Emission Anisotropy Scanning Telescope (Beast). O Beast exhibe, porém, um olhar mais apurado das regiões do céu e nas frequências que observou, nas quais tem uma resolução de imagem cerca de 50% melhor que a do satélite da Nasa.

Cada um a seu modo – o satélite a 1,6 milhão de quilômetros da Terra, o radiotelescópio a 4 mil metros de altitude, no topo de uma montanha no oeste dos Estados Unidos –, os dois aparelhos mediram as variações na temperatura da radiação cósmica de fundo, com oscilações de milionésimos em torno do valor médio, que é de 2,73 Kelvin, pouco acima do zero absoluto, 273°C negativos ou 0 kelvin. Desse modo, mostram como era o Universo há 13 bilhões de anos, pouco depois de ter se formado. Como nesse tempo as estruturas do Universo, como os planetas e as galáxias, ainda não haviam se formado, a arquitetura original era bem diferente da atual.

É como se os físicos resolvessem descobrir quantos torcedores foram a um jogo de futebol examinando, no dia seguinte à partida, os resquícios deixados na arquibancada – onde houvesse mais latinhas de refrigerante, por exemplo, provavelmente havia mais pessoas. Começa agora a reconstituição do cenário original, feito a partir da distribuição da radiação de fundo, emitida 380.000 anos depois do Big Bang, a explosão que teria originado o Universo – nesses tempos, quando a temperatura era de cerca de 3.000°C, somente os átomos de hidrogênio e hélio, os elementos químicos mais simples, poderiam existir.

É como se os físicos resolvessem descobrir quantos torcedores foram a um jogo de futebol examinando, no dia seguinte à partida, os resquícios deixados na arquibancada

Para os astrofísicos, as primeiras conclusões que emergem dos dois mapeamentos valem quase como um presente de Natal que chega um pouco atrasado. Um dos pontos esclarecidos sobretudo pela equipe ligada à Nasa, que se encontra num estágio mais avançado de análise dos resultados obtidos, é a própria idade do Universo, antes estimada entre 8 e 20 bilhões de anos. Agora, o mais certo é algo em torno de 13,7 bilhões de anos, com uma margem de erro de apenas 1%, bastante pequena diante dos 20% de antes.

A análise da radiação eletromagnética que viajou 13 bilhões de anos à velocidade da luz até chegar à Terra conduz a outra conclusão importante: as primeiras estrelas começaram a brilhar somente 200 milhões de anos depois do Big Bang, muito antes do que os astrofísicos imaginavam. Pôde-se também definir melhor a composição do Universo. A maior parte, 73%, consiste da chamada energia escura, que ninguém ainda sabe o que é; 23% é matéria escura fria, igualmente misteriosa; a matéria conhecida, feita de átomos, que formam as moléculas, os seres vivos, os planetas e as galáxias, não passa de 4%, uma participação modesta a ponto de ser chamada de impureza.

Ficou acertada também a velocidade de expansão do Universo em 71 quilômetros por segundo por megaparsec (um parsec equivale, em quilômetros, ao número 3 seguido de 13 zeros). De modo um pouco mais concreto, dois pontos separados 1 milhão de anos-luz (um ano-luz corresponde a 9,5 trilhões de quilômetros) se afastam à velocidade de 21,8 quilômetros por segundo.

O próprio destino do Universo parece certo: expandir-se para sempre, embora não tenha sido descartada definitivamente a possibilidade de que venha a se contrair no futuro. A perspectiva de expansão contínua sugere cenários chocantes, sobre os quais os físicos já fizeram alguns cálculos. Em 10^{40} (o número 1 seguido de 40 zeros) anos, a matéria (planetas e galáxias) deve se desintegrar, como um gelo virando gás, e em 10^{100} anos até os buracos negros devem evaporar, resultando em uma sopa cósmica – não escaldante, como no Big Bang, mas gelada.

Vista como uma espécie de fóssil celeste, a radiação cósmica de fundo foi descoberta acidentalmente em 1965 pelo alemão naturalizado norte-americano Arno Penzias e pelo norte-americano Robert Wilson, dois físicos que trabalhavam nos laboratórios da Bell Telephone, dos Estados Unidos – em 1978, o achado rendeu-lhes o Prêmio Nobel de Física. O primeiro mapa das flutuações da radiação de fundo associadas às estruturas originais do Universo só saiu em 1992, por meio do satélite Cosmic Background Explorer (Cobe), lançado três anos antes pela Nasa.

Temos agora uma visão mais realista do início do Universo e de como eram as coisas quando ele se formou

“O Cobe só registrava as variações de temperatura em grandes áreas do céu, provavelmente relacionadas à origem de superaglomerados de galáxias”, afirma Thyrso Villela Neto, pesquisador do Inpe e um dos coordenadores do projeto ACE. “Temos agora uma visão mais realista do início do Universo e de como eram as coisas quando ele se formou.” Hoje se conhecem estruturas muito menores, possivelmente o ponto de partida para a formação de galáxias.

Visão detalhada

O que permitiu esse detalhamento foi o avanço no poder de definição dos telescópios, a chamada resolução angular – a capacidade de distinguir dois objetos próximos entre si. Optando por um mapa menor, mas o mais detalhado possível, a equipe que trabalhou com o telescópio Beast fez da resolução angular um de seus diferenciais em relação ao satélite da Nasa. “Para melhorar a resolução angular de um telescópio em relação a outro que observa na mesma faixa de frequências, deve-se, principalmente, aumentar o diâmetro de seu espelho ou a superfície coletora de radiação”, explica Villela.

Com um espelho de captação de radiação com 2,2 metros de diâmetro, o Beast distingue dois objetos a uma distância angular de 23 minutos de arco (um minuto de arco corresponde, geometri-

camente, a 1/60 de grau) na frequência de 40 gigahertz (hertz é a unidade de medida de frequência, que equivale a um ciclo por segundo). Nessa mesma faixa, o WMAP, com um espelho com 1,6 metro de diâmetro, só informará se há dois e não um objeto se ambos estiverem separados 32 minutos de arco um do outro.

“O radiotelescópio funciona como um receptor de rádio sofisticado”, observa o físico Newton Figueiredo, da Universidade Federal de Itajubá. “Mas, em vez de procurar uma emissora, sintoniza uma faixa de microondas.” Com as ondas captadas, os pesquisadores constroem um mapa do céu na faixa de microondas, representando em amarelo ou vermelho as regiões de temperatura mais alta e em azul, as mais frias aparecem. Depois, preparam um gráfico conhecido como espectro de potência, que apresenta uma linha contínua, no qual as curvas sobem e descem. O desenho final se parece com um eletrocardiograma, o exame que registra as correntes elétricas do coração.

Foi Figueiredo quem projetou o sistema óptico do Beast. Colocando o foco – o ponto para o qual convergem as ondas – fora do eixo principal do espelho, conseguiu reduzir as interferências dos sinais que chegavam aos oito receptores de microondas que se encontram no plano focal do espelho do telescópio. Instalado no início de 2001 no ponto mais alto da White Mountain, na divisa dos estados norte-americanos da Califórnia e de Nevada, o Beast varreu o céu pela primeira vez de julho a dezembro de 2001. No ano passado, houve mais duas semanas de observações em fevereiro e uma temporada mais longa, de agosto a outubro.

Filtrando sinais

Houve outra inovação brasileira na pesquisa da radiação de fundo. Desde 1998, em um projeto paralelo, pesquisadores do Inpe e da Universidade da Califórnia, em Berkeley, nos Estados Unidos, observam o céu do Hemisfério Sul, que inclui a Via Láctea, uma das principais fontes de contaminação das medidas de radiação de fundo, por meio de um radiotelescópio que hoje está no Inpe, em Cachoeira Paulista, depois de operar nos Estados Unidos, nas Ilhas Canárias, na Antártica e na Colômbia. Camilo Tello, pesquisador do Inpe, conseguiu separar os sinais do céu daqueles indesejados, como a radiação emitida pela própria Terra ou por emissoras de rádio e televisão. O modelo matemático que ele fez tem aplicações em outras áreas, como na telefonia celular, na medida em que pode melhorar a cobertura das antenas de transmissão de sinais.

O Beast é uma espécie de protótipo do satélite Planck, que a Agência Espacial Européia (ESA) pretende lançar em 2007. Sua missão será buscar informações ainda mais detalhadas sobre o Universo. “Na próxima década, teremos diversos mapas para comparar”, afirma Thyrsó. Com os novos levantamentos, talvez seja possível saber, por exemplo, se o Universo é finito ou infinito. “Se for infinito, vai se expandir para sempre”, diz Figueiredo. “Se for finito, um dia vai se contrair.”

O PROJETO

Radiação Cósmica de Fundo em Microondas e Formação de Estruturas no Universo

MODALIDADE

Projeto temático

COORDENADOR

Reuven Opher – IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 2.342.292,29

Espirros cósmicos

Astrofísicos descrevem evolução de jatos de gases com 10 anos-luz de comprimento

FRANCISCO BICUDO | EDIÇÃO 89 · JULHO DE 2003

A imagem que aparece na tela do computador lembra o movimento de um cometa – um enorme rastro brilhante e colorido, que parece rasgar o céu. Mas param aí as semelhanças entre essas nuvens de gelo e poeira que viajam ao redor do Sol e os jatos supersônicos astrofísicos – nuvens de gases ejetadas violentamente por estrelas em formação e por núcleos de galáxias distantes e muito brilhantes chamadas quasares. Os jatos liberados pelas protoestrelas – estrelas em formação – viajam a uma velocidade próxima dos 400 quilômetros por segundo, o equivalente a dezenas de vezes a velocidade do som no meio interestelar, e podem atingir um comprimento de até dez anos-luz (um ano-luz corresponde a 9,5 trilhões de quilômetros).

Já os jatos extragalácticos se movem a velocidades próximas à da luz (300 mil quilômetros por segundo) e se estendem por milhões de anos-luz, o equivalente a dezenas de vezes o diâmetro de nossa galáxia, a Via Láctea. “Os jatos carregam as impressões digitais de embriões de estrelas”, afirma Elisabete de Gouveia Dal Pino, uma das coordenadoras de uma equipe do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP), que há dez anos vem estudando a origem, o comportamento e as peculiaridades desses objetos celestes. “À medida que desvendamos seus enigmas, conseguimos entender melhor como as estrelas se formam.” E, lembre-se, da fusão de elementos químicos no interior das estrelas é que surgiu a matéria-prima de todo ser vivo. Portanto, investigar os jatos e as estrelas significa buscar nossas origens mais remotas.

O grupo da USP, coordenado por Elisabete e por Jorge Horvath, vem obtendo resultados pioneiros no estudo dos fenômenos astrofísicos de alta energia, que incluem o mecanismo de explosões de supernovas, estrelas de nêutrons e surtos de raios gama. No ano passado, os pesquisadores paulistas surpreenderam europeus e norte-americanos que atuam na mesma área ao concluírem a primeira simulação hidrodinâmica em computador de um jato gigante protoestelar bastante estudado, o HH-34, localizado ao sul da nebulosa de Órion, a cerca de 1.600 anos-luz da Terra. O universo recriado no computador revelou: o HH-34 é daquele tipo de jato imenso, com cerca de 10 anos-luz de ponta a ponta.

O gigante ainda maior

Desse modo, confirmaram-se os resultados obtidos alguns anos antes por outro grupo de pesquisa. Entre 1994 e 1997, os astrônomos John Bally, David Devine, Bo Reipurth e Steve Heathcote, dos Estados Unidos, observaram uma cadeia de pequenos nós de gás brilhantes e alinhados com o jato HH-34, na época ainda visto como pequeno. Acreditava-se que esses nódulos eram independentes, mas os físicos mostraram que eles eram na verdade ejetados pela mesma protoestrela, formando o que parecia ser um jato gigante. “Nossas simulações numéricas reproduziram de modo bastante fiel as observações e não deixaram dúvida de que se trata de fato de uma única estrutura, um megajato”, comenta Elisabete, uma das autoras do artigo com os resultados detalhados, publicado em julho de 2002 no *Astrophysical Journal*.

Esse jato gigante, de formato sinuoso, já havia causado uma reviravolta nos estudos de formação de estrelas. De acordo com o que se conhecia, os jatos de protoestrelas pareciam ter menos de um décimo do tamanho do HH-34, mesmo quando ele aparecia sozinho e isolado dos nódulos hoje vistos como parte de seu corpo. Apoiado pela FAPESP, esse trabalho representa um olhar apurado sobre os jatos astrofísicos, a partir do HH-34. Agora se sabe que em sua estrutura existem nódulos que os pesquisadores atribuem ao fato de a estrela em formação liberar gás de modo intermitente, não contínuo. O estudo detalha a evolução do jato desde os momentos iniciais de sua formação até sua expulsão e sua interação com o gás do meio interestelar, durante seus 10 mil anos de vida. Be-



neficiado por esse detalhamento, o HH-34 se tornou uma referência científica do comportamento de jatos astrofísicos.

O grupo da USP concentra-se no estudo dos jatos de protoestrelas por uma razão básica: esse tipo de jato é bastante comum em regiões vizinhas de formações de estrelas, dentro de nossa própria galáxia. São portanto mais facilmente observáveis que o segundo grupo de jatos, os extragalácticos, ejetados por quasares – núcleos de galáxias distantes com buracos negros com cerca de 100 milhões de vezes a massa do Sol. Apesar das diferenças de origens, tamanho e velocidade, os jatos extragalácticos apresentam formas e comportamento muito semelhantes aos dos jatos das protoestrelas”, diz a pesquisadora. “As informações obtidas no estudo dos protoestrelares ajudam muito na compreensão dos fenômenos que ocorrem naqueles produzidos em regiões extragalácticas remotas.”

A história de vida deles não é lá muito distinta. No caso das protoestrelas, a nuvem de gases primordiais – como hidrogênio, hélio e oxigênio – condensa sob ação de sua gravidade e faz surgir um caroço central, que vai dar origem à estrela, rodeado por um disco de gás, que gira com rotação cada vez mais rápida. Quando a rotação atinge um limite de velocidade, a ponto de impedir que a condensação continue, a estrela ejeta violentamente nuvens de gás pelo eixo de rotação. Assim se forma o jato e, ao mesmo tempo, diminui a velocidade de rotação tanto da nuvem quanto da estrela. Em consequência, a condensação da protoestrela continua, resultando em uma estrela madura como o Sol.

Mas o percurso do jato que deixou a estrela nem sempre é tranqüilo. Se colide com outras nuvens de gases, o jato forma ondas de impacto supersônicas conhecidas como *bowshocks*, interage com o meio interestelar e deposita naquela região parte do material que carregou da estrela – um espetáculo de brilho e cores. Nesse momento, os jatos atuam como abelhas que transportam sementes de estrelas e polinizam regiões distantes do ponto em que foram gerados. Segundo a pesquisadora, o jato pode induzir o nascimento de uma estrela quando colide com uma nuvem com massa suficiente para implodir – ou, na linguagem técnica, entrar em colapso gravitacional. Jatos maiores podem até mesmo destruir a nuvem gigante que os hospeda. “É possível que aconteça assim, mas não há evidências observacionais diretas”, acautela-se a pesquisadora.

Foi a própria Elisabete, em 1993, quando fazia o pós-doutoramento na Universidade de Harvard, nos Estados Unidos, quem desenvolveu uma das técnicas empregadas na simulação computacional de jatos astrofísicos, em parceria com o físico suíço Willy Benz, na época pesquisador visitante de Harvard.

Até então, os cálculos se baseavam na integração numérica das equações hidrodinâmicas do jato, com o domínio computacional – espaço virtual que simula o espaço real – dividido em uma

rede de pontos fixos. Essa nova técnica, chamada SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics ou Hidrodinâmica de Partículas Suavizadas), substituiu a rede por partículas movendo-se com o fluido. Essa mudança tornou as simulações mais rápidas e viáveis em computadores mais modestos, como os que a pesquisadora teve de voltar a usar após retornar ao Brasil, naquele mesmo ano.

A recriação do universo

A realidade virtual consegue reproduzir com fidelidade cada vez maior o que acontece no universo. No computador, o gás do meio interestelar é representado por uma caixa em forma de paralelepípedo, preenchida com gás. Na base, há um orifício, por onde o jato da protoestrela é injetado. Lá dentro, o jato é acelerado supersonicamente, forma os nódulos de gás que se movem em velocidade supersônica e interage com o gás do meio interestelar. Obtidos em conjunto com Alex Raga, da Universidade Autônoma do México; Elena Masciadri, do Instituto de Astronomia Max Plank, em Heidelberg, Alemanha; e Adriano Cerqueira, da Universidade Estadual de Santa Cruz, na Bahia, os resultados são em seguida comparados com as observações astronômicas, sobretudo as obtidas do telescópio europeu ESO, que fica em La Silla, no Chile, e pelo telescópio espacial Hubble, as duas fontes habituais de informações do grupo.

À medida que consolida o conhecimento sobre os jatos astrofísicos, a equipe mergulha no disco de gás que forma os jatos, em busca de pormenores dos fenômenos que se passam nas regiões mais próximas da estrela em formação. Os resultados a que os pesquisadores chegam surgem em um momento em que fervilham novas informações sobre o próprio universo. Os astrofísicos trabalham intensamente sobre a farta matéria-prima captada pelo satélite norte-americano Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP), que em fevereiro, no primeiro lote de resultados, deu ao universo uma idade de 13,7 bilhões de anos, um destino certo – expandir-se para sempre – e limites hoje estimados em 15 bilhões de anos-luz. “Depois de centenas de anos em que as observações com telescópios só conseguiam alcançar o quintal da nossa galáxia, estamos enxergando cada vez mais longe”, destaca a pesquisadora. “A astronomia saiu da adolescência e chegou à maturidade.”

O PROJETO

Investigação de Fenômenos Astrofísicos de Altas Energias

MODALIDADE

Projeto temático

COORDENADORA

Elisabete de Gouveia Dal Pino – IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 294.713,73

Brilho único

Como a estrela *Eta Carinae* ganhou importância e atenção de físicos de todo o mundo

CARLOS FIORAVANTI | EDIÇÃO 94 · DEZEMBRO DE 2003

Finalmente terminou a jornada solitária de um homem que durante quase 15 anos carregou suas próprias ideias e desafiou reputações científicas sólidas para provar que suas conclusões poderiam estar certas. O astrofísico paranaense Augusto Damineli, professor da Universidade de São Paulo (USP), havia começado em 1989 a observar a *Eta Carinae*, a maior e mais luminosa estrela de nossa galáxia, a Via Láctea, e nos anos seguintes encontrou um fenômeno que ainda não havia sido descrito: uma brutal redução de brilho dessa estrela, que a cada dia perde uma quantidade de luz equivalente à emitida por centenas de sóis. No início, os especialistas dos Estados Unidos e da Itália que trabalhavam havia décadas com essa estrela não o levaram a sério. Pareciam indignados com a possibilidade de um brasileiro, com o que chamavam de um telescópio da selva, ter observado o que eles próprios nunca viram, com equipamentos bem mais poderosos.

Damineli observou pela primeira vez em ju-

nho de 1992 o apagão – a perda de luminosidade – em algumas faixas de radiação e concluiu no ano seguinte que o fenômeno deveria se repetir a cada cinco anos e meio. No final de 1997, quando o apagão se repetiu, atestando suas previsões, contou com o apoio de uns poucos físicos norte-americanos e brasileiros, mas só este ano é que conseguiu mesmo inverter o jogo.

No final de junho, pelo menos 50 astrofísicos do Brasil, dos Estados Unidos e da Argentina, com base nos resultados apurados por oito telescópios de superfície e cinco espaciais, confirmaram a brutal perda de brilho da *Eta Carinae* e fortaleceram o modelo que o pesquisador brasileiro havia formulado para explicar o apagão: situada a 7.500 anos-luz da Terra, o equivalente a 68 quatrilhões de quilômetros, a *Eta Carinae* não seria uma, mas duas estrelas – uma menor e mais quente, com temperatura de cerca de 30 mil graus Celsius, e outra três vezes maior, mais fria (15 mil graus) e pelo menos dez vezes mais brilhante. As duas vivem envoltas por ventos que colidem e geram temperaturas de 60 milhões de graus e por uma densa nuvem de gases e poeira – uma nebulosa – com uma extensão de 4 trilhões de quilômetros, equivalente a 400 vezes o diâmetro do sistema solar.

Com um raio equivalente à distância do Sol à Terra, essa estrela pode ser vista normalmente por meio de binóculos, à direita do Cruzeiro do Sul, embora o apagão só possa ser registrado com equipamentos mais refinados, por ocorrer em canais específicos de luz – as linhas espectrais –, nas faixas de rádio, raios X e infravermelho. Cogita-se agora que a perda de luminosidade seja uma consequência da aproximação máxima entre as duas estrelas, o chamado periastro, que ocorreria a cada cinco anos e meio: é quando a estrela menor encobre quase metade da outra. Os físicos pensaram durante anos que se tratava de um eclipse, mas, em vez de todas as faixas de luz emitidas por diferentes elementos químicos desaparecerem ao mesmo tempo, como acontece num eclipse, somem apenas algumas, e umas antes das outras, como se só alguns canais de televisão saíssem do ar.

Mergulho nos ventos

Pensando com base no modelo binário, a estrela menor, cercada por uma atmosfera rarefeita, mergulha nos densos ventos que formam uma espécie de atmosfera estendida em torno da estrela maior. À medida que a estrela menor entra nos ventos da estrela maior, desaparecem os sinais de alta energia, emitidos por átomos da própria estrela menor, mas permanecem inalterados os canais de baixa energia, vindos da estrela principal.

Especialistas dos Estados Unidos e da Itália pareciam indignados com a possibilidade de um brasileiro, com o que chamavam de um telescópio da selva, ter observado o que eles próprios nunca viram

Seus cálculos indicam que a estrela menor, normalmente distante 4 bilhões de quilômetros da maior, chega a 300 milhões de quilômetros no momento de maior aproximação. “Aparentemente”, diz ele, “nesse momento de máxima aproximação, a atração da gravidade entre as duas estrelas é tão forte que surgem ondas e erupções gasosas na superfície das duas, em conseqüência de um efeito de maré de uma sobre a outra.” Todo esse movimento de entrar na atmosfera da estrela maior e sair dela demora cerca de dois meses. O apagão deste ano, por exemplo, começou vagarosamente em março, atingiu o ápice em 25 de junho e terminou em setembro, após o brilho da estrela ter diminuído o equivalente a 20 mil sóis – algo impressionante, mas que não é lá grande coisa diante de sua luminosidade, de 5 milhões de sóis. Mas os canais de alta energia se reacenderam de modo lento, como uma pessoa que desmaia e recupera a consciência aos poucos. Para Damineli, o fato de a estrela não voltar a brilhar como antes indica que ela arrasta consigo pedaços da outra.

A megaoperação de acompanhamento do apagão deste ano trouxe um pouco de tranqüilidade, além do reconhecimento científico internacional, a esse paranaense turrão, acostumado a desafiar a própria sorte. Quando criança, morou numa tapera de tábuas e chão batido, num sítio à beira de um rio e de uma mata no município de Ibitiporã, no norte do Paraná hoje com 20 mil habitantes. Aprendeu a trabalhar na roça aos 7 anos, mas não se conformou com a perspectiva de passar a vida com a mão na enxada e lutou até entrar na escola de freiras da cidade: aprendeu a ler só aos 9 anos. Damineli chegou a São Paulo em 1968, aos 21 anos, para terminar o então colegial. Trabalhou em obras, anotando a produção dos operários e a chegada de material, batalhou uma bolsa de estudos num cursinho e mudou de emprego: foi para um escritório e pôde estudar mais.

Mostrar que havia uma periodicidade na variação da luminosidade era como se um meteorologista dissesse que vai chover todos os domingos

Solidariedade

Damineli tropeçou com os primeiros sinais intrigantes da Eta Carinae ao

estudar estrelas de grande massa, em 1989. Em 1992 detectou o apagão, ainda sem saber o que era, ao notar que desaparecia um dos canais de alta energia, o de hélio, e dois meses depois voltava ao normal. Contou o episódio a um físico italiano, Roberto Viotti, que já havia estudado essas oscilações, e lhe propôs publicarem juntos essas observações. A reação não foi lá muito amistosa. “Ele disse que não poderia correr o risco de passar vergonha apresentando dados que dificilmente se repetiriam”, conta o físico paranaense. Para ele, as observações e outros estudos que demonstravam o apagão em diferentes faixas de ondas desde 1981 levaram à conclusão de que o fenômeno deveria se repetir a cada 2.014 dias. “Nos congressos, todos diziam que os resultados eram interessantes apenas para serem gentis”, recorda-se Damineli, que contou com o apoio da FAPESP desde 1992, por meio de projetos que somam R\$ 60 mil.

As conversas não avançavam porque a Eta Carinae transgredia um dos modelos que rege o comportamento das estrelas, o Limite de Eddington, segundo o qual estrelas tão grandes não teriam outro destino a não ser evaporarem – por isso é que não existem estrelas mais luminosas. Eta Carinae não saía da chamada zona proibida do Limite de Eddington, onde as estrelas entram eventualmente, quando expulsam matéria, depois voltando à situação normal, mas em ciclos irregulares e imprevisíveis. “Mostrar que havia uma periodicidade na variação da luminosidade era como se um meteorologista dissesse que vai chover todos os domingos”, compara Damineli.

O tempo só melhorou em 1996, com a publicação de um artigo com essas ideias no *Astrophysical Journal Letters*. “Ninguém quis assinar esse artigo comigo”, diz, aparentemente sem ressentimentos. “A partir desse momento, eu não tinha por que acreditar mais nos dados dos cientistas renomados do que nos meus próprios dados.” No ano seguinte, o pesquisador brasileiro aliou-se a Peter Conti, da Universidade do Colorado, e a Dalton Lopes, do Observatório Nacional, do Rio de Janeiro, e, juntos, apresentaram o modelo de estrela binária numa revista eletrônica, a *New Astronomy*. Duas edições depois, Kris Davidson, astrofísico da Universidade de Minnesota, Estados Unidos, que acompanha a Eta

Carinae desde os anos 60, levantou argumentos contrários a essa ideia. Logo após, Mario Livio, do Space Telescope Science Institute, Estados Unidos, pôs no ar outra hipótese: Eta Carinae não seria um sistema de duas estrelas, mas de três.

Como é que Damineli conseguiu ver o que os outros não viam? Ele diz que apenas usou a técnica mais adequada: ao telescópio com espelho de 1,6 metro de diâmetro do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), em Brasópolis, sul de Minas Gerais – o tal telescópio da selva –, adaptou uma câmera que capta o infravermelho, comprimento de onda próximo à luz visível, e mostra a estrela através da poeira da nebulosa. Este ano, durante quase 30 noites seguidas em junho e julho, Damineli, aos 56 anos, sentou-se à frente desse mesmo telescópio para observar sua estrela predileta, que passava no começo da noite, radiante num céu sem nuvens.

Nessas mesmas noites, apegados a um pequeno observatório construído em Mairinque, a 120 quilômetros de São Paulo, igualmente fascinados pela estranha estrela, estavam dois astrônomos amadores: o engenheiro químico Tasso Napoleão, de 54 anos, e um físico de 30, Rogério Marcon, técnico em óptica na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Em conjunto com Damineli, haviam planejado como acompanhar a estrela por meio de um equipamento capaz de diferenciar a luz emitida por cada elemento químico – um espectrógrafo – que eles próprios haviam construído. Até mesmo um equipamento menor que o chamado telescópio da selva registrou o apagão.



Daiana Ribeiro Bortolotto/LNA/Divulgação

Mais surpresas

Durante o dia, a astrofísica Zulema Abraham e a pós-doutoranda Tânia Dominici, da USP, seguiam a Eta Carinae em outra faixa, a de rádio, por meio do radiotelescópio de Itapetinga, em Atibaia, a 60 quilômetros da capital paulista. Analisando os dados, Zulema descobriu algo incomum: a emissão em rádio resultante do choque dos ventos das estrelas, que se tornou visível devido ao apagão do gigantesco disco de gás ionizado (eletricamente carregado) que circunda a estrela, com uma extensão da ordem de cem vezes a órbita de Plutão. “Outras estrelas também têm regiões ionizadas,

mas não tão intensas”, comenta Zulema, que colabora com Daminieli desde o apagão de 1998. Em outra linha de pesquisa do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Vera Jatenco-Pereira e seu aluno de doutorado Diego Falceta Gonçalves simularam a colisão dos ventos para explicar a produção de poeira.

De acordo com o que descobriram, a poeira pode se formar mais perto das estrelas e em muito menos tempo do que se acreditava: a colisão faz com que a temperatura dos gases dos ventos passe de 60 milhões de graus e os grãos de poeira se solidifiquem, a 1 mil graus, em menos de um dia. Cogita-se que esse processo de formação de poeira possa ser uma das razões do apagão da Eta Carinae. As informações que chegam abastecem também os estudos sobre a densa nuvem de gás e poeira – a nebulosa – que ganhou o nome de Homúnculo por lembrar um boneco primitivo.

Na verdade – será que nada é simples com essa estrela? –, existem dois homúnculos: o maior, formado a partir de uma gigantesca erupção de matéria ocorrida em 1843, e o menor, com um quarto desse tamanho, criado em outra erupção, bem mais discreta, em 1890. Também no IAG, Elisabete Gouveia Dal Pino, um de seus pós-doutorandos, Ricardo Gonzalez, e um colega da Universidade do México, Alex Raga, concluíram por meio de simulações numéricas como o homúnculo menor se formou, ao redor da região central da estrela, aproveitando os espaços deixados pelo homúnculo maior, que parece ter resultado da colisão dos gases da grande erupção de 1843 com o gás que já envolvia a estrela.

O que ninguém consegue explicar é como a Eta Carinae sobrevive a erupções tão intensas sem se virar do avesso. Em 1843, a estrela liberou uma quantidade de matéria equivalente a pelo menos três sóis e brilhou tanto que ficou visível à luz do dia, rivalizando com Sirius, a estrela mais brilhante do céu, a apenas 10 anos-luz da Terra. De acordo com a teoria, seria preciso explodir o núcleo para liberar tanta energia. No entanto, a estrela continuou a brilhar.

Eta Carinae está morrendo. Formada há cerca de 2,5 milhões de anos, deve apagar-se no máximo em 500 mil anos. Estima-se que a estrela maior de Eta Carinae tenha nascido com 120 massas solares e hoje, após tantas erupções, tenha cerca de 70, com uma margem de erro de 20 massas para

Se morrer logo – daqui a 10 mil anos –, ainda com muita massa, poderá emitir uma carga de raios gama, capaz de acabar com a vida no Hemisfério Sul da Terra

mais ou para menos. Os astrofísicos querem descobrir sua massa com a maior precisão possível porque, a partir daí, pode-se estimar

quanto tempo ainda tem de vida. Se morrer logo – daqui a 10 mil anos, talvez –, ainda com muita massa, poderá emitir uma brutal carga de raios gama, capaz de acabar com a vida no Hemisfério Sul da Terra.

Relógios e corações

É provável que mais astrofísicos se interessem pela estrela e decidam estudar o próximo apagão, cujo data de início Daminieli já cravou: 15 de janeiro de 2009, com um dia para mais ou para menos. O estudo da maior estrela da Via Láctea agora faz parte de um projeto prioritário – um Treasury, ou Tesouro – da Nasa, a agência espacial norte-americana, integrado por Daminieli e por outros 12 astrofísicos norte-americanos, com um orçamento de US\$ 10 milhões que cobre os custos das 72 órbitas do telescópio espacial Hubble ao longo do ano 2003. O que chegou do Hubble forma uma base de dados com 240 gigabytes de informações, equivalente a 340 CDs lotados de números, sobre o comportamento da luz, em todos os seus comprimentos de onda emitida por cada tipo de elemento químico da estrela – uma base de dados que aos poucos se torna pública e deverá alimentar os estudos sobre essa estrela.

Daminieli chamou a atenção para essa estrela, mas o fato de suas ideias terem sido reconhecidas em outros países, ironicamente, pode gerar um efeito inverso ao que ele esperava. O pesquisador principal do projeto da Nasa é Kris Davidson, que quer provar justamente o contrário: os apagões não

seriam periódicos e exatos como um relógio, mas apenas cíclicos e repetitivos como os batimentos cardíacos – uma diferença sutil no enfoque adotado até agora, mas capaz de derrubar a hipótese de estrela dupla. Para ele, só estrelas menores e mais jovens que a Eta Carinae poderiam apresentar oscilações tão rítmicas de luminosidade. Uma estrela de massa muito grande perderia o passo facilmente – como ele teria dito a Daminieli em 1997, seria como um elefante tentar dançar samba.

O PROJETO

Equipamentos Computacionais para Projeto em Astronomia Infravermelha

MODALIDADE

Linha Regular de Auxílio a Projeto de Pesquisa

COORDENADOR

Augusto Daminieli Neto – IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 9.856,00

Em boa companhia

O telescópio Soar começa a funcionar e põe o país lado a lado com os maiores centros de observação do mundo

CARLOS FIORAVANTI | EDIÇÃO 98 · ABRIL DE 2004

Alexandre Soares de Oliveira mudou-se com a mulher e o filho de 3 anos para o Chile há duas semanas. Junto com seu colega Eduardo Cypriano, também casado, mas sem filhos, que embarcou para lá em janeiro, Oliveira vai formar a equipe brasileira de apoio do Soar, um telescópio financiado por instituições brasileiras e norte-americanas que começa a funcionar este mês. Ainda em fase experimental, está instalado no alto de uma montanha dos Andes chilenos, a 2.701 metros de altitude, no começo do deserto do Atacama, e tomou dez anos de projeto e construção. Os dois jovens físicos – Oliveira tem 34 anos e Cypriano, 30 – sabem que estão mergulhando em um projeto histórico, que representa um notável salto de qualidade para a pesquisa astrofísica brasileira.

Em dois ou três meses, quando estiver em operação, o Soar – sigla de Southern Observatory for Astrophysical Research ou Observatório do Sul para Pesquisa Astrofísica – deverá fornecer imagens muito mais precisas e abundantes que as obtidas até agora pelos equipamentos em uso no país para estudar o Universo. Provido de um espelho principal de 4,2 metros de diâmetro, o Soar será 1.600 vezes mais potente que o maior dos telescópios brasileiros, com um espelho de 1,6 metro de diâmetro, em operação desde fevereiro de 1981 no Observatório do Pico dos Dias, no município de Brasópolis, Minas Gerais, a 1.860 metros de altitude.

Além de eliminar a defasagem da instrumentação básica da pesquisa dessa área no Brasil, que já durava dez anos, o Soar põe o país literalmente ao lado dos maiores centros de observação astronômica do mundo. Distante 400 metros, na mesma montanha, o Cerro Pachon, encontra-se uma das unidades do Observatório Gemini, com um dos mais potentes telescópios do mundo, que começou a operar há quase três anos como resultado de acordo entre sete países, incluindo o Brasil, com uma participação modesta, que dá direito a no máximo 17 noites de observação por ano. Dessa montanha

Vamos precisar de todos os telescópios para satisfazer as necessidades da pesquisa astronômica no Brasil

de solo pedregoso e sem nenhuma vegetação, ao menos alguns dias por ano coberto de neve, pode-se ver também, a cerca de 15 quilôme-

tros a noroeste, o Observatório Inter-Americano Cerro Tololo (CTIO), administrado pelos Estados Unidos, dotado de quase uma dezena de telescópios – o maior deles do mesmo porte que o do Soar, mas com recursos tecnológicos de 40 anos atrás.

O telescópio que será inaugurado no dia 17 deste mês, em uma cerimônia com cerca de cem convidados, iguala-se também, em muitos aspectos, aos telescópios espaciais: seu espelho é quase duas vezes maior que o do Hubble e a imagem, de qualidade equivalente. Devido a um conjunto de espelhos complementares, o Soar deverá eliminar as distorções da luz causadas pela atmosfera terrestre, das quais o Hubble consegue escapar por estar no espaço, em órbita a 500 quilômetros da Terra – uma vantagem obtida a um custo próximo a US\$ 2 bilhões.

O Soar, evidentemente, custou bem menos: US\$ 28 milhões. O Brasil contribuiu com US\$ 12 milhões, divididos entre o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que destinou US\$ 10 milhões ao projeto, e a FAPESP, que participou com US\$ 2 milhões. Em consequência da participação nos custos, os pesquisadores brasileiros terão direito a 34% do tempo de uso, o equivalente a 127 noites por ano de observação em um céu quase sempre claro, seco e limpo – outra vantagem sobre os três telescópios do Pico dos Dias, sujeito a chuvas freqüentes no verão. Os outros três parceiros são norte-americanos: a National Optical Astronomy Observatories (Noao), a

mesma instituição responsável pelo observatório vizinho, em Cerro Tololo, que terá 33% do tempo de uso do Soar; a Universidade da Carolina do Norte (UCN), com 16% do tempo; e a Universidade Estadual de Michigan (MSU), com 14%. Cada participante doará 10% de seu tempo para os astrônomos do Chile, em troca da cessão do território, como é comum em quase uma dezena de telescópios estrangeiros construídos nos Andes.

Instrumentos complementares

Com o início da operação do Soar e o acesso ao Gemini, a comunidade científica brasileira contará com um leque de instrumentos que permitirão a integração e a complementação dos projetos de pesquisa”, diz Albert Bruch, diretor do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), a instituição responsável pela administração dos três telescópios de Brasópolis que gerencia também a participação brasileira no Gemini e no Soar. O Observatório do Pico dos Dias, que ajudou a criar a base da astrofísica brasileira, não será esquecido, assegura ele: “Vamos precisar de todos os telescópios para satisfazer as necessidades da pesquisa astronômica no Brasil”. Construído para atender as necessidades dos cerca de 200 grupos brasileiros de pesquisa em astrofísica, distribuídos por universidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Santa Catarina, Bahia, Rio Grande do Norte, Espírito Santo e Paraná, o Soar, que Bruch define como “um salto quântico para a pesquisa brasileira”, vai investigar o céu na faixa de luz visível ao começo do infravermelho, em comprimentos de onda de 6 mil a 22 mil angstroms (1 angstrom corresponde a 1 décimo de bilionésimo do metro). E deverá ser bastante útil, em primeiro lugar, no estudo da origem de estrelas, galáxias e do próprio Universo.

Provido de um espelho principal de 4,2 metros de diâmetro, o Soar será 1.600 vezes mais potente que o maior dos telescópios brasileiros, com um espelho de 1,6 metro de diâmetro, em operação desde 1981

Deverá ser usado também na pesquisa sobre buracos negros – corpos celestes que se comportam como arquétipos de monstros famintos, capazes de devorar tudo o que encontram, até mesmo a luz. Investigados intensamente por equipes gaúchas, paulistas e catarinenses, parecem ser mais numerosos do que se pensava e capazes até mesmo de influenciar o destino das galáxias (ver Pesquisa FAPESP nº 96, de fevereiro de 2004). Outro provável tema de trabalho são as lentes gravitacionais, como são chamadas as galáxias que desviam a luz emitida por outras galáxias ainda mais distantes. Só depois de se conhecer o efeito das lentes gravitacionais é que se pode determinar com precisão a origem das distorções da luz que chega à Terra.

O novo telescópio será especialmente útil em pesquisas que exijam observações contínuas ou de uma ampla área do céu e em projetos de fôlego, a exemplo dos levantamentos de estrelas ou de galáxias de uma região, independentemente do tipo a que pertencem. O Gemini, constituído por dois telescópios mais potentes, com espelhos de 8,1 metros – um no Chile e outro no Havaí, a 4.220 metros de altitude –, vai complementar as pesquisas, mas dificilmente permitirá observações repetitivas ou abrangentes, porque seu tempo é dividido por equipes dos sete países que financiaram a construção – Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Chile, Austrália, Argentina e Brasil.

É comum, hoje, uma mesma pesquisa exigir o uso de mais de um telescópio. Só foi possível descobrir a estrela de mais baixa quantidade de elementos químicos com massa maior que a do hidrogênio ou hélio – a mais antiga já encontrada, com 12 a 15 bilhões de anos – porque uma equipe multinacional de pesquisadores, incluindo a brasileira Silvia Rossi, espalhou-se por quatro telescópios, nos Estados Unidos, no Chile e na Austrália (ver Pesquisa FAPESP nº 83, de janeiro de 2003). “As observações feitas em telescópios com espelhos de 2,2 ou 4 metros selecionam alvos para observações mais detalhadas, em telescópios maiores, cuja noite de observação é concorrida e cara, como no VLT (Very Large Telescope, no Chile) ou no Gemini”, comenta Silvia.

Orgulho e estresse

“Entramos na primeira divisão da pesquisa mundial. Até agora tínhamos excelentes jogadores, mas permanecemos na segunda divisão”, comemora o astrofísico João Evangelista Steiner, pesquisador da Universidade de São Paulo (USP) e presidente do Consórcio e do Conselho Diretor do Soar. A palavra é exatamente essa – comemorar –, porque Steiner participou do projeto do telescópio, em 1993, “desde as primeiras idéias”, como ele próprio diz. Pouco mais de uma década mais tarde, aos 54 anos, depois de ajudar a vencer as dificuldades de logística, de projeto e de contratação de empresas e equipamentos, ele agora não disfarça a satisfação e o orgulho de ver o projeto finalmente concluído. “Construir um telescópio como esse”, diz ele, “é experiência única na vida.” Mas, claro, teve um preço. Em março de 1999, quando as obras do Soar ainda estavam no meio, o que ele chama de “uma quantidade indescrevível de problemas” corroeu sua habitual paciência e o levou ao hospital, vítima de severo estresse.

Em 1993, ainda com a saúde em dia, Steiner era o representante brasileiro do projeto Gemini numa reunião realizada em Tucson, Arizona, Estados Unidos. Num dos intervalos, ele apresentou à astrofísica Sidney Wolff, que estava ali em nome do Noao, a idéia de construir outro telescópio para não deixar a pesquisa brasileira ficar para trás. “O Observatório do Pico dos Dias era a base e o Gemini, o topo, mas faltava o corpo, que atendesse às demandas futuras da pesquisa no Brasil”, conta Steiner. “Não seria possível sustentar os programas de pós-graduação no Brasil a longo prazo apenas com esses telescópios.”

Sidney gostou da idéia. Ela já havia feito um projeto semelhante com uma universidade norte-americana, mas não haviam avançado. De volta ao Brasil, Steiner levantou argumentos para convencer as agências de financiamento da importância desse novo telescópio para a pesquisa brasileira. “Não encampamos projetos preexistentes, mas definimos um a partir das necessidades dos grupos de pesquisa do Brasil e os parceiros norte-americanos aceitaram, porque também atendia ao que eles queriam”, diz ele. “Não abrimos mão de nada no desenho do projeto.” Aprovados o anteprojeto e os pedidos de financiamento, começou a construção, no final de 1997.

A primeira tarefa era preparar o terreno – algo não muito simples por se tratar do topo de uma montanha, distante 80 quilômetros de La Serena, a cidade mais próxima, à beira do oceano Pacífico, com aeroporto próprio e escalas diárias para Santiago, a capital. Ao longo de um ano, os tratores cortaram a ponta do cone, removeram 13 mil metros cúbicos de pedra e criaram uma área plana de 3.600 metros quadrados. Ali tomou forma o prédio com o telescópio e as salas de controle, dotado de paredes de aço – aço brasileiro, por sinal – para evitar a interferência de fontes de calor na luz que vem das estrelas e, ao mesmo tempo, resistir à variação de temperatura, que por lá oscila de 25 °C negativos a 30 °C positivos, e mesmo a terremotos. Sobre a estrutura metálica assentou-se um anel de 20 metros de diâmetro e 50 toneladas, fabricado pela Santin, de Piracicaba, interior paulista, usinado na Metalúrgica Atlas, na capital, e transportado para o alto do Cerro Pachon em partes, de uma só vez, em quatro carretas.

Foi sobre esse anel que os guindastes, cuidadosamente, depositaram a cúpula – ou domo –, uma semi-esfera com 14 metros de altura, cuja produção foi coordenada pela Equatorial, de São José dos Campos. Na última quinta-feira de fevereiro, dois dias depois do Carnaval, foi colocado sobre outra estrutura metálica, debaixo da cúpula, o espelho principal, com 4,2 metros de diâmetro e apenas 10 centímetros de espessura, fabricado e polido nos Estados Unidos. É uma peça fascinante. Em forma de uma gigantesca lente de contato, é quase perfeitamente liso: a rugosidade é tão insignificante que, se fosse esticado a ponto de ficar com uma área equivalente à do Brasil inteiro, a maior elevação não teria mais de 2 centímetros.

O espelho principal do Soar é tão fino para evitar que as dilatações e contrações do vidro possam interferir na luz que chega das estrelas, um problema comum em outros espelhos de telescópio, alguns com até meio metro de espessura. Por ser tão fino, é flexível, outra característica igualmente indesejável, mas contornada por meio de 220 apoios – ou atuadores – sobre os quais descansa a

delicada peça de vidro. Os apoios procuram assegurar, com uma precisão admirável, a forma ideal do espelho: o máximo que cada um desses pontos pode se mover equivale a cem milionésimos da espessura de um fio de cabelo.

Esse espelho vai funcionar em conjunto com outros dois, que podem ser ajustados, em busca de uma melhor qualidade de imagem, de acordo com um mecanismo conhecido como óptica ativa. Há ainda mais dois espelhos complementares, capazes de corrigir a luz estelar das distorções geradas pela atmosfera terrestre. Por meio desse segundo jogo de espelhos – a chamada óptica adaptativa, já adotada em outros telescópios, como o Gemini – pretende-se chegar à mesma qualidade de imagem do Hubble, que escapa da interferência da atmosfera pela simples razão de estar no espaço. A partir do próximo ano, o Soar deverá contar também com um aparelho que decompõe e analisa a luz – um espectrógrafo –, que está sendo construído por uma equipe da USP e do LNA, no âmbito de um projeto temático coordenado por Beatriz Barbuy e apoiado pela FAPESP, com um financiamento de cerca de US\$ 1 milhão. De acordo com o projeto, realizado sob a responsabilidade técnica de Jacques Lepine, diretor do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP, a versão final desse espectrógrafo – cujo protótipo está em operação, desde o ano passado, no Pico dos Dias – terá cerca de 1.300 pontos de captação, constituídos por fibras ópticas, que a cada instante vão mostrar as variações de cada frequência de luz de galáxias, aglomerados de galáxias e nebulosas, entre outros objetos astronômicos.

O imprevisível à vista

As primeiras imagens do Soar servirão apenas para ajustes dos equipamentos, dos espelhos e dos programas de computador – o chamado comissionamento, no qual os dois brasileiros que já estão lá deverão trabalhar, além de dar apoio às equipes que chegarem e, quando possível, cuidar de suas próprias pesquisas. Só em dois ou três meses é que o observatório começará a atender diretamente os projetos de pesquisa, de acordo com uma programação a ser definida pelo LNA, a partir das solicitações dos físicos. Por ano, Segundo Bruch, o Soar deverá abrigar cerca de 50 projetos, a metade do volume de trabalho no Pico dos Dias, enquanto o Gemini atende cerca de 15 projetos de pesquisadores brasileiros.

Para Steiner, o Soar representa a perspectiva de ampliar, sobretudo em qualidade, a produção científica brasileira, hoje responsável por 2% da pesquisa astrofísica mundial, o equivalente a 250 artigos. Mas há algo ainda mais atraente: a perspectiva de descobrir o que nem sequer foi imaginado. “Estamos diante do imprevisível”, diz ele, “sem a menor idéia do que pode surgir, e geralmente surge, quando um telescópio com novas tecnologias começa a funcionar.”

O PROJETO

Telescópio Soar

MODALIDADE

Projeto Especial

COORDENADOR

João Steiner – IAG/USP

INVESTIMENTO

US\$ 10 milhões (CNPq) e US\$ 2 milhões (FAPESP)

Perdidas no espaço

Brasileiros descobrem quatro berçários de estrelas fora das galáxias

EDIÇÃO 100 · JUNHO DE 2004

Num recanto do Universo onde não se julgava haver nada, uma equipe de astrofísicos do Brasil e da França identificou quatro novos berçários de estrelas quentes e jovens, com idades entre 3,2 milhões e 5,6 milhões de anos. Ricas em metais e compostas de hidrogênio carregado de partículas elétricas, essas regiões se localizam em pontos aparentemente vazios do espaço intergaláctico existente nas redondezas de um compacto grupo de cinco galáxias, conhecido como Quinteto de Stephan, distante 280 milhões de anos-luz da Terra.

Um ano-luz equivale ao espaço percorrido pela luz em um ano, algo como 10 trilhões de quilômetros. Os berçários se encontram na cauda de gás de uma das galáxias do Quinteto de Stephan, a NGC 7319, mas se situam a cerca de 70 mil anos-luz de seus braços espirais, onde normalmente ocorre a formação estelar. Isso quer dizer que as novas regiões estão literalmente fora das galáxias. Suas dezenas ou talvez centenas de estrelas estão, portanto, “soltas” no Cosmos, fora do seu lugar cativo, como se fossem órfãs ou eremitas do espaço. São estrelas sem galáxias. Perto do tamanho de uma galáxia, que pode conter bilhões de estrelas, como a Via Láctea, os novos berçários são um ponto imperceptível no Universo.

A descoberta de regiões H II, nome técnico dado aos locais em que se originam estrelas novas, em zonas externas às galáxias, é extremamente rara e recente. “Até dois anos atrás, os astrônomos acreditavam que a formação de estrelas, em especial das mais jovens, só ocorria dentro das galáxias”, diz a pesquisadora brasileira Claudia Mendes de Oliveira, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), uma das autoras da descoberta dos berçários, relatada num artigo científico publicado na edição de 10 de abril do *The Astrophysical Journal*.

“Somente no interior delas haveria densidade de gás alta o bastante para isso acontecer.” No meio intergaláctico, a densidade de gás seria baixa demais para levar à formação de estrelas. Seria, mas não é – a julgar pelo trabalho redigido pela equipe franco-brasileira e por outros artigos científicos recentes. A identificação de quatro berçários de estrelas jovens e quentes nos arredores do Quinteto de Stephan – obtida com a utilização de instrumentos instalados no Observatório Gemini Norte, no Havaí – representa a segunda evidência de peso a favor da ideia de que existem, sim, regiões H II fora das galáxias.

A primeira surgiu em 2002, quando um grupo de pesquisadores da Europa, Austrália e Japão descobriu uma solitária região H II nas proximidades da constelação de Virgem. Depois da publicação desses trabalhos pioneiros, dois outros grupos internacionais encontraram mais seis berçários de estrelas fora de galáxias. Pelo jeito, há mais grupos de jovens estrelas órfãs vagando pelo espaço intergaláctico do que qualquer astrofísico um dia imaginou.

“A presença de regiões H II fora de galáxias não é tão rara como pensávamos até agora”, afirma Laerte Sodré Junior, também do IAG-USP, outro autor da descoberta dos berçários junto ao Quinteto de Stephan. “Na verdade, estamos diante de um novo mecanismo de formação de estrelas.” Ainda assinam o artigo no *The Astrophysical Journal* o brasileiro Eduardo Cypriano, que hoje mora no Chile, e a francesa Chantal Balkowski, do Observatório de Paris. As pesquisas da equipe contam com financiamento da FAPESP e apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Programa de Apoio a Núcleos de Excelência (Pronex).

Encontrar regiões H II no meio do nada ainda não é prova cabal de que há formação de estrelas jovens nesse trecho do espaço, fora das galáxias. As estrelas podem hoje estar ali, mas isso não significa que sempre estiveram. Seu local de nascimento pode ter sido o interior de uma galáxia próxima e, mais tarde, por algum motivo, provavelmente colisões entre galáxias, essas estrelas podem ter sido

expelidas para o meio intergaláctico. Seria uma situação análoga à de um brasileiro que, por algum motivo, deixa seu país e se muda para os Estados Unidos.

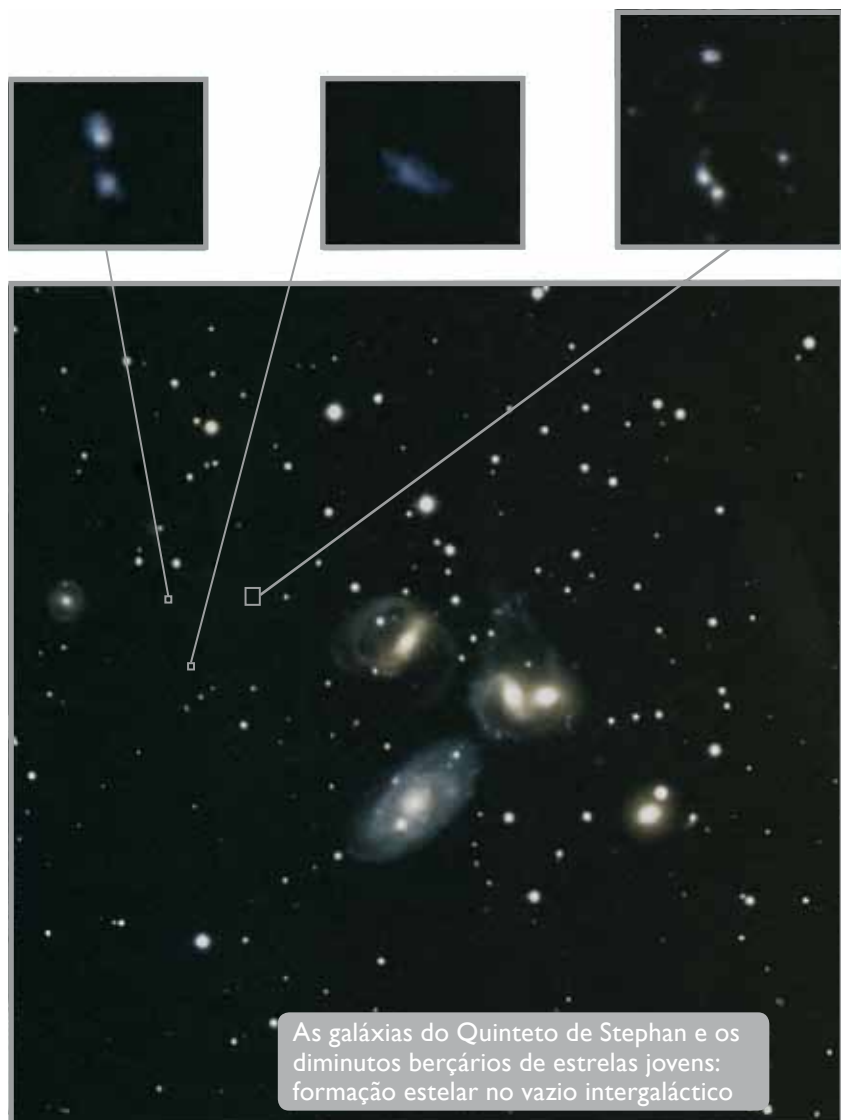
Isso não o torna norte-americano. No máximo, ele está norte-americano. No caso dos quatro berçários de estrelas identificados nos arredores do Quinteto de Stephan, os astrofísicos contam com uma evidência para defender a hipótese de que essas regiões H II devem ter se originado exatamente no lugar onde atualmente se encontram: sua extrema juventude em termos astronômicos.

Os quatro berçários de estrelas são considerados excessivamente jovens para terem surgido num ponto do Universo (o interior de uma ou mais galáxias vizinhas) e depois migrado para outro (o meio intergaláctico). Esse tipo de deslocamento demanda mais tempo para ocorrer do que a idade média atribuída às novas regiões H II, 4,6 milhões de anos. Logo, os berçários devem ter nascido onde estão hoje.

O cenário parecia perfeito a não ser por um detalhe. Como os pesquisadores explicariam a alta metalicidade medida nessas estrelas jovens que se formaram fora das galáxias, paradoxalmente num ambiente quase desprovido desse tipo de elementos químicos? Afinal, a quantidade de metais presentes nas novas regiões H II é da mesma ordem da encontrada no interior de galáxias e estrelas, como o Sol. “A verdade é que ainda não temos uma boa resposta para essa pergunta”, admite Claudia. “Mas propomos um cenário para dar conta dessa situação.”

Para os astrofísicos, as regiões H II se originaram no quase vazio do meio intergaláctico a partir de material já reciclado e enriquecido com metais que, cerca de 100 milhões de anos atrás, havia sido ejetado do interior do Quinteto de Stephan devido a colisões entre as suas galáxias. Seu elemento constituinte, portanto, não foi apenas o gás primordial do meio intergaláctico, pouco denso e pobre de metais. Foi sobretudo o material mais pesado e metálico que se soltou das galáxias vizinhas.

Os cientistas suspeitam de que os berçários de estrelas estejam associados a nuvens de gás frio (hidrogênio neutro) que se desprenderam do Quinteto de Stephan e hoje se encontram na cauda da galáxia NGC 7319. Devido a alguma instabilidade mais recente, ocorrida há poucos milhões de anos, essas nuvens de gás deram origem às regiões H II no meio intergaláctico. “A existência dessas regiões representa um mecanismo de enriquecimento e transferência de metais das galáxias para o meio intergaláctico”, afirma Sodrê Junior. Agora que descobriram a existência de berçários estelares no vazio do Universo, os pesquisadores vão ter de acompanhar a evolução dessas inusitadas formações. Eles acham que essas estrelas soltas no espaço podem, um dia, originar um dos eventos mais ener-



géticos do Cosmos: explosões que geram supernovas, estrelas capazes de, temporariamente, brilhar mais do que uma galáxia inteira.

O PROJETO

Evolução de Galáxias em Grupos e Aglomerados

MODALIDADE

Projeto Temático

COORDENADOR

Laerte Sodré Junior e Claudia Mendes de Oliveira – IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 207.588,40

Outras estrelas, outros mundos

Novos planetas fora do sistema solar acirram a disputa entre europeus e americanos pela primazia de achar mais Terras - e os brasileiros não estão fora dessa corrida

MARCOS PIVETTA | EDIÇÃO 104 • OUTUBRO DE 2004

No dia 6 de outubro de 1995, o mundo soube que havia mundos em que o Sol não era o astro-rei. Num congresso em Florença, os astrônomos suíços Michel Mayor e Didier Queloz, do Observatório de Genebra, anunciaram a descoberta do primeiro planeta fora do sistema solar em torno de uma estrela semelhante ao Sol, vencendo uma silenciosa disputa com colegas norte-americanos. “Todos podem agora olhar para o céu à noite, ver as estrelas e dizer: ‘Há planetas lá fora’”, afirmou Mayor.

Não havia imagens do companheiro celeste que circulava a estrela Pégaso 51, distante cerca de 40 anos-luz (9,5 trilhões de quilômetros é o equivalente métrico a um ano-luz). Havia, sim, evidências indiretas da presença de um objeto cujo campo gravitacional provocava uma sutil e periódica alteração no movimento da estrela com nome do Cavalo Alado e que, a cada 4,2 dias, dava uma volta completa em seu sol.

Ali havia um planeta. Em muitos aspectos, mas não em todos, o novo mundo lembrava o maior planeta solar, Júpiter, cuja massa é 318 vezes maior que a da Terra. Sem superfície sólida, desprovido de água, era gasoso e gigante, com cerca de metade do peso jupiteriano. Porém, ao contrário de Júpiter, que está muito longe do Sol, estava quase colado à sua estrela. Para usar o jargão dos astrofísicos, era um Júpiter quente, com temperaturas em sua superfície da ordem de 1.000°C (o Júpiter original é gélido). Enfim, o companheiro da estrela Pégaso 51 era um lugar proibitivo para qualquer forma de vida.

Nos últimos nove anos, com pequenas variações, todo planeta descoberto ao redor de estrelas parecidas com o Sol – e foram cerca de 130 – era uma variação sobre o mesmo tema. Uma cópia, mais ou menos fiel, do primeiro mundo desvendado pela dupla helvética: uma bola gigante de gás, dezenas ou centenas de vezes maior do que a Terra. Um mundo tipo Júpiter, quente ou não, de acordo com a distância que o separava de seu sol.

No final de agosto, a monotonia de só encontrar pesos-pesados em torno das estrelas finalmente chegou ao fim: três mundos menores, distantes entre 40 e 50 anos-luz, foram localizados com o auxílio de telescópios baseados na Terra. Começou a era dos pesos-médios. Novamente capitaneados por Mayor e Queloz, os europeus foram os primeiros a dar a boa nova. No dia 25 daquele mês anunciaram a localização de um planeta com 14 vezes a massa da Terra – de massa, portanto, similar ao de Urano – nos arredores de uma estrela semelhante ao Sol, a Mu Arae, localizada na constelação de Altar. Com o senso de marketing típico dos cientistas norte-americanos, e talvez algum exagero, os astrônomos do Velho Mundo disseram que o companheiro da Mu Arae poderia ser uma Super-Terra, termo que caiu no gosto da imprensa. Para ser uma Terra, o planeta teria de ser um peso-leve, menor ainda.

Mesmo assim, o peso-médio nos calcanhares da Mu Arae agradou à platéia e jogou os oponentes dos suíços contra as cordas. Menos de uma semana mais tarde, no dia 31 de agosto, duas equipes independentes de pesquisadores dos Estados Unidos contragolpearam: apresentaram dois planetas de porte semelhante ao recém-descoberto pelos colegas (e rivais) do outro lado do Atlântico. Pela grandeza de suas massas, os mundos foram comparados a Netuno, que é 17 vezes mais pesado do que a Terra. O grupo chefiado por Barbara McArthur, da Universidade do Texas, localizou um corpo celeste com 18 vezes a massa da Terra em órbita de Cancri 55, estrela parecida com o Sol e pertencente à constelação de Câncer.

Três mundos gigantes e gasosos já haviam sido detectados ao redor de Cancri 55 e a chegada de um quarto irmão, menor, fez da estrela a detentora do maior sistema planetário extra-solar conhecido. O time liderado por Geoffrey Marcy e Paul Butler – astrofísicos, respectivamente, da Universi-

dade da Califórnia em Berkeley e do Instituto Carnegie de Washington – encontrou um planeta com massa 21 vezes maior do que a da Terra em torno de uma pequena e fria estrela da constelação de Leão, a Gliese 436. “Esses mundos do tamanho de Netuno provam que lá fora não há apenas planetas gasosos gigantes”, comenta Marcy, principal concorrente dos europeus na caça por outras Terras. “Começamos a observar planetas cada vez menores.”

Além do talhe semelhante, os três planetas têm outro dado em comum: estão muito próximos de suas estrelas, mais do que Mercúrio, o primeiro mundo de nosso sistema, está do Sol. Seu período orbital, o tempo necessário para dar uma volta em torno de sua estrela, é menor do que dez dias, um indicativo de que devem ser planetas muito quentes. A Terra, como se sabe, demora 365 dias, um ano, para completar uma órbita ao redor do Sol.

Mercúrio, 88 dias. Por que a localização de uma Super-Terra e dois Netunos anima tanto os astrofísicos? Não foi só uma questão de massa e tamanho, mas também da possível constituição física dos astros recém-descobertos. Eles acreditam que essa trinca de novos planetas sejam os primeiros a ostentar uma característica ainda mais importante: podem ser sólidos, totalmente ou ao menos parcialmente sólidos.

“O planeta em órbita da estrela Mu Arae representa a primeira descoberta de um mundo rochoso mais parecido com a Terra”, diz o astrônomo português Nuno Santos, do Observatório de Lisboa, que faz parte da equipe europeia.

Até agora não sabíamos se os planetas rochosos eram ou não freqüentes. Agora sabemos que devem ser. Demos o primeiro passo para encontrar uma verdadeira Terra

“Até agora não sabíamos se os planetas rochosos eram ou não freqüentes. Agora sabemos que devem ser. Demos o primeiro passo para en-

contrar uma verdadeira Terra.” Santos é o grande responsável pelo achado europeu e assina em primeiro lugar, na frente de seus colegas mais famosos, o artigo científico sobre a Super-Terra.

Os planetas descobertos pelos norte-americanos também podem ser fundamentalmente rochosos, ou, no caso do mundo em torno da fria estrela Gliese 436, talvez uma mistura de pedra e gelo. Não se pode, contudo, descartar por completo a hipótese de que os três novos planetas ainda sejam majoritariamente gasosos. Como seus primos maiores, os Júpiteres extra-solares. De qualquer forma, os pesquisadores estão otimistas quanto às perspectivas de localizar em breve um planeta como o nosso e, quem sabe, sinais de vida complexa.

“Essas descobertas mostram que estamos no caminho de encontrar a primeira Terra extra-solar”, afirma Barbara McArthur. “Se a tecnologia continuar progredindo, quem sabe possamos atingir tal objetivo em poucos anos.” Em nosso sistema, Mercúrio, Vênus, Terra e Marte – os quatro primeiros planetas – são rochosos. Os mundos mais afastados do Sol – Júpiter, Saturno, Urano e Netuno – são essencialmente gasosos, sem superfície sólida, com rochas apenas em seu núcleo. Mais longínquo dos planetas solares, o pequeno e denso Plutão é um caso à parte em termos de sua composição. Como um cometa, é feito essencialmente de gelo.

Quase todos os 130 planetas extra-solares conhecidos, inclusive os três de massa mediada, foram descobertos da mesma maneira: pelo emprego da técnica de velocidade radial, que mede o efeito exercido pelo campo gravitacional de um ou mais planetas sobre a movimentação de seu sol. É uma forma indireta de produzir evidências de que há um objeto celeste em órbita de uma estrela. A lógica por trás de tal procedimento é de fácil compreensão. A presença de um planeta, ou qualquer outro objeto celeste, produz periodicamente uma ínfima variação na velocidade de deslocamento da estrela. Em outras palavras, na posição de seu sol.

É como se a companhia do planeta fizesse a estrela dançar, indo, de tempos em tempos, para a frente e para trás. Quanto maior for a massa de um planeta, e mais perto ele estiver de seu sol, maior será o passo do balé espacial executado pela estrela. Medindo essa perturbação num sol, os astrofísicos podem inferir a massa mínima (mas não a máxima) e a órbita do planeta que o circunda. Objetos

com massas jupiterianas provocam alterações na velocidade radial de seu sol da ordem de dezenas ou centenas de metros por segundo. Mundos do tipo Netuno fazem a sua estrela dançar alguns metros. “A perturbação da Terra sobre a velocidade radial do Sol é da ordem de 13 centímetros por segundo”, afirma Sylvio Ferraz-Mello, coordenador do grupo de dinâmica de sistemas planetários do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP). Um nada.

As alterações na velocidade radial são calculadas a partir de dados obtidos por um equipamento chamado espectrógrafo (ou espectrômetro), que, como o nome indica, espalha a luz da estrela nas frequências e comprimento de ondas que a constituem. Dessa forma, empregando os conceitos do chamado efeito Doppler, os astrofísicos têm uma idéia da influência causada na órbita de uma estrela pela presença de um planeta nas redondezas. Quando a estrela dança para perto de seu observador, a luz medida se torna mais azul.

Se ocorre o inverso, predominam os tons vermelhos. O sucesso do emprego do método da velocidade radial para encontrar planetas depende do acesso a um espectrógrafo de última geração. A equipe européia, por exemplo, encontrou evidências de sua Super-Terra com auxílio do Harps, um espectrógrafo capaz de medir variações na velocidade radial de objetos celestes da ordem de 1 metro por segundo. Tido como o mais poderoso instrumento de seu tipo, o Harps foi instalado no final do ano passado num telescópio de 3,6 metros do ESO (European Southern Observatory), em La Silla, no norte do Chile.

As equipes norte-americanas acharam seus Netunos também com a ajuda de potentes espectrógrafos. Hoje ainda não há meio capaz de detectar mundos como a Terra ao redor de outras estrelas. A técnica da velocidade radial favorece a descoberta de planetas com grandes massas e/ou que estejam bem próximos a seus sóis. Mas a limitação deve ser superada em breve.

A disseminação do método do trânsito planetário, forma alternativa de encontrar mundos que não apresenta o mesmo viés da velocidade radial, é uma das apostas para os próximos anos. A abordagem consiste em monitorar o brilho de uma estrela, a partir de um ponto fixo de observação, em busca de diminuições periódicas em sua intensidade. Essa redução, uma pequena zona de sombra, pode ser causada pela passagem de um objeto celeste de certo porte – talvez um planeta – entre a estrela e o observador.

A passagem é o trânsito, que, em termos práticos, provoca um microeclipse na estrela, detectável apenas por meio de telescópios sensíveis. “O método do trânsito é especialmente poderoso se usado em conjunto com a técnica da velocidade radial”, afirma o espanhol Roi Alonso, do Instituto de Astrofísica de Canárias. “Com ele, podemos estimar com maior precisão a massa de um planeta e ter, pela primeira vez, uma noção do seu tamanho e, por conseqüência, de sua densidade.” Em agosto passado, trabalhando com as duas técnicas e dados de uma pequena rede de satélites, Alonso descobriu um planeta gigante, do tipo Júpiter.

O astrofísico brasileiro Claudio Melo, que trabalha com os europeus no observatório ESO, no Chile, também participou recentemente da detecção de um novo mundo por essa dupla abordagem. Ajudou a localizar um Júpiter quente quase colado à estrela Ogle-TR-111. Apesar da descoberta, Melo diz que não foi fácil chegar ao resultado. Observaram 4 mil estrelas numa região do espaço, encontraram 40 estrelas com diminuições de brilho suspeitas e conseguiram confirmar, com o emprego da velocidade radial, apenas um planeta.

“O método do trânsito se presta mais para fornecer candidatos a planetas, que, num segundo momento, têm de ser ratificados ou não por outras técnicas”, pondera Melo. Há quase um consenso na comunidade científica de que o método do trânsito encontrará em breve planetas bem menores do que os atuais Júpiteres ou Netunos extra-solares: os primeiros candidatos a serem uma Terra. Projetos nesse sentido estão em curso e vão ganhar o espaço na segunda metade desta década.

Mais uma vez, os europeus estão na frente dos norte-americanos. Em junho de 2006 será lançado um pequeno satélite francês, de 670 quilos, o Corot, que, durante três anos, permanecerá em órbita polar e circular em torno da Terra. Sua missão será procurar, usando o método do trânsito,

planetas em torno de milhares de estrelas próximas e estudar abalos sísmicos numa dezena de outras. Era para ser um projeto apenas do CNES (a agência espacial francesa), mas faltaram verbas e a empreitada foi aberta para outros países.

Áustria, Espanha, Alemanha, Bélgica e a ESA (a agência espacial europeia) tornaram-se sócios do projeto. O Brasil também encontrou espaço na missão Corot e se tornou parceiro da iniciativa. A estação terrestre do hemisfério Sul que receberá dados do satélite fica em Natal (a do hemisfério Norte se situa na Espanha). Sua montagem está a cargo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). “Sem a estação brasileira, o Corot conseguiria observar e enviar dados de 40 mil estrelas”, afirma Eduardo Janot Pacheco, do IAG-USP, coordenador da participação brasileira na missão. “Com a nossa estação, esse número aumentará para 60 mil.” Em razão da parceria, o país já enviou à França engenheiros de software para trabalhar em programas do satélite e terá a chance de participar de estudos científicos que talvez levem à descoberta do primeiro planeta do tamanho da Terra.

A Nasa entrará diretamente na corrida por uma Terra extra-solar no final de 2007, com o lançamento do satélite Kepler, que usará também o método do trânsito para caçar seus mundos. Sabe-se que planetas rochosos, de tamanho semelhante ao da Terra, existem. Até já se encontraram alguns. Só que em torno de um tipo de astro inóspito para fomentar a vida: pulsares, também chamados estrelas de nêutrons. Pulsares são estrelas densas, de alta rotação, que emitem pulsos de radiação. São estrelas mortas.

Em 1991, quatro anos antes do anúncio bombástico de Mayor e Queloz sobre a observação de um planeta em torno de uma estrela similar ao Sol, Alexander Wolszczan, da Universidade Estadual da Pensilvânia, descobriu três planetas – dois com massa similar à da Terra e um terceiro com o peso da Lua – ao redor de um pulsar localizado na constelação de Virgem, o PSR B1257+12. Esses foram, a rigor, os primeiros planetas encontrados em outra estrela que não o Sol. O achado é quase ignorado porque, como os astrofísicos sabem, a vizinhança de pulsares não é apta a suportar mundos com vida. No fundo, o grande interesse é por estrelas como o Sol, de brilho médio, que, segundo projeções, talvez possam abrigar milhares ou milhões de planetas de clima ameno como a Terra.

Historicamente, o homem enfrenta dificuldades para encontrar planetas. A começar pela própria natureza desse objeto celeste, que não favorece a sua localização no espaço. Com exceção de um breve período em sua juventude, planetas não emitem luz própria, característica que dificulta a sua visualização direta. Logicamente, um planeta pode ser iluminado pela luz de estrelas próximas, como acontece com alguns mundos do sistema solar, às vezes visíveis até a olho nu. Mas, como regra geral, os planetas extra-solares são ofuscados pelo brilho das estrelas.

Tornam-se objetos ocultos até para os mais avançados telescópios ópticos. Por ora, são mundos longínquos e sem face. A única cara que exibem é a que os desenhistas lhes emprestam nas “representações artísticas” destinadas a divulgar uma descoberta para o grande público. Ainda assim, os cientistas não desistem de tentar flagrar de forma direta os mundos descobertos nos últimos nove anos.

No mês passado, por exemplo, pesquisadores do observatório ESO divulgaram o que pode ser a primeira imagem de um planeta extra-solar o ponto menor, em vermelho, seria um planeta com cinco vezes a massa de Júpiter. A seu lado está uma estrela da constelação de Hidra, a 2M1207, a esfera maior e de brilho mais claro. Esse tipo anúncio, nem de longe o primeiro do gênero, ainda é visto com ceticismo pela comunidade acadêmica. Os astrofísicos acreditam que só será possível “tirar fotos” confiáveis de planetas extra-solares na próxima década, quando entrarem em operação dispositivos com novas técnicas, como a interferometria, capazes de produzir esse tipo de imagem.

Mesmo os últimos planetas do sistema solar, nossos vizinhos celestes, foram descobertos aos poucos, lentamente. No início do século 17, Galileo Galilei tornou-se o primeiro homem a esquadrihar o céu por meio das lentes de um telescópio. Com a ajuda desse artefato, o astrônomo e matemático toscano, cuja defesa do heliocentrismo lhe valeria uma condenação no tribunal da Santa Inquisição, fez inúmeras observações inéditas. Mostrou o pouco brilho das estrelas da Via-Láctea, avistou manchas no Sol, divisou crateras na Lua, encontrou luas em Júpiter, distinguiu as fases de Vênus.

Planetas, não achou nenhum. Dessa forma, até o final do século 18, a humanidade contabiliza-

va, fora a Terra, cinco mundos, todos em órbita do Sol e ocasionalmente visíveis a olho nu: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Oficialmente, esses planetas não têm descobridores. Seu registro se confunde com a história da civilização. Novos mundos só foram identificados mais de um século depois de Galileu, à medida que os telescópios se tornaram mais potentes. E a um ritmo de um planeta por século. Urano foi descoberto em 1781; Netuno, em 1846; e Plutão, em 1930.

Além de alimentar a esperança de localizar novas Terras em torno de outras estrelas, a descoberta de mais de uma centena de Júpiteres extra-solares, e de certo modo até dos três novíssimos mundos de tamanho médio, desafia a teoria mais aceita sobre o nascimento de planetas, formulada a partir da configuração do sistema solar. Esses novos mundos parecem estar fora do lugar. A maioria situa-se absurdamente próxima de seu sol e exibe órbita elíptica, não-circular.

Tudo diferente dos planetas gasosos e gigantes do sistema solar, que se encontram longe do Sol e apresentam órbitas circulares. A aparente incoerência levou o astrofísico inglês Martin Beer, da Universidade de Leicester, a propor recentemente, num artigo científico, que o sistema solar pode ser um lugar “especial”, não-típico, do Universo. Se essa idéia, polêmica, estiver certa, não haveria outras Terras lá fora. “Pensar que todos os planetas se formam basicamente da mesma maneira pode ser um erro”, especula o britânico. “Pode haver mais de um mecanismo que origine esses objetos.”

Pensar que todos os planetas se formam basicamente da mesma maneira pode ser um erro. Pode haver mais de um mecanismo que origine esses objetos

De acordo com o modelo mais aceito, planetas se formam a partir de um pequeno núcleo sólido, uma esfera de rocha e/ou gelo, de uns 10 quilômetros de diâmetro, chamada planetesimal. Núcleos rochosos situados a enormes distâncias de sua estrela conseguem, por meio de sua força gravitacional, atrair em torno de si grandes quantidades de gás proveniente dos setores frios de um vasto disco de matéria existente nos arredores de seu sol. Dessa maneira, distantes da estrela, formam-se sempre planetas gigantes e gasosos, como Júpiter e Saturno.

“Quase todo o Universo é composto de hidrogênio e hélio em temperaturas muito baixas”, comenta o astrofísico Gustavo Mello, do Observatório do Valongo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Já os planetesimais mais próximos de sua estrela, ainda segundo o modelo, são capazes de originar apenas planetas rochosos. Muito quentes, não conseguem atrair, tampouco manter, um envoltório de gás em seu entorno por muito tempo. Resultado: dão origem a corpos menores e mais densos, como Mercúrio, Vênus, Terra e Marte (o longínquo Plutão é um caso à parte). “A formação de um planeta é uma corrida contra o tempo”, diz Gustavo Mello. “O material que o origina, resíduos do processo de nascimento das estrelas, pode se dissipar facilmente.”

Portanto, a teoria dominante não serve aparentemente para explicar a localização de quase todos os mundos extra-solares conhecidos – a menos que esses planetas tenham surgido pelo processo convencional em outro ponto do espaço, mais longe de sua estrela, e migrado para sua posição atual. Ou pode ser que os sistemas extra-solares conhecidos simplesmente não sejam representativos da maior parte dos mundos existentes ao redor de estrelas. Hoje os métodos de detecção favorecem a observação de planetas grandes que estejam perto de seu sol.

Isso pode ter causado uma idéia distorcida do perfil dos mundos presentes “lá fora”. O próprio Beer não descarta essa possibilidade, advogada de forma mais acentuada pelo astrofísico português Nuno Santos, o descobridor da Super-Terra. “Ainda é cedo para defender mudanças na teoria”, pondera o pesquisador do Observatório de Lisboa. “Suspeitamos que os mundos encontrados até agora sejam uma pequena parte dos planetas existentes. E a maioria deles deve ser semelhante aos do sistema solar.” Honrando as suas origens de além-mar, Santos define o que move um caçador de planetas. “No fundo, o que estamos a fazer é dar novos mundos ao Universo, tal como os portugueses deram novos mundos ao mundo no século 16. O ser humano gosta de explorar, e é isso que estamos a fazer”, filosofa.

Fermento cósmico

Regiões mais adensadas de galáxias similares à Via Láctea fornecem gás e poeira para a formação de outras estrelas

RICARDO ZORZETTO | EDIÇÃO 114 - AGOSTO DE 2005

Ronald de Souza e Dimitri Gadotti, astrônomos da Universidade de São Paulo (USP), dispuseram-se nos últimos cinco anos a investigar como e quando se formaram as galáxias. Hoje não têm todas as respostas, claro, mas conseguem explicar melhor a formação e o desenvolvimento de cerca de um terço do 1 bilhão de galáxias existentes no Universo. A observação de quase uma centena desses aglomerados de estrelas, aliada à perspicácia de recorrer a um antigo teorema da mecânica clássica, permitiu aos dois astrônomos elaborar um programa de computador que calcula a idade e as dimensões de estruturas peculiares de galáxias similares à Via Láctea, que abriga o Sistema Solar. Souza e Gadotti constataram que essas estruturas com a forma aproximada de retângulos – ou barras – podem ser relativamente recentes ou, nos casos extremos, quase tão antigas quanto as próprias galáxias chamadas de barradas. São as barras, como eles verificaram, que alimentam a região central dessas galáxias com poeira e gás que formarão novas estrelas. O modelo matemático que criaram está ajudando a reclassificar até mesmo outros tipos de galáxias.

As galáxias barradas são similares à Via Láctea, classificada como galáxia espiral, porque também apresentam centenas de milhões de estrelas na região central em forma de esfera – o núcleo – e outras centenas de milhões dispersas em um fino disco de gás e poeira semelhante a um redemoinho cósmico. Uma característica das barradas é que, naquela faixa luminosa em forma de retângulo, a densidade de estrelas é maior que no disco, mas inferior à do núcleo, também chamado de bojo.

Uma série de estudos teóricos atribuía às barras o papel de fermento galáctico. Formadas em regiões de maior concentração de estrelas no disco, essas estruturas crescem como um pão no forno, mas muito lentamente – em até bilhões de anos. À medida que se tornam mais espessas que o disco, as barras alimentam o bojo das galáxias com poeira e gás, matérias-primas para a produção de estrelas, contribuindo para o acúmulo de matéria no núcleo. Mas esse era um panorama construído a partir de simulações em computador. Faltavam dados de observação direta para confirmar se o comportamento do Cosmo era mesmo esse. “Cinco anos atrás, quase nada se sabia sobre a idade, as dimensões e a evolução das barras,” comenta Souza, coordenador dessa linha de estudos que integra um projeto temático sobre a evolução de galáxias, conduzido por Sueli Viegas, do Instituto de Astrofísica, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP.

Os primeiros sinais de que o modelo estava certo surgiram em 2001. Em parceria com a astrônoma Sandra dos Anjos, também do IAG, Gadotti analisou imagens de 257 galáxias espirais. Constatou que realmente há uma concentração maior de estrelas jovens no bojo das galáxias barradas – como a NGC 4314 – do que no núcleo daquelas sem barra. Era um indício de que as barras alimentam a região central dessas galáxias, uma vez que as estrelas em geral se formam em regiões distantes dali, no disco.

Medidor de galáxias

Com o auxílio de um telescópio no hemisfério Norte e de outro no hemisfério Sul, os astrônomos da USP observaram as características de 14 galáxias que aparecem no céu próximas à projeção da linha do Equador, o chamado Equador Celeste. Ao longo de dez noites de 1999, 2000 e 2002, Souza e Gadotti registraram em pontos do disco, da barra e do bojo de cada galáxia a média das velocidades com que as estrelas se deslocam, aproximando-se ou se afastando do observador em Terra – medida conhecida como dispersão de velocidades. Descobriram que, no disco, as estrelas se movimentam a velocidades que, em média, variam de 5 a 20 quilômetros por segundo (km/s), enquanto esses valores são próximos a 100 km/s no bojo.

Foram essas medidas que permitiram aos pesquisadores estimar a idade das barras. “Identificamos barras bastante jovens, formadas há 1 bilhão de anos, e outras mais evoluídas, quase tão antigas quanto as próprias galáxias, formadas cerca de 10 bilhões de anos atrás,” afirma Gadotti, atualmente no laboratório da astrônoma grega Lia Athanassoula, no Observatório Astronômico de Marselha-Provença, na França. Isolados, porém, esses dados eram insuficientes para determinar a espessura e o tempo de formação dessas estruturas.

Para definir a espessura das barras, os astrônomos recorreram a um antigo teorema da mecânica clássica – o Teorema de Virial, proposto em 1870 pelo físico alemão Rudolf Clausius –, por meio do qual associaram a dispersão das velocidades das estrelas à massa das diferentes regiões das galáxias. Feitos os cálculos, concluíram: a formação das barras dura de 1 a 2 bilhões de anos, quando elas atingem sua espessura máxima, correspondente a duas ou três vezes a do disco. Em uma galáxia barrada com a dimensão da Via Láctea, a espessura do disco seria de cerca de 9,5 quatrilhões de quilômetros e a da barra, de 19 a 27 quatrilhões de quilômetros – o tripulante de uma nave capaz de viajar a velocidades próximas à da luz levaria entre 19 mil e 27 mil anos para percorrer a espessura da barra. Também observaram que essas barras podem desaparecer e depois ressurgir, num processo cíclico que alimenta continuamente o bojo da galáxia.

Novas formas

Outro achado surpreendente: duas galáxias com uma barra bastante desenvolvida, mas sem o disco que a teria originado – uma estrutura inusitada. Uma avaliação mais detalhada revelou que, na realidade, a região interna do disco havia desaparecido, restando apenas seu resquício: um anel que envolvia a barra e o bojo. Ainda não existe uma explicação consensual para a ausência de disco. Em um artigo publicado no *Astrophysical Journal* em 2003, Souza e Gadotti propuseram duas possibilidades: ou essas galáxias são exemplos extremos em que a formação da barra consumiu quase todo o disco, ou estariam envoltas em um halo ligeiramente achatado de uma forma de matéria que não emitiria luz e, portanto, não poderia ser observada pelos telescópios – a chamada matéria escura. “Testamos o modelo da matéria escura e constatamos que o halo com forma elíptica pode induzir à formação das barras mesmo sem a existência do disco,” explica Gadotti.

O programa de computador que ele, Souza e Sandra criaram deve também facilitar a vida dos astrônomos que se de-

dicam à classificação das galáxias segundo sua forma. Esse método, criado pelo astrônomo Edwin Hubble em 1926, separa as galáxias em dez categorias, que incluem as esferóides, com bojo semelhante a uma esfera perfeita e sem disco, às elípticas e às espirais com ou sem barras. Chamado Budda (sigla em inglês para Análise da Decomposição Bojo/Disco), o programa usa equações desenvolvidas pela equipe do IAG para analisar 11 parâmetros relacionados à luminosidade e à geometria do disco e do bojo da galáxia – antes observavam-se só três parâmetros. No primeiro teste foram examinadas imagens de 51 galáxias observadas no Laboratório Nacional de Astrofísica, em Minas Gerais. E o Budda impressionou ao identificar estruturas ocultas – como discos que não podiam ser observados ou a existência de barras secundárias – e detectar incorreções na classificação de 15 galáxias. Estima-se que de 10% a 15% das galáxias estejam classificadas em categorias erradas.

Chamado Budda, o programa usa equações desenvolvidas pela equipe do IAG para analisar 11 parâmetros relacionados à luminosidade e à geometria do disco e do bojo da galáxia

Nos confins do Universo

Brasileiros vêm a mais antiga e distante explosão de uma estrela

MARCOS PIVETTA

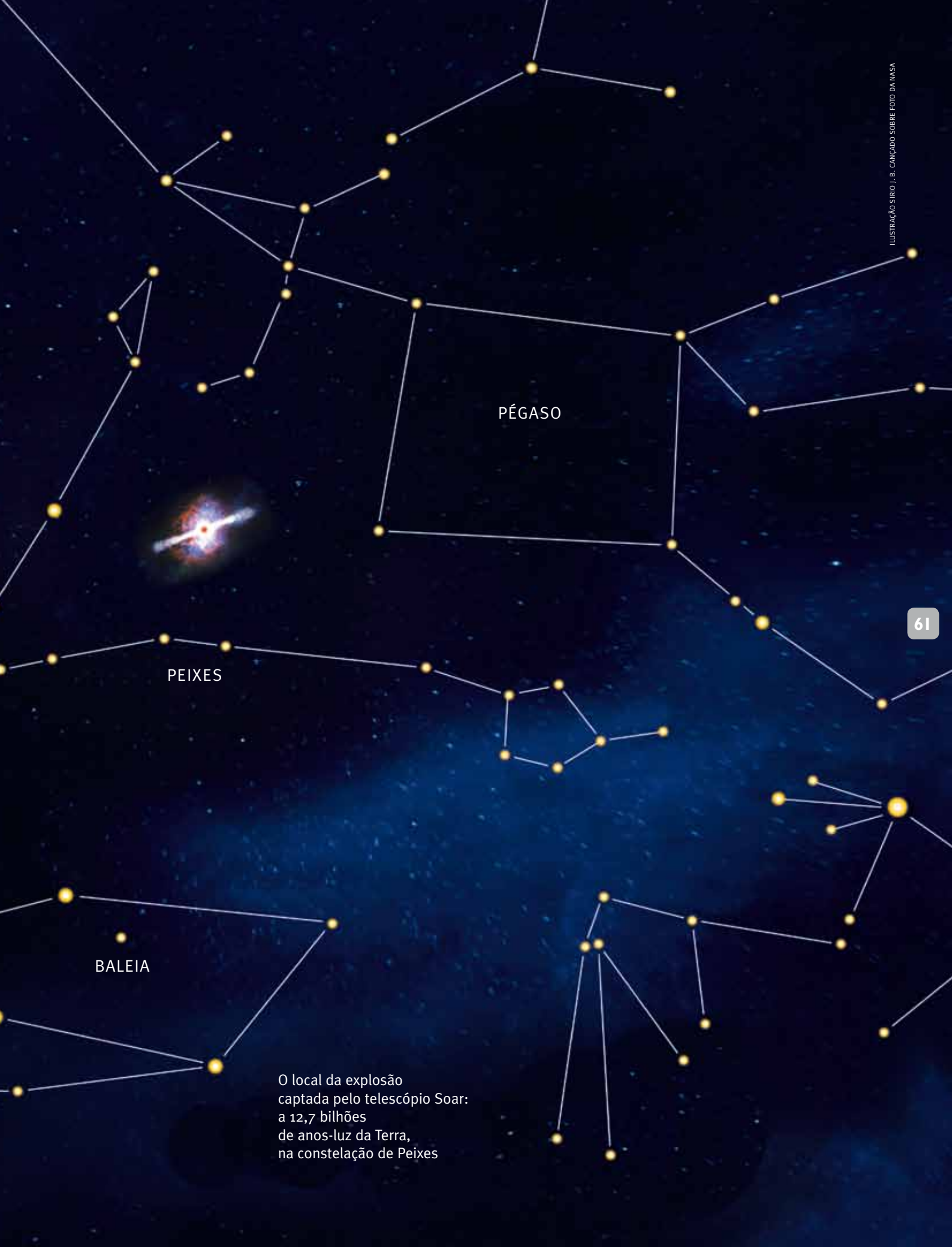
60

As 3 horas, 7 minutos e 21 segundos do dia 4 de setembro, o satélite Swift, da Nasa, a agência espacial norte-americana, mandou um alerta para os astrofísicos de plantão: aparelhos a bordo da espaçonave tinham acabado de captar indícios do que poderia ser uma explosão de raios gama nos confins da constelação de Peixes.

Podia ser um evento estelar importante ou mais uma ocorrência sem maiores predicados. Telescópios baseados em terra, situados nas mais diversas latitudes, deram uma pausa em suas observações de rotina e voltaram rapidamente seus espelhos para as coordenadas cantadas pelo Swift (equipamentos profissionais não dispõem de lentes, mas de espelhos). Oitenta e seis segundos após o aviso, o Tarot, um observatório na Côte d'Azur, já registrava a região indicada pelo satélite. Um esforço em vão. Suas imagens não mostravam explosão alguma e, às 7h23, os astrônomos franceses soltaram um informe do que haviam visto. Nada demais. Trinta e cinco minutos mais tarde, nova resposta negativa, agora do pequeno telescópio Palomar, na Califórnia.

O cenário começou a mudar às 10 horas, sempre no horário de Greenwich. Operado por um jovem astrofísico paulista, Eduardo Cypriano, o Southern Observatory for Astrophysical Research, ou simplesmente Soar, um telescópio localizado no começo do deserto de Atacama, mais precisamente no Cerro Pachon, uma montanha de 2.700 me-





PÉGASO

PEIXES

BALEIA

O local da explosão
captada pelo telescópio Soar:
a 12,7 bilhões
de anos-luz da Terra,
na constelação de Peixes

tros de altitude dos Andes chilenos, soltou um informe alvissareiro: tinham captado as primeiras imagens do possível estouro estelar. Ainda não dava para dizer há quanto tempo o misterioso fenômeno havia acontecido, nem precisar exatamente de que se tratava. E o evento só era avistável nos comprimentos de ondas equivalentes ao infravermelho, mas não nas frequências ópticas, de luz visível. Por isso havia incertezas em torno de sua natureza. “Podia ser poeira cósmica ou uma explosão com alto *redshift* (em português, deslocamento para o vermelho, jargão para designar eventos siderais muito longínquos)”, diz Cypriano, que contou com a ajuda de outra astrofísica de São Paulo, Elysandra Figueredo, sua mulher, no trabalho de processamento das imagens. A pedido de Daniel Reichart, da Universidade da Carolina do Norte, caçador de explosões de raios gama, a dupla de brasileiros redirecionara os espelhos do telescópio, que tem o Brasil como um de seus sócios majoritários, para a constelação de Peixes na esperança de obter algum registro. Como se veria logo depois, esse movimento rendeu dividendos.

62 No dia 12 de setembro, após uma série de medições e observações feitas de forma pioneira pelo Soar e ratificadas posteriormente por outros telescópios, houve o anúncio formal: a explosão de raios gama GRB 050904, assim chamada pelos pesquisadores, ocorrera a 12,7 bilhões de anos-luz da Terra (um ano-luz equivale a cerca de 9,5 trilhões de quilômetros), “apenas” 1 bilhão de anos após o Big Bang, o evento primordial que provavelmente deu origem ao Universo. Era o mais distante e antigo estouro cósmico já detectado pelo homem, que sinalizava a morte de uma estrela com massa dezenas de vezes maior que o Sol e o nascimento de um buraco negro a partir de seus despojos. “Estamos entrando em território não mapeado”, disse Reichart, na entrevista coletiva que divulgou a descoberta. “Finalmente estamos vendo os remanescentes de alguns dos objetos mais velhos do Universo.” O recorde anterior pertencia a uma explosão 500 milhões de anos mais nova que a GRB 050904.

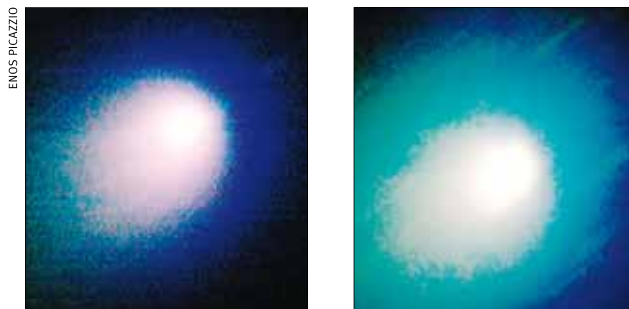
A

morte de uma estrela massiva provoca uma explosão de raios gama extremamente fugaz, que dura em geral não mais que dez segundos. O GRB 050904 foi uma exceção à norma: prolongou-se por 200 segundos. Alguns astrofísicos estimam que, em pouco mais de três minutos, a explosão confirmada pelo Soar gerou 300 vezes mais energia que o Sol liberará ao longo de seus prováveis 10 bilhões de anos de vida. A rigor, não foi esse rápido e descomunal evento que os espelhos dos telescópios de todo o planeta perseguiram, mas, sim, os remanescentes da explosão. O seu brilho residual, que, em sua longa jornada cósmica, demorou os tais 12,7 bilhões de anos para chegar até nós. Durante três noites seguidas, de 4 a 6 de setembro, Cypriano, um dos integran-

tes do time internacional de astrônomos residentes no Chile que opera o Soar, observou o brilho residual da explosão se esvaindo. “Estava no lugar certo, na hora certa”, diz esse paulistano de 34 anos.

As imagens originais do fenômeno, feitas em vários comprimentos de onda, não são tão nítidas como as publicadas nesta reportagem. Antes do anúncio público da descoberta da mais antiga explosão cósmica, Elysandra passou uma semana removendo ruídos instrumentais de informação que dificultavam a análise dos registros obtidos do remoto colapso estelar, num esforço conjunto com os pesquisadores da Universidade da Carolina do Norte. “Por ser muito brilhante no infravermelho, o céu é a parte mais difícil de tratar nas imagens”, comenta Lys, como gosta de ser chamada essa paulista de 32 anos, nascida em São Vicente. No final do trabalho, deu tudo certo. O flagrante da mais antiga explosão cósmica é uma luz num período marcado pelas trevas. Há menos informações sobre as estrelas que surgiram na infância do Univer-

Imagens captadas pelo Soar: dois registros do cometa Tempel 1, antes e depois da colisão com espaçonave





so do que sobre o próprio Big Bang. Mesmo sem estar totalmente operacional, as imagens do GRB 050904 produzidas pelo Soar, uma alta aposta da astrofísica nacional, fizeram história.

Inaugurado em abril de 2004, após ser projetado e construído por mais de uma década, o observatório possui um espelho principal de 4,1 metros de diâmetro, 6,6 vezes mais potente que o maior dos telescópios instalados no Brasil. Embora situado numa zona desértica, não está sozinho na montanha. Divide o Cerro Pachon com um vizinho ilustre, a unidade sul do Observatório Gemini, localizada a 400 metros de distância e que também foi utilizada nas observações do GRB 050904. O Soar custou US\$ 28 milhões, valor rateado pelos quatro parceiros do empreendimento. Três sócios são dos Estados Unidos – a Universidade da Carolina do Norte, a Universidade de Michigan e a National Optical Astronomy Observatories (Noao) – e o outro é o Brasil, que investiu na iniciativa US\$ 12 milhões. O Conselho Nacional

de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) entrou com US\$ 10 milhões e a FAPESP com US\$ 2 milhões.

Acesso privilegiado - O montante alocado ao Soar facultou à comunidade científica nacional o acesso a 30% da escala de uso do telescópio, a maior fatia entre os participantes do empreendimento. Algo como 127 noites de observação por ano. Em nenhum outro empreendimento astrofísico de primeira linha o Brasil dispõe de tanto tempo. Ao lado de seis nações, o país, por exemplo, faz parte do consórcio Gemini, que conta com dois telescópios de 8,1 metros, maiores que os do Soar, um no Chile e outro no Havaí. Mas o Brasil só tem à disposição os equipamentos do Gemini por menos de 3% de seu tempo de uso. “Entre as grandes infra-estruturas recém-criadas para a ciência brasileira, o Soar e o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (em Campinas) são as de maior relevância”, afirma o astrofísico João Evangelista Steiner, da Universidade de São Pau-

lo (USP), presidente do consórcio e do conselho diretor do Soar. “Esse telescópio será a ferramenta mais valiosa para a astronomia nacional”, comenta Albert Bruch, diretor do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), em Itajubá, Minas Gerais.

A rigor, o uso do verbo no futuro se justifica. Apesar de já ser capaz de produzir resultados espetaculares, como a detecção em primeira mão da mais antiga explosão de raios gama, passando a perna em telescópios de todo o mundo, o Soar funciona atualmente a meio pau. Sua maior contribuição à ciência (nacional) ainda está por vir. Hoje a maior parte do tempo de operação de seus equipamentos é consumida em ajustes de engenharia. Uma fração das horas de trabalho é dedicada à obtenção de dados para projetos científicos. Depois de ser inaugurado, todo telescópio passa por essa fase de testes e refinamentos, em que o tempo direcionado para a pesquisa científica aumenta gradativamente à medida que os problemas de engenharia são resolvidos. Se

não houver atrasos em seu cronograma, o telescópio brasileiro-norte-americano estará totalmente operacional no segundo semestre de 2006.

As observações feitas pelos espelhos do Soar servem a variadas linhas de pesquisa astronômica tocadas por brasileiros. Por ora, os achados não são tão espetaculares como o flagrante de uma explosão de raios gama em razão do colapso de uma estrela supermassiva. Nem por isso são desinteressantes. No início de julho, por exemplo, a pedido de Enos Picazzio, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), o telescópio captou imagens do cometa Tempel 1, uma massa de gelo, rocha e poeira, com idade estimada em 4,6 bilhões de anos, que passou a 133 milhões de quilômetros de distância da Terra. Os registros foram feitos antes e depois de esse corpo celeste ser atingido por um projétil lançado pela sonda norte-americana Deep Impact (Impacto Profundo). “Podemos ver que antes da colisão o cometa tinha uma estrutura com quatro zonas ativas (jatos de gases) e depois do choque apresentava somente três”, comenta Picazzio, que também avistou o Tempel 1 do Observatório do Pico dos Dias, onde há o maior telescópio em funcionamento em solo nacional. Situado a 1.860 metros de altitude, em Brasópolis, Minas Gerais, onde o céu não é tão límpido e sem nuvens como o dos Andes, o Pico dos Dias tem um espelho principal com 1,6 metro de diâmetro, modesto se comparado ao do Soar.

Ápice de uma missão que custou US\$ 333 milhões à Nasa, o momento do choque entre o Tempel 1 e o projétil disparado pela sonda Impacto Profundo ocorreu, conforme fora programado, na noite de 4 julho, não por acaso a data nacional dos Estados Unidos. A colisão, portanto, não pôde ser vista por telescópios localizados fora da América do Norte. Ainda assim, a passagem do cometa, que viaja pelo espaço a 37 mil quilômetros por hora, era uma boa chance para se testar o Soar num trabalho de observação de um objeto que se desloca a uma velocidade aparente muito maior que a das estrelas e galáxias (movimento sideral). Foi a primeira vez que o telescópio foi usado para perseguir um alvo com movimen-

to não-sideral. “Com o Soar, também podemos ver cometas de elevada magnitude aparente, com pouco brilho”, diz Picazzio. “Temos muito mais oportunidades de observação.” A olho nu, um observador da Terra, num dia com excelentes condições para observação, consegue enxergar no máximo estrelas ou planetas que tenham brilho equivalente à magnitude 6. Com o Soar, é possível produzir imagens de objetos celestes de magnitude 26. Quanto maior a magnitude de um astro, menor a quantidade de luz que chega a nosso planeta emanada desse corpo.

Anãs brancas pulsantes - Outra linha de pesquisa em que o Soar já se mostra bastante útil é o estudo de um tipo raro de objeto astronômico, as ZZ Cetus, também chamadas de anãs brancas variáveis ou pulsantes, que podem ser encaradas como fósseis de estrelas que, no passado remoto, foram exuberantes. Em artigo a ser impresso na edição de dezembro da revista científica *Astronomy & Astrophysics*, a equipe do pesquisador Kepler de Souza Oliveira Filho, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), reporta a descoberta de 14 novas anãs brancas pulsantes com o auxílio do telescópio brasileiro-norte-americano situado nos Andes chilenos. Num outro trabalho, ainda não publicado, Barbara Castanheira, aluna de doutorado de Kepler, identificou, com os espelhos do Soar, outras três ZZ Cetus (e mais sete com o telescópio do Pico dos Dias, em Brasópolis). São números consideráveis, ainda mais quando se leva em conta que, até agora, são conhecidas cerca de cem anãs brancas pulsantes.

Mas esse tipo de objeto sideral é exatamente o quê? No crepúsculo de sua existência, quando deixam de produzir as reações termonucleares que lhes fornecem energia, estrelas pequenas ou medianas, de pouca massa, mais ou menos como o Sol, encolhem de tamanho, tornam-se corpos densos e mais frios. Viram anãs brancas. O destino final de 98% das estrelas é, um dia, se transformar num astro senil com esse perfil acanhado. Se durante o processo de contração e perda de calor uma anã branca exhibe instabilidades periódicas – em outras palavras, emite

pulsações a intervalos fixos, que alteram o seu brilho —, ela é classificada como uma ZZ Cetus. Para captar essas tênues mudanças de luminosidade, os astrofísicos fazem várias séries de fotos das estrelas candidatas a serem anãs brancas pulsantes. “Essas variações são as únicas pistas que temos sobre a composição interna das estrelas”, explica Kepler, que este ano está morando no Chile, onde é um dos astrônomos responsáveis pela operação do Soar. “Da mesma forma que se analisam as ondas dos terremotos para estudar o interior da Terra, podemos usar as variações das anãs brancas para medir seu interior.”

Antigas e longínquas explosões de raios gama, velozes cometas que cruzam a órbita da Terra, os cambiantes e fracos pulsos das anãs brancas variáveis – esses e outros fenômenos do Cosmos agora estão mais ao alcance dos pesquisadores brasileiros com o acesso privilegiado que o país tem ao Soar, um telescópio de primeira linha. Ainda que pequena, a participação em outros grandes projetos internacionais também é, sem dúvida, importante, bem como a manutenção de equipamentos mais modestos instalados em território nacional. Mas nada se compara a ser sócio do Soar. “Podemos, de fato, jogar na primeira divisão do campeonato da astrofísica”, afirma Steiner. “E marcar gols, mostrando que podemos fazer ciência de fronteira.” Como fizeram Eduardo Cypriano e Elysandra Figueredo. ●



Chuva de partículas

Observatório Pierre Auger capta raios cósmicos de alta energia

Localizado na desértica Malargüe, cidade de 20 mil habitantes próxima aos Andes argentinos, o Observatório Pierre Auger, maior projeto internacional concebido para captar raios cósmicos de alta energia, um tipo raro de partícula subatômica que viaja quase na velocidade da luz antes de cair sobre a Terra, acaba de mandar as primeiras notícias. Animadoras, por sinal. Apesar de estar funcionando com pouco menos da metade de sua ca-

pacidade total, o empreendimento registrou, entre janeiro de 2004 e julho deste ano, 3.525 eventos em que os raios cósmicos tinham energias colossais. Em 20 ocasiões, as partículas exibiam níveis de energia próximos ou superiores ao chamado corte GZK, de 5×1.019 elétrons-volts (eV). O GZK marcaria o limite máximo de energia que os raios poderiam apresentar ao chegar a nosso planeta. Teoricamente, seria impossível flagrar partículas com energia acima desse teto. Teoricamente. Mas o Auger, do qual o Brasil é um dos sócios, e outros experimentos menores já mediram eventos com raios mais energizados que o corte GZK. Isso não dizer que o limite não faça mais sentido. Longe disso. Até porque essas ocasiões foram tão pouco freqüentes que não geraram dados com relevância estatística para formular julgamentos definitivos.

As informações fornecidas pelo Auger foram apresentadas em julho à comunidade de físicos, num congresso sobre raios cósmicos na Índia. “Daqui a dois anos, quando o observatório estiver totalmente pronto, vamos ter uma quantidade de dados sete vezes maior que hoje”, comenta Vitor de Souza, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), um dos pesquisadores brasileiros que participam do projeto internacional. “Nossa margem de erro será bem menor e podere-

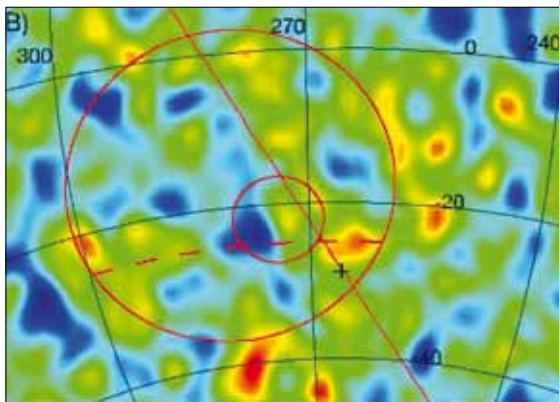
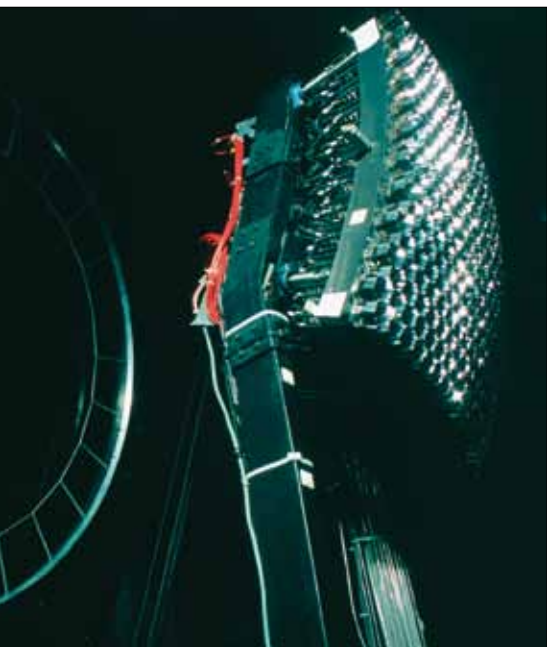
mos responder as questões que dizem respeito à natureza dessas partículas.”

Uma das indagações que mais intrigam os físicos é a polêmica sobre a existência (ou não) de fontes pontuais de raios cósmicos, objetos siderais, como um buraco negro, que emanariam enormes quantidades de partículas energizadas. Quando se registra sistematicamente numa determinada região do céu raios com muito mais energia do que em outras partes do firmamento, essa medida pode indicar que naquela direção do Cosmos, a milhões de anos-luz de distância, existe um corpo celeste emitindo as partículas. Por ora, o Auger ainda não detectou nenhuma fonte pontual. Aparentemente, os raios cósmicos captados pelo experimento em Malargüe vêm de todas as direções do Universo, e não de pontos específicos. Essa percepção, no entanto, pode ser ilusória. A direção original das partículas pode ter sido alterada durante a viagem a caminho da Terra.

Projeto de US\$ 47 milhões, que envolve instituições de 18 países, o observatório nos Andes argentinos é o primeiro a juntar dois métodos de observação de raios cósmicos de alta energia: detectores de superfície, chamados tecnicamente de tanques Cerenkov, e de fluorescência, um tipo especial de telescópio. Assim que estiver concluído, o empreendimento, no qual o Brasil por meio da FAPESP e do Ministério da Ciência e

Tecnologia investiu cerca de R\$ 2,5 milhões, vai contar com 1.600 tanques, espalhados por uma área de 3 mil quilômetros quadrados, e 24 telescópios abrigados em quatro prédios. Hoje, 700 detectores de superfície e 18 de fluorescência estão funcionando. Tudo para tentar entender a natureza dos raios cósmicos, fenômeno cuja compreensão pode alargar o conhecimento sobre a constituição da matéria e a formação do Universo. “Nenhum experimento futuro com essas partículas poderá ser menor ou igual ao Auger”, comenta o físico Carlos Escobar, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), supervisor da equipe brasileira no empreendimento. “Para se justificar, terá de ser maior.”

•



Detector de fluorescência do experimento montado nas cercanias dos Andes argentinos e mapa dos arredores do centro de nossa galáxia, com fluxos de raios cósmicos mais quentes em vermelho e mais frios em azul: primeiros resultados animadores

O grande ímã da Via Láctea

Força gravitacional de enorme estrutura situada a 500 milhões de anos-luz puxa nossa galáxia em sua direção

MARCOS PIVETTA | EDIÇÃO 118 - DEZEMBRO DE 2005

No início de 1986, um grupo de astrônomos radicados nos Estados Unidos e Inglaterra, autodenominado os Sete Samurais, mostrou que a Via Láctea e outras galáxias vizinhas se moviam mais rapidamente do que a velocidade estimada de expansão do Universo. Uma anomalia cosmológica parecia arrastá-las 400 quilômetros por segundo acima do esperado em direção às constelações de Hidra e Centauro. A explicação para tal aceleração inesperada deveria ser a presença de uma quantidade colossal de massa não-identificada nessa região do Universo, que funcionaria como um ímã gravitacional para a nossa e outras galáxias adjacentes. Como um Grande Atrator, termo cunhado pelos cientistas para designar o fenômeno.

Desde então, muitos astrofísicos tentaram (e ainda tentam) localizar a origem da perturbação, sem chegar a uma resposta definitiva. Num artigo a ser publicado ainda este ano na revista científica europeia *Astronomy and Astrophysics*, uma equipe internacional de pesquisadores, com a participação de um brasileiro, afirma ter identificado a estrutura que responde por metade do efeito Grande Atrator. Seria o supercluster Shapley, um megaagrupamento de galáxias distante um pouco menos de 500 milhões de anos-luz de nós (um ano-luz equivale à distância percorrida pela luz em um ano, cerca de 9,5 trilhões de quilômetros).

Descoberto na década de 1930 pelo astrônomo norte-americano Harlow Shapley, esse supercluster, composto por 44 clusters (agrupamentos) menores, cada um com centenas ou milhares de galáxias, se situa ao norte da constelação de Centauro e é visível apenas do hemisfério Sul terrestre, sempre com o auxílio de telescópios. Seu formato é o de uma nuvem ovalada de galáxias. De seus clusters centrais emanam raios X, indício de que ali há gás a temperaturas superiores a 10 milhões de graus Celsius. Devido às suas gigantescas proporções, Shapley é considerado por alguns astrofísicos como a maior estrutura localizada no chamado Universo local, que engloba tudo que existe a uma distância de uns 500 milhões de anos-luz da Terra. “Ele é cerca de 40 vezes maior que o grupo local de galáxias”, compara Laerte Sodré, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP), um dos autores do trabalho. O grupo local, do qual fazem parte a Via Láctea, Andrômeda e outras três dezenas de galáxias, mede aproximadamente 3 milhões de anos-luz.

O supercluster Shapley apresenta números impressionantes. A começar por seu comprimento, que se estende por 120 milhões de anos-luz. Sua densidade também é quase inimaginável: se fosse uma bola, seu volume seria equivalente ao de uma esfera com raio de 80 milhões de anos-luz. Sua massa, de acordo com os cálculos do estudo, é aproximadamente 5 x 1.016 vezes maior que a do Sol. Os astrofísicos não sabem quantas galáxias existem em toda essa estrutura, mas conhecem a velocidade de 5.701 delas. Enfim, o supercluster é uma estrutura descomunal, muito rara no Cosmos, cuja força gravitacional arrastaria em sua direção nossa galáxia e suas vizinhas. “Falta agora descobrir uma quantidade de matéria idêntica a Shapley, na mesma direção do Cosmos, para explicarmos o movimento particular de nossa galáxia”, afirma o astrofísico Dominique Proust, do Observatório de Paris, principal autor do novo estudo sobre a natureza do Grande Atrator, que também inclui pesquisadores chilenos, argentinos e australianos.

Uma das dificuldades dessa linha de pesquisa é obter dados confiáveis sobre a massa contida num supercluster. Sem esse tipo de informação, fica difícil estimar a ordem de grandeza do campo gravitacional que pode emergir dessa megaestrutura. Em busca da possível fonte do Grande Atrator, a equipe multinacional de astrofísicos primeiramente calculou, ou consultou os registros disponíveis, a velocidade de recessão de 8.632 galáxias situadas na direção das constelações de Hidra e Centauro, a região do Cosmos para a qual a Via Láctea está sendo puxada.

A maioria dessas galáxias pertence ao supercluster Shapley. Outras são de áreas vizinhas, como o supercluster Hidra-Centauro, ou de clusters menores. A velocidade de recessão registra o ritmo com que um objeto se distancia de seu observador. Em 1929, o astrofísico norte-americano Edwin Hubble – o primeiro homem a mostrar que o Universo estava em expansão e não era estático – estabeleceu a lei cosmológica de que, quanto mais longe se encontrava uma galáxia da Via Láctea, mais rapidamente ela se afastava de nós. Em outras palavras, quanto mais distante estiver uma galáxia, maior é a sua velocidade de recessão. E ter em mãos esse tipo de registro, além de dados sobre a luminosidade das estrelas e galáxias, ajuda a abastecer os modelos usados pelos astrofísicos para estimar a densidade de objetos e formações celestes de grande porte.

Se a proposta do novo estudo estiver correta, pelo menos metade do Grande Atrator está localizada a uma distância do grupo local de galáxias bem

O assunto não está resolvido, mas nosso estudo indica que o Shapley dá uma contribuição importante para o Grande Atrator

maior do que apontavam estimativas anteriores. A maioria dos trabalhos defende a idéia de que essa anomalia gravitacional é provocada por estruturas cósmicas mais próximas da Terra, situadas entre 150 milhões e 250 milhões de anos-luz. Antes e na direção de Shapley há um outro megaagrupamento de galáxias e clusters de galáxias, o supercluster Hidra-Centauro, distante aproximadamente uns 200 milhões de anos-luz. Certos pesquisadores acreditam que a matéria reponsável pelo efeito Grande Atrator se encontra em algum ponto desse supercluster, que é o mais próximo da Via Láctea. “Certamente, é possível que o supercluster Shapley forneça uma parte significativa do Grande Atrator, mas as evidências que vi até agora sugerem que uns dois terços do efeito total vêm de regiões mais próximas”, diz o astrofísico inglês Donald Lynden-Bell, da Universidade de Cambridge, um dos Sete Samurais que descobriram essa perturbação gravitacional.

A equipe liderada por Dominique Proust, do Observatório de Paris, como era de esperar, não concorda com a visão do britânico. “O supercluster Hidra-Centauro está situado em frente ao Shapley, mas ele não poderia produzir o campo gravitacional necessário para justificar o deslocamento do grupo local de galáxias em sua direção”, pondera o astrofísico francês. “Esse movimento deve ser associado a uma estrutura com muito mais massa, o Shapley.” Laerte Sodré bate na mesma tecla. “O assunto não está resolvido, mas nosso estudo indica que o Shapley dá uma contribuição importante para o Grande Atrator”, afirma o pesquisador do IAG/USP. Na verdade, o artigo da *Astronomy and Astrophysics* sustenta a tese de que esse supercluster é muito maior do que se imaginava – portanto capaz de originar campos gravitacionais ainda mais fortes – e possui “pontes” que o ligam ao supercluster Hidra-Centauro, situado mais próximo da Via Láctea.

Dinâmica do Universo

Determinar a natureza do Grande Atrator é, sem dúvida, importante para a compreensão das estruturas celestiais que alteram os movimentos da Via Láctea, galáxia no interior da qual, em meio a centenas de bilhões de estrelas, estão o Sol, a Terra e os demais planetas do sistema solar. Mas a relevância desse campo de estudos tem repercussões ainda mais fundamentais: pode ajudar a entender melhor as variáveis que atuam sobre a dinâmica do Universo, que, segundo a teoria mais aceita no meio científico, está se expandindo desde o Big Bang, a hipotética explosão primordial que teria criado o Cosmos há 13,7 bilhões de anos. Hoje há evidências de que a distribuição de matéria no Universo não é uniforme.

Algumas regiões do espaço são aparentemente grandes vazios, sem matéria visível, enquanto outras apresentam enormes concentrações de estrelas e galáxias, dando origem a megaestruturas cósmicas, como os superclusters. Mesmo no interior dessas gigantes formações cósmicas a presença de matéria não é igual em todos os seus setores. Em outras palavras, não é fácil ter uma noção clara da densidade de todo o Universo ou mesmo de algumas de suas zonas. “Os modelos cosmológicos

dependem muito desse tipo de dado”, afirma Proust, que, além de astrofísico, e, apesar do sobrenome literário, é músico (toca órgão na igreja de Notre-Dame da Assunção em Meudon, nos arredores de Paris, e já gravou CDs com a obra de autores como o britânico William Herschel, astrônomo e compositor que viveu entre 1738 e 1822) . “Uma das questões atuais é descobrir por que parece faltar matéria no Universo.”

A região do Cosmos que seria a fonte de metade do Grande Atrator não é exceção a essa regra. A parte visível de Shapley parece ser apenas a ponta do supercluster, acreditam os cientistas. No aparente vazio que existe entre seus milhares de galáxias deve haver muita matéria escura, um misterioso tipo de partícula que aparentemente não emite nem absorve luz. “Há mais ou menos sete vezes mais matéria escura que visível em Shapley”, estima Sodré. A existência desse tipo de matéria, aceita pela maioria dos astrofísicos, só pode ser inferida pela influência de seu campo gravitacional sobre corpos vizinhos.

Se, por exemplo, o movimento de uma galáxia ou uma estrela é afetado em uma proporção não compatível com a massa visível dos objetos cósmicos em suas redondezas, essa perturbação costuma ser explicada pela presença, nessa região do espaço, de partículas invisíveis às formas diretas de observação cósmica. Até o final da década passada, cogitava-se que mais de 90% do Universo era composto por matéria escura. Desde então, com a descoberta da ainda mais intrigante energia escura, uma força que funcionaria como um contraponto à gravidade, afastando, em vez de atrair, a massa dos corpos celestes, a quantidade de matéria escura passou a ser calculada em cerca de 23% do total do Universo (a matéria visível responderia por meros 4% do Cosmos e a energia escura, por 73%). Se esse raciocínio estiver correto, Shapley, o coração do Grande Atrator, é possivelmente um dos pontos do Universo local com mais matéria e energia escuras.

Além das estrelas

Luz e ondas de choque aquecem nuvens que concentram matéria formada por prótons e nêutrons

RICARDO ZORZETTO | EDIÇÃO 126 - AGOSTO DE 2006

Ganha força, finalmente, uma idéia concebida há pouco mais de duas décadas por duas astrônomas – a brasileira Sueli Viegas e a italiana Marcella Contini – para explicar os fenômenos químicos e físicos observados nas entranhas de gigantescas nuvens de gás e poeira que permeiam as galáxias e concentram a maior parte da matéria bariônica do Universo, formada por prótons, nêutrons e elétrons. As evidências mais recentes de que Sueli e Marcella estão certas no que diz respeito ao comportamento da matéria nessas regiões obscuras do cosmos vêm da observação de um tipo peculiar de galáxia: as galáxias com núcleo ativo, assim conhecidas por concentrarem quase todo o seu brilho numa região central pequena, o núcleo.

Em colaboração com o astrônomo Alberto Rodríguez Ardilla, do Laboratório Nacional de Astrofísica, em Minas Gerais, Sueli e Marcella analisaram a estrutura da nuvem de gás e poeira da galáxia com núcleo ativo Markarian 766, considerada relativamente próxima em termos cosmológicos: está a 150 milhões de anos-luz da Via Láctea – para se ter uma idéia dessa distância, a luz detectada hoje pelos astrônomos partiu dessa galáxia há 150 milhões de anos. Descoberta pelo astrônomo armênio Benik Markarian na década de 1960, essa galáxia apresenta uma anatomia semelhante à da Via Láctea, onde está o Sistema Solar: tem uma região central em forma de globo muito luminosa, envolta por um fino disco de estrelas. No coração dessas galáxias um poderoso buraco negro, com uma massa milhões de vezes maior que a do Sol, engole a matéria ao redor e a transforma em energia, em parte regurgitada de volta ao espaço na forma de luz. Não muito longe do monstro devorador de matéria, um anel espesso de gás e poeira abriga estrelas recém-nascidas, que alimentam o interminável ciclo de vida e morte estelar.

Sueli e Marcella conseguiram reconstituir o perfil completo da luz emitida pela região central da Markarian 766 – ou apenas Mrk 766 – a partir de dados obtidos pelo telescópio espacial Hubble e por Rodríguez, usando o telescópio do Observatório de Mauna Kea, no Havaí. Semelhante ao traçado de altos e baixos de um eletrocardiograma, esse perfil registra a quantidade de luz emitida pela galáxia e a nuvem que a envolve em diferentes faixas do espectro eletromagnético, das menos energéticas como as ondas de rádio às de energia mais alta como os raios X. “É uma espécie de assinatura de cores que permite saber a composição química da galáxia e da nuvem de gás e poeira”, explica Sueli, que no final de 2005 encerrou uma carreira de 30 anos como astrônoma no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (USP) e hoje vive nos Estados Unidos com o atual marido – o físico Gary Steigman, da Universidade Estadual de Ohio –, dedicando-se à divulgação científica.

No espectro de luz da Mrk 766 estavam as evidências de que Sueli e Marcella tanto buscavam para comprovar a explicação que haviam proposto bem antes para os fenômenos físicos observados nas nuvens extragalácticas de gás e poeira. Formadas essencialmente por gases de elementos químicos leves como o hidrogênio, composto apenas por um próton e um elétron, além de elementos mais pesados, como carbono e oxigênio, essas nuvens impedem que a luz do núcleo dessas galáxias chegue à Terra, assim como o nevoeiro de uma manhã fria atrapalha a visão de um motorista na estrada. Mas o bloqueio da luz não é tudo o que ocorre ali. Os corpúsculos de luz (fótons) do núcleo da galáxia transferem parte de sua energia para o gás e as partículas de poeira, aquecendo a nuvem – com a energia extra, os átomos de hidrogênio, silício e carbono, entre outros, tornam-se eletricamente carregados (íons) e emitem a luz detectada por telescópios no espaço e em Terra. Em geral astrônomos e astrofísicos atribuem a energia acumulada por essas nuvens apenas a esse fenômeno de transferência de energia chamado fotoionização. Sueli e Marcella, no entanto, pensam diferente.

“A energia transferida à nuvem apenas pela fotoionização pode ser de dezenas a centenas de vezes menor do que a que observamos”, afirma Sueli. “Algo mais fornece energia para essas nuvens atingirem temperaturas de alguns milhões de graus”. Há pelo menos 20 anos Sueli e Marcella, da Universidade de Tel-Aviv, em Israel, têm uma boa idéia do que pode ser esse algo mais. A astrônoma brasileira já desconfiava que a fotoionização fosse insuficiente para gerar toda a energia das nuvens extragalácticas quando Marcella, especialista em um fenômeno chamado choque, a procurou no início da década de 1980.

Juntas desenvolveram um programa de computador que simula as condições das nuvens de gás e poeira chamado SUMA – soma, em italiano, e também as iniciais de Sueli e Marcella -, que adiciona à fotoionização o efeito das ondas de choque. Numa época em que não existiam computadores pessoais e muito menos laptops, tiveram de se virar com o que havia de mais avançado na USP: um computador Burroughs, programado por meio de cartões de papel perfurados. “O SUMA era um programa tão extenso que tínhamos de colocá-lo em funcionamento apenas nos finais de semana, caso contrário a universidade pararia”, lembra Sueli. Descrito em um artigo publicado em 1984 na *Astronomy and Astrophysics*, o SUMA funciona hoje até mesmo nos computadores mais simples, desses que se usam para acessar a internet.

Como imaginaram que esses dois efeitos estivessem associados? Nada muito complicado. Sabiam que, em certo grau, a luz do núcleo dessas galáxias contribuía para aquecer a nuvem de gás e poeira. Também sabiam que a nuvem não é homogênea – e sim um aglomerado de nuvens menores que se deslocam em um meio muito menos denso. “Essas características indicavam que a chance de ocorrer ondas de choque nessas regiões é muito grande”, afirma Sueli. Só não imaginavam que a velocidade de deslocamento dessas nuvens fosse tão alta: no caso da galáxia Mrk 766, as nuvens se movem a velocidades entre 100 quilômetros por segundo e 500 quilômetros por segundo, como atestam Sueli, Marcella e Rodríguez em artigo da *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* de dezembro de 2005, uma das mais importantes revistas da área. “Na região da nuvem mais próxima do núcleo da Mrk 766 predomina o efeito da fotoionização, enquanto na mais distante o principal efeito é causado pelo choque”, explica Sueli. Conhecer de modo mais preciso a energia total dessas nuvens é essencial para se calcularem propriedades físicas como temperatura, densidade e composição química do gás dessas regiões – dados que permitem estimar a evolução química das galáxias e, em última instância, do próprio Universo.

A comprovação de que o choque e a fotoionização atuam em conjunto não se restringe ao caso da Mrk 766. Sueli, Marcella e Rodríguez notaram resultados semelhantes ao analisar outra galáxia com núcleo ativo, a Ark 564. Quem mais se aproximou desses resultados foi a equipe do astrônomo Michael Dopita, da Austrália, que criou um programa que só leva em conta o efeito do choque, mas deixa de lado o da fotoionização. Apesar de haver contestações à interpretação das duas astrônomas para os fenômenos observados nessas nuvens, Sueli segue confiante: “Com o aumento do número de observações mais precisas dessa região central das galáxias, a aceitação de nossa interpretação fica mais e mais próxima”.

O PROJETO

Evolução e atividades de galáxias

MODALIDADE

Projeto Temático

COORDENADOR

Sueli Viegas – USP

INVESTIMENTO

R\$ 2.247.008,35 (FAPESP)

A ousadia de desafiar Einstein

Astrônomos brasileiros propõem outra forma de explicar a expansão do Universo

RICARDO ZORZETTO | EDIÇÃO 127 - SETEMBRO DE 2006

Quem olha para o céu estrelado raramente imagina que os bilhões de estrelas e galáxias, incluindo as que não podem ser vistas, estejam se afastando umas das outras a velocidades cada vez mais altas. Elas apenas parecem condenadas a permanecer onde estão por causa da tremenda distância que as separa. Não foi fácil provar o contrário. Só no início do século passado o astrônomo norte-americano Edwin Hubble comprovou que outras galáxias estavam se distanciando da Via Láctea, onde estamos. Há seis anos outros astrônomos ajustaram essa visão e constataram que as galáxias estavam se distanciando a velocidades crescentes. Era um claro sinal de que o Universo todo se expande mais e mais rapidamente, como um bolo crescendo com excesso de fermento. Acreditava-se que essa expansão acelerada pudesse durar para sempre. Mas um grupo de astrônomos brasileiros propõe agora um cenário em que o destino do Universo pode ser bem diferente.

Se estiverem corretas as previsões de um grupo de São Paulo, do Rio de Janeiro e do

O Cosmos continuará se expandindo indefinidamente, mas de modo desacelerado

Rio Grande do Norte, a atual fase de expansão acelerada, iniciada há 7 bilhões de anos, só deverá durar mais 6,5 bilhões de anos. “O Cosmos continuará se expandindo indefinidamente, mas de modo desacelerado”, afirma José Ademir Sales de Lima, professor da Universidade de São Paulo (USP) e um dos autores de um modelo matemático apresentado em 25 de agosto da *Physical Review Letters*. Desse trabalho, participaram Jailson Alcaniz e Fábio Carvalho, do Observatório Nacional, e Raimundo Silva Júnior, da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

Uma possível alteração nos rumos do Universo em nada deve mudar o cotidiano da maioria das pessoas por uma razão simples: a vida na Terra e o próprio planeta devem desaparecer muito antes, em 5 bilhões de anos, quando o Sol explodir. Mas a nova teoria tranqüiliza físicos e astrônomos preocupados com a perspectiva de um Universo em expansão eternamente acelerada. De acordo com a Teoria da Relatividade Geral, formulada por Albert Einstein, em 15 bilhões de anos poderia surgir uma fronteira no extremo do Universo a partir da qual nada se pode observar. Embora o Cosmos seja infinito, a luz originada além dessa fronteira – uma espécie de bolha gigantesca envolvendo bilhões e bilhões de galáxias – jamais alcançaria o sistema solar. O brilho de uma estrela além desse limite teórico do Universo levaria um tempo infinito para chegar à Terra, já que a distância aumentaria sempre a velocidades crescentes enquanto a luz continuaria viajando a constantes 300 mil quilômetros por segundo.

“Nesse estágio o Universo passaria a se comportar como um buraco negro às avessas”, diz Lima. Essa bolha impediria a entrada de qualquer coisa vinda de fora, ao passo que um buraco negro absorve toda a matéria ao seu redor, até mesmo a luz.

A dificuldade de predizer os fenômenos além dessa fronteira perturbava em especial os físicos da Teoria de Cordas, que busca unir as forças fundamentais da natureza para explicar todos os fenômenos físicos, do comportamento de partículas atômicas à formação de galáxias. “Esse limite impediria a reconstrução de uma história completa do Cosmos”, comenta Lima, astrônomo potiguar que por 15 anos se dedicou à cosmologia na Universidade Federal do Rio Grande do Norte antes de se transferir para a USP em 2003.

O problema da expansão acelerada, claro, não está no Universo, mas nos modelos teóricos que o descrevem. Segundo uma das abordagens mais aceitas, o Universo estaria em expansão acelerada em resposta a uma força repulsiva associada a uma forma desconhecida de energia, a energia escura. Correspondente a 70% da energia do Cosmos, a energia escura contrabalançaria a gravidade, uma

força essencialmente atrativa. Numa época em que ainda não se falava em aceleração do Universo, Einstein adaptou as equações da Relatividade, acrescentando um valor fixo chamado constante cosmológica, para que o Universo permanecesse estático e não entrasse em colapso sob a ação da gravidade. Mais tarde os físicos começaram a tratar a constante cosmológica como se fosse a própria energia escura.

O quinto elemento

Lima, Silva, Alcaniz e Carvalho sugerem que a origem da força que faz as galáxias se afastarem cada vez mais rapidamente pode ser outra: uma substância que o físico Paul Steinhardt chamou de quintessência, alusão ao elemento imponderável que os filósofos gregos acreditavam ser um dos componentes essenciais do Cosmos, além da terra, da água, do fogo e do ar. Os físicos também a chamam de campo escalar primordial. “As propriedades físicas do campo escalar não são homogêneas e variam em função do tempo, diferentemente daquelas da constante cosmológica”, afirma Alcaniz, “e, como consequência, o campo escalar pode desacelerar o Universo”.

Os pesquisadores brasileiros chegaram a esse modelo de evolução do Universo acrescentando um termo a uma equação formulada em 1988 pelos físicos Philip Peebles, da Universidade de Princeton, e Bharat Ratra, da Universidade Estadual de Kansas. A partir daí, calcularam que em 6,5 bilhões de anos o Universo deve passar a se expandir infinitamente de forma desacelerada. Não será a primeira vez. Desde o Big Bang, a hipotética explosão que originou o Cosmos, o Universo alternou períodos de expansão acelerada com outros de expansão desacelerada. O trabalho não acabou. “Temos agora de provar que o modelo está correto e haverá, de fato, uma desaceleração”, diz Lima, que analisa com sua equipe dados da explosão de estrelas supernovas em busca de evidências que confirmem suas previsões. Em paralelo, a publicação do artigo na *Physical Review Letters* permitirá a outros físicos apreciarem ou criticarem essa nova proposta sobre o futuro do Universo.

Poeira de estrelas

Distribuição de elementos químicos revela detalhes sobre a estrutura e a evolução da Via Láctea

RICARDO ZORZETTO

Longe dos centros urbanos se pode ver nestes meses de primavera, pouco depois do pôr-do-sol, uma vasta faixa muito brilhante acima do horizonte. Esse rastro luminoso no céu é um trecho da Via Láctea, a galáxia que abriga o Sol e os planetas que giram ao seu redor. Com quase 200 bilhões de estrelas, ela tem a forma de um imenso polvo girando, como um redemoinho cósmico. Mas nem sempre foi assim. No início do Universo, 14 bilhões de anos atrás, a Via Láctea não passava de uma gigantesca nuvem de gás que pouco a pouco foi se adensando aqui e acolá e gerando estrelas e planetas. Mesmo com o avanço da astronomia no último século e a produção de telescópios cada vez mais potentes, ainda hoje astrônomos do mundo todo tentam compreender como essa transformação ocorreu e a Via Láctea alcançou sua forma atual, com três regiões bastante distintas: o bojo, zona central em forma de globo que concentra centenas de milhões de estrelas; um vasto disco achatado de estrelas, gás e poeira; e uma terceira estrutura esférica que envolve as outras duas, o halo, onde as estrelas são mais raras e o gás e a poeira escassos.

Na tentativa de compreender como se originaram esses alicerces da galáxia, a equipe do astrônomo Walter Junqueira Maciel, da Universidade de São Paulo (USP), há mais de uma década investiga a composição química de diferentes pontos da Via Láctea. Nos últimos anos o grupo chegou a conclusões que, obviamente, não explicam tudo, mas permitem ter uma idéia mais precisa de como essas três estruturas se formaram e evoluíram desde o seu surgimento – cerca de 1 bilhão de anos depois do Big Bang, a explosão que teria gerado o Universo.

Como se deu essa evolução? “Em princípio, de maneira bastante distinta para essas três regiões da galáxia”, diz Maciel. As esparsas estrelas que hoje povoam o halo se formaram muito rapidamente há cerca de 13 bilhões de anos, extinguindo quase todo o gás que havia no entorno da Via Láctea. Quase ao mesmo tempo o bojo começou a se estruturar. Centenas de vezes menor que o halo mas com densidade de gás muito mais elevada, o bojo possivelmente apresentou dois períodos de formação de estrelas: o primeiro com alguns milhões de anos de duração e o segundo, bem mais longo. Só alguns bilhões de anos mais tarde é que iniciou o aden-

samento de gás que daria origem ao disco, concluíram os pesquisadores a partir de observações da composição química da galáxia.

A razão por que os pesquisadores do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP decidiram medir a concentração e a variedade de diferentes elementos químicos é simples. Tudo o que existe no Cosmo e pode ser observado – os planetas, as estrelas, as nuvens de gás e poeira e também os seres vivos – é formado por diferentes combinações dos 116 elementos químicos que se conhecem e estão organizados na tabela periódica apresentada nas aulas de química do colégio. Esses elementos não surgiram todos ao mesmo tempo. Nos primeiros instantes após o Big Bang formaram-se os átomos de hidrogênio, o elemento químico mais abundante da natureza e também o mais simples, composto por uma partícula de carga positiva (próton) e uma de carga negativa (elétron). Essa explosão primordial também gerou parte do hélio, composto por dois prótons, dois elétrons e duas partículas sem carga elétrica (nêutrons), além de uma quantidade infinitamente pequena de lítio-7 (três prótons, quatro nêutrons e três elétrons). Os demais elementos químicos nasceram muito lentamente sobretudo por fusão nuclear, recombinação forçada de prótons que só ocorre a pressões e temperaturas elevadíssimas como as alcançadas no interior ou em explosões de estrelas.

Como nas outras galáxias, também na Via Láctea centenas de bilhões de estrelas funcionam como reatores nucleares que em suas entranhas transformam



VLJ/ESO

Longe de casa: galáxia espiral semelhante à Via Láctea, abrigo do Sistema Solar

74

átomos de hidrogênio e de hélio em elementos mais pesados. A consequência desse processo ininterrupto é o aumento progressivo da quantidade desses elementos na galáxia, produzindo matéria-prima para mais estrelas, planetas e a vida que alguns deles possam abrigar. Desse modo, sabendo a quantidade desses elementos mais pesados em diferentes pontos da galáxia e em momentos distintos de sua vida, é possível descobrir como a composição e a forma da Via Láctea evoluíram através dos tempos, uma vez que se conhece a velocidade em que nascem e morrem as estrelas.

Na saga de reconstruir o passado da Via Láctea, Maciel precisava, então, encontrar as fontes de elementos químicos pesados mais adequadas entre os 200 bilhões de estrelas da nossa galáxia, que no céu facilmente se confundem com as de galáxias próximas. Esses elementos químicos são abundantes nas nebulosas planetárias. De rara beleza, esses objetos, que podem assumir a forma de olho, de ampulheta ou de arraia, são o registro da agonia final de uma estrela que já transformou todo o

hidrogênio de seu núcleo em elementos químicos mais pesados.

Assim chamadas pelo astrônomo inglês William Herschel porque ao telescópio lembram o planeta Urano, as nebulosas planetárias nada têm a ver com planetas. São importantes porque guardam informações de um passado distante do Universo. Depois de queimar o seu estoque de hidrogênio por períodos que em geral variam de 1 bilhão a 10 bilhões de anos, estrelas como

o Sol incham rapidamente e lançam suas camadas mais externas para o meio interestelar, liberando uma nuvem de gás e poeira rica em carbono, nitrogênio e oxigênio. Geradas a partir de estrelas com massa semelhante ou um pouco superior à do Sol, as nebulosas planetárias exibem elementos produzidos pela estrela que as formou. Os demais elementos que lançam ao espaço foram produzidos pela geração anterior de estrelas, que viveram até 10 bilhões de anos antes. “Analisar a composição das nebulosas planetárias é olhar para o passado distante da galáxia, próximo ao início de sua formação”, diz o astrônomo gaúcho Roberto Dias da Costa, do IAG, que desde 1987 trabalha em parceria com Maciel.

Usando o telescópio de 1,60 metro do Laboratório Nacional de Astrofísica, em Brasópolis, Minas Gerais, e dados de catálogos, Maciel e o astrônomo Hélio Rocha Pinto iniciaram há dez anos a busca dessas fábricas de elementos químicos na vizinhança do Sistema Solar, localizado no disco da galáxia a pouco mais de meio caminho entre o centro e a extremidade. Mais recentemente, com o apoio de um telescópio do Observatório Europeu do Sul (ESO), no Chile, Maciel, Costa e os astrônomos Monica Uchida, André Escudero, Leonardo Lago e Cíntia Quireza expandiram essa procura para toda a região do disco da Via Láctea que pode ser observada do hemisfério Sul. De cerca de 2 mil nebulosas planetárias conhecidas na galáxia, conseguiram determinar com bastante precisão a concentração dos elementos químicos oxigênio, enxofre, neônio e argônio em 240 delas, espalhadas desde o bojo até quase a extremidade do disco.

Mas as concentrações ou abundâncias químicas reveladas pelas nebulosas referem-se a períodos que variam de 10 bilhões a 2 bilhões de anos atrás. Para saber como são hoje, a equipe do IAG comparou os dados das nebulosas planetárias com os de outras estruturas da galáxia chamadas regiões HII. “Do ponto de vista físico, as nebulosas planetárias e as regiões HII são muito parecidas, já que ambas são nuvens de gás aquecidas por estrelas”, conta Maciel. Mas as semelhanças acabam aí. De 20 a 40 vezes mais extensas que as nebulo-

O PROJETO

Nebulosas fotoionizadas, estrelas e evolução química de galáxias

MODALIDADE

Projeto Temático

COORDENADOR

WALTER JUNQUEIRA MACIEL - IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 95.194,57

sas planetárias, as regiões HII abrigam dezenas de estrelas em formação e mostram como é a composição química da galáxia nos últimos milhões de anos, tempo recente para os astrônomos. Analisadas em conjunto, as informações das nebulosas planetárias e das regiões HII revelam detalhes sobre a evolução química da galáxia, apresentados em uma série de artigos publicados nos últimos anos, vários deles na revista *Astronomy and Astrophysics*.

Avaliando a composição de quase 500 nebulosas planetárias do bojo – cerca de 100 observadas por eles e outras 400 por outros pesquisadores –, Escudero, Costa e Maciel constataram que nessa estrutura com diâmetro correspondente a um décimo da extensão da galáxia surgiram famílias de estrelas muito mais variadas do que se imaginava, com idades bastante distintas – daquelas com massas dezenas de vezes mais elevadas que a do Sol e ciclos de vida de uns poucos milhões de anos a estrelas de massa muito pequena e evolução lenta, quase contemporâneas ao início do Universo.

Hábil em informática, Escudero desenvolveu um programa de computador capaz de simular como essa região da galáxia teria se desenvolvido. O cenário que correspondeu melhor às concentrações de elementos químicos observadas é o que indica o desenvolvimento do bojo em dois estágios principais. Inicialmente houve um colapso rápido de gás que em poucos milhões de anos originou um número grande de estrelas com massa elevada. Calcula-se que parte dessas estrelas evoluiu rapidamente e explodiu, lançando elementos químicos pesados em direção ao halo e ao disco da galáxia, ainda em estágio embrionário. Entre 1 bilhão e 3 bilhões de anos mais tarde, parte desse material ejetado é atraída de volta ao bojo, alimentando a formação mais lenta de uma nova geração de estrelas, mais enriquecida em elementos químicos que a geração anterior, sugerem os pesquisadores em artigo a ser publicado em breve na revista *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*.

“Mas esse modelo do bojo não permite saber quanto gás foi ejetado do bojo nem quanto durou essa fase. Isso só poderá ser definido com dados mais precisos e modelos mais realistas”,

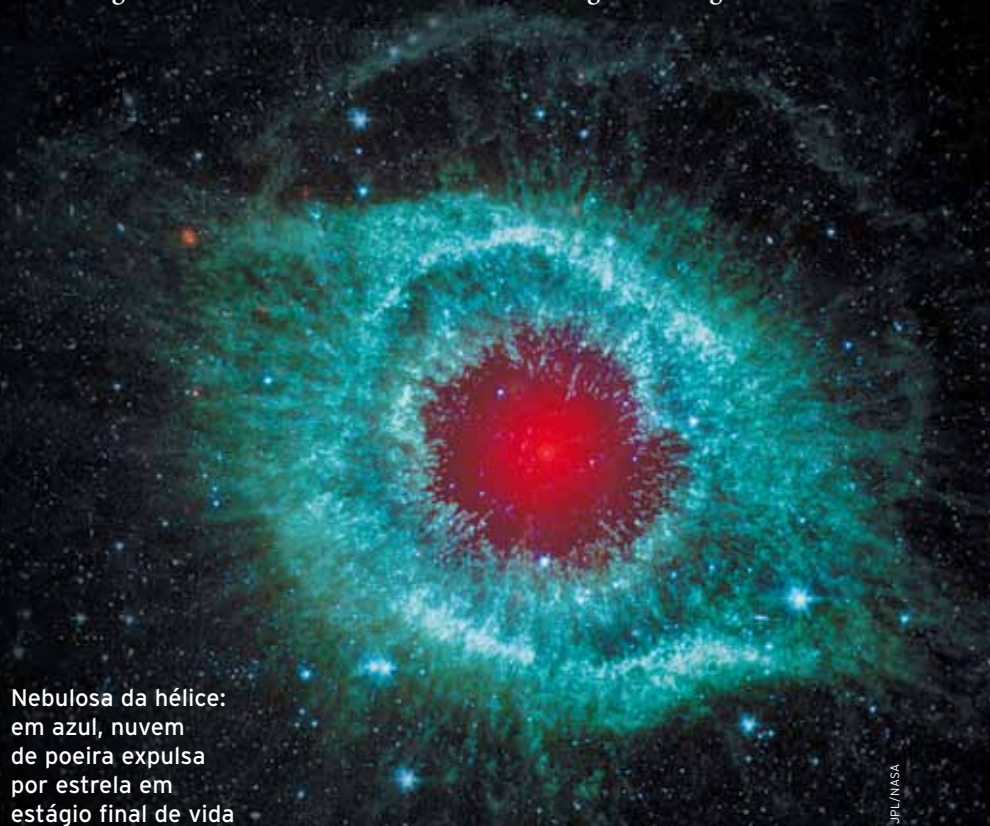
escreve Escudero. Maciel espera conseguir dados mais precisos assim que o aparelho usado para identificar os elementos químicos (espectrógrafo) do telescópio Soar, no Chile, entre em funcionamento.

No disco, o desenvolvimento parece ter sido bem mais lento, mas contínuo. Monica, Costa e Maciel compararam a concentração de elementos químicos pesados de nebulosas planetárias com tempos de evolução variados – cerca de 10 bilhões, 6 bilhões e 1 bilhão de anos. Verificaram que a concentração dos elementos mais pesados diminui progressivamente à medida que se vai do centro para a periferia da galáxia. Também a taxa em que ocorre essa redução mudou com o tempo: foi mais intensa no passado do que mais recentemente. A partir do que se passou com essa população de estrelas, os astrônomos imaginam que o disco foi se formando do centro rumo à periferia. Essa idéia é compatível com a observação das nebulosas. As mais antigas se concentram mais próximas ao centro, enquanto as mais jovens são encontradas perto do bojo, mas também muito distantes dali. “Nessa região mais distante do centro

galáctico, a formação de estrelas deve ter sido mais lenta”, comenta Costa.

Esses dados corroboram as previsões feitas por dois modelos matemáticos de evolução da Via Láctea – um desenvolvido por astrônomos franceses, que atribui à evolução química da galáxia um peso maior para determinar sua estrutura atual, e outro criado por italianos, segundo o qual a Via Láctea alcançou a forma que tem em decorrência da movimentação de estrelas, planetas e nuvens de gás e poeira. Todos estão de acordo, mas apenas até a vizinhança do Sistema Solar. A principal dúvida é como o disco se comporta a partir daí, em direção à extremidade da galáxia. “Precisamos de informação sobre mais nebulosas planetárias dessa região, que é mais facilmente observada do hemisfério Norte”, comenta Costa. Enquanto esses dados não se tornam disponíveis, Monica Uchida tentará compreender o que se passa nessa região da galáxia usando outra estratégia. Em 2008 ela passará uma temporada com a equipe de Francesca Matteucci, em Trieste, Itália, estudando a composição química de galáxias espirais semelhantes à Via Láctea. Tentará, assim, descobrir a partir da observação de outras galáxias como a Via Láctea atingiu seu estágio atual. ■

Nebulosa da hélice:
em azul, nuvem
de poeira expulsa
por estrela em
estágio final de vida





O céu é o limite

Uma astrofísica brasileira radicada nos Estados Unidos foi um dos ganhadores do Presidential Early Career Award for Scientists and Engineers (Pecase), um disputado prêmio concedido a jovens pesquisadores nos Estados Unidos. A paulistana Merav Opher, de 38 anos, esteve na Casa Branca, sede do governo norte-americano, no dia 19 de dezembro, para receber o prêmio das mãos do presidente George W. Bush, ao lado de outros 11 pesquisadores de vários campos do conhecimento. Trata-se de um prêmio bastante competitivo, criado em 1996 pelo então presidente Bill Clinton para reconhecer e estimular cientistas e engenheiros com potencial de liderança em fronteiras do conhecimento científico. “Foi uma grande surpresa porque pouquíssimos pesquisadores de física espacial já ganharam esse prêmio”, disse Merav, que entre 1993 e 1998 fez doutorado em astronomia na Universidade de São Paulo (USP) como bolsista da FAPESP. A conquista também chama a atenção porque não há muitas mulheres trabalhando com esta área da física.

A especialidade de Merav Opher é o cálculo do fluxo de partículas e dos campos magnéticos nas fronteiras do Sistema Solar. Professora assistente da Universidade George Mason, instituição pública no estado da Virgínia, ela se dedicou nos últimos anos a estudar a heliopausa, uma espécie de bolha que contém o Sol e os planetas do Sistema Solar e funciona como um escudo que impede a invasão de raios cósmicos galácticos (*ver Pesquisa FAPESP nº 137*). Milhões de quilômetros além de Plutão, a heliopausa choca-se contra uma gigantesca nuvem interestelar de gás e poeira em movimento que cruza seu caminho. Como resultado, esse choque faz a bolha assumir uma forma distorcida, semelhante à dos cometas que viajam contra o vento solar, com um nariz, à frente, seguido de uma longa cauda.

Em parceria com Edward Stone, do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), Merav

Brasileira ganha prêmio concedido pelo presidente dos EUA a futuros líderes de pesquisa

Opher publicou em maio de 2007 na revista *Science* um mapa do nariz da heliopausa, analisando como o meio interestelar a distorce. No trabalho, ela usou modelos computacionais para explicar dados captados há quatro anos pelas sondas Voyager, lançadas nos anos 1970 pela Nasa e que hoje se encontram além da heliopausa. O modelo explicou que a bolha e a zona de choque eram amassadas pelo campo magnético fora do Sistema Solar. E que o hemisfério sul é puxado para dentro em relação ao hemisfério norte, graças a este campo magnético. Foi o estudo da *Science* que chamou a atenção da comunidade científica ao trabalho da astrofísica. No ano passado, ela já recebera uma bolsa no valor de US\$ 950 mil da National Science Foundation (NSF), destinada a estimular a ligação da pesquisa e da educação sob a liderança de jovens pesquisadores. Desse programa saem os indicados para o Presidencial Award.

A pesquisadora se interessou pela física espacial por influência do pai, o físico Reuven Opher, que é professor do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), da USP. E não foi a única da família a trilhar carreira acadêmica: sua irmã gêmea, Michal Lipson, hoje é professora da Universidade Cornell, nos Estados Unidos. Suas linhas de pesquisa envolvem as áreas de fotônica e nanotecnologia.

Orientada pelo pai - Merav cursou o ensino fundamental e médio numa tradicional escola religiosa judaica de São Paulo, o Colégio Iavne. “Embora

meus pais não sigam a religião, me colocaram numa escola religiosa para que eu aprendesse bem o hebraico”, afirma. Graduiu-se em física na USP entre 1989 e 1992 e, logo em seguida, fez doutorado no IAG, orientada pelo próprio pai. Chegou a iniciar um pós-doutorado, mas concluiu que era a hora de deixar o país. “A formação que recebi no Brasil foi excelente, mas senti que precisava de mais contato com a observação e os Estados Unidos são o melhor lugar para fazer isso”, afirma.

Foi ao Laboratório de Propulsão a Jato da agência espacial norte-americana (Nasa) e procurou a física Paulett Liewer, que é referência



Merav: fronteiras do Sistema Solar

no estudo das interações dos ventos solares no meio interestelar. “Ela me contratou na hora”, recorda-se. Entre 2001 e 2004, fez pós-doutorado no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), ao qual o laboratório da Nasa é vinculado. Já interessada em usar ferramentas computacionais para explicar dados de observação, foi pedir ajuda a Tamas Gombosi, professor da Universidade de Michigan, que desenvolvera um programa capaz de simular em três dimensões a interação entre campos magnéticos e partículas eletricamente carregadas. O esforço lhe custou várias viagens da Califórnia, na costa sudoeste, até Michigan, na região dos Grandes Lagos, próxima ao Canadá, para se encontrar com Gombosi. Quando já havia aprendido a lidar com os códigos do programa, pediu para trabalhar com Edward Stone, do Caltech, que é o chefe da missão Voyager.

Merav Opher não perdeu o contato com a comunidade acadêmica do Brasil. Na Universidade George Mason já trabalhou com duas bolsistas brasileiras, Aline Vidotto, do IAG-USP, e Cristiane Loesch de Souza Costa, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). “Foram colaborações muito boas. A formação dos brasileiros não deixa nada a desejar à de outros países e não entendo por que os nossos pesquisadores às vezes se sentem intimidados quando vêm trabalhar nos Estados Unidos”, afirma a astrofísica, que se diz aberta a receber novos bolsistas do país. ■

FABRÍCIO MARQUES



O céu é aqui

Em 2009, um contingente estimado em dez milhões de pessoas no mundo inteiro – sendo um milhão só no Brasil – será convidado a olhar para o céu. Não com aquela afobação de quem quer saber se vai chover ou se o dia está mais poluído do que o habitual, mas sim para refletir sobre as coisas que existem entre a Terra e o espaço sideral – e que inspiraram gerações de seres humanos a empurrar as fronteiras do conhecimento. Trata-se da programação do Ano Internacional da Astronomia (AIA 2009), proclamado pela Organização das Nações Unidas (ONU), que reunirá nos próximos meses milhares de eventos em 136 países.

O megaevento foi aberto oficialmente no dia 15 de janeiro numa cerimônia na sede da Unesco em Paris. A extensa programação internacional da abertura incluiu debates sobre o papel da astronomia na sociedade, apresentações sobre os principais momentos da astronomia moderna, observações em tempo real e videoconferências ao vivo envolvendo alguns dos principais observatórios do planeta – como a Estação do Polo Sul e o VLT (Very Large Telescope), localizado em Cerro Paranal, no Chile.

No Brasil, o megaevento foi inaugurado numa solenidade no Planetário do Rio de Janeiro, que abriu suas portas gratuitamente durante quatro dias. A Escola de Samba Unidos da Tijuca, que levará à avenida o enredo “Uma odisséia sobre o espaço”, apresentou-se na cerimônia de abertura. Já a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) colocou telescópios em diversas praças da cidade, tanto na região central como na periferia. Outro destaque foi a reabertura do Observatório Astronômico do Museu de História Natural e Jardim Botânico da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), desativado desde a década de 1980. A programação vai espalhar-se por todos os estados brasileiros. Haverá observação do céu por meio de telescópios em locais públicos, palestras, exposições e *shows* de planetários, entre outros. Distribuída por 210 pontos do país, a organização está a cargo de três mil voluntários, entre astrônomos amadores, pesquisadores, professores de escolas e estudantes. A programação do evento está disponível no endereço eletrônico www.astronomia2009.org.br.

Um milhão de brasileiros deve participar da programação de eventos do Ano Internacional da Astronomia

Iniciativa da União Astronômica Mundial, o AIA 2009 comemora os quatro séculos desde as primeiras observações telescópicas do céu feitas por Galileu Galilei (1564-1642), em que foram vistos as manchas solares, as montanhas da Lua, quatro dos satélites de Júpiter, os anéis de Saturno e as estrelas da Via Láctea. Para o coordenador nacional do evento, Augusto Damineli, o Ano Internacional é uma oportunidade de aproximar a população da astronomia e reforçar a mentalidade e a educação científica dos jovens. “A astronomia tem um apelo maior entre os leigos do que outros campos do conhecimento. A observação do céu poderá ajudar a difundir a importância dos métodos da ciência, estimulando a formação de cidadãos com pensamento crítico”, diz Damineli, que é professor do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP).

Ele também espera que o AIA 2009 ajude a eliminar a defasagem de meio milênio na forma como a sociedade vê a astronomia. “A ideia cristalizada durante milênios de que o céu e a Terra são coisas separadas está superada há 500 anos. Mas as pessoas ainda mantêm uma imagem mental de que o céu é uma quintessência inacessível e a Terra é um vale de lágrimas, talvez porque a gravidade esteja sempre nos puxando para baixo. Para ajudar a confundir,

a palavra céu tem dois significados: um científico e outro religioso. Na verdade, o céu é aqui. Todos os átomos que nos rodeiam vieram de tipos diferentes de estrelas e surgiram em épocas diferentes do Universo. O grande desafio é levar o público a restabelecer essas ligações cósmicas, compreendendo que nós estamos, de fato, no céu”, disse.

Fascínio - Para Damineli, o grande objetivo do evento é permitir que as novas gerações resgatem ou pelo menos percebam o fascínio pelos astros que moldou a vida dos seres humanos e propiciou seguidos saltos da ciência – a astronomia deu origem a campos inteiros da física e da matemática, por exemplo. Ele lembra que a compreensão dos ciclos climáticos do planeta, que deu regularidade à produção agrícola, e o domínio de técnicas de localização, que propiciou as grandes navegações, tornaram-se possíveis graças ao aprendizado com a observação dos astros.

O professor ressalta que a curiosidade intelectual foi o principal combustível dos precursores da astronomia, sem que houvesse uma lógica utilitarista a norteá-los. Ainda assim, o esforço para compreender o Cosmos teve um enorme impacto no cotidiano das pessoas. “A matemática ganhou o cálculo integral e diferencial quando Isaac Newton deduziu a força gravitacional da Lua. Nenhum engenheiro projetava pontes e edifícios sem recorrer a esse produto teórico da astronomia”, disse. Da mesma forma, a tecnologia que levou o homem à Lua estimulou a miniaturização dos computadores e as atividades de supervisão ambiental por satélites. Damineli menciona a espectroscopia – a análise da composição química dos astros – que tem hoje diversas aplicações. “O ato fundador de tudo isso se deu quando Newton colocou o prisma em um raio de luz e descobriu o espectro luminoso. De modo semelhante, a fotografia é herdeira do telescópio, quando se desejou registrar as imagens vistas através dele. Hoje é possível fotografar sem luz natural porque a sensibilidade fotográfica foi aperfeiçoada para atender ao uso dos astrônomos”, disse.

Em 2007, Damineli assumiu a coordenação brasileira do AIA 2009 e saiu em busca de parceiros. Conversou com professores, pesquisadores, res-

A observação
do céu pode
ajudar a difundir
os métodos
da ciência
e estimular
o pensamento
crítico
dos jovens

ponsáveis por planetários e museus de ciências, mas ficou especialmente surpreso com a adesão dos astrônomos amadores, que se dispuseram a emprestar equipamentos e a organizar eventos em locais públicos e escolas. “A proposta inicial era atingir algumas centenas de milhares de pessoas, mas os astrônomos amadores propuseram fazer com que um milhão de brasileiros vissem o que Galileu observou e garantiram que essa meta é possível”, diz Damineli. A princípio, o professor do IAG imaginava que pouco mais de 30 clubes de astrônomos amadores estariam ativos. O representante da Rede de Astronomia Observacional (REA), Tasso Napoleão, começou a cadastrá-los e constatou que 125 grupos queriam participar. “É um número equivalente ao dos grupos da Inglaterra ou da França. Eles foram fundamentais para montar a programação. São médicos, engenheiros e outros profissionais que gostam de observar o céu por curiosidade e têm um enorme prazer em fazer isso”, afirma o professor. “Eles são mais disponíveis para a população do que os pesquisadores”, diz.

A participação do governo brasileiro também foi importante. A diplomacia do país teve papel de destaque, ao lado de países como França e Itália, para

convencer primeiro a Unesco, braço das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura, e depois a ONU a proclamarem 2009 como Ano Internacional da Astronomia. “O então embaixador brasileiro na ONU, Ronaldo Sardenberg, que já foi ministro da Ciência e Tecnologia, percebeu a importância e engajou-se em superar resistências e angariar apoios de outros países”, diz Damineli. Segundo ele, alguns países, como a Inglaterra, costumam se opor sistematicamente à proclamação de anos internacionais temáticos, por acreditarem que eles não têm serventia. “Nossos representantes conseguiram convencer os outros países ao mostrar que, se o Ano Internacional não era importante para eles, era importante para a astronomia e para a divulgação da ciência”, afirma o professor do IAG.

Recentemente houve ajuda oficial também em dinheiro. Em outubro do ano passado, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) lançou um edital de R\$ 2 milhões para compra e manutenção de equipamentos, serviços, passagens e diárias. “O número de propostas superou bastante as expectativas e elas totalizaram pedidos de R\$ 16 milhões”, diz Damineli. Uma novidade no edital é que parte do dinheiro podia ser disputada por profissionais sem nível de doutorado, ainda que fosse exigida experiência em astronomia. Foi uma forma de atrair os astrônomos amadores e professores de escolas. O Ministério da Educação dispôs-se a comprar e distribuir em escolas 50 mil lunetas com tecnologia semelhante à usada por Galileu, mas dificuldades burocráticas ainda não viabilizaram a compra.

Uma preocupação de Damineli é evitar a dispersão dos grupos depois que o ano terminar. “Nosso desafio será criar uma rede permanente de divulgação científica”, diz o professor. Uma das ferramentas previstas para manter a rede funcionando será a criação de um endereço na internet, o Portal to the Universe, organizado pela União Astronômica Internacional, que reunirá uma enorme variedade de materiais em formato digital e servirá para manter a coesão da rede de participantes do Ano Internacional da Astronomia. ■

FABRÍCIO MARQUES

O buraco estava ao lado

Nova estratégia de análise de informações revela buraco negro fora do centro da galáxia M 94 | RICARDO ZORZETTO

Em meio à constelação dos Cães Caçadores, nesta época do ano visível no céu do hemisfério Norte após o início da noite, há uma galáxia espiral semelhante à Via Láctea que há décadas instiga a curiosidade de astrônomos e astrofísicos. Identificada pelo astrônomo francês Pierre Méchain em 1781 e catalogada sob o número 94 por seu mestre, Charles Messier, essa galáxia conhecida pela sigla M 94 se parece com a maioria das galáxias espirais. Distante apenas 15 milhões de anos-luz da Terra, ela abriga dezenas de bilhões de estrelas em uma região esférica central (o núcleo) e outras dezenas de bilhões em um disco achatado de gás e poeira. Ocupando uma área menor que a do Sistema Solar, a região mais central dessa galáxia emite um tipo de luz diferente da produzida pelas estrelas. Esse brilho concentrado em espaço tão restrito costuma indicar a presença de um gigantesco buraco negro, que sorve continuamente a matéria de estrelas e nuvens de gás e poeira ao redor. A luminosidade vem do movimento da matéria que está para ser absorvida: próximo ao buraco, ela espirala a velocidades tão elevadas que se transforma em energia e escapa para o espaço na forma de radiação eletromagnética – da mais tênue, como as ondas de rádio, à mais energética, como os raios gama, passando pela luz visível.

Nas últimas décadas diversos grupos de pesquisa do Brasil e do exterior sondaram as entranhas dessa galáxia, também conhecida pela sigla NGC 4736, com os mais potentes telescópios

disponíveis, sem, no entanto, localizar o buraco negro que esperavam encontrar. Alguns astrofísicos chegaram a propor outros mecanismos para explicar a origem de tanta luminosidade, como a colisão de ventos ultrarrápidos ou a transferência de energia das estrelas para as nuvens de gás (fotoionização). Mas as evidências recentes continuavam a indicar que os buracos negros devem estar na origem da maior parte das galáxias, servindo como uma espécie de suporte sobre o qual se estruturam.

Depois de quase três anos analisando imagens obtidas com um dos maiores telescópios ópticos em terra – o Gemini Norte, instalado nas montanhas de Mauna Kea, no Havaí, com um espelho de 8,1 metros de diâmetro –, o astrofísico brasileiro João Steiner finalmente obteve provas inequívocas de que a M 94 abriga de fato um buraco negro voraz, um dos mais próximos do Sistema Solar. Mas, para surpresa de todos, Steiner inclusive, ele não se encontra onde os pesquisadores acreditavam que deveria estar.

Com massa milhões de vezes superior à do Sol concentrada em um espaço reduzido, os buracos negros exercem uma atração gravitacional muito intensa sobre as estrelas mais próximas, e podem até mesmo consumir as que se aproximam demais. Virtualmente presas a eles pela gravidade, as estrelas vizinhas contribuem para atrair as mais distantes – e assim sucessivamente, como se os buracos negros fossem ímãs colossais que estruturam a galáxia. Por essa razão, imagina-se que sejam o centro das galáxias. Mas não foi





**M 94: galáxia
com buraco
negro atípico**

o que Steiner e sua equipe viram. Na M 94, o buraco negro não está no centro, mas um pouco deslocado (cerca de 10 anos-luz) para a periferia. “Era tão óbvio que ele deveria se encontrar no centro da galáxia que jamais se imaginou que estivesse em outro lugar”, comenta Steiner, professor do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP).

O achado do grupo de Steiner não se deve apenas ao poder de ampliação de imagens do Gemini, telescópio que ele próprio ajudou a construir e no qual os pesquisadores brasileiros dispõem de aproximadamente 20 noites de observação por ano. Resulta principalmente de uma estratégia de análise de informações aprimorada pelo astrofísico da USP e sua equipe nos últimos dois anos e apresentada em artigo publicado este mês na *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Em colaboração com os astrofísicos Roberto Menezes e Tiago Ricci, da USP, e Alexandre Oliveira, da Universidade do Vale do Paraíba, no interior de São Paulo, Steiner aprimorou um método estatístico adotado em outras áreas da ciência (a análise de componentes principais) e o utilizou para filtrar a imensa quantidade de dados gerada por uma poderosa técnica de observação astronômica recente, a espectrografia de campo integral.

Na espectrografia de campo integral, a imagem de uma área do céu

equivalente à da ponta de um lápis vista à distância de um metro é focalizada sobre um conjunto de lentes microscópicas conectadas por fibra óptica a um poderoso espectrógrafo. Esse aparelho decompõe a luz nos diferentes níveis de energia do espectro eletromagnético.

Filtro de luz - No caso do Gemini Norte, a luz captada de uma estrela ou galáxia converge para 500 microlentes, que, unidas, cabem na superfície de uma moeda de dez centavos. Cada microlente recebe a luz de um ponto distinto dessa imagem e a separa em 6 mil níveis de energia, que indicam a quantidade e a variedade de elementos químicos encontrados naquela região

> OS PROJETOS

1. *Diferenciação de modelos para Liners*
2. *Análise de componentes principais de uma amostra de galáxias Seyferts próximas*

MODALIDADE

1. e 2. Bolsa de Mestrado

ORIENTADOR

JOÃO STEINER - IAG/USP

BOLSISTAS

1. Roberto Bertoldo Menezes
2. Tiago Vecchi Ricci

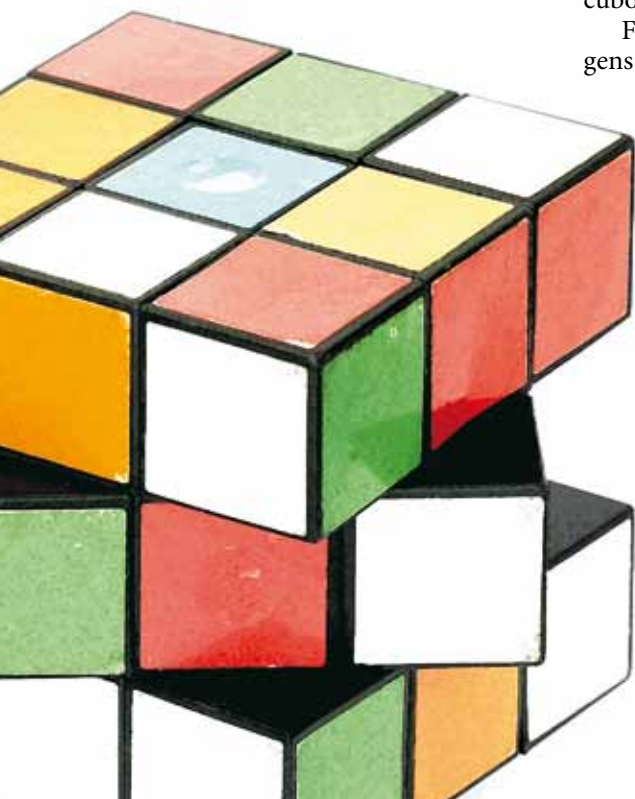
do espaço. Identificar a composição química de uma determinada região é importante porque, a rigor, tudo o que existe no Universo, das estrelas aos seres vivos, é formado por diferentes combinações de 116 elementos químicos originados no interior das estrelas.

A espectrografia de campo integral, no entanto, gera um volume absurdamente grande de dados, milhões de vezes maior do que os obtidos com as estratégias de investigação dos céus que fizeram a astronomia avançar no século passado. O problema então deixou de ser *como obter* informação e passou a ser *o que fazer* com tanta informação – uma espectrografia de campo integral do Gemini produz 30 milhões de dados para cada imagem. “Não se conseguia interpretar toda essa informação e a maior parte era simplesmente descartada”, explica Steiner.

Até a década de 1990 o conhecimento sobre os planetas, as estrelas e as galáxias progrediu impulsionado por duas técnicas usadas separadamente: a observação por meio de telescópios com poder de ampliação centenas de vezes superior ao dos usados por Galileu no início do século XVII e pela análise da luz dos objetos celestes por meio da espectrografia, desenvolvida pelo físico alemão Robert Bunsen em fins do século XIX. Equipamentos mais sofisticados permitiram unir as duas técnicas, inicialmente fornecendo aos pesquisadores informações sobre o espectro da luz – e conseqüentemente da composição química – de um único ponto de cada imagem.

Um astrofísico que, além da forma, desejasse conhecer minimamente a composição química e a população de estrelas de uma galáxia como a M 94 precisava fazer medições do espectro em diferentes pontos dela. Era um processo lento e trabalhoso como o enfrentado por quem tenta conhecer a temperatura da água de um lago mergulhando um termômetro em vários pontos. Com o aprimoramento da espectrografia, tornou-se possível obter, de uma única vez, os dados de energia

Parecia tão óbvio que o buraco negro deveria se encontrar no centro da galáxia que jamais se pensaria em procurá-lo em outro lugar



ao longo de toda uma linha imaginária que corta o objeto observado e, agora, com a espectrografia de campo integral, de toda a sua superfície.

As informações obtidas por essa forma de espectrografia geralmente são representadas por um gráfico tridimensional com eixos perpendiculares entre si que tem a forma de cubo, razão por que é conhecido entre os especialistas como cubo de dados. É um gráfico semelhante àquele em que se representam as três grandezas espaciais (largura, altura e profundidade) da sala de uma casa. Nos cubos de dados construídos com informações de imagens de astronomia, porém, apenas duas das dimensões são espaciais (altura e largura), uma vez que as imagens obtidas pelos telescópios são bidimensionais. A terceira dimensão, que corresponderia à profundidade, costuma ser representada pelos níveis de energia (espectro). “O problema com os cubos de dados gerados com essa técnica tem sido avaliar a quantidade absurda de informações de modo que se consiga extrair algum significado físico delas”, comenta o astrofísico Keith Taylor, do Observatório Anglo-australiano, em Epping, Austrália, um dos pioneiros no uso de cubos de dados em astronomia.

Foi em 2007 que Steiner, com imagens do Gemini em mãos e inconformado com a falta de uma ferramenta matemática que permitisse utilizar a montanha de dados que havia conseguido, saiu em busca de uma solução. Testou diversas alternativas e notou que a análise de componentes principais poderia ser útil. “Essa ferramenta estatística procura associações entre os dados nem sempre claramente relacionados e permite eliminar as redundâncias, comuns nas espectrografias de campo integral de uma galáxia”, explica o astrofísico Roberto Cid Fernandes, da Universidade Federal de Santa Catarina

(UFSC). “Por eliminar o desnecessário, a análise de componentes principais torna possível usar o mínimo de dados para representar o fenômeno com o máximo de realismo possível”, completa Fernandes, outro colaborador de Steiner, que anteriormente havia procurado sem sucesso o buraco negro da galáxia M 94 e proposto uma explicação alternativa para o brilho da região central da galáxia.

Truque matemático - “Na análise de dados distribuídos em várias dimensões, essa ferramenta estatística localiza primeiro as que concentram o maior número de informações e em seguida as que reúnem o segundo maior grupo, e assim sucessivamente”, diz o astrofísico Laerte Sodré Júnior, da USP, especialista na aplicação da análise de componentes principais à astronomia. É como se o levantamento da coleção de livros de uma casa indicasse que ela pode ser mais bem representada em primeiro lugar pelos exemplares da biblioteca, em segundo lugar pelos livros da estante da sala e em terceiro pela pequena pilha ao lado da cama. Em resumo, uma estratégia de reorganizar os dados por quantidade e relevância.

Só a ferramenta estatística, porém, não resolve as dificuldades impostas pela análise do cubo de dados. Steiner, Menezes, Ricci e Oliveira desenvolveram, então, um procedimento matemático que realça as características atenuadas das imagens astronômicas. “Esse aprimoramento resultou em uma forma poderosa de extrair informação do cubo de dados”, conta Steiner. Ele aposta até mesmo que essa abordagem ultrapasse a astrofísica e se torne útil em outras áreas da ciência, que, apesar de distintas, muitas vezes estruturam a informação de modo semelhante.

Segundo Steiner, as dez primeiras imagens são suficientes para recuperar 99,9% da informação contida no cubo de dados, que, no caso da galáxia M 94, contém 6 mil imagens. Essa abordagem também ajuda a selecionar e reagrupar os dados que interessam, removendo o

que não interessa, como se fossem sucessivos filtros. Para chegar ao buraco negro da galáxia M 94, o grupo de Steiner eliminou o primeiro grupo de dados, que representavam todas as estrelas, e em seguida a informação sobre o gás e a poeira. Só então conseguiram observá-lo. “As evidências de que esse buraco negro de fato existe nunca foram tão convincentes”, comenta Fernandes, da UFSC. “Como o sinal que ele emite é muito fraco, os métodos tradicionais não conseguiriam encontrá-lo.”

Essa estratégia é um tanto diferente da adotada habitualmente na astrofísica e em outras áreas da ciência. Em geral, o pesquisador formula uma pergunta e usa os métodos disponíveis à procura da resposta. Com essa abordagem, diz Steiner, a resposta é dada sem que a pergunta seja feita. “O complicado é saber interpretar os resultados que a técnica mostra”, acrescenta Fernandes. Eles nem perguntaram se havia um buraco negro na M 94. Simplesmente o encontraram, escondido onde ninguém pensaria em procurar, de modo semelhante ao que observaram em outra galáxia, a M 58 ou NGC 4579, localizada na constelação de Virgem.

Em um trabalho de arqueologia estelar recém-concluído, Steiner e Fernandes propõem uma explicação para o buraco negro da M 94 se encontrar onde não deveria estar: formada há 12 bilhões de anos, na infância do Universo, a M 94 colidiu 2 bilhões de anos atrás com uma galáxia menor. O encontro de proporções cósmicas deslocou o buraco negro de sua posição original. “Quando ele atingir o equilíbrio”, diz Steiner, “retornará para o lugar em que deveria estar, no centro da galáxia, ainda que isso leve 1 milhão de anos.” ■

> Artigo científico

STEINER, J. E. *et al.* PCA Tomography: how to extract information from datacubes. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. v. 370. mai. 2009.

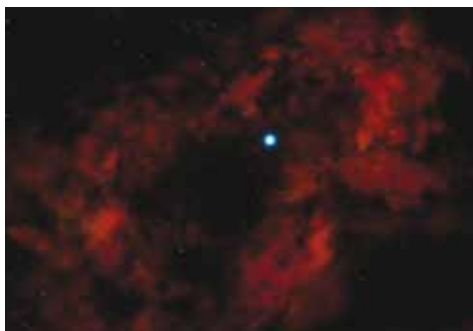
Valsa em descompasso

Eta Carinae, a maior, mais brilhante e mais estudada estrela da Via Láctea, com exceção do Sol, voltou a surpreender os astrônomos no início do ano. Observada desde dezembro por dez telescópios em terra e quatro no espaço, ela atravessava um dos seus típicos apagões – redução de brilho comparável à perda de luminosidade de milhares de estrelas como o Sol que dura três meses e se repete precisamente a cada cinco anos e meio, como determinou em 1993 o astrofísico paranaense Augusto Damineli, da Universidade de São Paulo (USP). Como quem recupera as forças depois de uma gripe, Eta Carinae deveria recobrar sua luminosidade lenta e progressivamente a partir do final de março, até alcançar vigor total meses mais tarde. Dessa vez, porém, não foi assim. Na última semana de fevereiro, um mês antes do esperado, a estrela começou a sair da escuridão parcial em que se encontrava e voltou a brilhar.

Habitado à inconstância de Eta Carinae, que estuda há 20 anos, Damineli acompanhou passo a passo o esmaecimento e o retorno da estrela por meio de um dos mais modernos telescópios terrestres – o Southern Observatory for Astrophysical Research (Soar), erguido nos Andes chilenos com financiamento brasileiro e norte-americano. E não se indignou ao ver que parte de sua previsão não se concretizou. “Eta Carinae sempre foi uma estrela com muitas peculiaridades”, diz o professor do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP, que chegou a comemorar o inesperado. “Com o retorno antecipado do brilho, astrônomos do mundo todo começaram a pedir tempo nos principais telescópios do planeta para observá-la pelos próximos seis meses.”

Tempo de observação é tudo aquilo por que Damineli sempre batalhou desde que começou a estudar a Eta Carinae em 1989. Mesmo com um telescópio de pro-

ILUSTRAÇÃO LYNETTE COOK/OBSERVATÓRIO GEMINI



Em lenta dança cósmica, a estrela Eta Carinae recupera o brilho antes do esperado e surpreende os observadores

porções modestas – com espelho de 1,6 metro de diâmetro instalado no Pico dos Dias, em Minas Gerais, e chamado de *telescópio da selva* por seus concorrentes –, Damineli registrou o apagão de 1992 e estabeleceu o período em que deveria se repetir. Também propôs o modelo que até o momento melhor explica a perda de brilho cíclica da estrela – e o tornou reconhecido internacionalmente. Distante 7.500 anos-luz do Sistema Solar, Eta Carinae não seria uma estrela solitária, mas uma dupla de estrelas. A maior tem cerca de 90 vezes a massa do Sol e é mais fria – a temperatura em sua superfície não passa de 15 mil graus. Com um terço da massa da estrela principal, a menor é mais quente (sua atmosfera atinge quase 50 mil graus) e dez vezes menos brilhante que a maior. “Esse modelo trouxe alguma regularidade ao comportamento de Eta Carinae, que não é uma estrela tão exótica quanto se imaginava”, explica Damineli.

Com movimentos que lembram o de um casal dançando valsa, as estrelas se afastam e se aproximam ao longo do período de cinco anos e meio. No momento de máxima proximidade – o chamado periastro –, a estrela maior encobre parte

da menor. Mas esse eclipse não explica completamente a perda de brilho detectada pelos telescópios, que veem sumir progressivamente diferentes faixas do espectro eletromagnético (rádio, infravermelho e raios X). Se o eclipse fosse o único mecanismo por trás do apagão, todas essas linhas de energia deveriam desaparecer ao mesmo tempo. Simulações tridimensionais do comportamento das estrelas apresentadas no ano passado pela equipe de Atsuo Okazaki, da Universidade Tokkai-Gakuen, no Japão, e de Michael Corcoran, da agência espacial norte-americana (Nasa), indicam que o apagão é causado por perturbações no vento de partículas que emanam das estrelas e colidem a velocidades altíssimas, emitindo raios X. No período em que estão mais próximas, a menor é engolfada pelo vento da maior, que é mais denso e oculta o brilho da estrela secundária.

Segundo Damineli, a redução em um mês no apagão deste ano acrescentou uma complexidade a um cenário já complicado. “As estrelas se comportavam como duas bailarinas até o momento de embolação, quando fizeram uma firula e adiantaram um pouco o passo ao se afastar”, comenta o astrofísico da

USP. Ele próprio já tem uma possível explicação para o descompasso de Eta Carinae. Por ter massa muito elevada – hoje correspondente a 90 vezes a massa do Sol, mas que já foi de 120 massas solares antes da explosão que sofreu em 1843 –, a estrela maior é menos densa e seu diâmetro pode oscilar, como um balão de festa que infla um pouco para em seguida murchar. “Nos períodos em que se encontra mais compacta, ela perde menos matéria e seus ventos se tornam mais rarefeitos”, explica Damineli. Se a aproximação ocorre nessa fase, a luz da estrela secundária pode escapar mais facilmente dos ventos que a abraçam e, assim, ser observada da Terra.

Toda essa instabilidade não são excentricidades de uma estrela acostuada a chamar a atenção. Medidas da massa que a estrela principal já lançou ao espaço indicam que seu fim está próximo e, com 2,5 milhões de anos, Eta Carinae seria uma velha dama com os dias contados. Se estiverem corretas as previsões de Nathan Smith, astrofísico da Universidade da Califórnia e estudioso de Eta Carinae, a qualquer momento a estrela maior pode sofrer uma superexplosão muito mais intensa do que a de 1843, capaz de reduzi-la a poeira e encerrar de vez o balé espacial. Nessa explosão, 90% de sua massa seria pulverizada e o restante se compactaria originando um buraco negro, emissor de raios gama, a radiação mais intensa que existe. “Seria um evento fantástico de se observar”, afirma Damineli. A morte de Eta Carinae permitirá compreender um estágio a mais do ciclo de vida das supergigantes azuis, estrelas hoje raras que dominaram o Universo primitivo, entre 10 bilhões e 7 bilhões de anos atrás. ■



Explosão de 1843: Eta Carinae lança ao espaço o equivalente à massa de 30 estrelas como o Sol





ASTRONOMIA

Terra inóspita

O menor planeta já descoberto fora do Sistema Solar tem superfície rochosa e temperaturas extremas

86

Os astrônomos não têm mais dúvida. Existem outros planetas com superfície rochosa e dimensões muito próximas às da Terra fora do Sistema Solar. As evidências mais robustas confirmando essa antiga suspeita foram divulgadas no dia 16 de setembro por uma equipe internacional de pesquisadores da qual participa o astrônomo brasileiro Sylvio Ferraz Mello, da Universidade de São Paulo (USP). Sob a coordenação do astrônomo suíço Didier Queloz, do Observatório de Genebra, o grupo determinou a massa de um planeta que acompanha uma das estrelas da constelação do Unicórnio, na vizinhança do Sistema Solar.

Distante 500 anos-luz, esse planeta é o menor já encontrado fora do Sistema Solar. Seu diâmetro é 1,8 vez maior que o da Terra e ele tem cinco vezes mais massa, o que o coloca na categoria denominada pelos astrônomos de superterras. Descoberto em fevereiro deste ano pelo Corot, satélite franco-europeu-brasileiro lançado em 2006 com o objetivo de identificar planetas ao redor de outras estrelas (exoplanetas) e determinar seus tamanhos, o novo planeta recebeu o nome de Corot-7b, descrito em artigo a ser publicado na *Astronomy and Astrophysics*. Sua massa foi calculada a partir de medições feitas por um equipamento de altíssima resolução acoplado a um dos telescópios do Observatório Europeu do Sul (ESO) instalados no deserto de Atacama, no norte do Chile.

Conhecendo a massa e o diâmetro do Corot-7b, os astrônomos constataram que sua densidade é muito próxima à da Terra: 5,5 gramas por centímetro cúbico – o que significa que um cubo com 1 centímetro de lado com a mesma composição da Terra conteria uma massa de 5,5 gramas. Com base nessas informações, os astrônomos concluíram que o planeta da constelação do Unicórnio só pode ser rochoso e apresentar superfície sólida, assim como Mercúrio, Vênus, Terra e Marte, os mais próximos do Sol. Planetas do porte de Júpiter, que tem 11 vezes o diâmetro terrestre e é o maior do Sistema Solar, em geral são gasosos.

“É a primeira vez que se determina a densidade de um planeta de fora do Sistema Solar”, comemora o astrofísico Eduardo Janot Pacheco, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP, coordenador da participação brasileira no Corot. Em abril deste ano a equipe do astrônomo suíço Michel Mayor, que identificou o primeiro exoplaneta em 1995 e já descobriu outros 150, havia anunciado a observação do planeta Gliese 581e, com o dobro da massa terrestre. Mas há incertezas sobre sua estrutura. “Não se conhecem o diâmetro nem a densidade do Gliese 581e, que pode ter superfície líquida”, diz Pacheco.

O interesse em detectar planetas rochosos ao redor de outros sóis se deve à expectativa de que possam abrigar vida. “Estamos procurando planetas em que a vida possa se desenvolver”, conta o coordenador do grupo brasileiro.

Apesar de sua estrutura rochosa, o Corot-7b deve ser muito inóspito e distinto da Terra. Ele se encontra bem mais próximo a sua estrela do que Mercúrio, o primeiro planeta de nosso sistema, está do Sol. Além de provavelmente ser mais quente e seco, apresenta temperaturas

► Artigo científico

QUELOZ, D. *et al.* The CoRoT-7 planetary system: two orbiting super-Earths. *Astronomy and Astrophysics*. 2009. no prelo.

ESO/L.CALCADA

> OS PROJETOS

1. *Centro de análise temporal Corot (Cat-Corot)*
2. *Estudo para a caracterização da função de espalhamento do sistema óptico do canal de aquisição de imagens destinado à investigação de exoplanetas do satélite Corot*

MODALIDADE

- 1 e 2. Linha Regular de Auxílio a Projeto de Pesquisa

COORDENADORES

1. EDUARDO JANOT PACHECO - IAG-USP
2. VANDERLEI CUNHA PARRO - IMT

INVESTIMENTO

1. R\$ 37.608,43 (FAPESP)
2. R\$ 30.799,15 (FAPESP)

extremas. Como gira ao redor de si à mesma velocidade em que completa uma volta em torno de seu sol, o Corot-7b expõe à luz apenas uma de suas faces, na qual a temperatura chega próximo aos 1.000 graus Celsius. Já na

face escura as temperaturas são sempre negativas. “De modo geral, esse planeta não é propício à vida”, diz Pacheco. “Mas ele deve apresentar regiões com temperaturas intermediárias que poderiam permitir a sobrevivência de microrganismos extremófilos, adaptados a condições em que outros não sobrevivem”, aposta o pesquisador do IAG, que acredita que haja vida em outros pontos do Universo – não necessariamente igual às formas conhecidas. “Há bilhões e bilhões de estrelas. Seria muito pretensioso achar que só existe vida aqui”, afirma.

Desde que Michel Mayor anunciou há 14 anos a descoberta do primeiro planeta extrassolar, orbitando a estrela Pégaso 51, outros 373 já foram identificados. Quase todos são gigantes gasosos, parecidos com Júpiter e Urano. Além do Corot-7b, há outros candidatos a planetas rochosos – entre eles, o Corot-7c, com massa oito vezes superior à da Terra e companheiro do 7b.

Uma das razões por que quase não se conhecem planetas rochosos é que é difícil observá-los. Mesmo o satélite Corot, desenvolvido para detectar a

sutil redução de luminosidade (eclipse) que os planetas causam ao passar à frente de suas estrelas, depende da sorte. É que em apenas 1% dos casos a órbita do planeta se encontra em um plano favorável à observação.

Em pouco mais de dois anos de atividade, o Corot analisou a luz de 60 mil estrelas e identificou ao menos outros cinco exoplanetas, além do Corot-7b e do 7c. “Há ainda uma dezena de candidatos sob análise”, comentou no início de setembro durante visita a São Paulo Michel Auvergne, astrônomo do Observatório de Paris e pesquisador principal do projeto Corot. Ele veio discutir os dados da missão com a equipe brasileira e trouxe uma boa notícia: o satélite, que seria desativado no início de 2010, permanecerá ativo mais três anos. E funcionando melhor. “Aprimoramos o programa que elimina os ruídos dos dados coletados”, afirma o engenheiro Vanderlei Cunha Parro, do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT). “Isso aumentará as chances de encontrar outros planetas.” ■

RICARDO ZORZETTO

Novo mundo: concepção artística do planeta Corot-7b, em vermelho, e sua estrela



O branco e o
prata: o elegante
prédio do Soar e
o vizinho Gemini
Sul, ao fundo

Rumo às estrelas

Instrumentos astronômicos feitos no Brasil equipam o telescópio Soar, nos Andes chilenos

RICARDO ZORZETTO, DE CERRO PACHÓN

O físico Antônio César de Oliveira mal viu a luz do dia na última semana de janeiro. Ele, o astrônomo Flávio Ribeiro e o engenheiro mecânico Fernando Santoro passaram cinco dias seguidos trabalhando em uma sala sem janelas no topo de uma montanha pedregosa e sem vegetação dos Andes chilenos. Deixavam o dormitório pela manhã, percorriam três quilômetros em uma estrada de terra estreita e poeirenta e só retornavam tarde da noite, quando um número incontável de estrelas já povoava o céu. Havia pouco tempo e muito a fazer. Com a ajuda de técnicos chilenos, eles conectavam o maior e mais complexo equipamento astronômico já feito no Brasil ao telescópio do Observatório Austral de Pesquisa Astrofísica (Soar), construído com financiamento brasileiro e norte-americano próximo à cidade de Vicuña, no norte do Chile.

Com cerca de 3 mil peças e pouco mais de meia tonelada, o equipamento que os brasileiros instalavam no final de janeiro é um espectrógrafo, aparelho que decompõe a luz nas diferentes cores (espectros) que a formam – algumas delas invisíveis ao olho humano, como o ultravioleta e o infravermelho. No interior do espectrógrafo, a luz de astros próximos ou distantes explode em uma sucessão de cores do arco-íris, mas em proporções que variam segundo a composição química do objeto observado.

O instrumento instalado no Soar, porém, não é um espectrógrafo qualquer. O aparelho que chegou ao prédio do observatório no Cerro Pachón em 10 de dezembro, depois de viajar quase 3,5 mil quilômetros por ar e terra desde as oficinas do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA) em Itajubá, Minas Gerais, é um espectrógrafo com inovações tecnológicas que o tornam único no mundo. Uma das

características que fazem do Espectrógrafo de Campo Integral do Soar (Sifs) um instrumento especial é sua capacidade de fracionar a imagem de um objeto celeste em 1.300 partes iguais e, a um só tempo, registrar o espectro de todas elas. Em alguns meses, quando estiver funcionando com todo o seu potencial, o Sifs permitirá, por exemplo, avaliar a composição química de 1.300 pontos de uma galáxia em uma única medição de poucos minutos, tarefa que até então exigia centenas de medições distintas.

“Para os astrônomos, isso é muita informação”, explicou o físico Clemens Gneiding em outubro passado, durante a etapa final de montagem do Sifs nos laboratórios do LNA, antes do embarque para o Chile. E não é só. Esse espectrógrafo foi projetado para ter um altíssimo poder de resolução espacial. “Ele pode distinguir objetos muito próximos no céu, separados por um segundo de arco [unidade de medida de ângulo]”, completou. Em termos mais concretos, isso corresponde ao tamanho de uma bola de futebol vista a 50 quilômetros de distância – algo absurdamente pequeno.

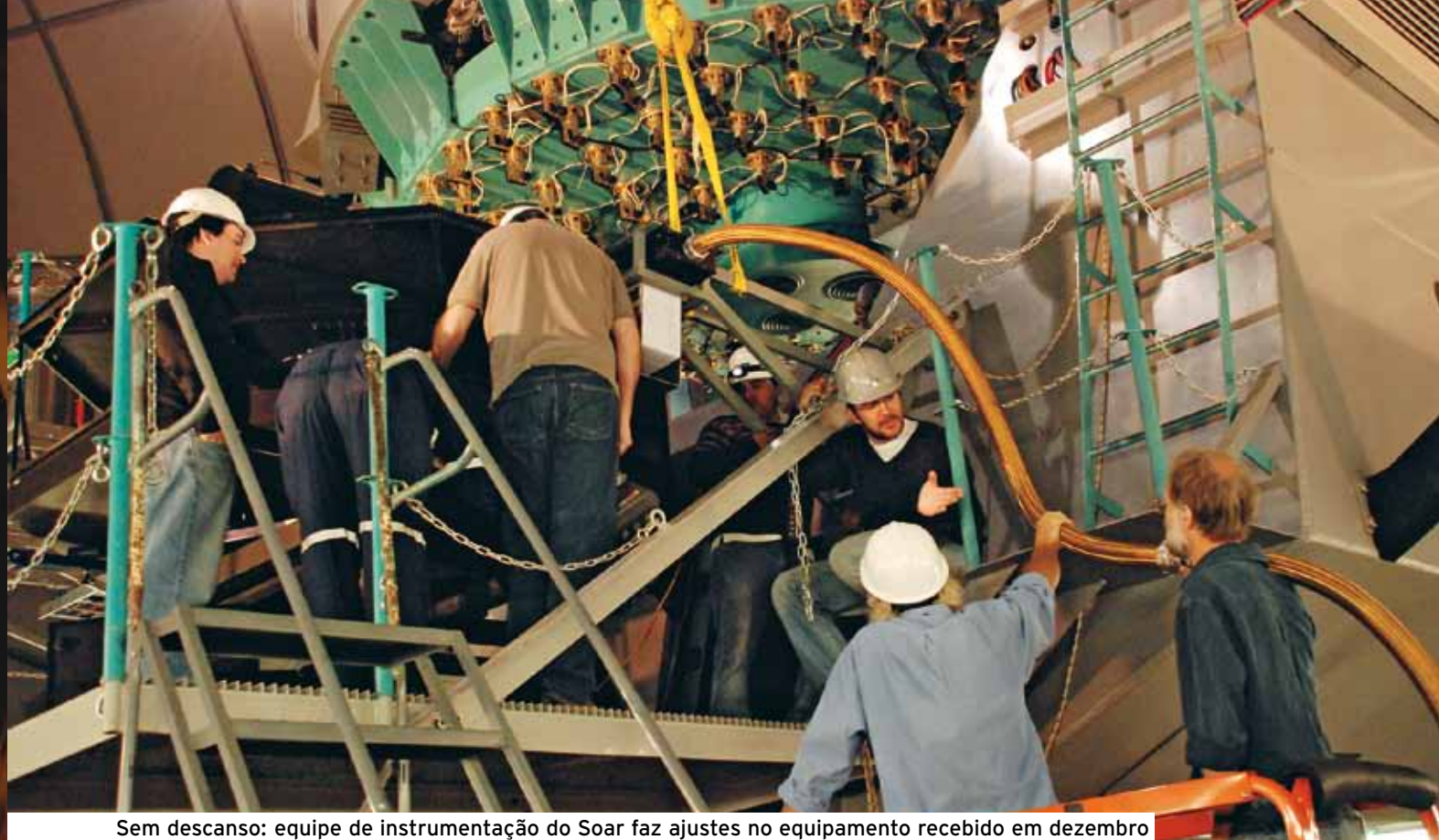
**Fios de luz:
1.300 fibras
conectam o
telescópio ao
espectrógrafo Sifs**

Na tarde de 28 de janeiro a equipe brasileira corria de um lado para o outro no prédio branco reluzente do Soar que pode ser visto ao longe por passageiros dos voos que pousam na região. Eles tentavam concluir a conexão do Sifs antes que a semana terminasse. “Uma semana é muito pouco tempo para completar a instalação e fazer os ajustes necessários”, afirmou Santoro, responsável pela parte mecânica do projeto.

“O mais complicado é instalar o cabo com as fibras ópticas que unem as duas partes do espectrógrafo”, comentou Oliveira, enquanto avaliava a melhor maneira de acomodar na base do telescópio o tubo flexível de oito centímetros de diâmetro e 14 metros de comprimento contendo as fibras de vidro superfinas – têm metade da

espessura de um fio de cabelo – que devem conduzir a luz do primeiro ao segundo módulo do instrumento. “Temos de ser cuidadosos porque essas fibras vão se mover alguns centímetros para acompanhar os movimentos do telescópio, mas não podem ficar tensionadas”, explicou o físico especialista em óptica, coordenador do Laboratório de Fibras Ópticas do LNA. Se forem tracionadas, as fibras podem romper e deixar cego o espectrógrafo de US\$ 1,8 milhão financiado pela FAPESP.

Com o Sifs em atividade, a luz coletada pelo espelho de 4,1 metros do Soar será focalizada no chamado módulo pré-óptico do espectrógrafo, uma caixa preta retangular um pouco maior que o gabinete de um computador, acoplada à base do telescópio. No interior desse módulo um conjunto de lentes amplifica de 10 a 20 vezes a intensidade da luz e a lança sobre 1.300 microlentes. Cada microlente, por sua vez, orienta a luz que recebe para uma das 1.300 fibras ópticas, que, como os fios de eletricidade de uma casa, a conduzem até o segundo e maior módulo do equipamento: o espectrógrafo de bancada, instalado dois metros abaixo, na torre



Sem descanso: equipe de instrumentação do Soar faz ajustes no equipamento recebido em dezembro

de sustentação do telescópio. Ali outras 18 lentes – algumas delas podem girar até 130 graus com a precisão de milésimos de milímetro – ora dispersam, ora alinham, ora fazem convergir os feixes luminosos até que alcancem o sensor onde serão registrados.

A escolha de fibras ópticas tão delicadas e finas foi uma aposta arriscada dos pesquisadores brasileiros. O núcleo das fibras, por onde de fato passa a luz, tem apenas 50 micrômetros (milésimos de milímetro) de espessura e, na época, diferentes grupos de pesquisa afirmavam que fibras com menos de 100 micrômetros causariam a perda de boa parte da luz que deveria chegar ao segundo módulo do espectroscópio. Baseando-se nos bons resultados de um equipamento construído na Austrália, a equipe que projetou o Sifs decidiu experimentar as fibras mais finas. Mas foi um risco bem calculado. Antes de empenhar tanto esforço e dinheiro no equipamento, eles construíram em parceria com os australianos uma versão menor do espectrógrafo, que há cerca de dois anos funciona – e muito bem, por sinal – no telescópio do Observa-

tório do Pico dos Dias, em Brasópolis, cidade mineira vizinha a Itajubá.

Motivos não faltavam para justificar o investimento na inovação – um deles, econômico. Quanto menor o diâmetro das fibras, mais próximas entre si elas podem ser alinhadas na entrada do segundo módulo do equipamento. Como consequência, também diminuem as dimensões das lentes e dos outros componentes ópticos, cujo preço aumenta proporcionalmente ao tamanho. “O uso de fibras com o dobro do diâmetro faria o espectrógrafo dobrar de tamanho”, conta o astrônomo Jacques Lépine, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), o primeiro coordenador do projeto que desenvolveu o Sifs em parceria com Gneiding, do LNA. No caso desse espectrógrafo, duplicar o tamanho do segundo módulo – um octógono de 70 centímetros de altura e 2,4 metros na sua maior dimensão – significaria deixá-lo com a altura de quase uma pessoa e a largura de um quarto amplo de apartamento.

Nos 15 metros que separam o foco do telescópio do sensor do espectrógrafo, a luz já tênue de estrelas, galáxias ou

> OS PROJETOS

1. Construção de dois espectrógrafos ópticos para o telescópio Soar - nº 1999/03744-1
2. Steles: espectrógrafo de alta resolução para o Soar - nº 2007/02933-3
3. Evolução e atividade de galáxias - nº 2000/06695-0
4. Nova física no espaço - formação e evolução de estruturas no Universo - nº 2006/56213-9

MODALIDADE

1. Auxílio Regular a Projeto de Pesquisa
- 2., 3. e 4. Projeto Temático

COORDENADORES

1. BEATRIZ LEONOR SILVEIRA BARBUY - IAG/USP
2. AUGUSTO DAMINELI NETO - IAG/USP
3. RONALDO EUSTÁQUIO DE SOUZA - IAG/USP
4. REUVEN OPHER - IAG/USP

INVESTIMENTO

1. R\$ 3.254.030,59 (FAPESP)
2. R\$ 1.373.456,33 (FAPESP)
3. R\$ 1.520.687,31 (FAPESP)
4. R\$ 1.926.187,91 (FAPESP)

planetas sofre uma série de desvios e reflexões e perde intensidade. E, quanto menos intensa, pior a definição do espectro produzido pelo equipamento. Os pesquisadores reduziram essa perda usando espelhos com maior capacidade reflexiva e lentes com tratamento antirreflexo, que evitam a perda de luz. Assim conseguiram garantir a chegada de 80% a 85% da luz captada pelo telescópio ao sensor do Sifs.

Planejado há pouco mais de uma década, o Sifs integra a primeira geração de equipamentos do Soar, que só estará completa em 2011, com a instalação do quarto e último instrumento que o Brasil se comprometeu a fornecer. “Na criação do consórcio que administra o telescópio, o país ficou responsável por produzir esses equipamentos”, diz Beatriz Barbuy, astrofísica do IAG-USP e coordenadora do Projeto Temático que financiou a construção do espectrógrafo.

Foram quase 10 anos de trabalho da concepção à instalação do equipamento, que usou a mão de obra e o

◀
**Primeira geração
de equipamentos
só estará completa
em 2011, com a
instalação do quarto
e último instrumento
que o país se
comprometeu
a fornecer para
o telescópio**

conhecimento de ao menos 20 pesquisadores e técnicos altamente especializados. A execução do projeto também exigiu a formação de uma parceria pouco frequente no país, entre universidades, institutos de pesquisa e empresas privadas.

“Não havia no Brasil a cultura e a *expertise* de produzir equipamentos de astronomia com tal porte”, comenta Keith Taylor, astrofísico inglês que coordenou o grupo de óptica do Observatório Anglo-australiano, na Austrália, e há dois anos gerencia o desenvolvimento de instrumentos do Soar.

O tempo de produção do Sifs, dizem os pesquisadores, talvez fosse bem menor caso houvesse no país acesso mais fácil aos materiais que precisaram ser importados. Parte do atraso se deveu a complicações na importação de peças como as lentes de fluoreto de cálcio fornecidas pela empresa norte-americana Harold Johnson, que levaram nove meses para chegar ao Brasil, e das fibras ópticas compradas da Polymicro Technologies, também nos Estados Unidos.



Made in Brazil: o espectrógrafo Sifs, já instalado no telescópio, e ao lado o imageador BTFI, que segue para o Chile em breve

Em meados de 2009, poucos meses antes de o Sifs seguir para o Chile, outro equipamento projetado e construído com a participação de brasileiros havia sido conectado ao Soar: a câmera Spartan, especializada em produzir imagens no infravermelho – forma de radiação eletromagnética percebida pelos seres humanos na forma de calor e capaz de atravessar as gigantescas nuvens de poeira interestelar que ocultam galáxias e berçários de estrelas. Parte do primeiro grupo de instrumentos fabricados especificamente para esse telescópio, a Spartan substituiu uma câmera emprestada do telescópio Blanco do Observatório Interamericano de Cerro Tololo, localizado cerca de 10 quilômetros a noroeste do Soar em uma das inúmeras montanhas avermelhadas da cordilheira.

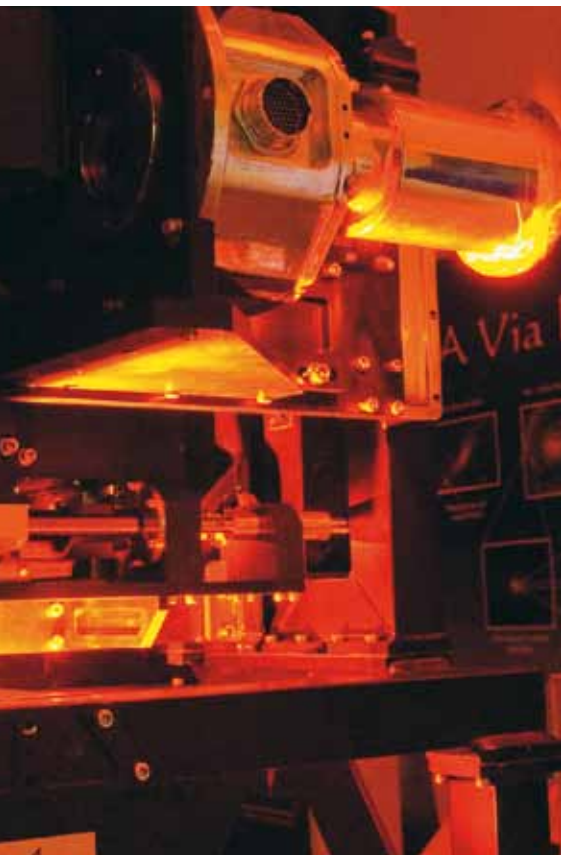
Astrônoma Sueli Viegas, aposentada da USP, iniciou cerca de oito anos atrás, em cooperação com a Universidade de Michigan, nos Estados Unidos, o projeto que levou ao desenvolvimento da Spartan. “O Brasil participou da elaboração do projeto óptico e

mecânico dessa câmera e comprou dois dos quatro detectores infravermelhos”, conta Ronaldo de Souza, astrônomo do IAG que assumiu a coordenação do projeto após a mudança de Sueli para os Estados Unidos.

Só os dois detectores custaram cerca de US\$ 700 mil, metade paga com verba do projeto de Sueli Viegas e metade com verba do Instituto do Milênio, coordenado por Beatriz Barbuy, do IAG-USP, e Miriani Pastoriza, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Desde setembro de 2009 a Spartan funciona em modo experimental. Nessa fase, os astrônomos estão aprendendo a lidar com o equipamento, que ainda pode passar por ajustes, e não há garantia de que as observações sejam muito precisas. “O Soar foi projetado para apresentar um alto desempenho, com equipamentos de altíssima qualidade óptica”, afirma Keith Taylor.

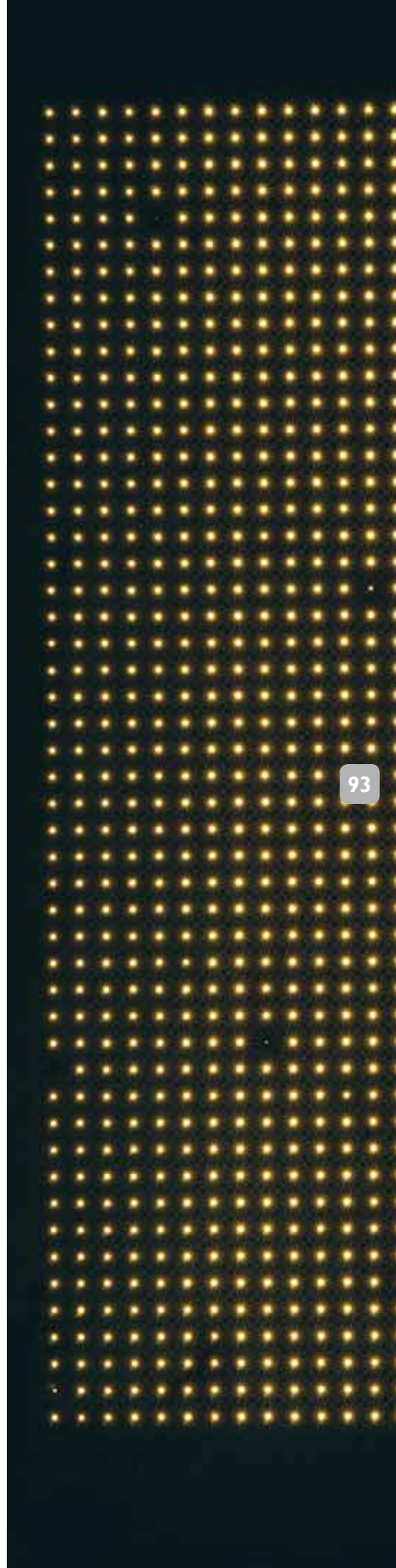
Pouco mais de cinco anos após a conclusão do prédio e a montagem do telescópio, o Soar vai ganhando vida e se tornando independente. Está prevista para este mês a entrega do filtro imageador ajustável brasileiro (BTFI), equipamento de US\$ 2,2 milhões que permitirá identificar a composição química e medir os movimentos relativos internos dos objetos celestes. “Esse instrumento será acoplado a um módulo que corrige os efeitos da turbulência na atmosfera”, conta Claudia Mendes de Oliveira, da USP. “Aliada à qualidade de imagem do BTFI, essa correção resultará em imagens com nitidez inédita, dando ao Soar capacidades que outros telescópios do mesmo porte não têm”, diz a astrofísica, que coordenou as equipes do Brasil, da França e do Canadá que construíram o BTFI.

“A produção desses instrumentos inaugurou uma nova era da astronomia



FOTOS EDUARDO CÉSAR

**Lado a lado:
arranjo de fibras
ópticas exigiu
precisão e
muita paciência**



O nascimento de um telescópio



Dois anos depois de aprovado o projeto, as obras iniciam em 1998 com a explosão do topo do Cerro Pachón, em Vicuña, norte do Chile, e a extração de 13 mil metros cúbicos de pedras para aplainar o local da sede do Soar



Cerca de um ano mais tarde começa a ganhar corpo o prédio que abrigará o telescópio e a sala de controles, erguido em um terreno a 2.701 metros acima do nível do mar e 80 quilômetros de distância do oceano Pacífico



Em 2002 o prédio recebe a cúpula metálica de 14 metros de altura feita pela empresa Equatorial, de São José dos Campos, no interior paulista, que protege o telescópio de dia e quando a umidade do ar aumenta à noite



O espelho de 4,1 metros de diâmetro e poder de captação de luz 350 mil vezes superior ao do olho humano chega ao Soar em janeiro de 2004, após viajar quase 10 mil quilômetros desde o local de fabricação nos Estados Unidos

94

brasileira e impulsionou a instrumentação astronômica nacional”, afirma Beatriz Barbuy. É que esses aparelhos caros, pensados com o objetivo de ampliar a compreensão humana do Universo, consomem um número grande de peças muito pequenas que se encaixam e se movimentam com altíssima precisão. “Só para ao BTFI, fornecemos cerca de 1.500 peças”, conta Paulo Silvano Cardoso, diretor da empresa material optomecânico Metal Card, de São José dos Campos, interior de São Paulo.

“Em 10 anos o Brasil conseguiu estabelecer um programa de instrumentação de nível internacional”, afirma João Steiner, o astrofísico do IAG-USP que integrou o conselho diretor do Soar por 12 anos e participou do projeto do telescópio desde sua concepção, em 1993 (ver Pesquisa FAPESP nº 98). Ele conta que os pesquisadores brasileiros até tentaram começar a produção de instrumentos astronômicos anos

atrás, quando o país passou a integrar o consórcio do observatório Gemini, que conta com dois telescópios com espelhos de 8,2 metros, um instalado no Havaí e outro a 350 metros do Soar, no Cerro Pachón, a 2.701 metros acima do nível do mar. Mas o projeto não vingou. “O salto era grande demais”, explica Steiner, que chegou a ser internado por causa do nível de estresse durante a construção do telescópio.

Até o início de 2011 um quarto instrumento deve ficar pronto: o espectrógrafo *échelle* do telescópio Soar (Steles), que a equipe do astrônomo Bruno Vaz Castilho constrói atualmente nos laboratórios do LNA. De modo semelhante ao Sifs, o espectroscópio que os brasileiros instalavam em janeiro no prédio do Cerro Pachón, o Steles também analisará as cores da luz emitida por estrelas e galáxias. A diferença é que enxergará



Em dez anos o Brasil conseguiu estabelecer um programa de instrumentação astronômica de nível internacional, com benefícios também para a indústria



Na noite de 17 de abril de 2004 o telescópio faz sua primeira observação ou, como dizem os astrônomos, vê sua primeira luz, ainda utilizando equipamentos emprestados de outros observatórios

uma proporção maior do espectro da luz visível – e com melhor resolução. Pode parecer redundante o uso de dois instrumentos da mesma família, mas não é. Cada um tem aplicações específicas. Enquanto o Sifs gera 1.300 espectros em uma única exposição, o Steles produz um só. “Como o Steles registrará todo o espectro da luz visível de uma única vez, permitirá analisar diferentes características do objeto observado, como composição química, temperatura, velocidade de rotação ou de afastamento”, conta Castilho.

“Com a entrega desses equipamentos, a primeira e a segunda geração de instrumentos definidas no projeto inicial estarão completas”, diz Alberto Rodriguez Ardila, gerente nacional do Soar. Isso não significa, porém, que o telescópio estará completamente equipado. “O avanço científico sempre gera a necessidade de desenvolver novos instrumentos”, afirma. Na opinião des-

se astrofísico do LNA, o resultado de tanto trabalho deverá ser notado em alguns anos nos projetos científicos desenvolvidos no Soar. “O uso desses instrumentos deverá aumentar a disputa por tempo de observação e melhorar a qualidade das pesquisas”, diz Ardila.

Antes mesmo da chegada de seu próprio conjunto de equipamentos, o telescópio branco do Cerro Pachón não ficou parado. Desde que recebeu a primeira luz de uma estrela em 2004 até dezembro do ano passado, o Soar gerou 36 artigos científicos publicados em periódicos internacionais. Deles, 19 artigos (53% do total) foram produzidos por pesquisadores brasileiros, que dispõem de apenas 34% do tempo de observação do telescópio.

Mas o reconhecimento da comunidade científica internacional veio mesmo em 2007, quando o resultado de uma observação feita no Soar por um brasileiro saiu nas cobichadas páginas da revista *Nature*. Quase dois anos antes, na madrugada de 25 de setembro de 2004, o observatório espacial Swift, da agência espacial norte-americana (Nasa), emitiu um alerta com as coordenadas do que poderia ser uma explosão de raios gama – a morte de uma estrela com massa dezenas de vezes superior à do Sol que se transforma em um buraco negro, um dos eventos mais energéticos conhecidos – ocorrida nos confins da constelação de Peixes (ver Pesquisa FAPESP nº 116). Eduardo Cypriano, um dos primeiros astrônomos residentes do Soar, uma espécie de desbravador do telescópio, trabalhava naquela noite e detectou os primeiros sinais da explosão.

A pedido de Daniel Reichart, norte-americano estudioso desses fenômenos, Cypriano apontou o telescópio para o mesmo ponto do céu por mais alguns dias. Uma semana mais tarde veio o anúncio oficial: as imagens feitas por Cypriano e analisadas com o auxílio de sua mulher, a astrônoma Elysandra Figueredo, haviam flagrado a explosão de uma estrela a 12,7 bilhões de anos-luz da Terra. O Soar havia sido o único telescópio em terra a acompanhar esse fenômeno raro, mais tarde confirmado por outros observatórios. “Era o objeto mais distante e antigo já observado, ao menos até aquela data”, conta Cypriano,

para quem, tão logo estejam terminados os ajustes nos equipamentos do Soar, os astrônomos brasileiros estarão bem servidos por pelo menos uma década.

Enquanto aguardam a conclusão dos últimos equipamentos – o Soar comporta oito no total –, os brasileiros planejam os próximos passos. Um grupo coordenado por João Steiner e Beatriz Barbuy avalia a possível participação do país na próxima geração de telescópios. São projetos grandiosos que devem consumir de US\$ 700 milhões a US\$ 1,4 bilhão para erguer telescópios com espelho de até 40 metros de diâmetro, quatro vezes maior que o dos maiores telescópios em atividade. Só para ter um parâmetro de comparação, o Soar custou US\$ 28 milhões, dos quais US\$ 14 milhões foram pagos pelo Brasil, divididos entre o Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (US\$ 12 milhões) e a FAPESP (US\$ 2 milhões).

O ingresso para a primeira divisão da astronomia, porém, não sai barato. O Brasil negocia pagar 10% do valor total para ter acesso ao Thirty Meter Telescope, com espelho de 30 metros, ou 5% para ter o direito de usar o Giant Magellan Telescope ou o European Extremely Large Telescope, de 22 metros e 42 metros, respectivamente. Mas exige uma contrapartida. “Não entraremos em nenhum projeto se ao menos 70% desses recursos não forem destinados à fabricação de equipamentos pela indústria nacional”, afirma Steiner.

Os astrônomos têm ao menos dois bons motivos para justificar tamanho investimento. O primeiro e mais abstrato: o acesso a esses megatelescópios garantiria aos pesquisadores brasileiros pelo menos a chance de olhar cada vez mais longe no Universo à procura de respostas convincentes para uma das perguntas mais simples e fundamentais que o ser humano sempre se fez: Como tudo começou? O segundo e mais pragmático: a astronomia nacional, uma área jovem que cresceu muito rapidamente na década de 1990, não pode estagnar caso queira se manter competitiva internacionalmente. “Se pararmos”, diz Steiner, “condenaremos a próxima geração de astrônomos a ficar fora da pesquisa de ponta nessa área a partir de 2025. Seríamos o único dos países emergentes a fazer isso”. ■

O segredo de Perseu

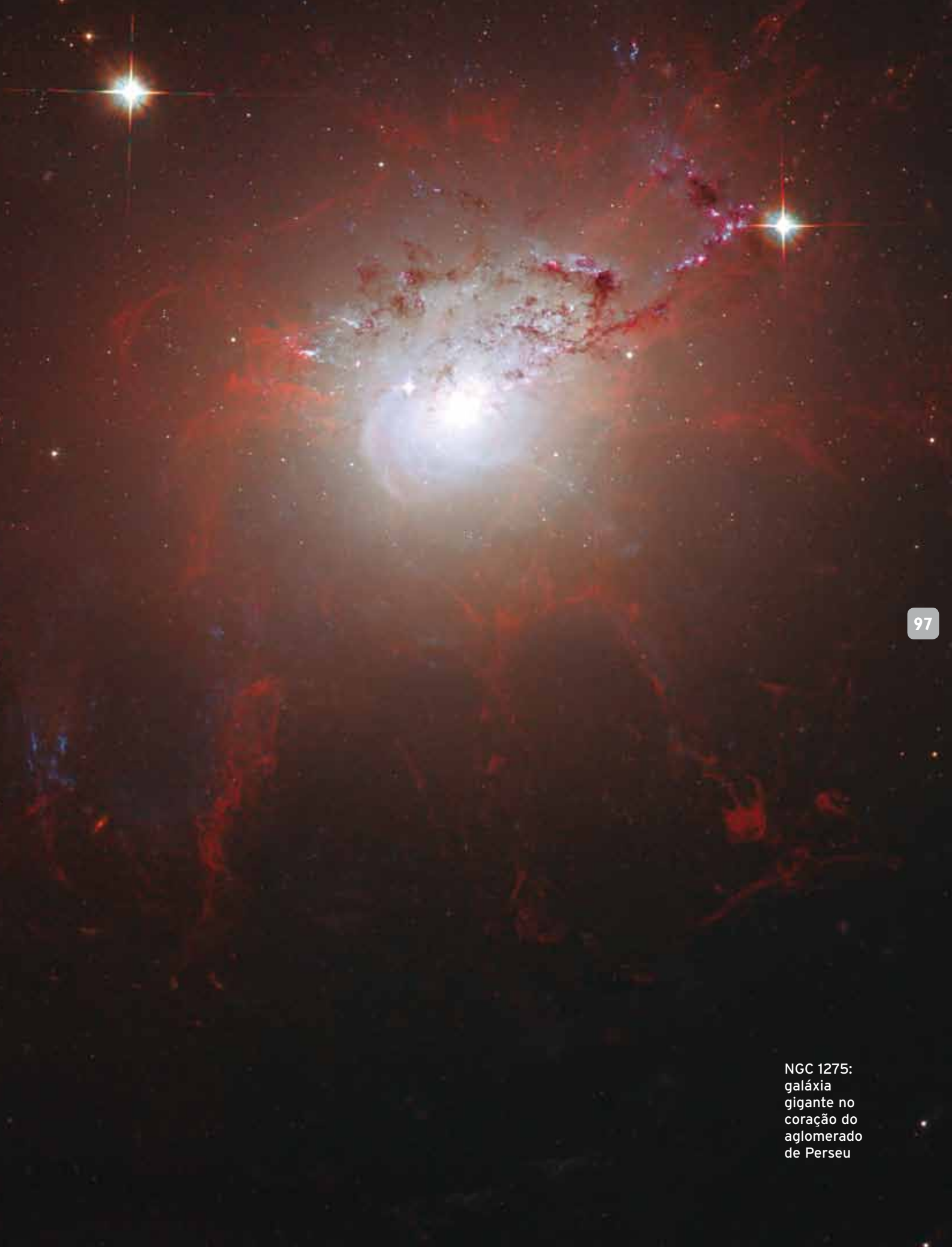
Simulações ajudam a explicar
temperatura elevada do gás em
aglomerados de galáxias

SALVADOR NOGUEIRA

96

Uma galáxia gorda, velha e decadente que parece ter tomado emprestado gás de suas vizinhas para voltar a fabricar estrelas está ajudando um grupo de astrônomos a decifrar os mistérios dos aglomerados de galáxias, os tijolos formadores das maiores estruturas do Universo. Com a forma de uma esfera achatada, a galáxia se localiza na direção da constelação de Perseu, o mitológico herói grego que decapitou a Medusa, e é imensa: abriga de 10 a 100 vezes mais matéria do que a nossa galáxia – a Via Láctea, formada por cerca de 200 bilhões de estrelas – e mantém outras aprisionadas gravitacionalmente ao seu redor. Conhecido como aglomerado de Perseu, esse grupo de galáxias tem uma característica marcante que há tempos intriga quem o estuda: é permeado por uma gigantesca nuvem de gás muito rarefeito e quente, com algumas regiões apresentando temperaturas bem mais elevadas do que seria de esperar.

As leis da física preveem que, à medida que o gás das galáxias vizinhas é atraído pela gravidade rumo à galáxia central – no caso, a NGC 1275, distante 235 milhões de anos-luz da Terra –, sua densidade deve aumentar enquanto sua temperatura diminui acentuadamente. “Como o gás se torna mais denso próximo ao centro do aglomerado, as partículas que o formam colidem mais facilmente umas com as outras e perdem energia na forma de radiação”, explica a astrofísica Elisabete de Gouveia Dal Pino, que vem estudando o aglomerado



NGC 1275:
galáxia
gigante no
coração do
aglomerado
de Perseu

de Perseu nos últimos anos. Assim, quanto maior a densidade e a proximidade da galáxia central, mais frio deve se tornar o gás. Isso, no entanto, não é bem o que acontece com Perseu.

A temperatura do gás do aglomerado até diminuiu, é verdade. Mas não tanto quanto – nem como – deveria. Medições feitas por telescópios em terra e no espaço revelaram que ela passa de quase 10 milhões de graus nas regiões mais distantes da NGC 1275 para cerca de 3 milhões de graus por volta da metade do caminho. E depois se estabiliza, quando o esperado era que baixasse para algumas centenas de milhares de graus. Esse efeito só se justificaria se algo estivesse reaquecendo o gás na região mais central do aglomerado, equilibrando a perda de calor.

Há algum tempo os pesquisadores até têm um candidato: um gigantesco buraco negro, com massa equivalente à de centenas de milhões de estrelas como o Sol, situado bem no centro da NGC 1275. Os buracos negros são objetos tão densos e compactos que impedem que qualquer coisa escape de sua superfície, inclusive a luz. Mas na sua vizinhança é liberada muita energia. Antes de ser sugada e absorvida, a matéria que espirala ao redor do buraco

negro é acelerada pela gravidade. Parte dela, auxiliada por campos magnéticos, escapa em dois feixes estreitos que saem dos polos do buraco negro, originando os jatos de partículas que se deslocam a velocidades próximas à da luz. Esses jatos emitem ondas de rádio que são detectadas pelos astrônomos.

Imagens feitas a partir de outra forma de radiação, os raios X, mostravam que as proximidades do buraco negro da NGC 1275 – região do espaço também conhecida como núcleo galáctico ativo por emitir mais energia do que o restante da galáxia – liberavam energia suficiente para manter o gás aquecido na porção mais central do aglomerado. Mas havia um mistério: como as temperaturas do gás podiam ser mais ou menos homogêneas, se os jatos de radiação gerados a partir do buraco negro eram tão estreitos?

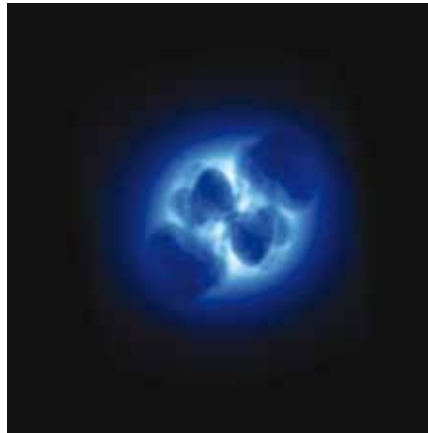
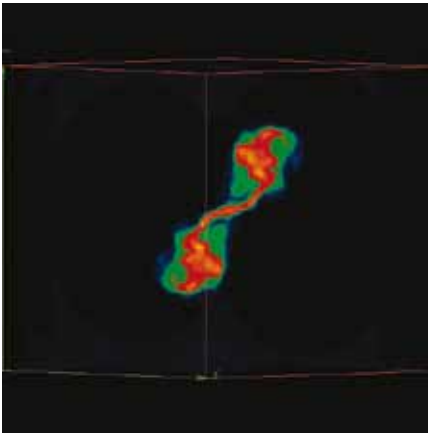
Ao conduzir simulações em computador, o grupo coordenado por Elisabete Dal Pino e Zulema Abraham, pesquisadoras do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), na capital paulista, encontrou uma possível resposta. “As temperaturas poderiam ser as observadas, caso o núcleo galáctico ativo estivesse em precessão [mudança de inclinação no eixo de rotação]”, afirma Elisabete. A ideia pode ser traduzida assim: para manter a temperatura aproximadamente homogênea, é preciso que o eixo de rotação do objeto central varie de inclinação e os jatos oscilem distribuindo melhor a energia. Ou, de modo

mais simples, isso pode acontecer se o buraco negro bambolear como um pião que perde velocidade.

As simulações realizadas por Diego Falceta-Gonçalves, da Universidade Cruzeiro do Sul (Unicsul), em São Paulo, produziram resultados similares aos observados na natureza quando o ângulo de variação do eixo era grande: 60 graus. No artigo do *Astrophysical Journal Letters* em que apresentaram os resultados no início de 2010, os pesquisadores explicam: como os jatos oscilam com o tempo, a energia liberada é aproximadamente igual em todas as direções. É como se os feixes de radiação funcionassem como as pás de uma batadeira que misturam os ingredientes do bolo para tornar a massa homogênea. Mas essa pode não ser a única explicação.

Em meados de 2008, Elisabete Dal Pino visitava a Universidade de Wisconsin em Madison, nos Estados Unidos, quando o astrônomo americano John Gallagher mostrou a ela um resultado que havia acabado de obter e nem sequer havia publicado. Gallagher e seu grupo tinham feito medições dos filamentos de gás que existem ao redor da NGC 1275. “Ele ficou intrigado porque eles obtiveram mapas das velocidades dos filamentos e perceberam que alguns deles estavam se afastando da galáxia, e não se aproximando, como seria o esperado”, conta a astrofísica.

O resultado, publicado no ano seguinte na *Nature*, era uma medição



Fonte de calor:
jatos de partículas,
à esquerda,
aquecem o gás
entre galáxias,
ao lado

inesperada. Indicava que alguma força estava contrabalançando a gravidade e empurrando o gás para fora da NGC 1275. Além disso, forças magnéticas faziam os filamentos arquear. Era pouco provável que o núcleo galáctico ativo, por mais poderoso que fosse, estivesse produzindo o fenômeno sozinho. O que estaria acontecendo?

“Foi aí que eu tive a ideia das supernovas”, diz a pesquisadora brasileira. Supernova é o nome que se dá a uma estrela com massa muito elevada que consumiu todo o seu combustível e explodiu. É um dos eventos mais energéticos do Universo. Uma série de

supernovas poderia explicar o formato dos filamentos ao redor da galáxia central do aglomerado. O único problema é que supernovas recentes implicam formação estelar recente. E uma galáxia como a NGC 1275 não tem mais matéria-prima para fabricar estrelas com massa elevada.

Em outra série de simulações, dessa vez em parceria com John Gallagher e Alex Lazarian, ambos de Wisconsin, Falceta-Gonçalves e Elisabete mostraram que o gás em queda proveniente das galáxias vizinhas poderia produzir uma onda de choque na superfície da NGC 1275 e gerar um súbito episódio de formação estelar. Estrelas com muita massa queimam seu combustível mais rapidamente do que astros menores como o Sol, que precisam de bilhões de anos para esgotá-lo. Por isso, poderia haver uma onda de explosões de supernovas uns poucos milhões de anos após o processo de formação estelar.

Com auxílio de computadores, os pesquisadores reproduziram o que acontecia 120 milhões de anos – simulados, é claro – após o nascimento das estrelas. O trabalho, também publicado no *Astrophysical Journal Letters*, indicou que a interação da radiação emitida pelo núcleo galáctico ativo com as turbulências geradas pelas supernovas produz um padrão de filamentos muito parecido com o observado ao redor da NGC 1275. “Cada simulação, em resolução máxima, de 100 milhões de pixels, demora cerca de 20 dias para ser completada”, conta Falceta-Gonçalves, que conduziu a maior parte dos testes e é o primeiro autor dos artigos.

Esses trabalhos apresentam, sem dúvida, explicações plausíveis para os mistérios da NGC 1275. Mas como saber qual é a real causa da distribuição homogênea de temperatura do gás e dos filamentos observados ao redor da galáxia? Uma das formas de comprovar essas explicações seria procurar, com o auxílio de telescópios, sinais deixados por estrelas com massa muito elevada e por supernovas nas regiões mais externas da NGC 1275. Outra estratégia, mais ao alcance da equipe brasileira, é realizar novas simulações, dessa vez combinando o efeito da precessão do núcleo galáctico ativo com a explosão das supernovas nas bordas da galáxia e verificar o que acontece.

De toda forma, já se avançou um pouco mais na compreensão da dinâmica de aglomerados de galáxias como o de Perseu – e, por extensão, do aglomerado do qual faz parte a Via Láctea. Esses tijolos do Universo, que numa escala maior se organizam em superaglomerados, ainda guardam muitos segredos. Mas, por sorte, os astrônomos não desistem facilmente. ■

OS PROJETOS

1. *Investigation of high energy and plasma astrophysics phenomena: theory, observation, and numerical simulations* - nº 2006/50654-3
2. *Estudo numérico de plasmas magnetizados colisionais e não colisionais em astrofísica* - nº 2009/10102-0

MODALIDADE

1. Projeto Temático
2. Auxílio Regular a Projeto de Pesquisa

COORDENADORES

1. Elisabete de Gouveia Dal Pino - IAG-USP
2. Diego Falceta-Gonçalves - Unicsul

INVESTIMENTO

1. R\$ 342.429,60
2. R\$ 110.400,00

Artigos científicos

1. FALCETA-GONÇALVES, D. *et al.* Turbulence and the formation of filaments, loops and shock fronts in NGC 1275. **The Astrophysical Journal Letters**. v. 708 (1), p. L57-L60. 1 jan. 2010.
2. FALCETA-GONÇALVES, D. *et al.* Precessing jets and X-ray bubbles from NGC 1275 (3C84) in the Perseus galaxy cluster: a view from 3D numerical simulations. **The Astrophysical Journal Letters**. v. 713 (1), p. L74-L78. 10 abr. 2010.

CAPA

SERES DO ESPACO /

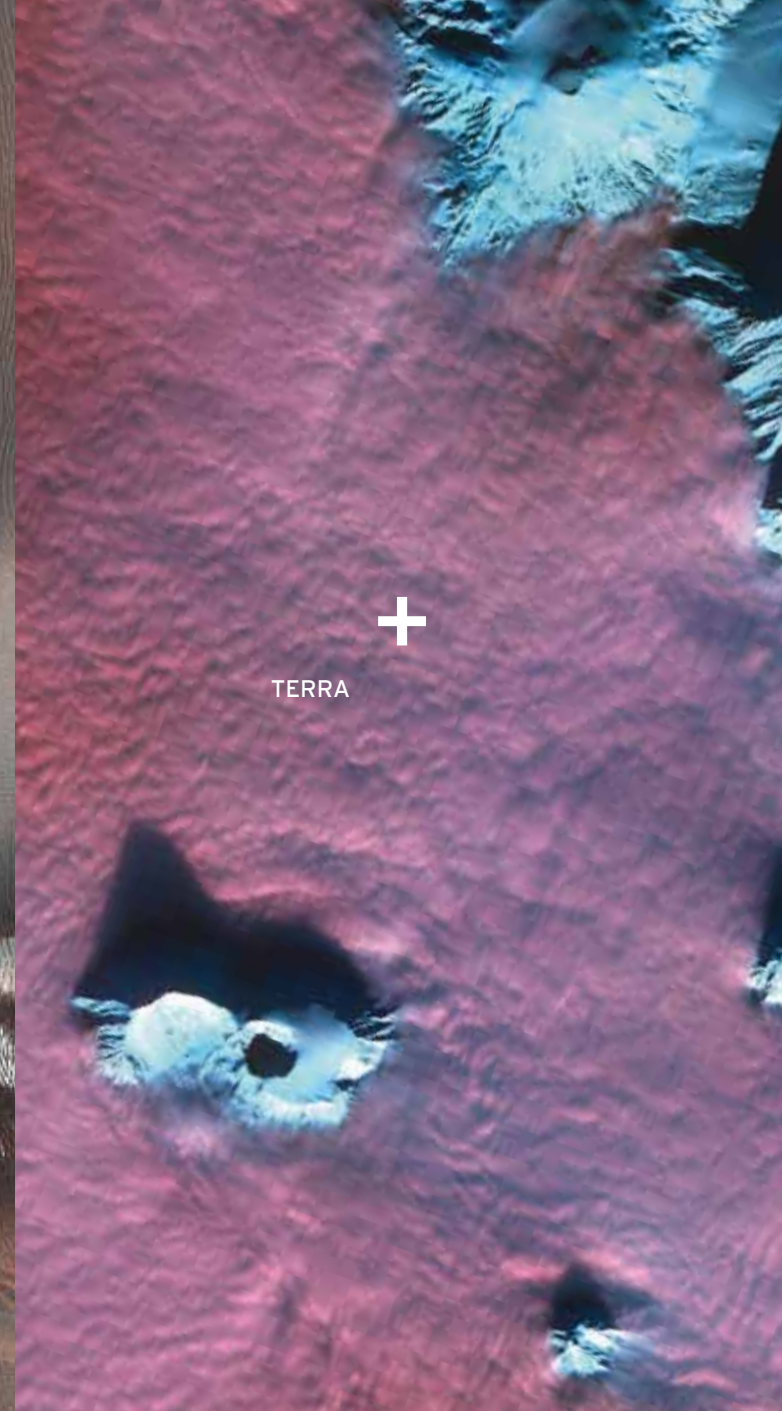
100



MARTE

Bactérias super-resistentes
poderiam viver fora da Terra

MARIA GUIMARÃES



TERRA

NASA

Solo marciano
(esquerda) e
vulcões terrestres
na Rússia

Na história de ficção científica *Pictures don't lie*, de 1951, de Katherine MacLean, uma nave alienígena entra em contato com a Terra e pede permissão para pousar. Mas quando os visitantes aterrissam, ninguém os vê, nem eles avistam o comitê de recepção. Na verdade, tanto terráqueos como extraterrestres estavam buscando na escala errada: os visitantes eram microscópicos. Um grupo de pesquisadores brasileiros está descobrindo que essa ideia está mais próxima da realidade do que parece. Eles mostraram que bactérias super-resistentes sobreviveriam a viagens pelo espaço, agarradas a minúsculos fragmentos de poeira.

A conclusão é pioneira na astrobiologia, a área da ciência que nas últimas décadas procura indícios de vida fora da Terra, outros mundos habitáveis e entender as condições essenciais para o surgimento da vida. Um dos projetos mais conhecidos de astrobiologia, o Seti, sigla em inglês para Busca por Inteligência Extraterrestre, comemora este ano o cinquentenário. A diferença é que novas tecnologias agora permitem estender as fronteiras do conhecimento. No Brasil os estudos nessa área devem ganhar fôlego nos próximos meses, com o início da atividade do primeiro laboratório nacional dedicado à astrobiologia. Em fase de instalação em Valinhos, no interior de São Paulo, o novo centro será coordenado por Eduardo Janot-Pacheco e ligado ao Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG-USP).

O astrônomo Douglas Galante, pesquisador do IAG à frente da instalação do laboratório, vem mostrando como a vida pode resistir até mesmo aos fenômenos cósmicos mais extremos, como explosões de supernovas e de raios gama. Seu trabalho, ao lado dos experimentos do biólogo Ivan Paulino Lima durante o doutorado na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), contribuiu para a ideia de que seres vivos podem viajar pelo espaço. Ambos estudaram a bactéria *Deinococcus radiodurans*, que se destaca por resistir a doses altíssimas de radiação. A espécie foi descoberta nos anos 1950, no contexto da indústria norte-americana de carne enlatada.

Os alimentos eram tratados com radiação para eliminar contaminação por bactérias, mas parecia impossível acabar com elas: a *Deinococcus radiodurans* resistia à esterilização. “Se formos expostos a raios gama com uma intensidade de quatro Grays, estaremos mortos em um mês”, avalia a biofísica Claudia Lage, da UFRJ, orientadora de Paulino Lima no doutorado, “mas a *Deinococcus radiodurans* continua se multiplicando mesmo depois de bombardeada com 15.000 Grays”. Na verdade, o material genético da bactéria é pulverizado, mas bastam três horas sem excesso de radiação para que o DNA se recomponha perfeitamente e volte à ativa. Como a fênix da lenda, que renasce das cinzas.

A resistência a altos níveis de radiação, e também ao vácuo, à dessecação e à temperatura, é o que torna essa bactéria ideal para testar a possibilidade de seres vivos fazerem viagens interplanetárias sem a proteção de uma espaçonave. Até agora, estudos internacionais – feitos inclusive pela agência espacial norte-americana (Nasa) – vêm testando a possibilidade de vida no espaço com bactérias que se protegem formando uma carapaça, como se fossem múmias (cistos). A diferença é que a *Deinococcus* entra em dormência, mas não forma esses cistos, e nos últimos anos Paulino Lima vem submetendo essa bactéria a feixes de luz que simulam a radiação que existe em raios solares no espaço, sem a proteção de uma atmosfera.

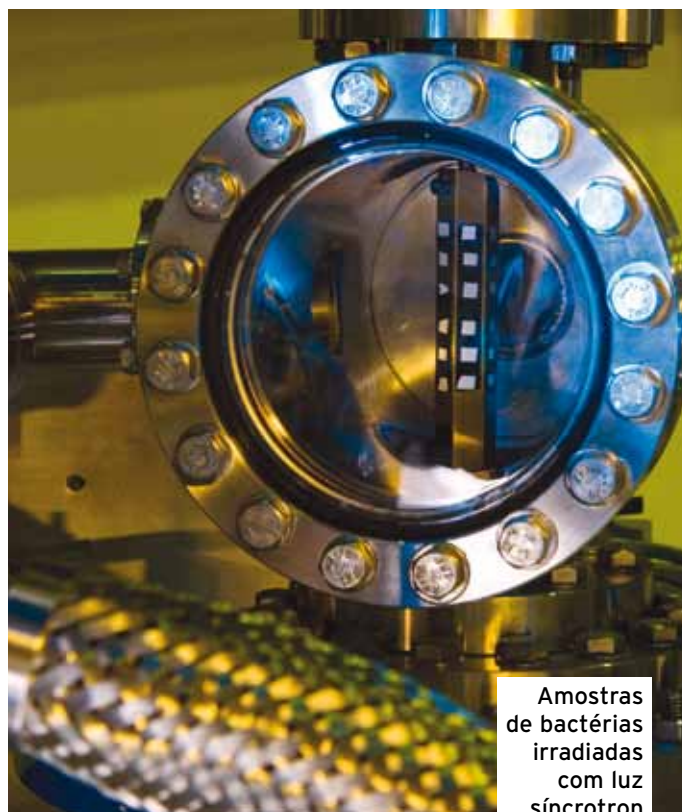
Boa parte do trabalho está sendo feita no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) em Campinas, no interior de São Paulo. A pesquisa mostrou, segundo resultados publicados em agosto na *Planetary and Space Science*, que basta a proteção de um grão de poeira para que a bactéria sobreviva nas condições do espaço.

A poeira é mais importante do que parece. Ela passa incólume por barreiras físicas sérias para corpos maiores. Quando um meteorito grande penetra a atmosfera, por exemplo, o atrito é tão intenso que aquece a rocha a temperaturas que muitas vezes a pulverizam e são letais para qualquer bactéria. Esse problema não existe com a poeira, cujo tamanho microscópico lhe permite entrar na atmosfera quase sem atrito. E

ela é abundante, em parte devido aos cometas que cruzam o espaço com sua cabeleira luminosa. A cauda de um cometa surge quando ele se aproxima do Sol, na verdade é sua superfície asoprada pelos ventos solares. Quando vai embora para os confins do Universo, o cometa deixa para trás essa poeira e fica ligeiramente menor por perder a camada externa. Uma camada valiosa para a vida: os cometas são repletos de aminoácidos, as moléculas orgânicas que compõem as proteínas.

Teoria na prática – “Por volta de 10 mil toneladas de grãos de cometas caem na Terra todos os anos”, afirma Claudia. E os grãos que chegam não são, para ela, os únicos indícios de que a Terra está longe de ser um ambiente fechado sobre si mesmo, aonde nada chega e de onde nada sai. Ventos e tufões suspendem partículas do solo até o alto da atmosfera, periodicamente varrida por ventos solares que carregam essa poeira para outras zonas do espaço. “Estamos contaminando o Universo”, comenta.

Num período de pesquisa no síncrotron Diamond, na Inglaterra, Paulino



Amostras de bactérias irradiadas com luz síncrotron

Lima mostrou também que suas bactérias favoritas resistem a uma explosão simulada de supernova, um fenômeno estelar que libera altas quantidades de raios X. O estudo ganhou ainda mais força com o encontro pouco comum entre astrobiologia experimental e teórica. Na mesma época, Douglas Galante estava mergulhado em cálculos e simulações teóricas para descobrir como a vida reage às doses extremas de raios cósmicos presentes no espaço e em planetas jovens – para com isso entender a origem da vida e a evolução da biodiversidade. Independente do grupo carioca, ele tinha justamente escolhido usar em suas simulações um organismo difícil de matar: a *Deinococcus radiodurans*. No Diamond, os dois jovens pesquisadores trabalharam juntos e mostraram que os dados teóricos e experimentais se encaixavam com perfeição.

“Descobri que não é possível matar toda a vida de um planeta”, conta Galante, que, além das supernovas, fez simulações teóricas de explosões de raios gama, os eventos de mais alta energia desde o Big Bang. “A energia liberada nesses eventos é imensa, como se toda a



Deinococcus radiodurans em meio de cultura, no laboratório

massa do Sol fosse convertida em energia no intervalo de 10 segundos.” Segundo ele, uma explosão de raios gama é suficiente para esterilizar todo o lado exposto de planetas até uma distância equivalente ao diâmetro da nossa galáxia: 30 mil parsecs ou 99 mil anos-luz. Mas sempre restará vida protegida dentro da água, debaixo do solo ou simplesmente na face dos corpos celestes não atingida pelos raios gama.

Mesmo assim, esses eventos espaciais têm efeitos duradouros. Em artigos recentes na *Astrophysics and Space Science* e no *International Journal of Astrobiology*, Galante mostrou que as explosões de raios gama alteram a química da atmosfera e destroem a camada de ozônio, tornando o planeta mais exposto a raios ultravioleta por vários anos, o que causa danos aos seres vivos. As simulações mostram o que aconteceria ao se eliminar quase toda a vida na Terra, sobrando só cerca de 1% dos organismos, e por isso têm importância para outras áreas da ciência. “Os eventos de extinção são essenciais para o surgimento de novas espécies”, lembra o astrônomo, especulando que talvez esses acontecimentos sejam necessários para gerar diversida-

BASTA UM GRÃO DE POEIRA PARA PROTEGER A BACTÉRIA DOS RAIOS SOLARES

de. “A astrobiologia estuda a origem, a evolução e o destino da vida.”

Em parceria com a dupla da UFRJ, ele pretende continuar bombardeando com radiação bactérias afeitas a condições extremas, em experimentos que replicam situações espaciais. Uma dessas bactérias foi descoberta este ano pelo grupo da microbióloga argentina Maria Eugenia Farias num lago na cratera de um vulcão andino e será testada em colaboração com a equipe brasilei-

ra. São bactérias que sobrevivem em condições extremas diversas, inclusive em uma salinidade altíssima. Pode ser importante para simular a possibilidade de vida em Marte, um ambiente extremamente salino.

Boa parte do trabalho deve ser feita no laboratório de Valinhos, onde já existe um observatório didático do IAG. Em cerca de seis meses, segundo Galante, deverá estar em ação uma câmara de simulação mais sofisticada do que a do LNLS, capaz de submeter as bactérias a um conjunto completo de parâmetros controlados, como temperatura, radiação e pressão, além de simular uma atmosfera protetora.

Alienígenas bacterianos - Para Claudia e Paulino Lima, os resultados dão apoio à ideia da panspermia, uma hipótese que considera que a vida pode estar disseminada Universo afora. Quando a Terra surgiu, 4,5 bilhões de anos atrás, o Universo já tinha 10 bilhões de anos. Quando este planeta ainda era muito jovem na escala de tempo geológica, há 3,8 bilhões de anos, já havia vida microscópica por aqui, provavelmente capaz de usar a luz solar por meio da clorofila e produzir oxigênio. É o que revela a composição de rochas encontradas na Groenlândia por pesquisadores da Inglaterra, dos Estados Unidos e da Austrália. Claudia vê esses indícios como sinais de que a vida pode ter vindo de outro lugar. Mas essa visão está longe de consensual. Galante é cauteloso. “Há microrganismos que seriam capazes de suportar as condições de uma viagem espacial, mas não se sabe se isso realmente acontece.”

Bastante mais consensual é a visão de que, mesmo que a vida em si não tenha vindo do espaço, moléculas pré-bióticas – os tijolinhos mais elementares para a construção de material genético – já estavam por aqui logo depois que a Terra se formou e podem ter vindo do espaço. Muitos especialistas acreditam que as condições terrestres naquela época eram ideais para permitir reações químicas e o surgimento da vida, talvez a partir de moléculas pré-bióticas que vieram de carona numa cauda de cometa. O físico nuclear Enio da Silveira, da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), tenta entender a formação dessas substâncias químicas.



Marte: ponto de estudo escolhido pelo robô da Nasa

“Estudamos moléculas inorgânicas que estão em cometas, em todo lugar, e já estavam no sistema solar há 4 bilhões de anos”, conta. São moléculas como a da água, do metano, do monóxido de carbono, do dióxido de carbono e da amônia, em estado sólido, que seu grupo irradia com íons emitidos por uma fonte radiativa, o califórnio, que simulam um raio cósmico sem a proteção de uma atmosfera.

Esse tipo de radiação é suficiente para produzir uma grande variedade de moléculas, que Silveira identifica e quantifica com a ajuda de técnicas especializadas como espectrometria de massa e de infravermelho, capazes de medir a vibração característica das moléculas. Quanto mais tempo ele mantém o bombardeio, mais moléculas vê surgir. Os elementos mais importantes são o carbono, o nitrogênio, o oxigênio e o hidrogênio, que juntos respondem por cerca de 90% da composição das moléculas orgânicas. Ao analisar como esses elementos respondem à radiação, ele vem construindo um banco de dados que deve servir como referência para os astrônomos para avaliar a idade de um sistema, como um planeta ou um asteroide, por exemplo, segundo artigos recentes nas revistas *Surface Science* e *Astronomy and Astrophysics*.

O ATRITO DO RECEPTÁCULO DE COLETA DE UMA NAVE EM VOO CARBONIZARIA AS AMOSTRAS

O pesquisador da PUC percebeu que o monóxido de carbono é importante para a formação de moléculas orgânicas. “É uma fonte mais generosa de átomos de carbono, que consegue construir os esqueletos de grandes moléculas orgânicas.” Como os cometas têm abundância de monóxido de carbono e de água – da qual dependem todas as reações bioquímicas –, os resultados indicam que é provável o surgimento de vida elementar em condições diferentes das que caracterizam o único planeta onde já se encontrou vida.

O que acontece quando essas moléculas pré-bióticas caem ou são produzidas na Terra? Com essa pergunta em mente, o químico Dimas Zaia, da Universidade Estadual de Londrina, no Paraná, mistura moléculas que podem ter existido em seguida à formação deste planeta, como o aminoácido cisteína, com argila. Ele revelou, neste ano na revista *Amino Acids*, que a argila é um veículo de formação de moléculas biológicas. “A cisteína reage com compostos de ferro e por isso tem uma afinidade muito forte pela argila”, conta. Tanto em ambiente ácido, com pH 3, como alcalino, com pH 8, característicos de vulcões submarinos, ele mostrou, com a ajuda de análises como espectrometria de infravermelho, Mössbauer, EPR e raios X, que as moléculas de cisteína reagem com o substrato e dão origem a cistina, uma molécula mais complexa.

Lares extraterrestres - Encontrar organismos vivos no espaço é uma tarefa árdua, e não só por serem microscópicos. Uma nave espacial em pleno voo está em velocidade tão alta que um receptáculo de coleta causaria um atrito forte a ponto de carbonizar a amostra, matando e pulverizando qualquer bactéria interplanetária. A Nasa tem mandado sondas robotizadas para investigar, por exemplo, a superfície de Marte, mas ainda não encontrou vida. Para tornar a busca possível, os estudos terráqueos informam os pesquisadores sobre os indícios de vida esperados fora da Terra, as chamadas bioassinaturas, além de apontar onde procurá-los.

O planeta anunciado no final de setembro por astrônomos norte-americanos é um candidato. “É a primeira vez que se encontra um planeta rochoso, como a Terra, no meio da zona habi-

tável de sua estrela”, comenta Galante. Mas ainda não se sabe se tem atmosfera, água e estabilidade para gerar vida. E não tem dia e noite – um lado é sempre escuro e outro sempre claro. Para Galante, pode ser um problema, sobretudo para o surgimento de vida complexa.

Um dos exploradores em busca de zonas habitáveis é o astrônomo Gustavo Porto de Mello, da UFRJ. Analisando dados da zona mais conhecida do sistema solar, até 10 parsecs do Sol, ou 33 anos-luz, ele encontrou 13 estrelas que podem abrigar planetas habitáveis, a partir de critérios que incluem a composição, a idade e o tamanho e a radiação que recebem, segundo descreveu em 2006 na *Astrobiology*. Estudos internacionais recentes usaram técnicas menos precisas para procurar zonas habitáveis e indicam uma área mais ampla. Os resultados, porém, coincidem com a proposta do brasileiro com respeito às estrelas mais promissoras. Até agora não se detectaram planetas, mas o pesquisador defende que é preciso usá-las como alvo principal.

A busca por planetas habitáveis, que tenham sofrido impactos de cometas suficientes para fornecer água, mas já estáveis, também ocupa a astrônoma Jane Greaves, da Universidade de St. Andrews, na Escócia, que veio ao Brasil para o simpósio *Frontiers of Science*, realizado no interior de São Paulo com apoio da FAPESP (ver reportagem na página 36). “A dificuldade para encontrar planetas em zonas habitáveis é ter

não será surpresa encontrar micróbios alienígenas

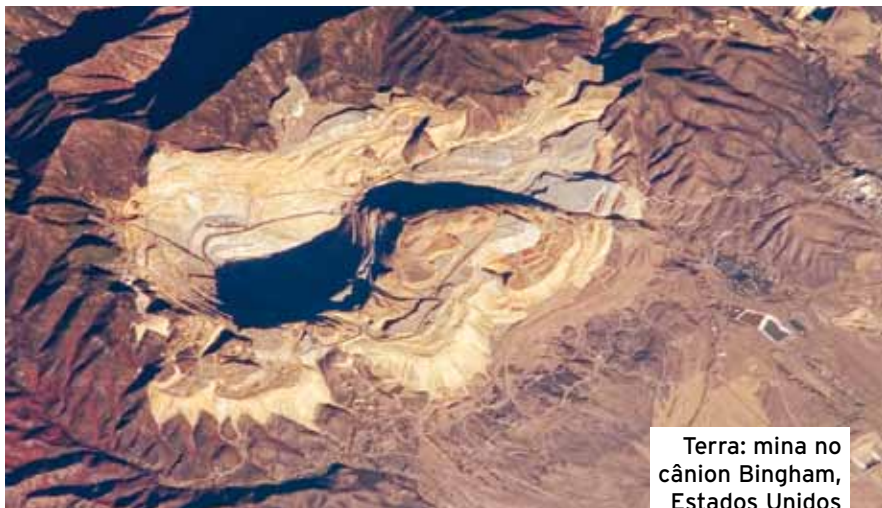
certeza do que é um bioassinál”, explica. “Metano pode sair de vulcões; oxigênio e ozônio podem vir de moléculas de água evaporando de oceanos e quebradas por radiação. É preciso muito trabalho teórico e experimental, mas as perspectivas para as próximas duas décadas são muito empolgantes.” Jane identificou um alvo promissor a 59 anos-luz, mas acredita que deve haver outro por volta de 33 anos-luz, conforme artigo deste ano na *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*.

É um horizonte distante. Para vasculhar essas zonas da galáxia, será preciso usar telescópios de interferometria, ainda em projeto e que devem estar disponíveis em cerca de 10 anos. No espaço, esses instrumentos serão capa-

zes de cancelar a luminosidade emitida pelas estrelas e detectar os planetas. Em seguida, análises com infravermelho permitiriam, a distância, medir os comprimentos de onda emitidos por esses planetas em busca de sinais de água líquida e outros indícios de vida.

A presença de água líquida na superfície é o paradigma principal na busca da vida – além de possibilitar a formação de moléculas com carbono, pode ser detectada de longe –, mas há outras possibilidades. Marte, por exemplo, não tem água líquida aparente, mas talvez tenha debaixo da superfície. A Nasa pretende mandar, em 2015, um robô capaz de perfurar alguns metros e chegar ao subsolo marciano. Outra possibilidade é Europa, uma lua de Júpiter. Ela está fora da zona considerada habitável, mas parece ter água debaixo de uma camada de gelo. “É preciso voltar a Marte e ir a Europa”, afirma Porto de Mello, lembrando que a Nasa aprovou uma missão robotizada a Europa.

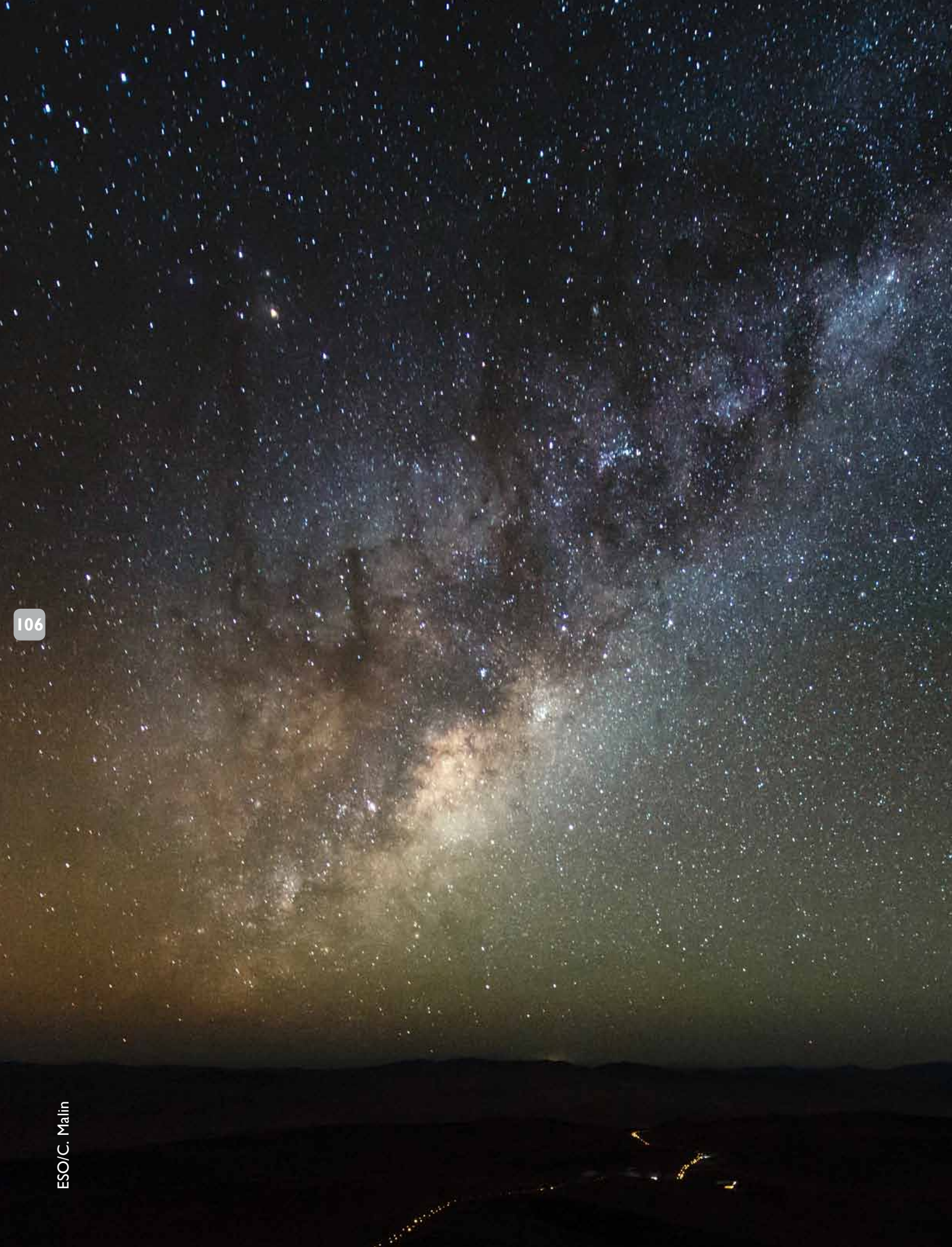
O astrônomo da UFRJ está otimista e não ficará surpreso caso se encontre vida em Europa ou Marte. “Será vida microbiana. Muita coisa teria que acontecer para que surgisse vida complexa”, relativiza. Quem espera por homenzinhos verdes ou feras gosmentas cheias de dentes e tentáculos, ou ainda por uma inteligência superior como a do ET de Steven Spielberg, talvez se frustre. Alienígenas invisíveis a olho nu, como imaginado por Katherine MacLean há 60 anos, já bastarão para uma grande festa entre especialistas. ■



Terra: mina no cânion Bingham, Estados Unidos

Artigos científicos

1. MARTIN, O. *et al.* Effects of gamma ray bursts in Earth's biosphere. **Astrophysics and Space Science**. v. 326, p. 61-7. 2010.
2. PAULINO-LIMA, I. G. *et al.* Laboratory simulation of interplanetary ultraviolet radiation (broad spectrum) and its effects on *Deinococcus radiodurans*. **Planetary and Space Science**. v. 58, p. 1.180-87. 2010.
3. PILLING, S. *et al.* Radiolysis of ammonia-containing ices by energetic, heavy, and highly charged ions inside dense astrophysical environments. **Astronomy and Astrophysics**. v. 509. 2010.
4. PORTO DE MELLO, G. *et al.* Astrobiologically interesting stars within 10 parsecs of the Sun. **Astrobiology**. v. 6, n. 2, p. 308-31. 2006.



VIA LÁCTEA REVISITADA

Braços da galáxia podem estar mais perto e não serem tão espiralados como se pensava

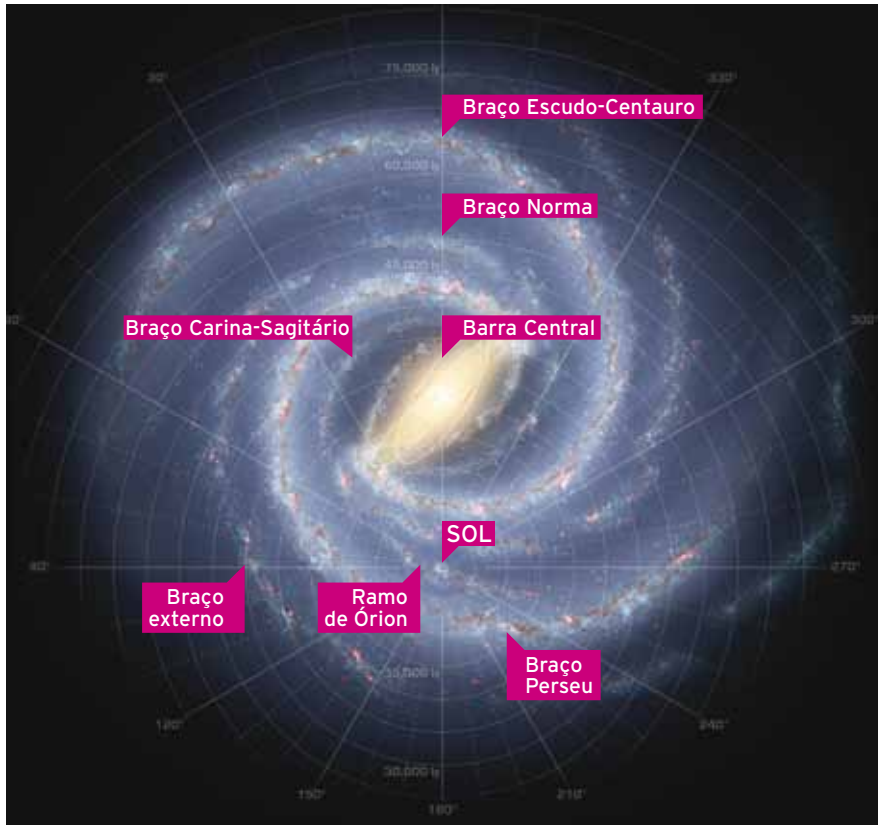
MARCOS PIVETTA

Não faltam mitos e lendas sobre a Via Láctea, o agrupamento de poeira, gás e algo como 400 bilhões de estrelas mantidas relativamente próximas pela força gravitacional no qual se insere o sistema solar. Os antigos egípcios acreditavam que a galáxia era uma bifurcação do Nilo, um rio no firmamento. Para muitos povos, a água era seu elemento central e as estrelas se encontravam fixadas no céu. Alguns índios brasileiros a chamavam de Tapirapé, o caminho das antas. Observado a olho nu desde tempos imemoriais em dias de céu limpo, o aspecto aparentemente leitoso da formação estelar serviu de inspiração para seu nome. O próprio termo galáxia – em grego, *gala* quer dizer “leite” – deriva dessa analogia. Ideias míticas ou fantasiosas sobre a Via Láctea, como as citadas acima, são postas à prova e derrubadas desde que Galileu Galilei apontou seu telescópio para a abóbada celeste há quatro séculos. Hoje a quantidade de informação científica acumulada sobre a galáxia é enorme, mas, segundo alguns astrofísicos, é enganosa a sensação de que a conhecemos em detalhes.

Dois trabalhos recentes e independentes de pesquisadores brasileiros questionam a visão mais difundida sobre um dos traços mais marcantes da nossa galáxia, os braços da Via Láctea. No final de novembro, Augusto Daminieli e Jacques Lépine, ambos astrofísicos da Universidade de São Paulo (USP), passaram quatro dias debatendo as características da estrutura espiral da Via Láctea ao lado de outros 60 cientistas da Europa, Estados Unidos, Japão e América Latina num hotel à beira-mar no balneário chileno de Bahia Inglesa, na região desértica do Atacama. A ideia do *workshop* era confrontar as observações feitas por vários grupos de pesquisa com as teorias vigentes nessa área. Novos dados divulgados por Daminieli sugerem que algumas regiões estelares associadas aos braços da galáxia estão até 50% mais próximas da Terra do que medições anteriores apontavam. Talvez a extensão da própria Via Láctea seja menor do que se pensa. Já o estudo de Lépine indica que alguns trechos dos braços podem ser retos em vez de espiralados e que pode haver um pequeno braço periférico que exhibe uma inusitada

DUAS VISÕES DA GALÁXIA

Dependendo da versão do desenho, a Via Láctea pode ter dois ou quatro braços principais



NASA / JPL-CALTECH / R. HURT (SSC)

Divulgado no início de 2008 por astrofísicos do satélite Spitzer da Nasa, o mapa maior mostra uma Via Láctea com dois braços principais (Escudo-Centauro e Perseu) e dois secundários (Norma e Carina-Sagitário), que aparecem mais esmaecidos. Alvo de críticas, o desenho é uma atualização da ilustração menor, de 2005, na qual a galáxia surgia com quatro braços centrais

108

curvatura voltada para fora da galáxia. “O que determina a forma dos braços é a órbita das estrelas em torno do centro galáctico”, diz Lépine, autor do livro de divulgação *A Via Láctea, nossa ilha no universo* (Edusp). “É falsa a ideia de que os braços de nossa galáxia sejam espirais quase perfeitas.” A Via Láctea seria então meio quadradona?

Tecnicamente, a Via Láctea é descrita como uma galáxia espiral barrada. Além de ser circundada por um halo com baixa densidade de matéria, é formada por um grande disco achatado, do qual os braços fazem parte, e por um bojo esférico de formato parecido ao de uma bola de futebol americano em sua região central. Apresenta ainda uma concentração de estrelas que atravessa o bojo e origina uma estrutura de contornos similares a uma barra. Nesse tipo de galáxia, os braços “nascem” geralmente nas pontas da barra. As estrelas mais velhas, de cor entre o amarelo e o vermelho, se concentram

na região central. As de maior massa e mais novas, em tons azulados, delineiam os braços. Bem no coração da galáxia, no centro do bojo, há evidência de que se esconde um buraco negro, um tipo de objeto celeste misterioso que suga toda a matéria à sua volta e do qual não escapa nem a luz. Nem todas as partes da galáxia se formaram de uma vez. As estrelas mais antigas da Via Láctea têm mais de 13 bilhões de anos, mas os braços devem ter pouco mais da metade dessa idade.

Embora importantes pontos de consenso tenham sido estabelecidos nas últimas décadas, não faltam divergências de interpretação e lacunas de dados sobre algumas características centrais da Via Láctea. “Nossa visão esquemática da galáxia não mudou muito nos últimos 20 anos, mas sim a compreensão de seus detalhes e mecanismos”, explica o astrofísico português André Moitinho, da Universidade de Lisboa, outro participante do encontro ocorrido no deserto

chileno. A massa total e o tamanho da Via Láctea, parâmetros que pareciam razoavelmente bem determinados há tempos, ainda suscitam questionamentos periódicos. Não se sabe ao certo a distância do Sol e de outras estrelas em relação do centro da galáxia, tampouco a velocidade de rotação da matéria em cada ponto do raio galáctico.

De todas as dúvidas, talvez o tema que gere mais debates e revisões seja mesmo a estrutura espiral da Via Láctea. Afinal, a galáxia tem quatro ou dois braços principais? Como eles seriam e onde exatamente estariam? “Achei que estaríamos caminhando para um consenso sobre essa questão depois de tantas décadas de estudos”, diz Daminieli. “Mas os resultados dos diferentes métodos de observação usados para analisar os braços nem sempre são convergentes.”

A técnica mais segura para determinar a distância de um objeto celeste da Terra é baseada no cálculo do ângulo da paralaxe trigonométrica, procedimento

usado para esta finalidade há quase dois séculos. O astrônomo mede a variação da posição aparente de uma estrela contra um fundo fixo em dois momentos distintos de observação, em geral pontos opostos da órbita da Terra. A paralaxe é esse suposto deslocamento da estrela e é dada por um ângulo, variável-chave utilizada numa triangulação que permite descobrir quão longe o objeto está de nosso planeta. O método, no entanto, tem uma limitação: não serve para determinar a localização de objetos muito longínquos ou de brilho excessivamente tênue. No caso da Via Láctea, as estrelas que estão do lado completamente oposto ao do Sol, no outro canto da galáxia, não podem, em geral, ser estudadas por meio do cálculo da paralaxe.

Distâncias menores - Em seu trabalho, Daminieli e seus colaboradores, entre os quais se destacou o então aluno de doutorado Alessandro Moisés, usaram uma variante moderna desse método. Analisaram uma enorme série de espectros e imagens obtidas ao longo de 14 anos, no comprimento de onda do infravermelho próximo, por três telescópios instalados no Chile (Blanco, Gemini e Soar) e ainda se utilizaram de registros no infravermelho médio fornecidos pelo satélite Spitzer, da Nasa, a agência espacial americana. Com todos esses dados, os pesquisadores calcularam a distância de 35 regiões HII da galáxia, a maioria delas de gigantescas dimensões. Formada por nuvens de gás (hidrogênio) ionizado, esse tipo de região é caracterizada por intensa formação de estrelas de grande massa. “As regiões HII são consideradas boas indicadoras de onde devem passar os braços da Via Láctea”, diz Daminieli. O estudo do grupo da

O PROJETO

Nova física no espaço - Formação e evolução de estruturas no Universo - n° 2006/56213-9

MODALIDADE

Projeto Temático

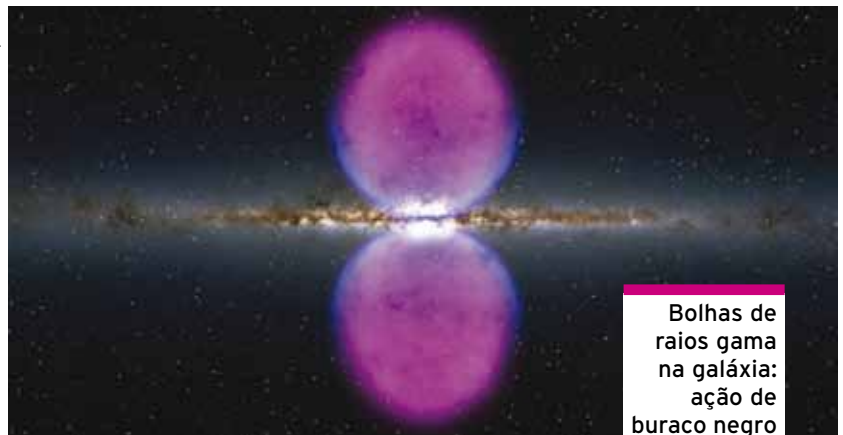
COORDENADOR

Reuven Opher - IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 1.178.363,33 e US\$ 523.179,96

GODDARD SPACE FLIGHT CENTER / NASA



Bolhas de raios gama na galáxia: ação de buraco negro



ESTUDO SUGERE QUE ALGUNS TRECHOS DOS BRAÇOS DA VIA LÁCTEA PODEM SER RETOS E QUESTIONA A IMAGEM TRADICIONAL DA NOSSA GALÁXIA

USP foi publicado *on-line* no dia 25 de novembro passado na edição eletrônica da revista científica britânica *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* e mostrou que boa parte desses berçários estelares se encontra até 50% mais próxima da Terra do que sugerem trabalhos feitos com o emprego do chamado método cinemático. Por essa segunda técnica, também clássica, os astrofísicos inferem a distância do gás que envolve as estrelas a partir do cálculo de sua velocidade de aproximação ou de afastamento do sistema solar.

De acordo com o artigo de Daminieli, 14 das 35 HII analisadas estão mais perto do que o sugerido por estudos feitos pelo método cinemático, enquanto duas se encontram mais distantes.

Para as demais regiões HII, os resultados foram inconclusivos (10 casos) ou bateram com estudos anteriores (nove casos). Se os dados do estudo estiverem certos, o diâmetro da Via Láctea – não confundir o tamanho com a massa da galáxia – pode ser menor do que os difundidos 100 mil anos-luz. “Conhecer as distâncias dos objetos é fundamental para compreender melhor a nossa galáxia e todo o Universo”, afirma Daminieli. Um ano-luz equivale à distância percorrida pela luz em um ano, cerca de 9,5 trilhões de quilômetros.

O estudo de Lépine usou o método cinemático para construir um mapa de como seriam os braços da galáxia. Além de utilizar uma técnica distinta, o astrofísico optou por analisar um tipo diferente de indicador da estrutura espiral da Via Láctea. Um grupo de radioastrônomos chilenos obteve a velocidade de 870 fontes de emissão do gás monossulfeto de carbono, que haviam sido identificadas a partir de medições no infravermelho realizadas pelo satélite espacial Iras. Com as velocidades, Lépine calculou a distância dos objetos. O monossulfeto de carbono é uma molécula associada à presença de regiões HII de pequeno porte, ou seja, a zonas em que há grande densidade de estrelas jovens. “Nenhum outro estudo sobre as clássicas regiões HII empregou mais objetos para desenhar os braços da galáxia do que o nosso”, afirma Lépine, cujo artigo, escrito em parceria com colegas brasileiros e um russo, já foi aceito para publicação também na *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*.

Os contornos que emergem do mapeamento de Lépine desafiam a visão mais tradicional da Via Láctea. De acordo

com o estudo, a galáxia pode ter apenas dois grandes braços em sua porção central, mas, sem dúvida, quatro na vizinhança solar. O detalhe mais surpreendente é que, sempre segundo o trabalho, os braços não formam espirais logarítmicas perfeitas. Alguns de seus trechos exibiriam ângulos retos. Dessa forma, a Via Láctea poderia ter braços que geram uma figura com um quê de losango. “A gente vê com certa frequência esse tipo de estrutura em outras galáxias”, comenta Lépine, um dos principais pesquisadores de um projeto temático da FAPESP sobre a formação e evolução de estruturas no Universo. Outro achado do estudo é a aparente presença na periferia da galáxia de um desconhecido e pequeno braço, denominado pelo brasileiro de Sagitário-Cefeú por estar situado perto dessas constelações. Com curvatura voltada para fora da Via Láctea, o braço estaria a uma distância aproximada de 33 mil anos-luz do centro da galáxia.

Visão do plano da galáxia - Estudar a Via Láctea impõe uma dificuldade única que, por definição, nenhuma outra galáxia jamais apresentará aos astrofísicos. Estamos dentro do objeto a ser observado e, para tornar as coisas ainda mais complicadas, num ângulo nada favorável para visualização. O Sol está apenas cinco graus acima do plano de toda a matéria que compõe a galáxia. “Como não podemos viajar para uma galáxia próxima, dar meia-volta e tirar uma foto da Via Láctea, precisamos usar outros métodos para construir uma ‘imagem’ dela”, afirma Mark Reid, do Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, de Cambridge, Estados Unidos, um dos maiores estudiosos da galáxia. “Toda vez que medimos a distância de uma estrela jovem podemos colocar um ponto no mapa da Via Láctea.” Os astrofísicos acreditam que a feição dos braços seja ditada essencialmente pela presença de grandes concentrações de gás e estrelas jovens em certas partes da galáxia.

Há ainda outros empecilhos que as técnicas observacionais tentam contornar para melhor entender a natureza da Via Láctea. Em nossa galáxia, como em qualquer outra, apenas uma parte de sua matéria total pode ser vista na faixa de luz visível do espectro eletromagnético. Frequentemente é preciso

recorrer a outros comprimentos de onda, como os raios X, ultravioleta ou infravermelho, para estudar certos objetos. A existência de poeira em meio aos gases que compõem o espaço interestelar também não facilita em nada essa tarefa. Seus grãos absorvem e espalham as radiações emitidas pelas estrelas em diversos comprimentos de onda, inclusive no da luz visível. Na prática, o fenômeno da extinção, como é conhecido o efeito causado por essas finas partículas, altera o brilho de muitos objetos e inviabiliza observações em certos cantos e distâncias da galáxia. No infravermelho, comprimento de onda usado tanto nos estudos de Daminieli e Lépine, o efeito da extinção é menor.

Embora os estudos dos dois astrofísicos da USP não apontem para uma mesma configuração dos braços da Via Láctea, ambos concordam num ponto: seus colegas do telescópio Spitzer deveriam corrigir a ilustração mais difundida sobre a galáxia. Trata-se de um belo mapa, divulgado no início de 2008, que mostra a Via Láctea com apenas dois braços espirais principais, Escudo-Centauro e Perseu. Outros dois braços, Norma e Carina-Sagitário, que se encontram entre os braços maiores, foram rebaixados à condição de secundários. Surgem mais tênues, com traços enfraquecidos. “Eles praticamente sumiram com o braço de Carina, a região mais visível da galáxia”, reclama Daminieli. Aparecem ainda na figura um minibraço recentemente descoberto, quase reto e que corre em paralelo à barra central da galáxia, e também o pequeno braço (ramo) de Órion, onde está o Sol. Na versão anterior do mapa, de 2005, também disponibilizada pelo Spitzer, os quatro braços principais tinham o mesmo *status*.

A crítica de vários astrofísicos ao mapa, no qual a simetria da estrutura é perfeita demais para ser real, é quase sempre a mesma. “O desenho reflete uma visão mais artística do que científica e não usou os melhores indicadores dos braços da galáxia”, afirma a francesa Delphine Russeil, do Observatório de Marselha, outra especialista no tema. “Se analisarmos a presença de objetos jovens na Via Láctea, todos concordam que há quatro braços, ainda que não saibamos direito como as diferentes partes dessas estruturas se interconectam se vistas dos hemisférios Sul e Norte.”

NASA / JPL-CALTECH / M. POVICH



O astrofísico americano Robert Benjamin, da Universidade de Wisconsin, um dos envolvidos na confecção do polêmico mapa, explica como o desenho foi concebido. “É extraordinariamente difícil encapsular numa única imagem os resultados de mais de 50 anos de pesquisas, feitas por nós e por outros grupos no mundo”, diz Benjamin. “Algumas populações de estrelas parecem indicar que há dois braços mais fortes e outros mais fracos. O mapa foi a nossa melhor tentativa de refletir esses dados.” Aprimorar periodicamente a ilustração é um objetivo do time do Spitzer – e uma nova versão da ilustração deve ser produzida até o fim deste ano.

Com a massa de Andrômeda - Não são só os braços da Via Láctea que provocam polêmica. Recentemente, sua massa e o *status* de segunda maior galáxia de sua vizinhança cósmica foram postos em xeque. Até uns poucos



Imagem de uma região HII: gás e berçário de estrelas



A MASSA TOTAL DA VIA LÁCTEA PODE SER O DOBRO DO QUE SE PENSAVA E IGUAL À DE ANDRÔMEDA, A MAIOR GALÁXIA DE NOSSA CERCANIA CÓSMICA

anos, todas as evidências indicavam que Andrômeda tinha o dobro da massa da Via Láctea e era a maior das mais de 45 galáxias que formam o chamado grupo local. “Parece que a Via Láctea e Andrômeda têm mais ou menos a mesma massa total”, afirma o astrofísico Mark Reid, do Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. “Essa é a interpretação mais simples e direta de nossos dados.” No início de 2009, Reid divulgou medições consideradas bastante precisas que aumentaram em cerca de 15% a velocidade de rotação atribuída à Via Láctea. O estudo indicava que a galáxia girava a 966 mil quilômetros por hora em vez de 805 mil quilômetros por hora, conforme se acreditava.

Se o cálculo de Reid estiver correto, e quase ninguém duvida disso, uma conclusão indireta do trabalho é que a galáxia precisa ter o dobro de sua massa total (matéria comum mais a misteriosa matéria escura) para girar a essa velocidade. A massa extra pode signi-

ficar uma má notícia no longo prazo: nossa galáxia poderia se chocar com Andrômeda daqui a menos tempo do que os previstos 5 bilhões de anos.

Outra descoberta recente, de novembro de 2010, pode, a exemplo da questão dos braços da Via Láctea, render muita discussão. Dados do satélite Fermi sugerem que existem duas gigantescas bolhas formadas por raios gama acima e abaixo do plano da galáxia. As surpreendentes bolhas seriam produzidas pela suposta atividade do buraco negro localizado no núcleo galáctico. Mais debates e polêmicas à vista, pelo jeito. ■

Artigos científicos

1. MOISÉS, A.P. *et al.* Spectrophotometric distances to Galactic HII regions. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**. Publicado *on-line* 25 nov. 2010.
2. LÉPINE, J.R.D. *et al.* The spiral structure of the galaxy revealed by CS sources and evidence for the 4:1 resonance. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**. *No prelo.*

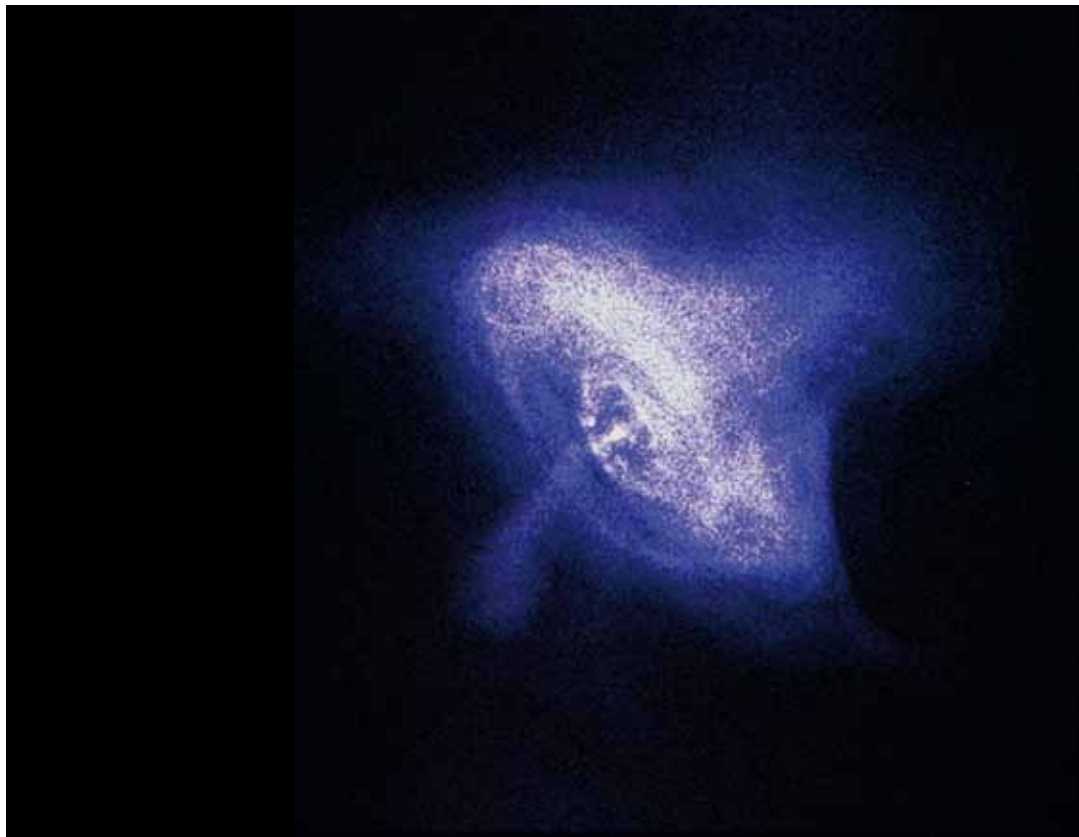
Os pesos-pesados do Universo

Mecanismo alternativo pode explicar a formação de estrelas de nêutrons maiores que o normal

SALVADOR NOGUEIRA

Nebulosa do Caranguejo
leva banho de
partículas
emitidas...

... por estrela de nêutrons (à direita) que abriga sua região central



Imagine pegar o Sol inteiro e compactá-lo até que ele fique do tamanho de uma cidade. Radical? Pode até ser, mas a natureza vive fazendo esse mesmíssimo experimento quando cria as chamadas estrelas de nêutrons, um dos menores e mais densos objetos do Universo. Os astrônomos sabem mais ou menos como isso acontece, mas são poucos os que admitem que falta muito para a ciência explicar o que se vê lá fora. Um dos mistérios a serem esclarecidos é como surgem estrelas de nêutrons com massa mais elevada do que o previsto pela teoria da formação e evolução estelar. Um grupo de pesquisadores atuando no Brasil tenta trazer alguma luz para o assunto resgatando uma hipótese controversa. Em linhas gerais, eles sugerem que deve haver mais de um jeito de criar estrelas de nêutrons.

O surgimento delas tem a ver com a morte de estrelas de massa bastante elevada, pelo menos oito vezes superior à do Sol. Para compreender o que acontece, primeiro é preciso dar duas palavrinhas sobre o que os astrônomos sabem de como vivem e morrem as estrelas. Constituídas por gás (em sua maioria hidrogênio) e poeira concentrados, as estrelas começam a brilhar quando a concentração de matéria é tal que os átomos na região mais central desses corpos celestes começam a se unir, processo conhecido como fusão nuclear (*ver texto na página 60*). A transformação de dois núcleos de hidrogênio, cada um com um próton, em um núcleo de

hélio, com dois prótons, é acompanhada de uma sutil redução da massa total. Parte da massa é convertida em energia e escapa da estrela – é daí que vem todo o poder desses astros para banhar um sistema planetário inteiro em radiação. Essa energia gerada no interior da estrela compensa a força gravitacional, que atua no sentido oposto. Por causa desse equilíbrio, a estrela permanece com aproximadamente o mesmo tamanho ao longo da maior parte da sua vida.

Porém, durante milhões de anos, o combustível disponível para a fusão nuclear vai se esgotando. Na falta de hidrogênio, são usados elementos mais pesados, como hélio, carbono, oxigênio, até chegar a um limite: o ferro. Essa é a fronteira final por uma razão simples: a fusão de núcleos de ferro consome mais energia do que a liberada ao final do processo. Nesse estágio, a produção de energia na região central é interrompida e a gravidade passa a trabalhar desimpedida, sem nenhuma força para compensar sua ação.

Bomba cósmica - A estrela entra em colapso e dispara uma complicada sequência de eventos. O resultado final é a explosão das camadas mais externas da estrela, na qual 90% de sua massa é lançada ao espaço. O que resta desse violento episódio, conhecido como supernova, é um caroço estelar muito compacto. Se a massa do caroço for relativamente pequena, essa compressão origina o que se convencionou

chamar de estrela de nêutrons – caso a massa seja mais elevada e a compressão continue, forma-se um buraco negro, objeto tão denso que nada escapa de sua atração, nem mesmo a luz.

Segundo a teoria atualmente aceita, as estrelas de nêutrons, assim chamadas por apresentarem proporções elevadas de partículas sem carga elétrica (nêutrons) em seu interior, deveriam ter todas as mesmas dimensões: uma massa cerca de 40% maior do que a do Sol, comprimida em uma esfera de menos de 20 quilômetros de diâmetro.

“Mas ninguém sabe exatamente qual é a massa que uma estrela precisa ter em vida para morrer e deixar uma estrela de nêutrons ou um buraco negro”, conta o astrônomo Jorge Horvath, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo, coordenador de um grupo que investiga as características das estrelas de nêutrons.

“Até recentemente acreditava-se que todas as estrelas de nêutrons tivessem esse padrão”, afirma João Steiner, outro astrônomo do IAG. “Mas no ano passado foi descoberto um caso que é claramente maior.”

O nome do objeto? PSR J1614-223, uma estrela de nêutrons situada a 3 mil anos-luz da Terra, descoberta por um grupo do Observatório Nacional de Rádioastronomia (NRAO), nos Estados Unidos. Apresentada em artigo publicado na *Nature*, essa estrela parece ter duas massas solares – um mamute, em se tratando de objetos desse tipo.

Esse achado obrigou a comunidade astronômica a aceitar o fato de que há variação significativa na massa das estrelas de nêutrons. E se encaixa muito bem nas previsões feitas recentemente pelo grupo de Horvath, publicadas na edição de junho da revista *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Nesse trabalho, Horvath, Eraldo Rangel e Rodolfo Valentim conduziram uma análise estatística da massa de 55 estrelas de nêutrons bem estudadas e mostraram que há dois padrões mais comuns: um formado pelas estrelas de massa menor (ao redor de 1,37 vez a do Sol) e com pouca variação, como esperado; e outro, com massa maior, cerca de 1,73 massa solar, e mais variável.

Por que existem esses dois grupos distintos? “Os resultados apontam para

Vida e morte das estrelas

Astros com massa oito vezes maior que a do Sol brilham por milhões de anos até esgotar o combustível nuclear e explodir na forma de supernova. As camadas externas são lançadas ao espaço e o caroço central gera uma estrela de nêutrons ou um buraco negro

PROTOESTRELA

SEQUÊNCIA PRINCIPAL

SUPERGIGANTE

NUVEM MOLECULAR

RECICLAGEM

mais de um mecanismo de formação das estrelas de nêutrons”, afirma Horvath.

Essa ideia parece compatível com as distribuições de estrelas de nêutrons em locais como os aglomerados globulares, habitados principalmente por estrelas muito velhas e de massa menor do que aquela que, segundo a teoria, seria necessária para originar estrelas de nêutrons. Observações recentes feitas por astrônomos de diversos países vêm mostrando que nessas regiões há muito mais estrelas de nêutrons do que se esperaria se elas fossem produto exclusivo da explosão de estrelas de alta massa.

As estrelas que originalmente têm massa inferior a oito vezes a solar, ao entrar em colapso, não geram estrelas de nêutrons, mas outra classe de objetos: as anãs brancas, com a massa de um sol comprimida em um volume igual ao da Terra – é como o Sol deve terminar seus dias. Em alguns sistemas binários, a anã branca, por ação da gravidade, rouba a massa de sua estrela companheira até atingir um limite

OS PROJETOS

1. *A matéria hadrônica e QCD em astrofísica: supernovas, grbs e estrelas compactas* - nº 2007/03633-3

2. *Investigação de fenômenos astrofísicos de altas energias e altas densidades* - nº 2008/09136-4

MODALIDADE

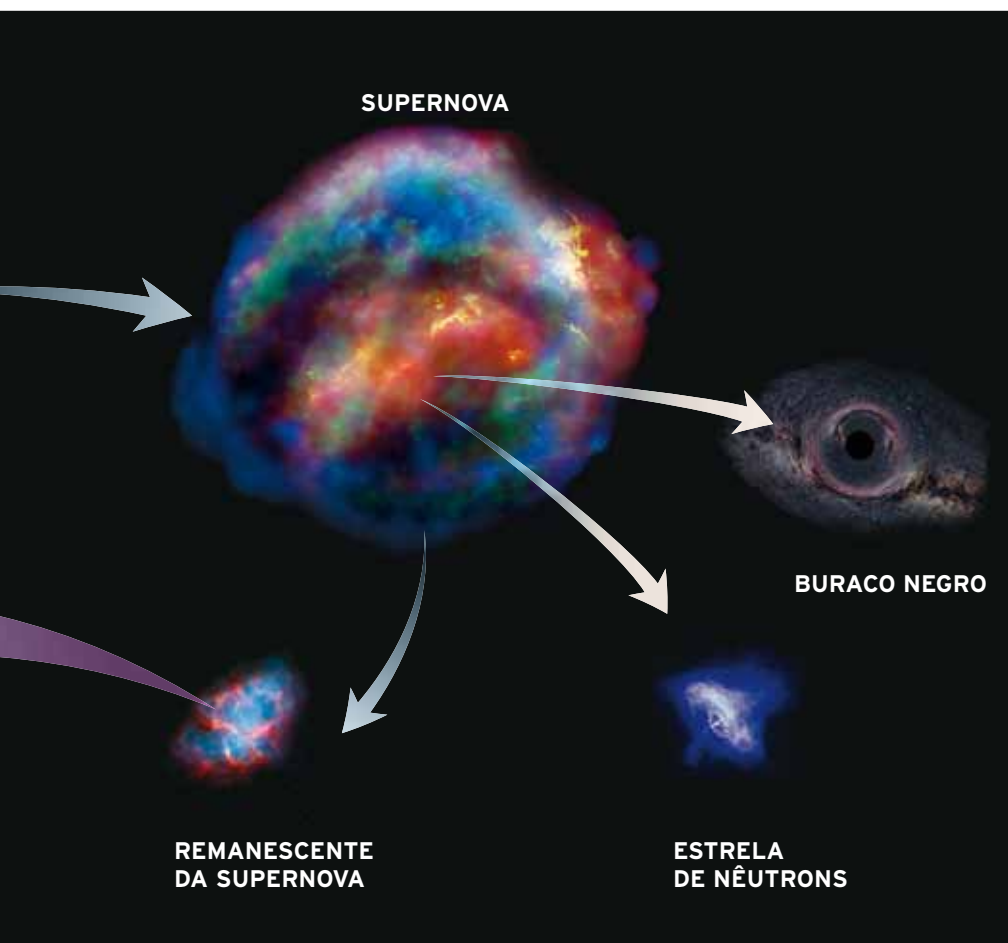
1. Projeto Temático
2. Programa Jovem Pesquisador

COORDENADORES

1. Jorge Horvath - IAG/USP
2. German Lugones - UFABC

INVESTIMENTO

1. R\$ 154.250,00 (FAPESP)
2. R\$ 91.207,65 (FAPESP)



que a induza a um novo colapso. Esse evento é explosivo e produz um tipo específico de supernova, chamada Ia, na qual a massa total da estrela é lançada violentamente para o espaço.

Mas alguns astrônomos sugerem que isso pode acontecer de modo diferente. Em vez de resultar em uma supernova, o acréscimo rápido de massa faria com que a anã branca se transformasse em estrela de nêutrons. “É uma ideia que nos ronda há 20 anos e tem quem a odeie”, diz Horvath. “Mas há também quem diga que funciona. É difícil imaginar uma alternativa melhor para explicar como certas estrelas de nêutrons foram parar onde estão.”

Dados recentes complicam o cenário ao indicar que existem estrelas de nêutrons com massa inferior à do Sol, que não se formariam por colapso.

A resposta definitiva ainda não apareceu, mas é quase certo que o futuro das pesquisas passará por reformulações nas teorias de como surgem e se comportam as estrelas de nêutrons.

Por fora e por dentro - Se há mistérios sobre a massa, a coisa não fica mais simples quando o assunto é a composição das estrelas de nêutrons. O nível de compactação desses objetos é tão elevado – a densidade de uma estrela de nêutrons é maior que a do núcleo dos átomos e 100 trilhões de vezes a da água – que a matéria pode aparecer sob formas que não se encontram em nenhum outro lugar do Universo.

A densidades maiores que a do núcleo atômico, partículas como prótons e nêutrons se desfazem em suas unidades fundamentais: os quarks, que, via de regra, nunca são vistos sozinhos. É difícil conciliar essas previsões com as observações, mas se acredita que essas condições existam em certas estrelas de nêutrons, que abrigariam em sua região central uma sopa de quarks.

Na Universidade Federal do ABC, em Santo André, Região Metropolitana de São Paulo, o grupo de Germán Lugones vem fazendo cálculos e simulações de como diferentes composi-

ções internas desses astros afetariam a massa, o raio, a evolução e outras propriedades. Um dos resultados a que a equipe chegou é que certos fenômenos que surgem quando a matéria se encontra na forma de quarks – como a transição a um estado supercondutor – explicam naturalmente a existência de estrelas com massas bem maiores que a clássica 1,4 massa solar. Por isso, a descoberta da PSR J1614-223 representou um sinal importante de que podem estar no caminho certo. Lugones acredita que uma versão mais radical das estrelas de quarks – a estrela estranha ou estrela de quarks autoligada, em que todo o astro seria composto por essas partículas – deve ser considerada como candidata caso se observem estrelas com massa ainda maior que a da PSR J1614-223.

“De acordo com estudos teóricos feitos nos últimos anos por nosso grupo, a densidade necessária para que as partículas da matéria se desfaçam em quarks é de 5 a 10 vezes maior que a densidade do interior de um núcleo atômico”, afirma Lugones, ressaltando que essas densidades podem perfeitamente ser atingidas no centro das estrelas de nêutrons de maior massa.

Se isso ocorre, ninguém sabe. Ainda há lacunas, tanto no entendimento da física por trás desses processos como no das propriedades observáveis das estrelas de nêutrons. Manuel Malheiro, pesquisador do Instituto Tecnológico da Aeronáutica e colaborador de Horvath e Lugones, encontra-se desde 2010 na Universidade de Roma onde investiga a composição e outras características de outro tipo especial de estrelas de nêutrons: as magnetares, que têm elevado campo magnético.

Ainda serão necessários avanços na teoria e nas observações para que eventualmente se chegue a um quadro mais coeso. A única certeza é que há problemas interessantes a respeito desses astros, que, acidentalmente, são laboratórios ideais para o estudo das mais extremas propriedades da matéria. ■

Artigo científico

VALENTIM, R. *et al.* On the mass distribution of neutron stars. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**. v. 414 (2), p. 1.427-31. Jun 2011.

COMPETIÇÃO NO CÉU

Investimento contínuo da FAPESP ajudou astrônomos e astrofísicos a produzir ciência de nível internacional

Se nos anos 1960 a FAPESP já tinha um papel importante na distribuição de bolsas e na importação de equipamentos vinculados à pesquisa em astronomia e astrofísica, no passado recente a Fundação passou a investir fortemente em infraestrutura capaz de dar competitividade internacional à comunidade científica brasileira nesse campo do conhecimento. Não se tratou apenas de integrar consórcios internacionais que propiciaram aos astrônomos tempo de observação em potentes instalações, como o Observatório Austral de Pesquisa Astrofísica (Soar), desenhado para obter imagens com excelente qualidade do céu na faixa da luz visível ao começo do infravermelho, e o Observatório Pierre Auger, concebido para captar raios cósmicos de alta energia, ambos na cordilheira dos Andes. A FAPESP também estimulou a criação de competência nacional na fabricação de instrumentos sofisticados instalados nos observatórios. “Criar programas de instrumentação de ponta, como os que conseguimos fazer, é um passo fundamental para quem aspira produzir ciência de primeira divisão”, afirma o astrofísico João Steiner, professor do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), da Universidade de São Paulo (USP), que integrou o conselho diretor do Soar por 12 anos e participou do projeto do telescópio desde sua concepção, no início dos anos 1990.

Na primeira década de atividade da FAPESP, entre 1962 e 1971, a astronomia chegou a absorver mais de 1% dos recursos da Fundação. Os investimentos, conforme registrou o livro *Pesquisa e desenvolvimento*, lançado por ela no início dos anos 1970, eram dedicados principalmente a bolsas, viagens a congressos, vinda de professores estrangeiros e



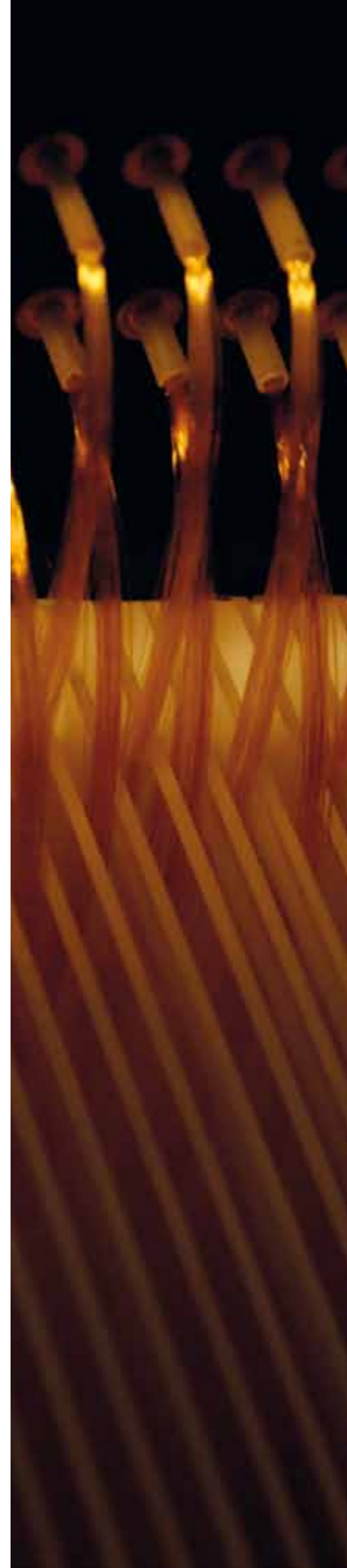
Milhares de
fibras ópticas
finíssimas
conectam o
espectrógrafo
Sifs ao
telescópio
Soar (esq.)

compra de equipamentos. As pesquisas realizadas no Observatório Astronômico da USP, então situado no Parque do Estado da capital paulista, receberam auxílios entre 1962 e 1967. A principal contribuição da FAPESP foi ter custeado a instalação e manutenção do astrolábio Danjon, instrumento através do qual é possível registrar com grande precisão o instante de passagem de um astro por uma altura fixa do céu, assim como o treinamento de pessoal para utilizá-lo.

O Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica do Mackenzie (Craam), criado em 1960, é testemunha dos investimentos da Fundação em astronomia desde os seus primórdios. O financiamento foi fundamental para que o grupo se mantivesse em seus primeiros anos. “Procuramos o então diretor científico da FAPESP, o geneticista Warwick Kerr. Ele nos orientou sobre a apresentação de projeto que permitiu comprar uma série de equipamentos básicos, todos de segunda mão, mas de grande qualidade, como osciloscópios geradores de sinal que haviam sido construídos pelos Estados Unidos na Segunda Guerra Mundial”, lembra o físico brasileiro Pierre Kaufmann, até hoje pesquisador do Craam. Segundo ele, a orientação da FAPESP foi fundamental, também, para que o grupo, formado ainda por muitos astrônomos

amadores e estudantes da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade Mackenzie, conseguisse recursos de outras fontes, como o Escritório Americano de Ciência para a América Latina. Em sua primeira década de existência, o grupo teve mais de 50 artigos científicos publicados em revistas especializadas. A aposta da Universidade Mackenzie na astronomia teve apoio da FAPESP em várias fases: como na consolidação de um rádio-observatório no Parque do Ibirapuera, em 1962, sua transferência para Campos do Jordão, em 1964, e a mudança para uma área no bairro de Itapetinga, próximo de Atibaia, no final dos anos 1960. Ali, em 1971, foi instalado o rádio-telescópio para ondas milimétricas com diâmetro de 13,4 metros – onde o grupo teve extensa produção em radioastronomia. A antena de Atibaia foi a primeira do tipo no hemisfério Sul. Hoje tem pouco uso. “Já não é competitiva como antigamente”, diz Kaufmann.

A equipe do físico seguiu fazendo ciência de classe mundial no Telescópio Solar para Ondas Submilimétricas (SST), instalado no final dos anos 1990 no complexo astronômico El Leoncito, a 2,6 mil metros de altitude nos Andes argentinos. Foi lá que, em 2004, Kaufmann e colegas argentinos identificaram um novo tipo de explosão solar,





Estação do observatório Pierre Auger: detecção e estudo de raios cósmicos

118

produzindo os chamados raios T. Captados pela antena de 1,5 metro do SST, ultrapassaram o limite de 100 gigahertz (GHz), até então a frequência máxima de energia na faixa de rádio observada nas explosões solares. O grupo de Kaufmann detectou a radiação em duas frequências: 212 e 405 GHz ou 0,2 e 0,4 terahertz, a unidade de medida adotada, que explica o nome dessa radiação e a situa no espectro entre as ondas de rádio e a luz visível. “A emissão dessa forma de radiação é o fenômeno de mais alta intensidade, comparada com a de outras faixas de energia liberadas nas explosões solares”, diz Kaufmann, coordenador do estudo que relata a identificação dos raios T em explosão solar na *Astrophysical Journal Letters*. Inaugurada em 1999, a antena do SST custou US\$ 1,26 milhão, financiada pela FAPESP, e segue em atividade.

“Até os anos 1980, a FAPESP foi fundamental para a criação de massa crítica, que aproveitaria os investimentos em infraestrutura feitos a partir dos anos 1990”, diz João Steiner, do IAG. A Fundação ajudou a comprar equipa-

mentos para o Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), em Itajubá (MG), que foram usados por grupos de pesquisadores de São Paulo e de outros estados. Inaugurado em 1981, o telescópio de 1,60 metro do LNA instalado no Observatório Pico dos Dias, em Brasópolis, Minas Gerais, foi o primeiro laboratório efetivamente criado no Brasil. “Mas o LNA também perdeu competitividade, daí a importância da participação brasileira nos observatórios Gemini, em 1993, e Soar, em 1998”, diz Steiner, referindo-se a dois telescópios usados pelos astrônomos brasileiros nos Andes chilenos. Esse investimento, diga-se, ajudou a moldar a comunidade científica em astronomia. Um levantamento feito por Steiner mostra que 61% das lideranças científicas de astronomia, aquelas que têm bolsas de produtividade do CNPq nível 1 e 2, concentram-

-se na área óptica e de infravermelho, apoiada pelo LNA, Soar e Gemini. Outros 18% trabalham com astronomia teórica e 11% com radioastronomia – 3% dividem-se em outras áreas.

Instrumentos - O projeto do Soar permitiu que o país aprendesse a desenvolver instrumentos astronômicos sofisticados. O custo de construção do observatório foi de US\$ 28 milhões, cabendo ao Brasil uma contribuição de US\$ 14 milhões (os Estados Unidos são o parceiro na empreitada), divididos entre o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que destinou US\$ 12 milhões, e a FAPESP, com participação de US\$ 2 milhões. Já os instrumentos desenvolvidos para o telescópio foram majoritariamente patrocinados pela

FAPESP. Foi o caso, por exemplo, do espectrógrafo de campo integral do Soar (Sifs). Instalado em 2010, custou US\$ 1,42 milhão, sendo 79% bancados pela FAPESP, 15% pelo LNA, do governo federal, e 6% por um programa do CNPq. Com 3 mil peças e finíssimas fibras ópticas, o Sifs é capaz de fracionar a imagem de um objeto celeste em 1.300 partes iguais e, a um só tempo, registrar o espectro de todas elas.

Em meados de 2009, outro equipamento projetado e construído com a participação de brasilei-

ros havia sido conectado ao Soar: a câmera Spartan, especializada em imagens no infravermelho – radiação eletromagnética percebida pelos seres humanos na forma de calor e capaz de atravessar as gigantescas nuvens de poeira interestelar que ocultam galáxias e berçários de estrelas. No caso da Spartan, a FAPESP bancou 55% da contribuição brasileira para o projeto. Outro equipamento recém-entregue é o filtro imageador ajustável brasileiro (BTFI), equipamento de US\$ 1 milhão (82% investidos pela FAPESP) que permitirá identificar a composição química e medir os movimentos

*ENGAJAMENTO
DE EMPRESAS NA
PRODUÇÃO DE
INSTRUMENTOS
AJUDOU NA
FORMAÇÃO DE
ESTUDANTES E
PÓS-DOCTORES*

relativos internos dos objetos celestes. Por fim, há o espectrógrafo Échelle do telescópio Soar (Steles). Como o Sifs, o Steles analisará as cores da luz emitida por estrelas e galáxias, mas enxergará uma proporção maior do espectro da luz visível – e com melhor resolução. A FAPESP bancou 44% do custo de US\$ 1,2 milhão.

O Soar é dotado de um espelho de 4,1 metros de diâmetro, a metade do tamanho de seu vizinho Gemini, cujo consórcio o Brasil também integra. “Houve quem estranhasse o investimento num telescópio com espelho de quatro metros, quando o país já tinha acesso a um de oito metros”, diz Cláudia Mendes de Oliveira, professora do IAG-USP e coordenadora de Astronomia e Ciência Espacial da FAPESP. “A verdade é que eles são muito complementares. E no Gemini, que era mais complexo, não teríamos a chance de investir no desenvolvimento instrumental, como fizemos com o Soar”, afirma. Em 2007, o resultado de uma observação feita no Soar por um brasileiro foi registrada pela revista *Nature*. Quase dois anos antes, na madrugada de 25 de setembro de 2004, o observatório espacial norte-americano Swift emitiu um alerta com as coordenadas do que poderia ser uma explosão de raios gama – a morte de uma estrela com massa dezenas de vezes superior à do Sol que se transforma em um buraco negro – ocorrida na constelação de Peixes.

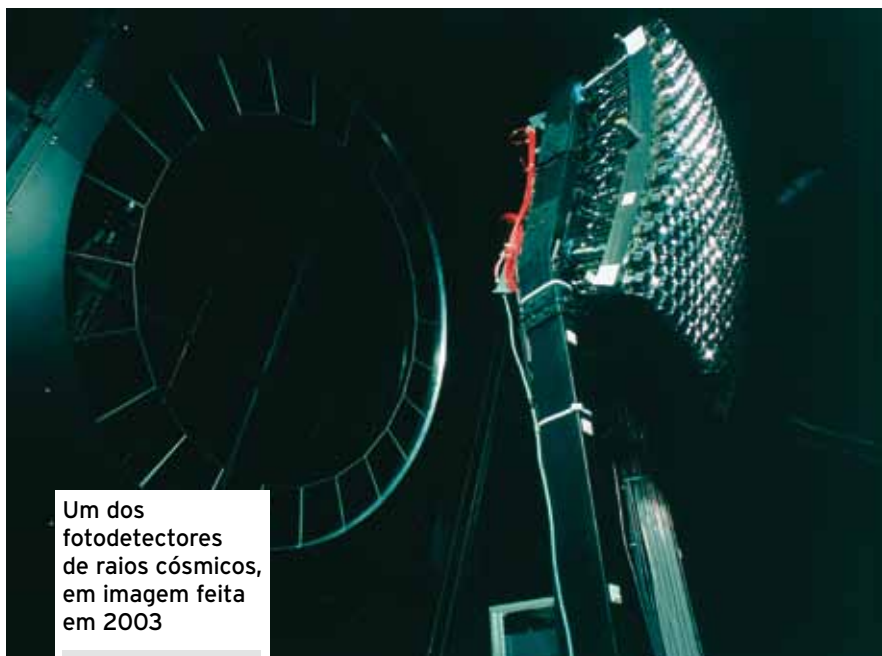
*INVESTIMENTO
EM GRANDES
OBSERVATÓRIOS
BUSCA MANTER
COMPETITIVO
O TRABALHO
DOS ASTRÔNOMOS
BRASILEIROS*

Eduardo Cypriano, astrônomo residente do Soar, trabalhava naquela noite e detectou os primeiros sinais da explosão. Os novos equipamentos do Soar começam a impulsionar a produção científica em áreas como os núcleos ativos de galáxias, anãs brancas pulsantes e explosões de raios X. Quando estiverem funcionando plenamente, diz Steiner, a astronomia brasileira vai mudar de patamar.

Conexão - Também no Observatório Pierre Auger a FAPESP, que ajudou a financiar a participação brasileira, adotou a estratégia de conectar um grande projeto de ciência fundamental com o desenvolvimento industrial nacional. Um grupo de empresas de alta tecnologia trabalhou na pesquisa de uma rede de detectores de raios cósmicos e no seu gerenciamento. “Os recursos permitiram a presença de um grande contingente de professores, pós-doutores e estudantes de graduação trabalhando na instalação e operação do observatório”, diz o físico Carlos Escobar, professor da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), que coordenou a participação brasileira no Pierre Auger. Montado em Malargue, nos Andes argentinos, por um consórcio de 17 países, o Pierre Auger é a maior instalação voltada para a detecção e o estudo dos raios cósmicos ultraenergéticos, que podem chegar a energias cerca de 10 milhões de vezes superiores às alcançadas pelos atuais aceleradores de partículas.

O grupo brasileiro foi responsável pelo projeto e instalação de componentes dos telescópios de fluorescência, desenvolvidos pelas indústrias brasileiras Equatorial, Estrutural e Schwantz. O Brasil forneceu mais da metade dos 1.660 tanques Cerenkov que constituem os detectores básicos do observatório. “Também foi intensa a participação das empresas brasileiras Alpina e Rotoplastyc. A interação com as indústrias foi benéfica para os pesquisadores, em especial os estudantes e pós-doutores, que tiveram um aprendizado sobre os desafios de desenvolver instrumentação de grande porte no Brasil e hoje vários deles estão liderando seus próprios projetos, com envolvimento industrial brasileiro. Já as indústrias melhoraram seus produtos, agregando-lhes melhor tecnologia”, diz Escobar. Os equipamentos fornecidos pelo Brasil ao observatório, que custaram US\$ 4,1 milhões, foram bancados pela FAPESP (61%), Finep (24%) e CNPq (15%). A participação no Pierre Auger rendeu ao país a publicação de 25 artigos em revistas internacionais, que receberam mais de 1.300 citações em um intervalo de 10 anos. “Formamos mais de 20 doutores e 20 mestres em temas relacionados ao Pierre Auger”, diz Escobar. ■

FABRÍCIO MARQUES



Um dos fotodetectores de raios cósmicos, em imagem feita em 2003

MIGUEL BOYAYAN

Nas redondezas de outros mundos

Como observar luas, anéis e até o magnetismo de planetas fora do sistema solar

TEXTO **Igor Zolnerkevic**

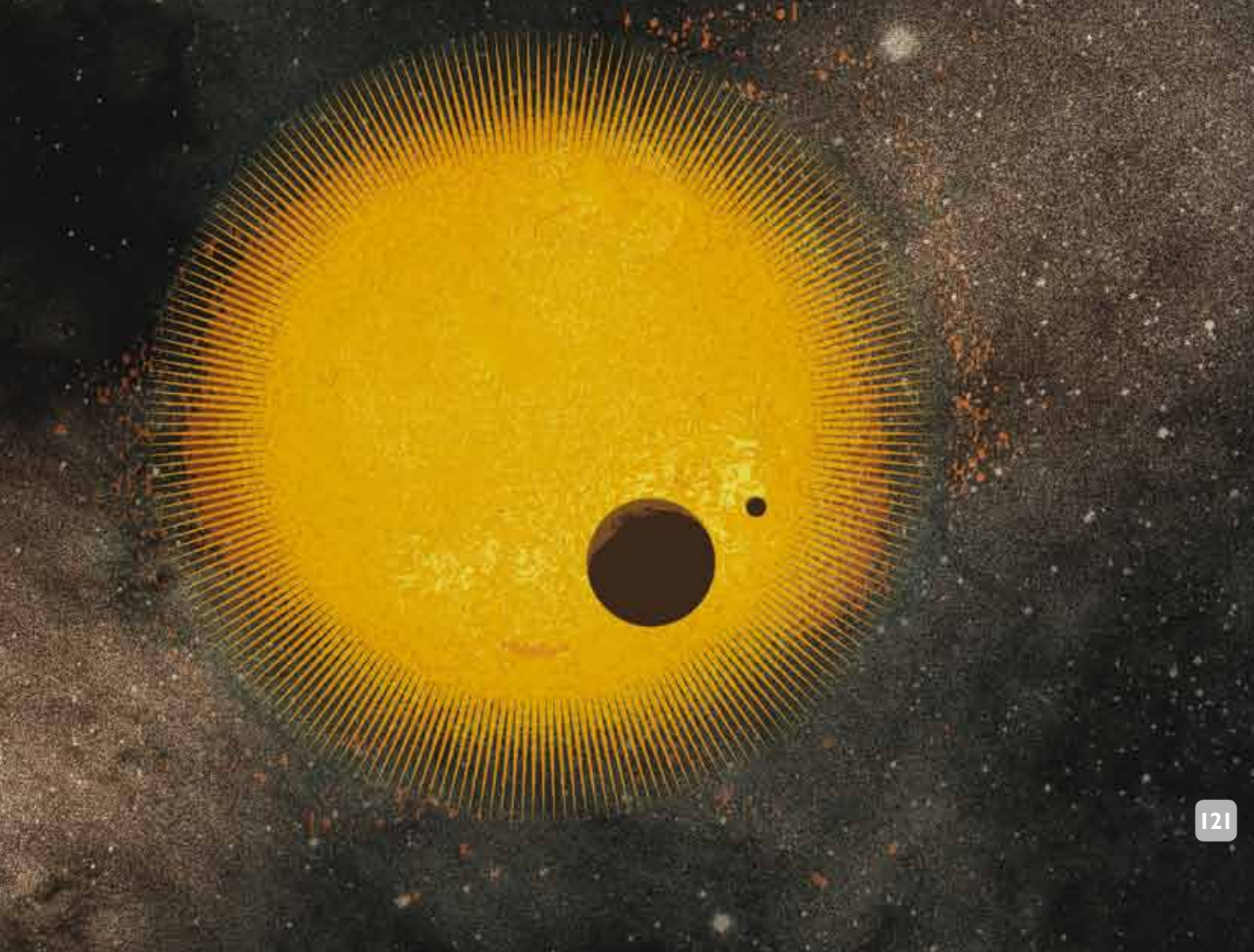
ILUSTRAÇÃO **Drüm**

120

Ainda é muito vaga a visão que temos dos planetas orbitando outras estrelas além do Sol, os exoplanetas. Em vez de fotos maravilhosas, por enquanto temos que nos contentar com as deduções do raio, da massa e das características de suas órbitas, feitas indiretamente por meio dos dois métodos de detecção mais utilizados – a técnica da velocidade radial, em que se mede como a influência gravitacional do planeta faz sua estrela oscilar, e o método do trânsito planetário, que registra a diminuição de luminosidade causada pela passagem do planeta na frente de sua estrela. Foi pelo trânsito planetário, por exemplo, que o telescópio espacial Kepler, da Nasa, já identificou mais de 2 mil possíveis exoplanetas. Uma de suas descobertas, confirmada por observações de outros telescópios, é o planeta Kepler 22b, com um raio apenas 2,4 vezes maior que o da Terra, orbitando a zona habitável de uma estrela muito parecida com o Sol, isto é, a uma distância tal que a temperatura em sua superfície permitiria a existência de

água líquida sobre ela (*ver figura na página 27*). Ninguém sabe, entretanto, se o Kepler 22b é um enorme planeta rochoso, uma super-Terra, ou se é um mini-Netuno – uma versão em miniatura dos gigantes gasosos do sistema solar.

Nossa imagem dos exoplanetas, entretanto, deve ficar muito mais rica nos próximos anos graças ao trabalho de astrofísicos teóricos que vêm propondo novas maneiras pelas quais seria possível observar no trânsito planetário os sinais de outras propriedades desses mundos. A astrofísica Adriana Válio, da Universidade Presbiteriana Mackenzie, em São Paulo, e seu aluno de doutorado Luis Ricardo Tusnski, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em São José dos Campos, foram os primeiros a determinar qual deve ser o tamanho mínimo de luas e anéis em torno de planetas extrassolares para que sejam detectáveis pelo Kepler e pelo telescópio espacial Corot, da Agência Espacial Europeia, que também utiliza o método de trânsito planetário e conta com a participação de pesquisadores brasileiros. Já uma equipe coordenada pela astrofísica brasileira Ali-



ne Vidotto, da Universidade de Saint Andrews, na Escócia, descobriu que o trânsito planetário pode ser usado em certas condições para medir o campo magnético de um exoplaneta.

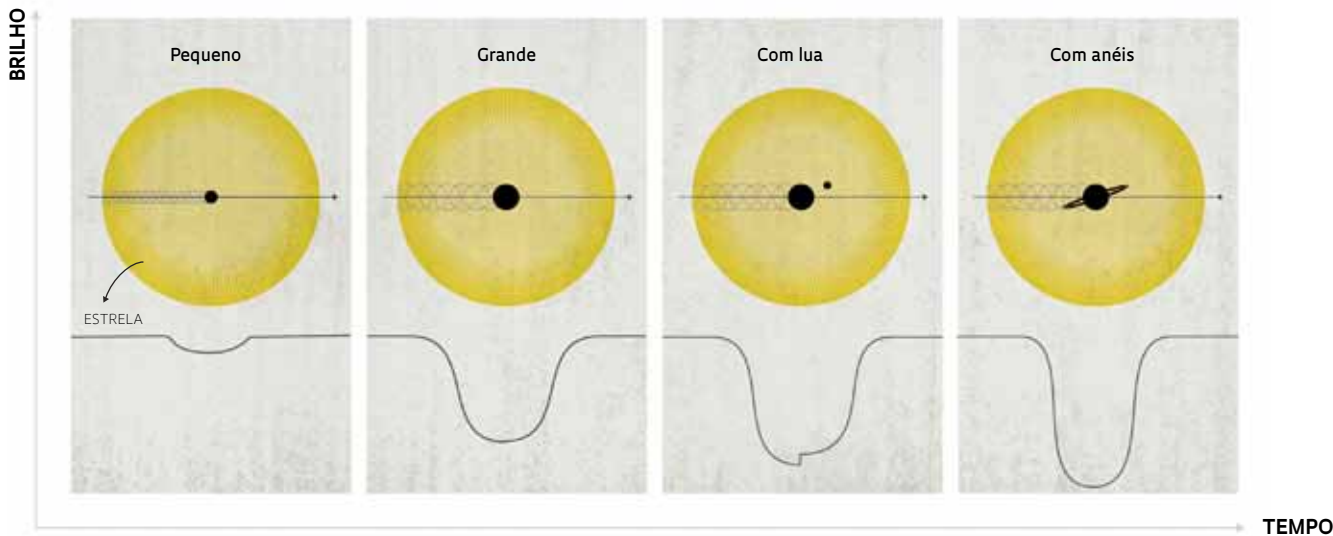
Esses trabalhos de ponta feitos por brasileiros contribuem de uma forma ou de outra para avançar a busca por um exoplaneta capaz de suportar a vida como nós a conhecemos. Embora a maioria dos mais de 700 planetas extrasolares cuja descoberta já foi confirmada sejam gigantes gasosos, tão grandes ou maiores que Júpiter, aqueles localizados nas zonas habitáveis de suas estrelas poderiam ter luas rochosas grandes o suficiente para reterem uma atmosfera por bilhões de anos e assim abrigarem oceanos cheios de vida. “Se o Kepler 22b tivesse uma lua do tamanho de Marte, por exemplo, ela seria habitável”, diz Adriana. “Outro fator importante que permite que um planeta seja habitável é o seu campo magnético”, explica Aline. “O campo funciona como um escudo protetor, impedindo que as partículas de alta energia vindas da estrela desgastem a sua atmosfera.”

LUAS OCULTAS

Desde 2003, Adriana desenvolve um modelo computacional para estudar como as manchas estelares – o fenômeno análogo ao das manchas que surgem na superfície do Sol – interferem na curva de luz do trânsito planetário. Em 2009, Tusnski, então seu aluno de mestrado, decidiu adaptar o modelo para simular o trânsito de um planeta com uma lua. Outros pesquisadores haviam proposto antes detectar luas por meio da perturbação que elas causam no movimento do planeta, mas observar isso exigiria acompanhar a variação do brilho da estrela por um tempo maior do que os telescópios costumam fazer. O modelo dos brasileiros mostrou que isso era desnecessário. Se uma lua fosse grande o suficiente, um sinal inconfundível de sua presença surgiria na curva de luz do trânsito planetário na forma de pequenos “degraus”.

No entanto, as curvas de luz obtidas pelo Kepler e o Corot não são lisas como as dos modelos, pois o brilho das estrelas não é constante, flutuando erratically, entre outros motivos, pela aparição e sumiço de manchas estelares.

Curva de luz indica tipo de planeta



O método do trânsito planetário mede a diminuição de brilho de uma estrela quando um objeto celeste passa em sua frente. Até agora foi usado para procurar mundos fora do sistema solar. Mas alguns astrofísicos teóricos acreditam que a

técnica também pode ser empregada para estudar parâmetros desconhecidos dos exoplanetas, como a possível existência de luas, de anéis e de um campo magnético. De acordo com características do mundo em trânsito, o método geraria um gráfico com uma

curva de luz particular. Planetas grandes produzem curvas maiores que os pequenos. Se houver uma lua, podem aparecer pequenos “degraus” na curva. O efeito dos anéis seria suavizar as bordas do “poço” da curva de luz e torná-lo mais fundo

122

“A coisa é ainda mais complicada porque há certo ruído no instrumento que gera uma incerteza na medida”, explica Tusnski. Os “degraus” indicando a presença das luas precisariam, portanto, ser identificados em meio ao ruído criado por essa variação. Mesmo assim, em um artigo publicado em dezembro na revista *Astrophysical Journal*, Tusnski e Adriana mostraram por meio de simulações dessas flutuações que seria possível distinguir nos dados do Corot luas 1,3 vez maiores do que a Terra, enquanto nos dados do Kepler poderia haver evidências de satélites tão pequenos quanto a nossa Lua. Tusnski já começou a buscar por esses sinais nos dados. “A aplicação dessa ferramenta pode resultar na descoberta do primeiro satélite natural em exoplanetas”, afirma o especialista em dinâmica planetária Othon Winter, da Unesp. “Uma das grandes vantagens desse trabalho é a facilidade de aprimorar o modelo (já utilizado), incluindo manchas estelares e mais luas.”

Embora a maior lua do sistema solar, Ganimedes, em Júpiter, tenha um tamanho um pouco menor que a metade da Terra, Winter, junto com Rita Domingos e Tadashi Yokoyama, ambos também da Unesp, calcularam em um artigo publicado em 2006 na revista *Monthly Notices of Royal Astronomical Society (MNRAS)* que exoplanetas semelhantes a Júpiter orbitando na

zona habitável de estrelas do porte do Sol poderiam ter satélites do tamanho da Terra ou maiores. “Há uma expectativa crescente de que a detecção de luas será feita em breve, por causa do tremendo volume de dados esperando para ser analisado”, diz o astrônomo Darren Williams, da Universidade Estadual da Pensilvânia, nos Estados Unidos, que também demonstrou recentemente como exoplanetas gigantes gasosos poderiam ter luas grandes. “Suspeito que a maioria dos planetas detectados pelo Kepler tenha luas e uma fração delas seja maior que Marte.”

Adriana e Tusnski também foram os primeiros a determinar como a presença de anéis ao seu redor dos exoplanetas afetaria a curva de luz do trânsito planetário. Seu modelo mostrou que o efeito dos anéis seria suavizar as bordas do “poço” da curva de luz, bem como torná-lo mais fundo. Realizando uma análise semelhante àquela das luas, eles mostraram que um sistema de anéis como o de Saturno pode ser detectável pelo Kepler, enquanto os anéis só seriam visíveis pelo Corot se fossem pelo menos 50% maiores que os de Saturno.

Técnica do trânsito foi empregada para identificar mais de 2 mil possíveis planetas extrassolares

O PROJETO

Investigation of high energy and plasma astrophysics phenomena: theory, observation, and numerical simulations - nº 2006/50654-3

MODALIDADE
Projeto Temático

COORDENADOR
Elisabete Maria de Gouveia Dal Pino - IAG/USP

INVESTIMENTO
R\$ 366.429,60 (FAPESP)

O próximo passo dos pesquisadores será adaptar seu modelo para identificar o sinal dos anéis de exoplanetas extremamente próximos de suas estrelas. Nesse caso, a atração gravitacional da estrela é capaz de entortar os anéis. Segundo Tusnski, eles poderiam usar essa deformação para obter informações sobre as densidades dos núcleos dos exoplanetas.

ARCOS DE CHOQUE

Também seria possível conhecer mais sobre o interior dos exoplanetas se os astrônomos conseguissem detectar o campo magnético deles. Pesquisadores vêm buscando sinais desses campos por meio de radiotelescópios. A ideia seria captar as ondas de rádio emitidas por partículas eletricamente carregadas disparadas pelas estrelas, quando elas fossem capturadas pelos campos magnéticos planetários – é o mesmo fenômeno que produz as auroras boreais na Terra. Mas todas as buscas falharam até agora.

Desde 2010, Aline e seus colegas Moira Jardine, Christiane Helling, Joe Llama e Kenneth Wood, todos da Universidade de Saint Andrews, publicaram uma série de quatro artigos nas re-

vistas *Astrophysical Journal Letters*, *MNRAS* e *MNRAS Letters*, detalhando um novo método, mais indireto mas promissor, de medir campos magnéticos de exoplanetas. De fato, a equipe afirma ter conseguido estimar a intensidade do campo magnético do exoplaneta Wasp 12b, descoberto em 2008 pelo telescópio Super Wasp, instalado em La Palma, uma das ilhas do arquipélago espanhol das Canárias.

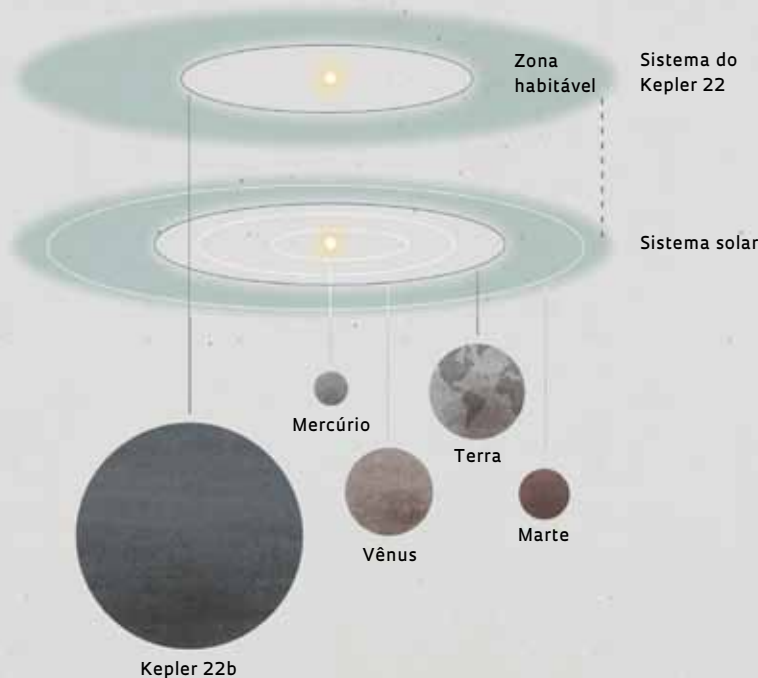
Quase duas vezes maior que Júpiter, o Wasp 12b orbita sua estrela a uma distância 16 vezes menor que a distância entre o Sol e Mercúrio, dando uma volta completa em torno dela a cada 26 horas, à velocidade estupenda de cerca de 300 quilômetros por segundo. Observações do trânsito planetário com o telescópio Hubble mostraram que a curva de luz da estrela começa a cair antes no comprimento de onda da luz ultravioleta que no da luz visível. Aline e sua equipe acreditam que esse efeito seja provocado pela formação de um “arco de choque” na frente do planeta, criado pelo fato de ele estar se movendo a uma velocidade maior que a da propagação do som num meio permeado por partículas emitidas pela estrela, o chamado vento estelar.

De acordo com o modelo dos pesquisadores, as partículas do vento estelar estariam se chocando contra o campo magnético do Wasp 12b, formando na sua frente uma região em forma de arco que seria transparente à luz visível, mas opaca à ultravioleta. Medindo a diferença entre o início do trânsito nos dois comprimentos de onda, a equipe conseguiu estimar a distância entre o planeta e o arco de choque, e a partir daí inferir a intensidade do campo magnético do planeta, que deve ser menor que 24 Gauss, um valor comparável ao campo nos polos de Júpiter, que varia entre 10 e 14 Gauss, e é quatro vezes maior que o da Terra.

Para guiar novas observações do fenômeno, a equipe analisou uma série de exoplanetas já descobertos por trânsito planetário, verificando dados como a distância dos planetas a suas estrelas e a intensidade dos ventos estelares. “Fizemos uma lista dos exoplanetas que seriam os melhores candidatos a ter um arco de choque observável”, diz Aline. Entre eles estão vários dos mais próximos da Terra descobertos pelo Super Wasp e pelo Corot.

“Aline e seus colegas encararam um problema astrofísico muito difícil”, comenta a especialista em interações magnéticas entre estrelas e planetas Evgenya Shkolnik, do Observatório Lowell, no Arizona, nos Estados Unidos. “Seria extremamente valioso se pudéssemos medir ao menos o campo magnético de alguns dos exoplanetas mais próximos de suas estrelas, os chamados Júpiteres quentes, para distinguir diferenças estruturais entre eles.” ■

Onde está a zona habitável



O menor exoplaneta situado no meio de uma zona habitável em torno de uma estrela parecida com o Sol é o Kepler 22b. Seu raio é 2,4 vezes maior do que o da Terra. A estrela em torno da

qual o planeta extrassolar completa uma órbita a cada 289 dias é a Kepler 22. Situada a 600 anos-luz da Terra, ela é um pouco menor do que o Sol. Por isso, a zona habitável desse sistema,

onde as temperaturas seriam compatíveis com a presença de água líquida e boas para o surgimento de vida, é um pouco mais próxima da estrela do que no caso do Sol

CAPA


Mais do que um eclipse

124

Colapso de ventos estelares
prolonga apagão cíclico da
estrela Eta Carinae

Marcos Pivetta

A estrela Eta
Carinae (*quadrado
pontilhado*) fica a
7.500 anos-luz
da Terra, na nebulosa
de Carina



A natureza da brutal e periódica perda de luminosidade da enigmática estrela gigante Eta Carinae, que a cada cinco anos e meio deixa de brilhar por aproximadamente 90 dias consecutivos em certas faixas do espectro eletromagnético, em especial nos raios X, pode ter sido finalmente desvendada por uma equipe internacional de astrofísicos comandada por brasileiros. O pesquisador Augusto Damineli e o pós-doutor Mairan Teodoro, ambos da Universidade de São Paulo (USP), analisaram dados registrados por cinco telescópios terrestres situados na América do Sul durante o último apagão do astro, ocorrido entre janeiro e março de 2009, e colheram evidências de que esse evento literalmente obscuro esconde, a rigor, dois fenômenos distintos embora entrelaçados — e não apenas um, como acreditava boa parte dos astrofísicos.

Primeiro, há uma espécie de eclipse das emissões de raios X desse sistema que, a rigor, é binário, composto de duas estrelas muito grandes: a principal e maior, a Eta Carinae A, com cerca de 90 massas solares, e a secundária, dois terços menor e dez vezes menos brilhante, a Eta Carinae B. O bloqueio da emissão é causado pela passagem da estrela de maior em frente ao campo de visão de um observador situado na Terra. Esse fenômeno, já razoavelmente conhecido e estudado, dura cerca de um mês, não mais do que isso. Como explicar então os outros 60 dias de apagão? A resposta, segundo Damineli e Teodoro, reside na existência de um segundo mecanismo que prolonga a perda de brilho em raios X do sistema Eta Carinae.

Assim que termina o eclipse, as duas estrelas estão a caminho do periastro, o ponto mais próximo entre suas órbitas, da ordem de 230 milhões de quilômetros. Os ventos estelares da Eta Carinae maior, um jato de partículas que escapa permanentemente de sua superfície, passam a dominar o sistema binário, aprisionam os ventos estelares da estrela menor e os empurram de volta contra a superfície da Eta Carinae B. Nesse

momento, ocorre o que os astrofísicos chamam de colapso da zona de colisão dos ventos das duas estrelas, que até então estava em equilíbrio.

Em termos de emissão de luz, duas são as consequências do colapso dos ventos, uma proposição teórica até agora nunca observada de fato: estender a duração, às vezes por mais dois meses, da perda de brilho na faixa dos raios X e — eis a grande novidade — promover uma emissão no espectro do ultravioleta. Ou seja, em meio ao apagão em raios X, há um clarão no ultravioleta, que até agora não havia sido reportado. “Os dois fenômenos estão misturados e criam um quadro complexo”, explica Damineli, que há mais de duas décadas estuda a Eta Carinae. “Se eles ocorressem em separado, seria mais fácil divisá-los.”

O novo trabalho dos brasileiros fornece uma explicação mais detalhada da dinâmica de mecanismos envolvidos na cíclica e temporária redução de luminosidade da Eta Carinae, a estrela mais estudada da Via Láctea depois do Sol e uma das maiores e mais luminosas que se conhece. De forma esquemática, o primeiro mês dos costumeiros 90 dias de apagão em raios X poderia ser creditado na conta do eclipse e os dois meses seguintes, ao mecanismo de colapso dos ventos estelares. As evidências apontam nesse sentido, mas as coisas não são tão simples assim.

Se o apagão tem data para começar, parece nem sempre ter para terminar. O último, por exemplo, iniciou-se em 11 de janeiro de 2009, como previsto, mas se prolongou por somente 60 dias, um mês a menos do que o esperado. “Não há necessariamente dois apagões iguais”, afirma Teodoro. “O eclipse parece se estender por cerca de 30 dias, mas o processo de colapso dos ventos estelares tem duração variável.” Aparentemente, esse segundo fenômeno pode durar algo entre 30 e 60 dias.

Esse cenário intrincado foi descrito em detalhes num artigo aceito para publicação no *Astrophysical Journal* (*ApJ*). Além de Damineli e Teodoro, que são os principais autores do estudo, o traba-

lho é assinado por outros 24 pesquisadores do Brasil, América do Sul, Europa, Estados Unidos e Austrália. Dados obtidos no Observatório Austral de Pesquisa Astrofísica (Soar), situado em Cerro Pachón, nos Andes chilenos — iniciativa da qual o Brasil é um dos sócios e um dos mais potentes telescópios usados no estudo —, foram fundamentais para registrar indícios dos fenômenos envolvidos no apagão da Eta Carinae. Daminieli é o coordenador de um projeto temático da FAPESP que permitirá a instalação no Soar de um espectrógrafo de alta resolução, o Steles.

MORIBUNDA, EXPLOSIVA E CASADA

Um dos corpos celestes mais fascinantes da Via Láctea, a Eta Carinae está situada a 7.500 anos-luz da Terra, na constelação austral de Carina, à direita do Cruzeiro do Sul. Nas classificações dos astrofísicos, aparece como uma estrela supergigante da raríssima classe das variáveis luminosas azuis que hoje contabiliza umas poucas dezenas de membros, mas que deve ter sido comum no início do Universo. É um objeto colossal e longínquo, não visível a olho nu, embora um observador treinado possa localizá-lo nas noites de inverno ou outono com um bom binóculo. O diâmetro da estrela principal do sistema é igual à distância que separa a Terra do Sol. Sua luminosidade é ainda mais impressionante, aproximadamente 5 milhões de vezes maior do que a do Sol. Quando sofre seu cíclico apagão a cada cinco anos e meio, deixa de emitir, nas faixas de raios X, ultravioleta e rádio, uma energia equivalente à de 20 mil sóis.

A Eta Carinae se torna uma estrela ainda mais especial por reunir outros predicados pouco comuns. Com apenas 2,5 milhões de anos de existência, cerca de 1.800 vezes mais nova do que o Sol, já é um astro moribundo e potencialmente explosivo. Deve literalmente ir pelos ares na forma de uma hipernova a qualquer momento entre hoje e alguns milhares de anos. “Sua morte deverá produzir uma explosão de raios gama, o tipo de evento mais energético que ocorre no Universo”, afirma Daminieli. Há meros 170 anos, a megaestrela entrou aparentemente numa fase terminal e turbulenta, no auge de sua decadência. Desde então, como nos anos 1840 e em menor escala na década de 1890, sofre grandes erupções em que perde matéria da ordem de dezenas de massas solares e aumenta temporariamente seu brilho. Em 1843, a Eta Carinae se tornou visível a olho nu durante o dia por meses e quase tão luminosa quanto Sirius, a estrela mais brilhante do céu noturno, que se encontra muito próxima à Terra, a uma distância de no máximo 30 anos-luz.

Naquela época, também em consequência da erupção, a megaestrela ganhou um traço que dificulta ainda mais a sua observação: uma densa

90 sóis

são necessários para igualar a massa da Eta Carinae

3 MESES

é a duração máxima da redução de brilho da estrela

nuvem de gás e poeira, no formato de dois lóbulos e denominada Homúnculo, passou a envolvê-la. “A Eta Carinae é um objeto particularmente difícil de ser estudado”, comenta o astrofísico Ross Parkin, da Universidade Nacional da Austrália, especialista em criar modelos computacionais que tentam reproduzir a interação dos ventos estelares de sistemas binários e coautor do artigo (uma de suas simulações foi usada no trabalho dos brasileiros). “É complicado vê-la, pois está imersa nesse envelope massivo de poeira.”

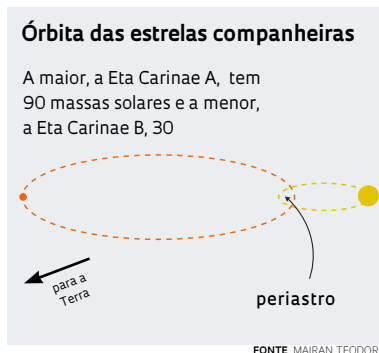
O nome de Daminieli está ligado à história desse misterioso objeto celeste. Contra a opinião de muitos, teve a primazia de defender, há quase 20 anos, a ideia de que a Eta Carinae era um sistema com duas estrelas, em vez de apenas uma, e que essa dupla de astros luminosos sofria um apagão periódico. “A Eta Carinae não era apenas gorda, era também casada”, diz o professor do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP, com seu talento para cunhar frases tão engraçadas quanto informativas. “Dou todo o crédito dessas descobertas ao Daminieli, que foi o primeiro a perceber isso”, diz o veterano pesquisador Theodore Gull, do Goddard Space Flight Center, da Nasa.

O inesperado brilho em ultravioleta em meio ao apagão de raios X em 2009 foi detectado pelos brasileiros de forma indireta, por meio do regis-

A dinâmica do apagão

A Eta Carinae é um sistema formado por duas estrelas dentro de uma nuvem de gás e poeira (à esq.). A zona de choque dos ventos estelares produz emissões de raios X (fig. 1). A cada 5,5 anos, quando as estrelas atingem o ponto mais próximo de suas órbitas (periastro), as

emissões deixam de ser visíveis (fig. 2). A estrela maior passa pelo campo de visão da Terra e provoca um eclipse. A proximidade faz o vento da Eta Carinae A engolfar e empurrar o da estrela menor de volta (fig. 3). O fenômeno prolonga o apagão em raios X e causa uma emissão de ultravioleta



tro de uma fraca emissão numa linha espectral do gás hélio ionizado, a Hell4686 A. A medição de valores positivos para essa linha é uma espécie de assinatura espectral de que existe uma fonte de raios ultravioleta no lugar observado. “O sinal do hélio ionizado que vimos durante o apagão de 2009 é apenas 20% maior do que o limite capaz de ser medido por telescópios”, diz Damineli. “Mas ele equivale ao brilho de 10 mil sóis no ultravioleta extremo.” A captação do sinal também foi facilitada pelo cerco à Eta Carinae que Teodoro coordenou há dois anos, quando cinco telescópios observaram a estrela em distintos momentos. Tudo isso explica por que nos três apagões precedentes que também foram acompanhados pela comunidade científica (1992, 1997 e 2003) não haviam sido reportadas emissões nessa linha espectral.

Como há mesmo um clarão no ultravioleta durante o apagão em raios X, a melhor explicação para essa ocorrência é a queda dos ventos estelares da Eta Carinae sobre sua irmã menor. “Acho que há uma evidência muito boa de que isso ocorre por um pequeno período de tempo durante o periastro”, afirma o astrofísico americano Michael Corcoran, do Goddard Space Flight Center, um dos coautores do trabalho com os brasileiros. Seu colega Nathan Smith, da Universidade do Arizona, outro estudioso dessa estrela, tem uma opinião semelhante. “Os autores

do estudo fizeram um trabalho muito cuidadoso e mediram a linha de emissão do hélio ionizado de uma forma consistente”, diz Smith, que não participa do artigo na *ApJ*. “A análise deles parece mesmo apoiar a conclusão de que a zona de colisão dos ventos despenca temporariamente sobre a estrela secundária.”

Entender as interações entre os ventos estelares das duas Eta Carinae, a maior e a menor, parece ser essencial para desvendar os fenômenos envolvidos no apagão. Trata-se de um jogo de empurra-empurra desigual, travado por dois contendores bem distintos. Também presente no Sol, o vento estelar é um mecanismo de perda de matéria na forma de um jato de partículas em geral eletricamente carregadas, como prótons e elétrons liberados por um gás ionizado. Por esse mecanismo, a grande Eta Carinae deixa escapar num único dia uma quantidade de massa equivalente à da Terra. Seu vento é bastante denso e viaja a 600 quilômetros por segundo no espaço. “Ele é cinco vezes mais lento do que o vento da estrela secundária, que tem um caráter mais rafeito”, explica Teodoro.

Durante a maior parte do tempo, os ventos das duas Eta Carinae estão em equilíbrio. Eles se encontram num ponto entre as duas estrelas e essa colisão produz ondas de choque que resultam em emissões de raios X. São essas emissões que deixam de ser captadas da Terra durante o apagão da estrela. Quando as duas estrelas se aproximam demais, o jogo de forças pende claramente para o astro maior. O vento da estrela principal, que funciona como uma parede em relação ao jato de partículas da estrela menor, arremessa de volta o vento da Eta Carinae B. É o tal colapso da região de choque dos ventos estelares, o fenômeno que leva a uma fugaz emissão de ultravioleta em meio ao apagão em raios X.

Segundo dados da astrofísica alemã Andrea Mehner, do Observatório Europeu do Sul (ESO), no Chile, o vento da estrela se tornou mais rarefeito nos últimos 10 anos e diminuiu sua densidade em um terço. No entanto, as observações de Damineli não corroboram essa interpretação. Para ele, a densidade do vento da Eta Carinae principal não variou muito na última década. Uma boa chance de colher mais informações sobre o tema polêmico será durante o próximo apagão da estrela, marcado para começar em julho de 2014, quando muitos telescópios voltam a mirar seus espelhos para o astro gigantesco. ■

O PROJETO

Steles: espectrógrafo de alta resolução para o Soar nº 2007/02933-3

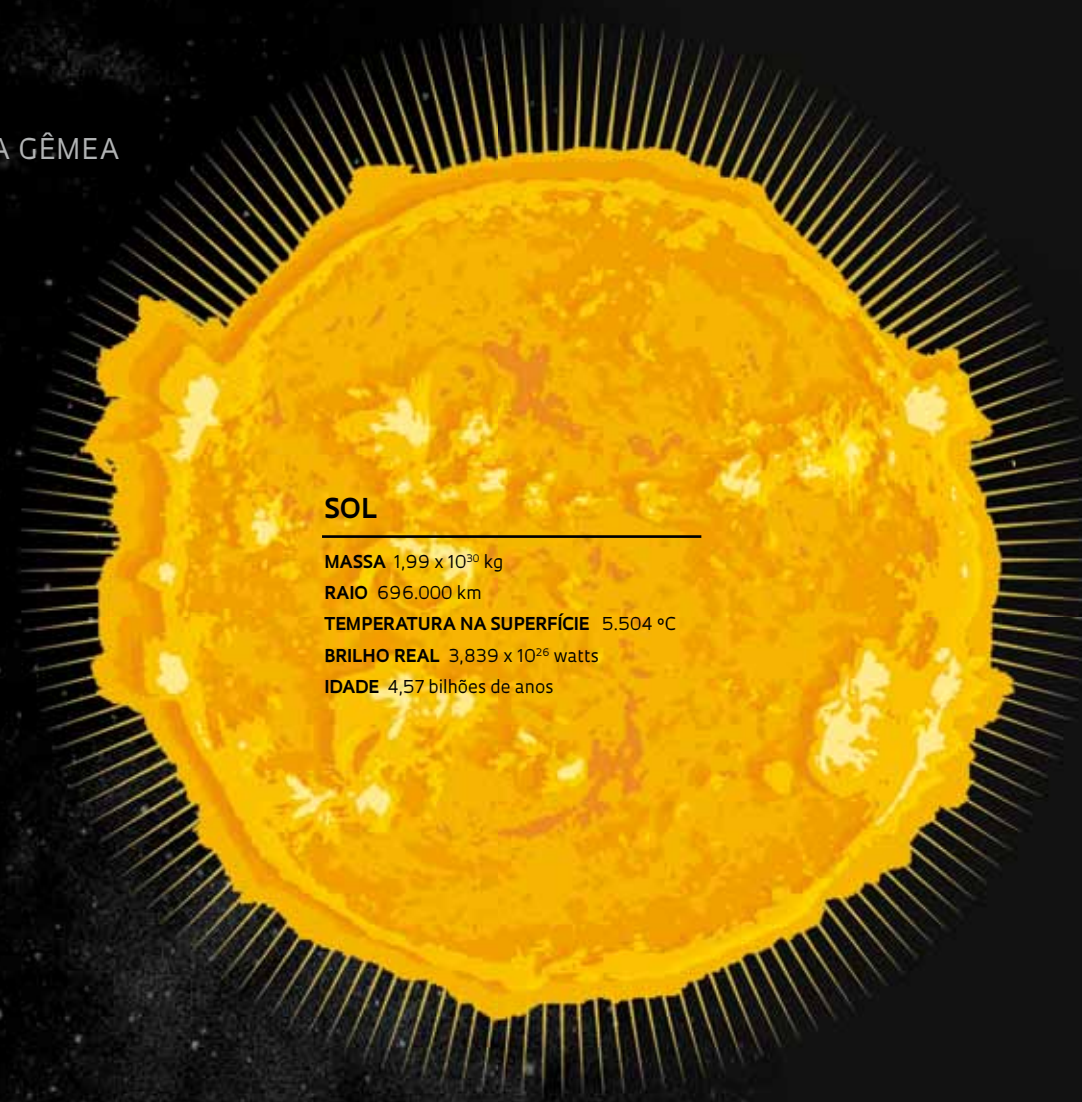
MODALIDADE
Projeto Temático

COORDENADOR
Augusto Damineli – IAG/USP

INVESTIMENTO
R\$ 1.373.456,33 (FAPESP)

Artigo científico

TEODORO, M. *et al.* He II 4686 in Eta Carinae: collapse of the wind-wind collision region during periastron passage. *The Astrophysical Journal*. No prelo.



SOL

MASSA $1,99 \times 10^{30}$ kg

RAIO 696.000 km

TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE 5.504 °C

BRILHO REAL $3,839 \times 10^{26}$ watts

IDADE 4,57 bilhões de anos

128

UM SEGUNDO SOL

Astro da constelação do Dragão é cópia quase perfeita do objeto celeste que ilumina a Terra

TEXTO **Marcos Pivetta**

ILUSTRAÇÃO **Drüm**

A estrela mais parecida com o Sol acaba de passar por uma bateria de exames refinados. O espectrômetro de alta resolução do Observatório Keck, no Havaí, decompôs a luz do astro em suas cores constituintes e essas formas de emissão eletromagnética foram, uma a uma, comparadas com as do Sol. Os resultados confirmaram as suspeitas do primeiro diagnóstico da estrela, realizado há cinco anos pelo astrofísico peruano Jorge Meléndez, então na Universidade Nacional da Austrália e hoje no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade São Paulo (IAG-USP). A HIP 56948 é realmente a melhor gêmea solar que se conhece. A massa, a temperatura superficial, o raio, o brilho, a composição química, enfim, os principais parâmetros da estrela são praticamente idênticos aos do Sol. “As diferenças nas medidas entre as duas estrelas estão dentro de margens de erro bastante aceitáveis”, diz Meléndez, que estuda o astro com apoio de um projeto financiado pela FAPESP. “Perto da HIP 56948, as outras gêmeas são apenas primas distantes do Sol.”

A gêmea solar está localizada no hemisfério celestial norte, na constelação do Dragão, a meio

HIP 56948

MASSA $2,03 \times 10^{30}$ kg

RAIO 687.000 km

TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE 5.521 °C

BRILHO REAL $3,785 \times 10^{26}$ watts

IDADE 3,52 bilhões de anos

A proporção de elementos voláteis (carbono, oxigênio, zinco e enxofre) é apenas 2% maior do que a do Sol. Somadas, as quantidades de ferro, silício, cálcio, titânio, alumínio e níquel são 4% superiores às de nossa estrela

caminho entre as estrelas Alpha Ursa Majoris e a Polar, esta última famosa por ser usada desde a Antiguidade como guia para os navegantes. A HIP 56948, às vezes chamada de HD 101364, se encontra a 200 anos-luz, algo como 12,6 milhões de vezes mais distante da Terra do que o Sol. Antes do primeiro estudo comparativo entre a HIP 56948 e o Sol realizado em 2007, a melhor candidata a clone de nossa estrela-mãe era a 18 Scorpii, situada na constelação boreal de Escorpião. Distante 45 anos-luz da Terra, essa estrela foi descrita como gêmea solar em 1997 pelo astrofísico Gustavo Porto de Mello, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). “Estamos construindo uma pequena tradição no Brasil de estudar gêmeas”, afirma Porto de Mello, que não participou do trabalho sobre a estrela da constelação do Dragão.

Além das semelhanças físicas e químicas com o Sol, os testes com a HIP 56948 revelaram outra característica interessante de seus arredores. As condições em torno do astro parecem ser compatíveis com a existência de um conjunto de planetas com arquitetura similar à do sistema solar, onde pequenos mundos rochosos se situam mais perto da estrela e grandes planetas gasosos ocupam a zona mais periférica. Esse aparente ponto

em comum com o Sol torna, em tese, a HIP 56948 uma boa candidata a abrigar em sua vizinhança planetas como a Terra, apesar de ainda não ter sido descoberto nenhum mundo extrassolar em seu entorno. As conclusões fazem parte de um estudo coordenado pelo astrofísico da USP e aceito para publicação na revista científica *Astronomy & Astrophysics*.

Não há uma definição completa do que seja uma gêmea solar. Até que ponto uma estrela precisa ser igual ou muito semelhante ao Sol para receber essa designação é uma questão em aberto. Algumas estrelas são parecidas com o Sol quando se analisam certos parâmetros, mas distintas sob outros aspectos. À medida que os astrofísicos obtêm dados mais detalhados sobre as estrelas, as similaridades e distinções ficam mais evidentes. Por questão de praticidade e devido a limitações da instrumentação atualmente disponível, a procura por gêmeas solares se concentra numa área do céu situada a no máximo 300 anos-luz da Terra, onde, de acordo com projeções dos astrofísicos, deve haver algumas dezenas de gêmeas solares. Essa zona equivale a uma parte ínfima do Universo. Mas é preciso começar a busca pelo que está mais à mão.

No caso da HIP 56948 e do Sol, os pontos em comum entre os dois astros são impressionantes. A comparação de uma série de parâmetros importantes provoca uma espécie de empate técnico entre as estrelas. A massa da HIP 56948 é, por exemplo, apenas 2% maior do que a do Sol, dentro da margem de erro da medição feita por Meléndez e seus colaboradores, também de 2%. Seu raio atinge 687 mil quilômetros, 1,3% menor do que o do Sol. A temperatura média na superfície das estrelas – em sua camada mais externa, que lhes dá o tom amarelado – é quase a mesma. Difere em 0,3%. A da gêmea solar é 5.521 °C, 17 °C superior à da Sol. Para efeito de comparação, a temperatura da 18 Scorpii, a segunda gêmea mais parecida com o Sol, é 54 °C maior que de nossa estrela-mãe. A diferença de brilho real da HIP e do Sol é quase imperceptível. A gêmea é 1,4% menos luminosa.

Apesar de todos esses traços quase idênticos, as duas estrelas apresentam uma diferença de idade significativa, de aproximadamente 1 bilhão de anos segundo os cálculos mais recentes dos pesquisadores. É como se fossem gêmeas, só que de gerações distintas. O Sol tem 4,57 bilhões de anos. A HIP 56948, 3,52 bilhões. “Isso não é ruim de forma alguma”, diz o astrofísico Ivan Ramírez, da Universidade do Texas, outro autor do artigo. “Dessa forma, podemos estudar como era a evolução do Sol há 1 bilhão de anos.” Há um problema extra no que diz respeito a esse parâmetro. “Determinar a idade de uma estrela é algo notoriamente difícil”, pondera Martin Asplund, da Universidade Nacional da Austrália, outro astrofísico que assinou o trabalho na A&A. “Pode ser que a HIP 56948 tenha quase a mesma idade do Sol.” Ou seja até mais velha do que nossa estrela-mãe, ideia defendida em outros estudos científicos, inclusive num *paper* mais antigo de Meléndez que, no entanto, se baseava em dados de qualidade inferior. A margem de erro para esse parâmetro é bem maior do que para outras propriedades estelares.

A HIP 56948 exibe uma assinatura química similar em grande medida à peculiar composição do Sol, menos rico em certos metais quando comparado a outros tipos de estrelas. A gêmea solar também possui uma deficiência de certos elementos, como níquel e ferro, embora num grau entre 2% e 3% menos acentuado do que o de nossa estrela. Uma corrente de astrofísicos, entre eles o pesquisador da USP, acredita que o déficit de alguns metais na composição do Sol possa estar ligado ao processo de formação dos planetas ao seu redor. Para os adeptos dessa interpretação, uma parcela do material presente na nuvem primordial de gás que deu origem ao Sol condensou-se na forma de poeira e pos-

O brilho do Escorpião

Identificada como uma gêmea solar em 1997 por astrofísicos brasileiros, a 18 Scorpii perdeu a condição de estrela mais parecida com o Sol para a HIP 56948



Estrelas parecidas com o Sol talvez possam abrigar sistemas planetários similares ao nosso

teriormente originou as estruturas maiores que formaram os planetas, sobretudo os rochosos (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte). Dessa forma, segundo essa linha de raciocínio, nossa estrela “perdeu” uma fração de sua matéria-prima para dar origem aos planetas do seu entorno. Por isso acabou com uma quantidade menor de alguns metais em relação ao padrão usual de ocorrência desses elementos em estrelas.

Se essa hipótese estiver correta, a melhor gêmea solar conhecida pode ser a casa de um sistema planetário análogo ao nosso. “Especulamos que talvez a HIP

56948 tenha um sistema planetário gêmeo ao do Sol”, afirma Meléndez. Por ora, os pesquisadores não encontraram nenhum mundo gigante e gasoso, do tipo Júpiter, nas órbitas mais próximas ou na chamada zona habitável ao redor da estrela, a região em que, devido às condições locais de temperatura, poderia, em tese, florescer formas de vida nos moldes da existente na Terra. Na busca por novos mundos em torno da estrela, foram usados dados dos observatórios americanos Keck, no Havaí, e McDonald, no Texas.

A notícia parece ruim, mas é boa. Se houvesse um enorme planeta gasoso nas proximidades da HIP 56948, a chance de existir por ali um pe-

O PROJETO

Influência da formação de planetas na composição química de estrelas do tipo solar

MODALIDADE
Auxílio Regular a Projeto de Pesquisa

COORDENADOR
Jorge Meléndez - IAG-USP

INVESTIMENTO
R\$ 184.263,76 (FAPESP)

queno mundo rochoso, como a Terra, seria quase nula. Devido ao jogo das interações gravitacionais, planetas de porte avantajado, quando situados nos arredores de sua estrela, tendem a provocar a destruição dos mundos menores, que são empurrados para fora do sistema ou para o escaldante interior do astro luminoso. Portanto, não terem encontrado um Júpiter quente, como são chamados os mundos gasosos situados nas zonas cálidas próximas das estrelas, foi motivo de alívio para os pesquisadores.

O método usado para procurar planetas nos arredores da gêmea solar foi o da velocidade radial, a mais tradicional técnica usada para esse fim desde meados dos anos 1990, quando se descobriu o primeiro mundo extrassolar. Desde então, a maioria dos quase 700 exoplanetas conhecidos foi identificada por meio desse recurso. A velocidade radial mede o efeito gravitacional exercido periodicamente por um planeta ao passar muito perto de sua estrela. Grosso modo, a presença do planeta faz a estrela sofrer oscilações ou perturbações em sua órbita. Quanto maior o mundo ao seu redor, maior o chacoalhão sentido pela estrela. “Com a instrumentação atual, só conseguiríamos detectar um planeta 10 vezes maior do que a Terra”, comenta Meléndez, que recentemente obteve o direito de usar por 88 noites as instalações do Observatório Europeu do Sul (ESO), no Chile, para observar gêmeas solares.

As novas medições ratificaram o status da HIP 56948 como o astro conhecido mais parecido com o Sol. Num quesito, no entanto, a 18 Scorpii, a estrela que fora destronada cinco anos atrás pela HIP 56948 da condição de melhor gêmea solar, se mostra mais semelhante ao Sol. “Não há uma estrela que seja um clone perfeito do Sol. Em função dos parâmetros que adotamos como referência, uma ou outra estrela pode ser mais similar ao Sol”, afirma o astrofísico José Dias do Nascimento Jr, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), outro especialista em gêmeas solares. “Se, por exemplo, levarmos em conta basicamente as características do campo magnético, a 18 Scorpii é mais parecida com o Sol do que a HIP 56948.”

Nossa estrela tem um ciclo magnético mais ou menos regular. A cada 11 anos, o Sol entra num período de máxima atividade, marcado pelo aparecimento de um número maior de manchas em sua superfície, vistosas ejeções de matéria de sua corona (o equivalente à sua “atmosfera”) e explosões variadas. Os picos de atividade solar são tão fortes que mexem com a vida na Terra. O clima pode se alterar e as comunicações por satélite e as redes de transmissão de eletricidade podem sofrer interrupções. O

A casa da gêmea solar

Hoje considerada a estrela mais parecida com o Sol, a HIP 56948 fica na constelação do Dragão, entre a Ursa Maior e a Menor, a 200 anos-luz da Terra



A temperatura na superfície da HIP 56948 é apenas 17 °C maior do que a do Sol. O brilho real das duas estrelas é quase o mesmo

ciclo magnético da 18 Scorpii, cuja idade estimada de 4,2 bilhões de anos é bastante próxima à do Sol, é da ordem de sete anos. “Ela ainda é uma gêmea solar notável”, diz Gustavo Porto de Mello, da UFRJ.

Ainda não se sabe qual é o padrão de atividade energética da HIP 56948, cujos estudos começaram há menos tempo. É possível que seu ciclo magnético tenha uma periodicidade de cinco a 10 anos. “Se a atividade magnética na HIP 56948 for extremamente intensa, a chance de haver planetas com boas condições de vida em torno da estrela são menores”, afirma Nasci-

mento Jr. No entanto, segundo Meléndez, dados preliminares sugerem que esse parâmetro da HIP 56948 é similar ao do Sol. “No fundo, estamos tentando descobrir se estrelas muito parecidas com o Sol tendem a produzir sistemas planetários como o nosso. Se essa relação realmente existir, encontrar gêmeas solares pode ser uma forma de descobrir planetas similares à Terra”, diz Porto de Mello. ■

Artigo científico

MELÉNDEZ, J. et al. The remarkable solar twin HIP 56948: a prime target in the quest for other Earths. *Astronomy & Astrophysics*. No prelo, 2012.

O início e o fim dos

RAIOS

CÓSMICOS

132

Novos estudos ampliam o conhecimento sobre possíveis origens dessas partículas subatômicas, que são aceleradas até atingir uma velocidade muito próxima à da luz, atravessam o espaço intergaláctico e, ao chegar à Terra, se desfazem ao colidir com outras partículas | Carlos Fioravanti

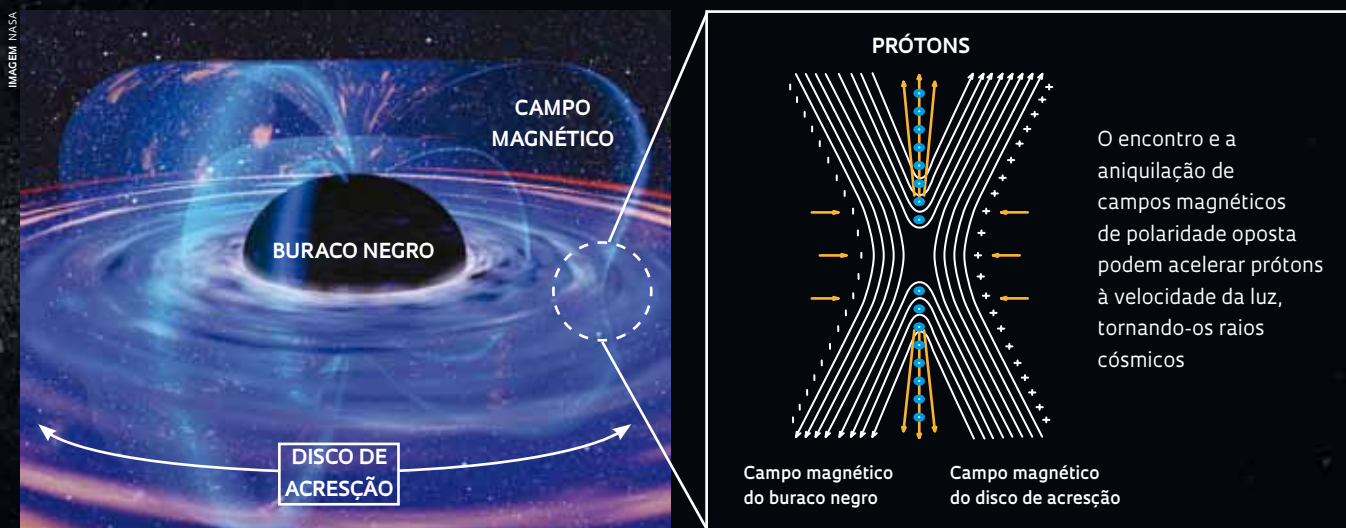


A formação e o comportamento dos raios cósmicos – partículas que chegam à Terra à velocidade muito próxima à da luz e colidem com as moléculas de nitrogênio e oxigênio da atmosfera terrestre, resultando em trilhões de novas partículas – estão sendo detalhados em dois estudos recentes. Um dos trabalhos, de pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) e dos Estados Unidos, indicou que os raios cósmicos poderiam se formar em consequência do encontro e da aniquilação de campos magnéticos de polaridades opostas em atmosferas de estrelas e de objetos cósmicos compactos como buracos negros de massas estelares ou núcleos ativos de galáxias. Para os pesquisadores responsáveis pelo estudo, esse mecanismo oferece uma alternativa ao modelo mais aceito de formação de raios cósmicos e poderia explicar as origens extragalácticas – ainda incertas – daqueles de energia mais alta.

O outro estudo – da equipe do Observatório Pierre Auger, com a participação de físicos de universidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Bahia – analisa as colisões dos raios cósmicos de alta energia com os núcleos dos átomos da atmosfera e apresenta a área de interação dos raios cósmicos de energia de 10^{18} a $10^{18,5}$ eV (elétron-Volt) com os núcleos dos átomos da atmosfera. Nesses níveis de energia, a área de interação dessas partículas – ou seção de choque – corresponde a $5,05 \times 10^{-29}$ metros quadrados (o número zero seguido da vírgula e por 28 zeros antes do número 505). “Nenhum outro experimento havia feito essa medida da seção de choque próton-ar ou da seção de choque próton-próton nessas energias altíssimas”, diz Carola Dobrigkeit Chinellato, pesquisadora do Instituto de Física da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e coordenadora da equipe paulista no Observatório Pierre Auger.

Construído de 2000 a 2008 ao pé dos Andes, em uma planície semidesértica dos arredores de Malargüe, ao sul da cidade de Mendoza, na Argentina, o Observatório Pierre Auger é o resultado de uma colaboração internacional que reúne hoje cerca de 500 físicos de 18 países. É o maior observatório de raios cósmicos em funcionamento, com 1.660 detectores de superfície, formados por tanques cilíndricos instrumentados de 3,7 metros de diâmetro por 1,2 de altura, cada um a uma distância de 1,5 quilômetro do outro, formando uma malha triangular. Espalhados por 3,3 mil quilômetros quadrados – o dobro da área da cidade de São Paulo –, os detectores de superfície funcionam de

Como um raio cósmico se forma...



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 chuva iniciado pelo raio cósmico que chegou à Terra. Os leitores desta revista acompanharam a construção do Observatório Pierre Auger, desde os bastidores das negociações, apresentados em agosto de 2000 na matéria de capa de *Pesquisa FAPESP*.

Os raios cósmicos foram descobertos há 100 anos pelo físico austríaco Victor Hess, ganhador do Prêmio Nobel de 1936. Agora, com esses dois estudos recentes, o comportamento dessas partículas torna-se menos nebuloso, embora sua composição permaneça duvidosa: há indicações de que os raios cósmicos na faixa de energia até $10^{18,5}$ eV devem ser prótons, enquanto os de energia mais alta talvez sejam núcleos de elementos químicos pesados, como ferro.

CAMPOS MAGNÉTICOS

Na Via Láctea, as explosões conhecidas como supernovas, que marcam o fim de estrelas massivas, liberam uma quantidade de energia suficiente para explicar a formação dos raios cósmicos de baixa e alta energia, enquanto os de energia mais alta, acreditava-se, poderiam resultar de objetos mais distantes como os núcleos ativos de galáxias, explica Elisabete de Gouveia Dal Pino, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP. Segundo ela, os prótons que formam o gás do meio interestelar poderiam ser acelerados a velocidades próximas à da luz, ganhando o *status* de raios cósmicos, ao colidirem com as chamadas ondas de choque, que se formam nas explosões

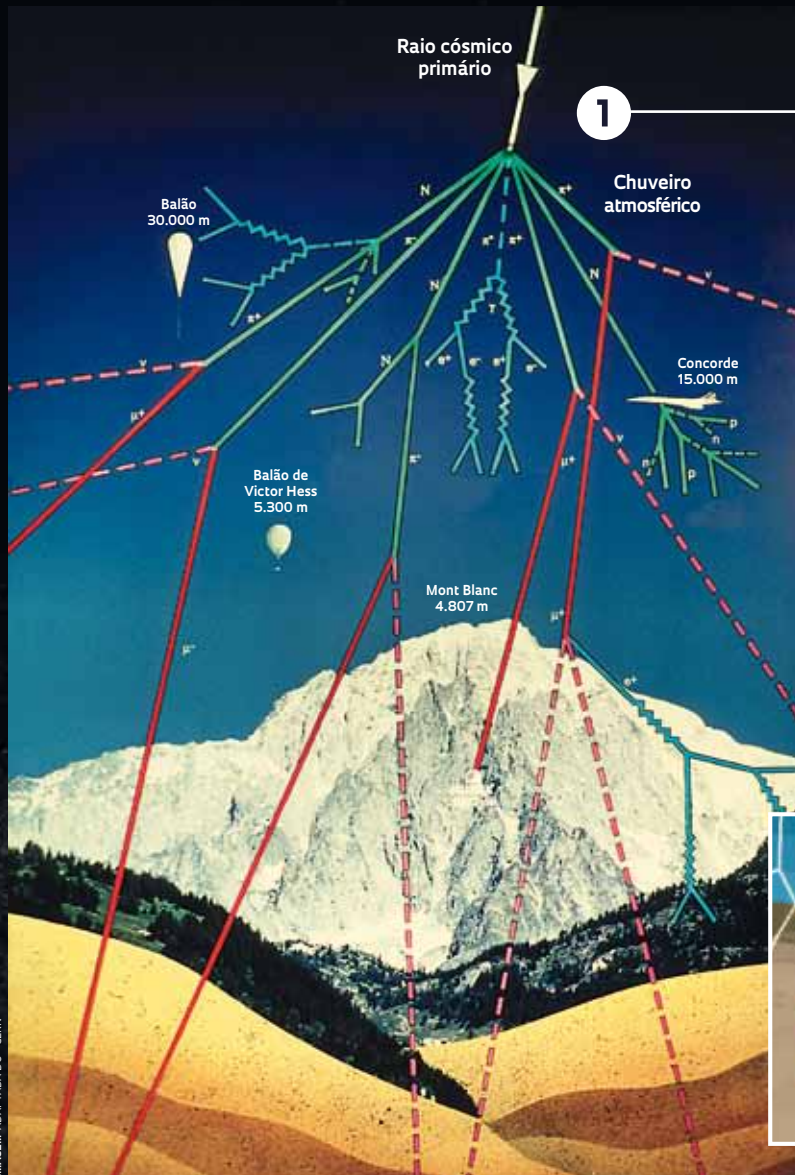
de supernovas e causam variações abruptas de velocidade, pressão e temperatura nas regiões vizinhas, como as causadas pela passagem de um avião a jato ou pela explosão de uma bomba atômica.

Os físicos supõem que outra fonte de raios cósmicos podem ser as ondas de choque que resultam do impacto das extremidades dos feixes de matéria, chamados jatos, emitidos pelos núcleos de galáxias ativas com o ambiente. O problema é que as extremidades dos jatos dos núcleos ativos de galáxias podem ser insuficientes para gerar as partículas com energia acima de 10^{18} eV. “Os raios cósmicos têm de ser capazes de sair do confinamento gerado pelos campos magnéticos sem perder muita energia devido à interação com os fótons do meio onde foram gerados”, diz Elisabete. “Outra dificuldade, encontrada com observações mais recentes de radiação gama de núcleos ativos de galáxias, é que os raios cósmicos responsáveis por essa emissão são produzidos em regiões ultracompactas onde choques são aparentemente inexistentes.”

Elisabete e Alexander Lazarian, da Universidade de Wisconsin, Estados Unidos, procuraram outros mecanismos de formação de raios cósmicos de energia altíssima e, em 2005, apresentaram uma proposta teórica que ampliava suas possíveis fontes. Agora, por meio das chamadas simulações numéricas magneto-hidrodinâmicas, apresentadas em junho deste ano na revista *Physical Review Letters*, Grzegorz Kowal, astrofísico polonês que

**Raios cósmicos
poderiam se
formar também
no gás
interestelar
e no meio
intergaláctico,
que são
turbulentos e
magnetizados**

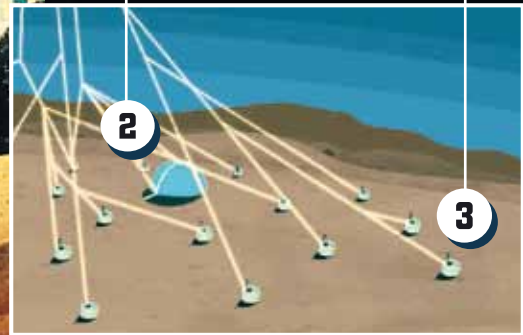
... e se desfaz



1 Ao chegar à Terra, o raio cósmico de altíssima energia colide com um núcleo da alta atmosfera. As partículas se chocam entre si sucessivamente, formando um chuveiro com trilhões de novas partículas

2 As partículas do chuveiro excitam moléculas de nitrogênio do ar que emitem uma tênue luz azul que pode ser captada pelos telescópios de fluorescência

3 As partículas são também registradas quando interagem com a água dos tanques dos detectores de superfície e produzem luz. Um computador central reúne as informações dos telescópios e dos detectores para definir a energia e a direção do raio cósmico que deu origem ao chuveiro



trabalha no IAG desde 2009, Elisabete e Lazarian confirmaram as hipóteses do artigo de 2005 e mostraram que os raios cósmicos poderiam se formar nas atmosferas magnetizadas, também chamadas de coroas, que circundam buracos negros e seus discos de acreção.

“A ideia é simples”, assegura Elisabete. “Como resultado do encontro rápido entre linhas de campo magnético de polaridades opostas, a energia magnética liberada é capaz de acelerar partículas inicialmente de baixa energia a velocidades relativísticas. O processo é muito parecido com o que ocorre com partículas térmicas em ondas de choque. Quando aprisionadas entre duas linhas de campo magnético de polaridades opostas, elas colidem várias vezes com flutuações magnéticas, ganhando progressivamente

energia a partir dessas colisões até adquirirem velocidades próximas à da luz e finalmente escaparem dessa região de aceleração promovidas a raios cósmicos.”

Essa proposta, diz ela, foi inspirada na intensa atividade magnética do Sol. Frequentemente, tubos curvos de linhas de campo magnético, os *loops*, com uma extensão aproximada de 10 mil quilômetros, emergem na superfície do Sol, a chamada coroa solar. Os *loops* podem ter polaridade positiva ou negativa, como as linhas magnéticas da Terra. Quando colidem, os *loops* de polaridade oposta liberam energia, produzem calor e aceleram os prótons que estiverem por lá, convertendo-os em raios cósmicos. Segundo Elisabete, esse processo pode originar boa parte dos raios cósmicos de baixa energia, até 10^{10} eV, que chegam à Terra.

Elisabete, Lazarian e Kowal concluíram que os campos magnéticos de polaridades opostas, quando envoltos por movimentos descontínuos chamados de turbulência, podem se encontrar e se aniquilar rapidamente, acelerando os prótons próximos de baixa energia e transformando-os em raios cósmicos, também nas coroas de gás magnetizado próximas a buracos negros ou estrelas – ou, de modo geral, “em regiões compactas altamente magnetizadas”, diz ela. Nessas regiões, que podem ter centenas de milhares de quilômetros de extensão, os prótons podem ampliar sua energia em 10 milhões de vezes em cerca de mil horas (ou 41 dias), à medida que colidem com os campos magnéticos, de acordo com esse estudo.

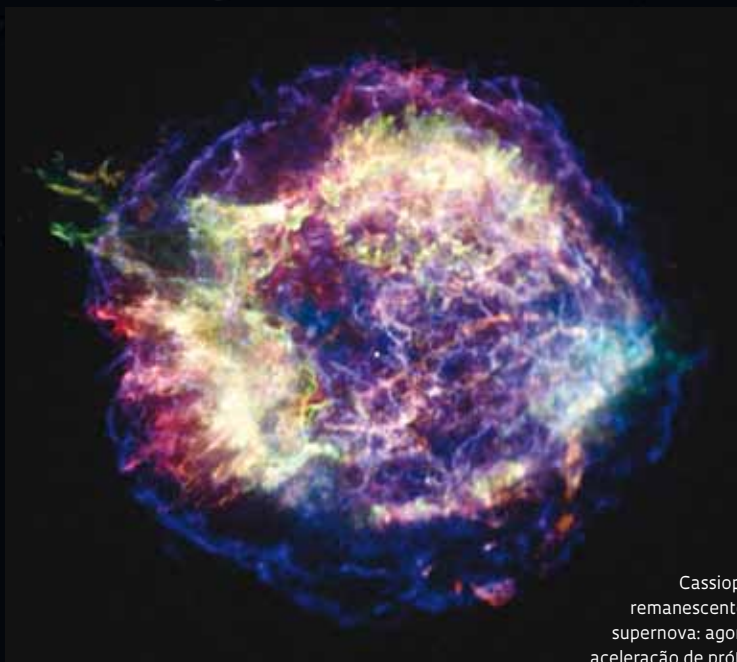
Os pesquisadores encontraram outra possibilidade, que amplia ainda mais os possíveis berçários de raios cósmicos. De acordo com esse estudo, embora com um ganho menor de energia, os raios cósmicos poderiam se formar também no gás interestelar ou no meio intergaláctico, que são turbulentos e magnetizados. Segundo Elisabete, sob o efeito da turbulência, as regiões magnetizadas do gás poderiam se encontrar e se aniquilar, transferindo a energia para as partículas próximas. A etapa seguinte do trabalho é combinar esses resultados com mecanismos físicos de perdas energéticas dos raios cósmicos e examinar observações de telescópios que possam confirmar ou corrigir essas hipóteses.

“Precisamos ver qual é o mecanismo dominante de formação de raios cósmicos de energia ultra-alta”, diz ela. Até agora as fontes das partículas mais energéticas limitavam-se a ondas de choques nos jatos de galáxias ativas. Enquanto as ondas de choques de explosões de supernovas parecem ser o principal mecanismo de produção dos raios cósmicos na nossa galáxia com energias até 10^{16} - 10^{17} eV e o Sol aparece como uma das principais fontes de energia mais baixa (10^9 - 10^{10} eV), diz ela, “as fontes dos raios cósmicos de mais alta energia permanecem um mistério e o mecanismo de reconexão magnética aparece como uma nova possibilidade atraente”.

OUTROS ENCONTROS

O outro estudo também trata de colisões de raios cósmicos a altíssimas energias, examinadas por meio do Observatório Pierre Auger na Argentina. Quando um raio cósmico de altíssima energia entra na atmosfera e colide com suas partículas, novas partículas são produzidas. As novas partículas, por sua vez, continuarão se propagando na atmosfera e também poderão sofrer novas colisões e gerar novas partículas.

A cascata prossegue enquanto as partículas do chuveiro têm energia suficiente para produzir outras. “Quando as partículas não mais tiverem energia suficiente, o número de partículas do



Cassiopeia, remanescente de supernova: agora, a aceleração de prótons é provavelmente o resultado da onda de choque formada pelos movimentos da camada externa de gás

chuveiro terá atingido o seu máximo e, a partir daí, poderá apenas diminuir”, diz Carola Chinnello, da Unicamp. Segundo ela, a energia do raio cósmico original será repartida entre esse enorme número de partículas produzidas; portanto, se ao final 1 trilhão de partículas tiverem sido produzidas, a energia de cada uma delas será aproximadamente 1 trilionésimo da energia do raio cósmico original.

Medidas recentes do Observatório Pierre Auger permitiram, pela primeira vez, detalhar as interações entre partículas em uma energia ainda não alcançada nos aceleradores de partículas. Em um trabalho publicado em agosto na revista *Physical Review Letters*, a equipe do observatório examinou colisões de 11.628 raios cósmicos com energia entre 10^{18} e $10^{18,5}$ eV com os núcleos de nitrogênio ou oxigênio da atmosfera, registradas de dezembro de 2004 a setembro de 2010. Segundo Carola, resultados anteriores do Observatório Pierre Auger já haviam indicado que, nesse intervalo de energia, as partículas cósmicas que chegam à Terra devem mesmo ser prótons.

Analisando as altitudes em que os chuueiros mais penetrantes na atmosfera apresentam o maior número de partículas, os pesquisadores determinam a seção de choque inelástica – uma grandeza física fundamental que mede a probabilidade de interação de uma partícula com outra – em colisões de prótons com núcleos do ar. No caso de um próton colidindo com os núcleos de ar, essa área de interação é de $5,05 \times 10^{-29}$ metros quadrados. “Quanto maior a seção de choque, maior a probabilidade de uma colisão ocorrer”, diz ela. Na verdade, as coisas não são tão simples

À medida que a energia aumenta, os prótons se tornam maiores e mais opacos, e a área de interação entre eles também aumenta

no mundo das partículas. “Para interagir, as partículas não precisam se tocar.”

“Não existe contato entre as partículas”, alerta Marcio Menon, também pesquisador da Unicamp. Provavelmente, acreditam os físicos, são componentes dos prótons chamados glúons que saltam para outras partículas, passando informações sobre velocidade e modificando o comportamento delas. Menon utilizou os valores obtidos pela equipe do Observatório Pierre Auger para comparar com valores medidos por outros experimentos e propor ajustes nas fórmulas matemáticas que regem a variação da seção de choque entre partículas elementares.

A medida da seção de choque das colisões entre prótons e os núcleos da atmosfera obtida pelos telescópios do Observatório Pierre Auger está também contribuindo para estimar o comportamento dos encontros entre prótons induzidos nos túneis do Grande Colisor de Hádrons (LHC), sediado em Genebra. O observatório na Argentina e o LHC foram construídos para, cada um a seu modo, ampliar o conhecimento sobre as propriedades das partículas elementares. A equipe do Observatório Pierre Auger trabalha com colisões naturais de partículas com energias 1 milhão de vezes maiores que as maiores energias alcançadas hoje no LHC, mas os raios cósmicos colidem com outras, as do ar, praticamente paradas, enquanto nos túneis do LHC são dois feixes de prótons bastante acelerados que se encontram em colisões frontais. Segundo Carola, nessa faixa de energia, a energia total da colisão de um próton dos raios cósmicos com um núcleo do ar é apenas cerca de oito vezes maior do que a de uma colisão entre dois prótons no LHC.

COLISÕES ENTRE PRÓTONS

A partir do resultado da medida da seção de choque inelástica próton-ar, os pesquisadores do Observatório Pierre Auger calcularam a seção de choque total em colisões próton-próton e concluíram que a área de interação entre partículas continua aumentando com a energia. Segundo Carola, esse aumento já havia sido observado em energias muito mais baixas há 40 anos, também no Centro Europeu de Energia Nuclear (Cern), e de maneira mais indireta em experimentos envolvendo raios cósmicos. “Surpreendentemente”, diz ela, “o resultado observado indicava que o próton ficava maior e mais opaco à medida que a sua energia aumentava”.

Atualmente o LHC, em operação no Cern, apresenta uma nova oportunidade para seguir estudando o comportamento da seção de choque próton-próton em experimentos realizados com

aceleradores, agora em energias mais altas, da ordem de 7×10^{12} eV, quase 100 vezes acima da energia alcançadas há 40 anos. Os primeiros resultados obtidos em 2011 no experimento Totem, no Cern, que envolvem também colisões próton-próton, confirmaram que o próton continua se tornando maior com o aumento da energia, e, conseqüentemente, que a seção de choque total continua crescendo. Segundo Carola, os pesquisadores do experimento Totem mediram a seção de choque em colisões elásticas próton-próton e, a partir dela, estimaram a seção de choque total próton-próton, aplicando um modelo teórico. O valor publicado é de $9,83 \times 10^{-30}$ metros quadrados para a energia total da colisão de 7×10^{12} eV, que ela compara com o valor da seção de choque total na colisão próton-próton obtida pelos pesquisadores do Observatório Pierre Auger, de $1,33 \times 10^{-29}$ metros quadrados, a energias ainda mais altas, correspondentes a $5,7 \times 10^{13}$ eV. “O próton continua ficando maior e mais opaco a essas energias”, comenta Carola.

“Em essência”, diz ela, “o que estamos estudando no LHC e no Auger é algo muito similar ao que Rutherford estudava no início do século passado”. Em 1911, na Inglaterra, o físico Ernest Rutherford fez uma série de experimentos, atirando partículas alfa, de carga positiva, contra uma folha de ouro, concluindo que o átomo era formado por um núcleo minúsculo cercado por uma região muito mais extensa em que circulam os elétrons. “A diferença é que a escala de energia é muito mais alta e os experimentos são muito mais interessantes e mais complicados. E é fantástico que o Observatório Pierre Auger consiga medir uma grandeza tão fundamental partindo da observação de chuviscos atmosféricos.” ■

Projetos

1. Investigação de fenômenos de altas energias e plasmas astrofísicos: teoria, observação e simulações numéricas – n° 06/50654-3; **2.** Reconexão magnética e aceleração de partículas em fontes astrofísicas e meios difusos – n° 09/50053-8; **3.** Estudo dos raios cósmicos de mais altas energias com o Observatório Pierre Auger – n° 10/07359-6. **Modalidades:** **1.** e **3.** Projeto Temático; **2.** Bolsa de pós-doutorado. **Coordenadoras:** **1.** Elisabete Maria de Gouveia Dal Pino – IAG/USP; **3.** Carola Dobrigkeit Chinellato – IFGW/Unicamp. **Bolsista:** **2.** Grzegorz Kowal – IAG/USP. **Investimentos:** **1.** R\$ 366.429,60 (FAPESP); **2.** R\$ 241.582,45 (FAPESP); **3.** R\$ 3.182.417,76 (FAPESP).

Artigos científicos

DE GOUVEIA DAL PINO, E.M. e LAZARIAN, A. Production of the large scale superluminal ejections of the microquasar GRS 1915+105 by violent magnetic reconnection. *Astronomy & Astrophysics*, v. 441, p. 845-53. 2005.

KOWAL, G. *et al.* Particle acceleration in turbulence and weakly stochastic reconnection.

Physical Review Letters, v. 108, n. 24, p. 241102. 2012.

ABREU, P. *et al.* Measurement of the Proton-Air Cross Section at $\sqrt{s} = 57$ TeV with the Pierre Auger Observatory. *Physical Review Letters*, v. 109, n. 6, p. 062002. 2012.

Saltos astronômicos

Marcos Pivetta e Neldson Marcolin

O astrofísico João Evangelista Steiner achava que era feliz quando estudava astronomia de raios X e buracos negros no início de sua carreira no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP). Quando fez seu pós-doutorado na Universidade Harvard, nos

Estados Unidos, e foi contratado pelo Instituto Smithsonian como funcionário público norte-americano, sua visão de como fazer ciência em nível competitivo mudou radicalmente. De volta ao Brasil em 1982, Steiner tornou-se um ativo organizador e gestor de ciência e um obsessivo batalhador pela melhora das condições de infraestrutura dos estudos astronômicos.

A lista de seus trabalhos em prol da astronomia brasileira é robusta. A modernização do Observatório Pico dos Dias, a criação do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA) e a participação nacional decisiva no consórcio dos observatórios Gemini e Soar, ambos no Chile, são os mais conhecidos. Steiner também foi secretário-geral da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), ocupou a Secretaria de Coordenação das Unidades de Pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e dirigiu o Instituto de Estudos Avançados (IES/USP). Hoje é um severo crítico da entrada do Brasil no European Southern Observatory (ESO).

Tais empreitadas não arrefeceram seu lado pesquisador. Os anos dedicados à gestão, desde 1982, conviveram com observações astronômicas frequentes, publicação de artigos científicos, supervisão de instrumentos de precisão para observatórios e um interesse nunca abandonado pelo que ocorre no Universo, o “maior e melhor laboratório que existe”, segundo costuma dizer. Agora, em 2013, Steiner está ansioso para começar um estudo sobre o centro da Via Láctea utilizando uma nova tec-

138

IDADE 62 anos

ESPECIALIDADE

Astrofísica

FORMAÇÃO

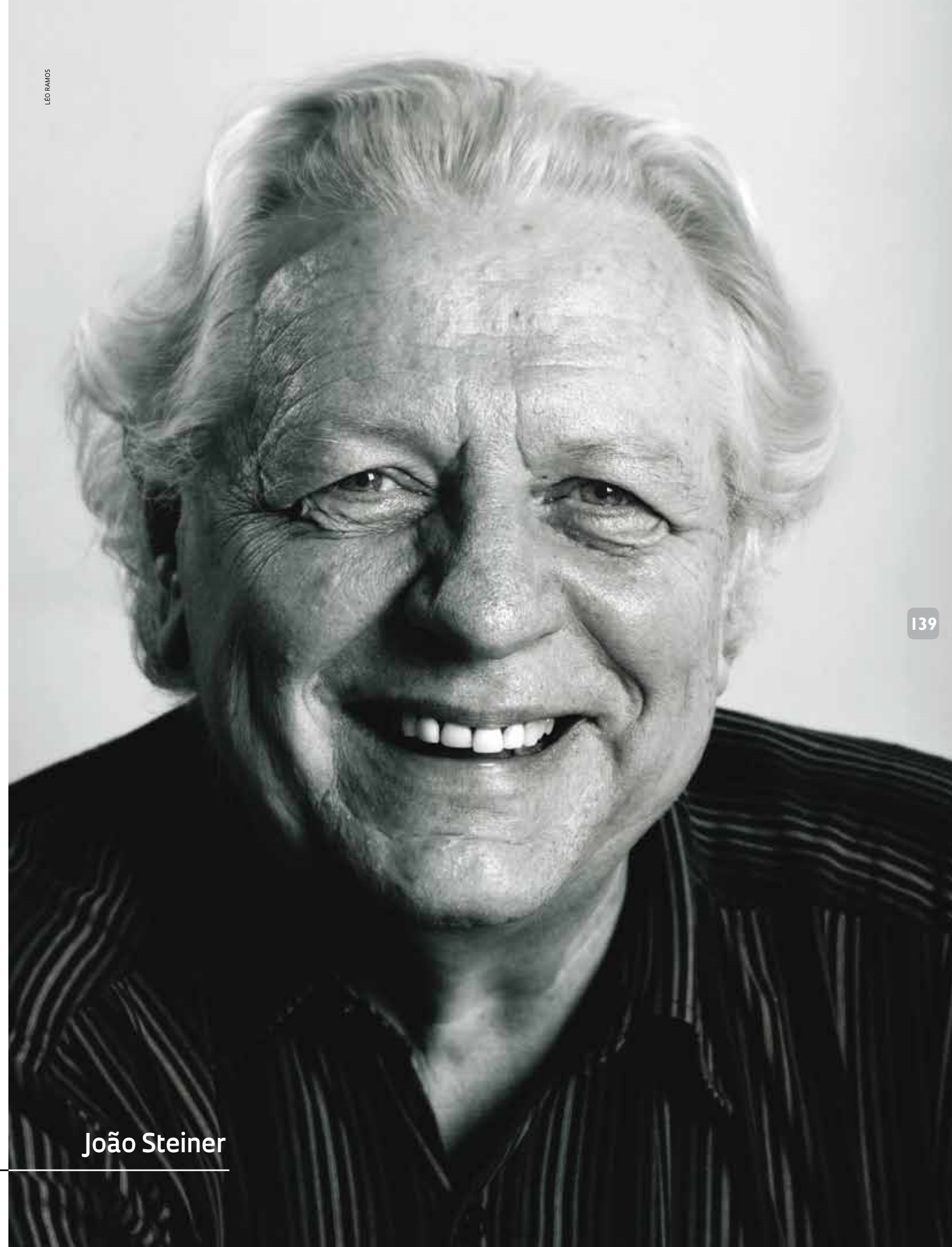
USP (graduação, mestrado e doutorado)

Universidade Harvard (pós-doutorado)

INSTITUIÇÃO

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG/USP)

João Steiner



nologia recém-instalada no Gemini. Casado, com três filhos, o astrofísico natural de São Martinho, em Santa Catarina, deu a entrevista abaixo à *Pesquisa FAPESP*.

O senhor vem de uma cidade muito pequena em Santa Catarina, colonizada por alemães. É fato que aprendeu português apenas com 10 anos?

Sou bisneto de alemães. Essa imigração aconteceu em 1860, durante a Guerra do Paraguai e dizem que até por conta do conflito. Dom Pedro II, que tinha conexões fortes com a Áustria – a mãe dele era austríaca –, queria povoar o litoral de Santa Catarina por questões geopolíticas. Meus bisavós vieram do vale do Reno, da Alemanha, e foram para o vale do Capivari, em Santa Catarina. A família do meu pai veio de Koblenz, onde o rio Mosela entra no Reno. A minha mãe é da família Boeing e veio de Bocholt. Ela descendia de dois irmãos que fugiram do serviço militar alemão. O William foi para Seattle e fundou uma companhia que depois passou a fabricar aviões, a Boeing. O Werner foi para Santa Catarina. O ruim dessa história é que nasci no lado pobre da família. Em São Martinho eu falava alemão porque era só o que se falava. Até a Segunda Guerra Mundial as aulas eram em alemão. Aprendi português aos 10 anos, na marra, porque na escola chega uma hora que não tem jeito. Mas nunca tive muitas relações científicas com a Alemanha. Mais recentemente tenho ido mais para lá porque tenho um filho que é cantor de ópera e mora em Hamburgo.

Como seguiu sua educação?

Lá tínhamos escolas de padre e de freira. Quem ia estudar, o que era raro, ia para uma ou para outra. Fui para a de padre e minha irmã para a de freira. Depois vim fazer vestibular aqui na USP.

Já tinha ideia de fazer astronomia? Era daquelas crianças que construía coisas?

Não. Mas cheguei a construir um telescópio, por curiosidade. Também construí um rádio, tentei fazer um computador que nunca funcionou. Mas eu tinha curiosidade sobre o Universo. Meus pais

eram agricultores e me lembro que quando tinha uns 7 anos estava limpando o pasto com minha mãe e quis saber dela onde era o fim do mundo. E ela disse que o fim do mundo era muito longe dali, depois da Alemanha. Vinte anos depois, veio um parente da Alemanha nos visitar. Era uma viagem duríssima, quando Santa Catarina não tinha nem estrada asfaltada. Era poeira, curvas e serra. Ele chegou lá, entrou na cozinha, sentou na primeira cadeira e disse, “Agora eu sei onde é o fim do mundo!”. Me senti vingado. Eu já tinha uns 27. Isso dá a ideia de como as coisas são relativas.

Não tinha fixação por telescópios?

Eu tinha curiosidade em saber as coisas. A física me atraía, porque respondia às

energia escura. Descobrimos de repente que sabíamos pouco do Universo, porque ele tem essas duas entidades que dominam sua dinâmica. Não que eu tivesse previsto essas coisas. Absolutamente não, mas também não estava errado em achar que laboratório bom é o Universo.

Seu interesse pelos buracos negros começou no mestrado?

Exato. A astronomia de raios X estava nascendo naqueles anos. A Cygnus X-1 foi a primeira fonte de raios X da constelação do Cisne descoberta. Quando mediram a massa da Cygnus X-1 viram que ela seria muito maior que uma estrela de nêutrons, ou uma anã branca, então só poderia ser um buraco negro. E isso foi em 1973. A minha iniciação científica foi sobre

a identificação de fontes de raios X. Em 1974 comecei o mestrado e criei um modelo teórico para a Cygnus X-1. Fiz com o professor José Antonio de Freitas Pacheco, que atualmente vive na França. O mestrado foi interessante porque estava associado com as descobertas recentes. Cygnus X-1 foi a primeira candidata a ter um buraco negro. O mestrado consistiu em construir o modelo teórico de disco de acreção [estrutura formada por material difuso ao redor de uma estrela ou buraco negro] e calcular o espectro de raios X que ele tinha que emitir. Mostrei que as duas coisas batiam.

As duas questões fundamentais da física contemporânea são matéria escura e energia escura

perguntas mais fundamentais da ciência. Eu queria fazer o melhor curso de física do Brasil e todos diziam que era o da USP. Vim para cá e entrei em 1970. Quando cheguei ao começo do terceiro ano, concluí que o melhor laboratório de física era o Universo. Muitas das questões de interesse científico seriam respondidas pela astrofísica, porque qualquer coisa que envolva grandes dimensões, grandes massas, grandes campos de gravidade, temperatura, campos magnéticos, tudo no extremo só se encontra no contexto cósmico. O problema é conseguir fazer a transformação disso em laboratório. Para isso temos de extrair muita informação. As duas questões fundamentais da física contemporânea são matéria escura e

E o doutorado?

No doutorado peguei esse modelo de disco e apliquei às estrelas anãs brancas, estrelas de nêutrons e buracos negros estelares e supermassivos, que são as quatro modalidades em que a acreção produz a energia liberada. Essa energia não vem de uma estrela normal, como o Sol, cuja origem é a fusão nuclear que transforma hidrogênio em hélio e depois em outros elementos mais pesados. E o diferencial da massa é transformado em energia. Esses objetos são extremamente compactos e têm um poço gravitacional muito profundo, na forma, na capacidade de acelerar matéria no campo gravitacional. Qualquer gás que seja capturado começa a espiralar para dentro e a energia

gravitacional é transformada em energia cinética, em acordo com a lei de conservação de energia. A energia cinética nas órbitas mais internas é muito maior do que nas órbitas externas, porque a velocidade é muito maior. Órbitas consecutivas têm velocidades diferentes e isso gera fricção, que transforma a energia cinética em energia térmica. Fica uma temperatura tão alta – estamos falando em 100 milhões de graus – que emite fótons que escapam, sob forma de energia radiante antes que a matéria entre no buraco negro ou na estrela de nêutrons ou na anã branca.

É uma maneira de saber se há um buraco negro na região observada?

No início era muito difícil distinguir se era um buraco negro ou uma estrela de nêutrons, por exemplo, ou até uma anã branca, porque todas elas emitem raios X. Estão em um sistema binário de estrelas e, sendo assim, é possível medir a massa das duas componentes. Na anã branca há um limite superior que é o de Chandrasekhar, que é 1,4 massa solar. Na estrela de nêutrons, o limite é 3,5 massas solares, que é chamado de limite Volkoff-Oppenheimer. Se for mais de 3,5, a solução é o buraco negro.

Mas sabia-se isso na época?

Até se sabia, mas a medida da massa era difícil de ser obtida. O que aconteceu naquele período é que, em muitas das estrelas binárias de raios X que foram sendo descobertas, a fonte de raios X pulsava. São os pulsares de raios X. Isso é produzido pelos polos magnéticos que vão girando e jogam o feixe de raios X, como se fosse um farol. Buraco negro não tem campo magnético. Então nenhuma dessas fontes pulsantes poderia ser um buraco negro. Tinham de ser estrelas de nêutrons, como se comprovou com a grande maioria delas. Foi uma ducha de água fria, porque achávamos que haveria uma série de buracos negros e que seria fácil estudá-los quando, na verdade, a grande maioria era estrela de nêutrons. Tanto assim que nós só conhecemos 20 buracos negros estelares na bibliografia, 40 anos depois.

Esse tema foi estudado no seu doutorado também? Existia dificuldade para encontrar gente para orientar?

O meu foi o terceiro doutorado em astrofísica no Brasil. O professor Abrahão de Moraes, aqui da USP, era muito reconhecido e mandou estudantes fazerem doutorado na França. Em 1972, logo depois de sua morte, o Pacheco terminou o doutorado e voltou. Ele foi meu orientador. Depois voltaram outras pessoas do exterior e a comunidade cresceu.

Quando foi para o exterior?

Logo depois do doutorado, em 1979. Me interessei muito pela astronomia de raios X. O primeiro satélite capaz de detectar raios X foi lançado em 20 de dezembro de 1970, na costa do Quênia. Foi chamado

Quem é cientista graças à educação pública que recebeu tem um compromisso com a sociedade

de Uhuru, que é a palavra queniana para liberdade. Muitas das estrelas binárias foram descobertas por esse satélite, que era americano. Em Harvard trabalhei com o primeiro telescópio de raios X, denominado Observatório Einstein. A base científica ficava em Harvard embora o telescópio fosse da Nasa. Naquela época não existia telescópio espacial. O Uhuru era um equipamento pequenino para detectar fóton de raios X, muito primitivo. O Einstein era um telescópio e tinha grande capacidade de fotografar. Foi lançado em 1979.

E por que voltou para o Brasil? Certamente o senhor conseguiria uma posição nos Estados Unidos.

Eu consegui uma posição. Fui contratado

em Harvard pelo Instituto Smithsonian como funcionário público federal norte-americano. Foi uma história curiosa. Quando o Einstein foi lançado, as imagens vinham todas desfocadas. Aconteceu algo semelhante com o telescópio Hubble, anos depois. Os pesquisadores ficaram desesperados, porque tinham gastado uma fortuna para fazer o primeiro grande telescópio espacial. A Nasa colocou todo seu pessoal para achar o problema – e não conseguiu. Harvard também tentou, sem sucesso. Eu estava lá e fiz meu primeiro trabalho científico como professor de Harvard, sobre quasars. Aí um professor de lá me propôs estudar o problema do telescópio. Eu disse que nunca tinha visto um satélite na vida e ele falou que era exatamente por isso: quem já tinha visto não estava conseguindo resolver o problema. Quem sabe eu conseguiria? Colocaram à minha disposição todos os computadores que eu quisesse e mais dois programadores. Comecei a trabalhar nisso, dia e noite, com o direito de chamar os programadores a qualquer hora para fazer cálculos para mim. Demorei duas ou três semanas e achei a solução. Mostrei para eles e garanti que podiam fotografar tudo de novo porque iriam conseguir o foco. Eles tinham os dados brutos arquivados e decidiram fazer um teste. Pegaram uma imagem bem desfocada e usaram a programação com

um sistema de 14 equações que fiz para ver o que dava. Saiu perfeito. Na verdade, era até algo simples. Eles tinham dois telescópios ópticos no satélite, que se fixavam em duas estrelas. Ocorre que esse telescópio se mexe em torno da Terra e o campo magnético do planeta varia. Eles criaram uma blindagem para evitar a interferência do campo magnético. O que fiz foi mostrar que essa blindagem era 50 vezes pior do que havia sido encomendado e a interferência do campo provocava o desfocamento.

Foi esse trabalho que levou a sua contratação?

Americano tem isso: quando você mostra competência está garantido. Eles são

muito objetivos e organizados. Em qualquer outro lugar do mundo eu continuaria sendo só um brasileiro. Mas lá eu fui o cara que resolveu o problema. Isso muda o tratamento. Já era professor no IAG da USP quando pedi afastamento e fui fazer o pós-doc lá, com bolsa da FAPESP, por dois anos. A bolsa acabou, pedi afastamento sem vencimentos e eles me contrataram. Fiquei um ano e tive de optar entre ficar e voltar. Voltei por duas razões: a primeira é que a família queria. Àquela altura eu era casado e tinha dois filhos. Depois nasceu mais um. A segunda razão é que nunca me passou pela cabeça não retornar. Eu fui educado aqui, com recursos públicos, em instituições públicas, tive bolsas da FAPESP em todos os níveis. Uma pessoa que recebe educação pública, como recebi, se torna um cientista que não teria sido sem isso, tem um compromisso com a sociedade que o sustentou. Para mim essa questão foi fundamental. O que eu queria era ficar um pouco mais de tempo lá, porque sabia que quando voltasse ao Brasil, em 1982, iria encontrar uma situação difícil.

E o que era a astrofísica brasileira naquela época?

Em Harvard havia montes de computadores, podíamos calcular qualquer coisa. Quando voltei para o Departamento de Astronomia, tinha cinco calculadoras de mão HP 25. Se alguém precisasse usar entrava na fila de usuários. Tínhamos também o CCE [Centro de Computação Eletrônica], órgão da Reitoria, mas localizado na Escola Politécnica. Foi lá que fiz mestrado e doutorado usando um Burroughs 6900 para os cálculos. Era preciso levar caixas cheias de cartões perfurados e entregar no guichê. Eles avisavam quanto tempo ia demorar e depois de dois dias, por exemplo, voltávamos para buscar o *print out*. A gente achava o máximo. Isso antes de ir para os Estados Unidos. Lá percebi que não dava mais para fazer aquilo e, na minha volta, comecei a mobilizar a comunidade para mudar o jogo. Foi difícil, porque muita gente não queria. Achavam bom porque não se percebia o quanto estávamos atrasados de um modo ge-

ral. Em 1985 fui para o Inpe [Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais] e criei lá a Divisão de Astrofísica. Começamos a adquirir equipamentos, compramos computadores para processar imagens. Meu primeiro aluno, Ivo Busko, fez uma tese que incluía processamento de imagens astronômicas. Quando terminou, foi trabalhar no Space Telescope Science Institute e viveu uma pequena confusão, porque ele estava lá e tinha desenhado o *software* para melhorar as imagens. Quando o equipamento foi lançado, descobriram que as imagens também eram ruins e o único cara que sabia processar as imagens era ele. O Ivo foi para lá com bolsa de pós-doc. Quando surgiu o problema, a primeira coisa que a Nasa fez foi contratá-lo.

Decifrar informações contidas no cubo de dados foi uma contribuição minha e de meus alunos

Com o avanço da tecnologia, tudo ficou menor e com melhor resolução. Isso vale para a engenharia de telescópios?

Sim, mas há outra questão fundamental que é a tecnologia do infravermelho, a faixa do espectro eletromagnético mais difícil de fazer ciência. Todos nós emitimos infravermelho. O telescópio também. Imagine construir um telescópio na luz visível e encher de lâmpadas. No momento de observar a estrela o *background* é muito brilhante. A maneira mais inteligente de resolver isso no infravermelho é construir um telescópio, colocar no espaço e refrigerar de tal modo que a emissão térmica se torne zero, desprezível. Só que fazer isso é a fronteira da tecnologia, algo muito difícil. O

primeiro telescópio infravermelho foi o Iras, lançado 30 anos atrás. As imagens eram borrões, ainda rudimentares. Todo equipamento espacial no infravermelho tem de ser refrigerado com hélio líquido. O Iras foi um grande sucesso porque ele conseguiu operar por nove meses. O que está ótimo, já que conseguir refrigerar hélio líquido no espaço é difícil. O James Webb, o próximo telescópio espacial que vai substituir o Hubble, será colocado fora da órbita da Terra para não ser afetado. Vai ter um anteparo que o protegerá do Sol. Como estará protegido da Terra e do Sol, a temperatura natural dele vai ser muito baixa.

Quando será lançado?

Talvez em 2015. Para nós será muito interessante, porque nós trabalhamos com cubos de dados, que são conseguidos com um aparelho chamado IFU [*integral field unit spectroscopy*]. Tudo o que o nosso grupo faz aqui agora está em forma de cubo de dados, porque é muito rico em informações. Desenvolvemos uma série de métodos e estamos nos tornando uma referência nessa área.

O tratamento do cubo de dados é know-how desenvolvido no IAG?

É nosso, meu e de meus alunos. E já roda em diversos outros grupos. Há alguns grupos brasileiros que nós treinamos, porque é muito difícil. O material está publicado e o *software* disponível, mas é preciso treinar. Se temos uma galáxia, no modo tradicional você põe uma fenda em cima e tira o espectro. É do espectro que sai a informação científica. No IFU é diferente. Fazemos uma matriz de lentes e, debaixo de cada uma delas, colamos uma fibra óptica. Pegamos todas as fibras ópticas, alinhamos numa fenda e produzimos um espectro para cada fibra. Pelo computador dá para reconstruir. Então temos X, Y e λ [lambda], comprimento de onda. E aí temos um cubo em três dimensões. O Gemini tem dois IFUs. Um no óptico e um no infravermelho. São ambos muito bons instrumentos. O Webb vai ter cinco.

Para trabalhar com esse método o dado já tem de ser captado em três dimensões?

Tem. Os americanos estão preocupados, porque ainda têm muita dificuldade em tratar cubos de dados. Os europeus têm mais tradição e, melhor, estão dizendo que até os brasileiros têm mais tradição. É algo que se aprende, mas o sujeito, depois de certa idade, tem dificuldade para se reprogramar em termos de novas ferramentas. Eu comecei isso porque fui forçado. Ajudei a construir os telescópios Gemini e o Soar. Fui do *board* do Gemini por 5 anos e do Soar por 12 anos. Um dos diferenciais do Gemini é que ele teria esses instrumentos de campo integral. Fui me programando para fazer esse tipo de ciência. Quando tive a oportunidade de realizar um projeto usando o Gemini e os instrumentos, não hesitei. Agora vou estudar galáxias, núcleos de galáxias, que podem ser muito bem examinados com esses equipamentos. Recebi o primeiro cubo de dados e comecei a trabalhar. Começou a aparecer um monte de problemas com os dados. Pedi socorro: quem sabe tratar esse negócio? Ninguém sabia, em nenhum lugar do mundo. Então não tive alternativa a não ser resolver os problemas. Bolei os métodos, mas ainda havia um baita trabalho de programação. Eu tinha dois alunos ótimos nisso e fomos desenvolvendo.

Podemos dizer que decifrar as informações do cubo de dados foi uma contribuição sua?

Conceitualmente e intelectualmente sim. Isso tudo é relativamente recente e essas coisas demoram certo tempo para serem assimiladas. Começamos em 2009.

O senhor participou dos projetos de grandes telescópios. Como foi esse processo?

Quando voltei ao Brasil tínhamos um telescópio recém-inaugurado, em Itajubá, no OPD, Observatório Pico dos Dias. Percebi que o telescópio era usado de forma absolutamente precária, com placas fotográficas para fazer espectroscopia. Comecei a luta para ter instrumentos modernos em 1982. Tanto assim que o primeiro CCD [*charge-coupled device*, um sensor usado para imagens digitais]

quem trouxe para o Brasil fui eu. Fiz um projeto para importar um *chip* CCD, que foi aprovado, receberia dinheiro para a importação. Mas o Pentágono vetou por considerar “tecnologia sensível”. E olha que não era nem dos Estados Unidos que ele viria, mas da Inglaterra. Fiz outro projeto para importar uma câmera astronômica com o CCD embutido. Combinei com o vendedor para não especificar, mandei um pesquisador nosso para ajudar a montar e esconder o CCD e deu certo. Foi o primeiro *chip* desse tipo que entrou no Brasil, em 1986. Foi instalado no OPD e, a partir daí, a astronomia brasileira começou a fazer ciência moderna, com CCDs, computadores e processamento de imagens. Antes se fazia com placa pantográfica, que era o

Em astronomia, ninguém mais fala em estrutura nacional. Agora é preciso de união internacional

que já se usava em 1890. Na década de 1980 já não se usava mais essa tecnologia nos Estados Unidos, mas processos modernos, digitais. Teve outra sutileza importante. Esse telescópio era gerido pelo Observatório Nacional, mas havia muita disputa em torno do controle dele, muitos conflitos. No Brasil havia a tradição de cada grupo ter seu instrumento, cada chefe ter sua “igrejinha”. E não dá, astronomia não pode ser assim. Então propus ao CNPq [Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico] a criação do Laboratório Nacional de Astrofísica, o LNA. O CNPq entendeu a proposta e topou. Foi o primeiro laboratório nacional que se fez no Brasil, em 1985, 15 anos antes do segundo, o Labo-

ratório Nacional de Luz Síncrotron. E foi uma luta muito grande, porque envolveu nova cultura e novas mentalidades. E interesses, claro. Quando o interesse entra em jogo, as coisas nem sempre ficam no campo da racionalidade.

O objetivo era um maior compartilhamento dos equipamentos astronômicos?

Era ter uma estrutura compartilhada do ponto de vista nacional. Hoje ninguém fala mais em estrutura nacional – agora é internacional, porque país nenhum consegue bancar grandes projetos sozinho. Para fazer o LNA construímos os equipamentos, os CCDs, as câmeras, e tudo isso ajudou a modernizar a astronomia brasileira. Publicamos uma série de *papers* com esse telescópio e com as tecnologias que introduzimos. E o Brasil inteiro teve acesso, porque o uso era livre. Dependia de competitividade interna, mas por critérios unicamente científicos. Esse era o princípio. Fizemos o LNA não como um ato de esperteza, mas de sobrevivência. Ao fazer de maneira compartilhada temos mais recursos para investir. Basta fazer um único investimento, que é alto, mas é apenas um – e essa é uma linguagem que o governo começa a entender. O nível da pesquisa aumenta porque somos todos obrigados a competir e a gerenciar os projetos dentro das melhores práticas internacionais. A gente aprendeu

a fazer e isso qualificou a astronomia brasileira. Quando entramos como sócios no Gemini foi uma espécie de reconhecimento pelo sucesso que obtivemos no LNA, apesar de o desnível ser inacreditavelmente grande. Foi aí que tive a ideia de fazer algo no nível intermediário, o Soar.

O senhor começou a defender a construção do Soar em 1993. Vinte anos depois, valeu a pena tê-lo construído?

Sem dúvida. Mas as coisas acontecem lentamente nessa área. Todo projeto de telescópio leva, no mínimo, 12 anos para ficar pronto. Da ideia inicial, passando pelo projeto, pelo desenho, por numerosas comissões e comitês... Também é preciso conseguir recursos. Até come-

çar a construir são vários anos. Depois, até o telescópio ver a primeira luz, mais 12 anos. Aí ele precisa passar por um ano de comissionamento, de ajustes finos para funcionar bem. Em outras palavras, não basta ligar na tomada e usar. Bem, quando o telescópio está funcionando, o problema ainda não está de todo resolvido. Ele tem seus instrumentos e cada um deles é uma etapa separada. São caros, sofisticados, queremos sempre a última palavra em tecnologia e até um pouco mais para ser competitivo. Esses instrumentos levam tempo para serem construídos e o Brasil não tinha tradição nessa área. Para o Soar, no entanto, fizemos três espectrógrafos, o Sifs, o Steles e o BTFI – este último da Cláudia Mendes de Oliveira, aqui do IAG. O BTFI [*brazilian tunable filter imager*] é um equipamento de alta tecnologia que permitirá avaliar tanto a composição química como os movimentos relativos internos de galáxias. Está pronto, agora já dá para começar a fazer ciência. O Sifs é instrumento de campo integral de fibra óptica. Quer dizer, são 20 anos do surgimento da ideia do Soar e não de funcionamento, é preciso entender isso. E no Gemini não foi diferente, ele ficou pronto cinco anos antes do que o Soar. Para comparar o Gemini de agora com o Soar tem de ser com o Soar de daqui a cinco anos. Ele ainda está longe de chegar ao ritmo de cruzeiro. Mesmo o Gemini ainda não chegou lá. Já trouxe e vai continuar trazendo muitos resultados, mas há críticas de que ele poderia produzir mais, ter mais impacto. Ainda assim, o Gemini produz ciência que sai na *Nature* e na *Science*, a cada dois meses pelo menos.

Quando o Soar chegará nesse patamar? Ele ainda recebe muitas críticas.

Elas fazem sentido. Todos queremos fazer melhor. Estamos evoluindo, mas o ritmo foi menor, até agora, do que gostaríamos. E isso tem fundamentalmente a ver com instrumentação, e não com os telescópios, que são ótimos. Um dos instrumentos que será muito útil para a ciência brasileira é o espectrógrafo óptico de alta resolução, o Steles, feito para o Soar. Foi feito um semelhante, em termos de funcionalidade,

para o Gemini, pelos ingleses, mas não funcionou e começaram a projetar outro. É uma lacuna no Gemini e vai ser sanada no Soar antes. Era para ter sido enviado em novembro, mas, como sempre costuma acontecer, uma das peças deu problema. O Steles tem, só de peças mecânicas, 1.500. Resolver isso no Soar antes de resolver no Gemini vai ser um salto muito grande para a astronomia brasileira. Em 2013 o do Soar estará pronto. Já o do Gemini, acho que nem começaram a construir. Os problemas que ocorreram são reais, mas acontecem em qualquer telescópio do mundo. O fundamental, no caso do Soar, é que agora iremos começar a usar os instrumentos construídos no Brasil e aí o impacto e a produtividade irão, de fato, crescer. No Gemini temos um novo equi-

Um telescópio leva 12 anos para ficar pronto. Isso só depois de tudo aprovado e se houver recursos

pamento que se chama óptica adaptativa conjugada, que permite corrigir as distorções das imagens produzidas. Ela faz a tomografia de toda a atmosfera usando quatro lasers. A primeira distribuição de tempo para os astrônomos para uso desse instrumento foi feita em novembro. O Gemini é o primeiro telescópio a ter isso. Tenho um projeto para estudar o centro da Via Láctea, que foi aprovado. O Augusto Daminelli, aqui do IAG, também teve um projeto aprovado. Seremos os primeiros usuários. É uma tecnologia de fronteira avançada e temos grande expectativa.

Por que hoje existe a observação por fila?

O modo fila foi inventado no Gemini e no Soar. Funciona assim: o pesquisador que

precisa de pouco tempo de observação diz para os astrônomos residentes do observatório os dados que deseja obter, eles fazem a observação e repassam as informações para o pesquisador, que não precisa estar lá fisicamente. Outros observatórios, como o ESO, não usam isso. Nesses casos, quando o pesquisador ganha a noite, ele vai lá e observa. No caso do Gemini, como nós tínhamos pouco tempo, a maioria dos projetos não tinha nem uma noite. Para otimizar, decidimos que os projetos brasileiros iam ser feitos no modo fila. Foi uma decisão inteligente porque conseguimos produzir três vezes mais *papers* por hora de observação do que outros parceiros, como os americanos. Temos competitividade científica alta. No Gemini, deliberamos o modo fila e não distribuimos tempo do modo clássico. No Soar fazemos as duas coisas, o pesquisador pode optar pelo modo fila ou pelo modo clássico. Depende do projeto. Por exemplo, quero tirar espectro de alguns objetos celestes no Soar. Para isso, bastam duas horas de observação. É bobagem ir para o Chile para observar duas horas. O modo fila resolve isso. Se eu tiver duas noites, prefiro fazer daqui e não do Chile, porque aqui posso chamar a equipe inteira para participar na sala de observação que temos no IAG. Lá no Chile temos um técnico que faz as operações necessárias. Abre cúpula, fecha cúpula, aponta o telescópio.

As pessoas ainda têm aquela imagem romântica do astrofísico olhando pelo telescópio, como se fazia no passado?

Quando eu digo, no primeiro ano do curso, que telescópio não tem mais lugar para botar o olho, os alunos ficam muito decepcionados. É um choque. Hoje em dia o astrofísico trabalha atrás do computador ligado a câmeras altamente sensíveis. Se o telescópio está no andar de cima ou no outro lado do hemisfério, não faz a menor diferença. Claro que o telescópio é um fetiche. Sair da cúpula, ver aquele céu maravilhoso nos Andes, cheio de estrelas, é encantador. Mas para produzir boa ciência e formar bons cientistas a lógica é um pouco diferente e tem de ser otimizada.

Como o senhor vê a participação do Brasil no ESO, o consórcio europeu de telescópios situados no Chile?

Para mim, o que ocorre hoje era totalmente previsível. O Brasil aceitou entrar no consórcio a um custo de € 255 milhões, o que dá quase R\$ 700 milhões em 10 anos; depois disso pagaríamos cerca de € 25 milhões por ano de manutenção, para o resto da vida. Escrevi uma carta indignada de seis páginas sobre isso há três anos e mandei para o Sérgio Rezend, que era o titular do MCTI e decidi o assunto sem discussão nem avaliação prévias. Ele respondeu verbalmente dizendo que eu estava equivocado. Eu previa que iríamos gastar muita energia, um longo tempo, perderíamos janelas de oportunidade e, no final, descobriríamos que não temos esse dinheiro para gastar.

E o que aconteceu?

Está acontecendo exatamente isso. Quando parecíamos que éramos ricos, há pouco tempo, não tínhamos esse dinheiro para pagar. Neste momento nosso PIB cresce pouco e a derivada é negativa. Não será agora que o governo vai gastar com o ESO. Não está nem no orçamento. Para ser aprovado, a presidente Dilma teria de mandar para o Congresso e lá ser aprovado por cinco comissões e duas plenárias. E nós sabemos como nossos políticos adoram astronomia... Além disso, não se trata só de uma questão de dinheiro. Nos observatórios Gemini e Soar entramos com X% do dinheiro e usamos X% do tempo. No ESO essa proporcionalidade não existe. Pagam-se € 255 milhões para ter o direito de disputar com eles em condições de desigualdade – com raras exceções. Eles são espertos e acho que estão certos, do ponto de vista deles. Cabe a nós decidir qual é a nossa melhor estratégia de desenvolvimento. Existem alternativas excelentes que nos custariam pelo menos 10 vezes menos.

E por que o governo brasileiro concorreu com essas condições?

É difícil entender. O ano de 2010 foi eleitoral. O presidente Lula e seus ministros

estavam convencidos de que tinham colocado o Brasil no céu. E a maior prova disso é que fomos convidados a fazer parte do maior observatório do mundo, o ESO. Isso foi dito por eles. Minha análise não é política, ideológica, nada disso. Estou dizendo que naquele ano houve essa construção. Acho que é a melhor explicação. O problema é que o ministro assinou um compromisso para o resto da vida dois dias antes de sair do governo. E sem combinar com o ministro que o sucedeu depois, o Aloizio Mercadante. Esse acordo subsidiará a ciência e tecnologia europeias com dinheiro do contribuinte brasileiro.

Os físicos, principalmente os que não são astrofísicos, criticaram o gasto enor-

Hoje trabalhamos com o computador ligado a câmeras. Não importa onde está o observatório

me de dinheiro com astrofísica enquanto o novo Síncrotron seria um investimento que certamente daria mais retorno.

O novo Síncrotron seria usado por diversas áreas científicas e por uma comunidade 20 vezes maior. Com o dinheiro do acordo com o ESO, poderíamos construir um novo anel a cada cinco anos.

Além das questões científicas da astronomia, o senhor dirigiu o IEA. O que o levou a essa experiência?

Tive algumas atividades ligadas à política científica e tecnológica, fui presidente da Sociedade de Astronomia Brasileira e secretário-geral da SBPC. Liderei a entrada do Brasil no Gemini e fui responsável por boa parte da construção do

Soar. No segundo governo de Fernando Henrique Cardoso ocupei uma das secretarias do MCT, na gestão do ministro Ronaldo Sardenberg. Em 2003 voltei para a USP e meses depois houve sucessão no IEA, fui convidado para entrar na lista triplíce e, meio que desavisadamente, aceitei. Os quatro anos que passei lá não foram ruins, mas não acho que eu tenha sido bem-sucedido em termos de construir um novo IEA. O IEA sofre de alguns problemas estruturais e na minha opinião deveria ser uma instituição que tivesse um forte caráter estratégico para a USP. Mas jamais o será se a USP não quiser. Uma parceria estreita com a Reitoria é imprescindível. De qualquer modo, fizemos algumas coisas interessantes. A revista *Estudos Avançados* era quase secreta. Até conseguir colocá-la na SciELO, apesar dos protestos dos meus colegas. Hoje é a terceira mais acessada do Brasil, com mais de 3 milhões de acessos por ano. A primeira e a segunda são da área de saúde pública. Também fizemos vários ciclos de estudos e debates, mas acho que falta um caráter mais estratégico em termos de universidade. Antes disso tudo fui diretor de ciências espaciais do Inpe. A maior parte do meu envolvimento com política científica e administrativa aconteceu por necessidade de ter condições de lutar por melhores possibilidades para fazer pesquisa, de maneira mais

ampla que um pesquisador ou um grupo. O Síncrotron é o melhor exemplo para ilustrar essa ideia. É uma infraestrutura aberta, pública, que precisa de grandes investimentos, mas apenas em um equipamento, que deve ser modernizado. Depois que ele virar obsoleto, vamos precisar de outro. É o que estamos vivendo agora. Mas esse tipo de investimento não fazia parte da cultura científica brasileira. E na astronomia isso é muito visível. Foi essa necessidade que me levou a outros campos de batalha, digamos. Tanto assim que hoje já sinto que cumpro minhas obrigações. Estou muito feliz de escrever *paper* e dar aula. Minhas missões eu já cumpro. Agora quero ser usuário dos telescópios. ■

No rastro das primeiras estrelas

Marcos Pivetta e Ricardo Zorzetto

146

A paulistana Beatriz Barbuy é uma das vozes mais influentes da astrofísica brasileira e uma das cientistas nacionais mais produtivas. Ao longo de uma carreira que ultrapassa três décadas, a professora titular do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP) publicou cerca de 210 artigos em revistas científicas internacionais, que foram alvo de citação em 8 mil trabalhos de pesquisadores. Especialista na caracterização química de populações estelares, em especial de estrelas velhas e frias, Beatriz identificou algumas das estrelas mais antigas da Via Láctea, com idade de 12,5 bilhões de anos. Entre dezembro de 1976 e janeiro de 1982, passou cinco anos na França, onde foi uma das primeiras brasileiras a fazer doutorado em astrofísica. O período no Observatório de Paris, no grupo chefiado por Roger Cayrel, marcou definitivamente sua carreira. “O doutorado era mais pesado do que aqui e era preciso publicar vários artigos”, relembra a pesquisadora, que, desde 2006, é membro da Academia de Ciências da França. “Tive de aprender a trabalhar.”

Articulada e bem-sucedida, Beatriz ocupou cargos importantes no Brasil e no exterior. De 2003 a 2009 foi, por exemplo, vice-presidente da União Astronômica Internacional (IAU, na sigla em inglês) e teve significativa participação na escolha de 2009 como o Ano Internacional da Astronomia. Além de fazer ciência propria-

ESPECIALIDADE

Astrofísica estelar e extragaláctica

FORMAÇÃO

Universidade de São Paulo (graduação e mestrado)

Universidade Paris VII / Observatório de Paris (doutorado)

Observatório Lick (pós-doutorado)

INSTITUIÇÃO

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo



mente dita, também esteve à frente de iniciativas nacionais que construíram instrumentos para consórcios de telescópios dos quais o Brasil é sócio e tem tempo de observação, como o Observatório Austral de Pesquisa Astrofísica (Soar), no Chile. A astrofísica sempre defendeu a ideia de que o Brasil deveria ser sócio de um dos três projetos de grandes telescópios, com espelhos entre 30 e 40 metros, que estão sendo gestados para o início da próxima década e podem levar a astronomia a um novo patamar. Em dezembro de 2010, o governo federal optou por se tornar membro do Observatório Europeu do Sul (ESO), consórcio de 14 países do Velho Mundo que conta com observatórios no Chile, inclusive o maior de radioastronomia do mundo, o recém-inaugurado Alma (*ver reportagem na página 32*). O ESO planeja construir o maior telescópio óptico baseado em terra firme, o European Extremely Large Telescope (E-ELT), no início dos anos 2020.

Nesta entrevista, a pesquisadora fala de sua trajetória pessoal, de suas pesquisas com estrelas e de por que é a favor da entrada do Brasil no ESO, cujo acordo de adesão se encontra agora no Parlamento nacional para ser ratificado. “Sem o ESO, não temos futuro, pois, para uma comunidade fazer boa ciência, é necessário ter acesso a um grande número de instrumentos que tenham bom desempenho. Os americanos não têm uma estrutura parecida”, afirma Beatriz.

Como surgiu a ideia de se tornar cientista?

Foi com 16 anos. Li o livro *Um, dois, três... Infinito*, do George Gamow. Estava no primeiro ano do clássico e decidi que iria para o científico. Nem avisei meus pais. Tive de estudar muito para acompanhar porque não tive o primeiro ano do científico. A partir daí, nunca mais parei de trabalhar. Tem também outra coisa. Quando era pequena, na minha casa, na rua Groenlândia [no Jardim Paulista,

cidade de São Paulo], tinha uma ameixeira. Meu galho ficava lá em cima. Meus irmãos pegaram os galhos mais grossos, mais embaixo, e sobrou para mim aquele lá de cima. Eu chegava da escola, subia lá e ficava olhando o céu. Não sei se teve influência, mas dos 6 aos 10 anos eu fazia isso. Pensei em fazer psicologia ou línguas. Li a obra inteira do Freud, que minha mãe havia retirado na PUC [Pontifícia Universidade Católica] e pensei: “Vou pirar se fizer só isso”. Só entendi algumas partes. Mas achei que podia estudar psicologia por outras vias. Li muito, até hoje leio, e me interessei pelo tema. Línguas, também poderia aprender por outras vias, como de fato fiz, embora não seja *expert* em nenhuma.

Nunca imaginei fazer outra coisa que não fosse seguir uma carreira intelectual

O que seus pais faziam?

Eram professores de filosofia, os dois. Meu pai na USP e minha mãe na PUC. Tiveram muita influência sobre minha formação. Nunca imaginei fazer outra coisa que não fosse seguir uma carreira intelectual. Via meu pai trabalhando a noite inteira, minha mãe dava aulas. Além disso, meu irmão mais velho, que fazia o científico, era muito mais animado do que minhas colegas de clássico. Isso também influenciou. E eu gostava de matemática. Então achei que estava perdendo meu tempo no clássico.

Logo depois de ler o livro pensou em ser astrofísica?

O livro falava de ilhas no Universo, de um telescópio não sei onde que partilhava o tempo. Perguntei para alguém como podia ser astrofísica e me disseram que tinha de estudar física. Entrei na USP, sempre com esse objetivo.

Tinha poucas mulheres na sua turma?

Até que não eram tão poucas. O problema é que havia a ditadura. Entrei e o Mário Schenberg foi preso. Um professor que ia dar aula foi preso. Outro colega sumiu, essas coisas. Isso tirou muito o impacto do curso. Os banheiros não tinham fechadura. Isso foi entre 1969 e 1972, quando o regime ficou duro para valer. Trabalhei um período com computação, mas depois voltei para o que eu queria. Havia o IAG, que ainda ficava na Água Funda, e tinha um grupo de astronomia lá. No último ano da Física fui lá conversar, mas a astronomia estava começando. Fiz o mestrado na USP, mas as coisas melhoraram quando fui fazer doutorado no Observatório de Paris, em 1976. Minha carreira estava bem no início e foi importante ter ido para a França. Fui com bolsa do CNPq [Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico] e tive também uma bolsa do consulado da França. Embora pequenas, as duas permitiram que eu estudasse.

O sobrenome Barbuy é de

origem francesa?

É francês, mas meu bisavô veio da Itália para o Brasil. Na Itália escrevem Barbuy com I no lugar do Y. Em princípio, os Barbuy foram para a Itália com Napoleão, mas ninguém sabe direito. Minha irmã, que trabalha no Museu Paulista, encontrou um documento de 1758 de um Barbuy, com trema no Y, no norte da França. Era um padre católico.

No Observatório de Paris a senhora foi trabalhar com Roger Cayrel?

Os contatos foram feitos por Lício da Silva, do Observatório Nacional, com Roger e Giusa Cayrel, que estavam de partida para o Havaí, onde trabalha-

riam na construção do telescópio Canadá-França-Havaí. A Monique Spite, que estava voltando de longa estadia no Chile, aceitou ser minha orientadora. O grupo todo é excepcional, tanto que estão produzindo até hoje.

Qual era o tema de sua pesquisa?

Eu queria trabalhar com evolução química e fazer observações. Fiquei cinco anos na França. O doutorado era mais pesado do que aqui e precisava ter vários artigos publicados. Foi muito legal porque era um grupo que tinha várias personalidades. A Monique era bem prática. Tudo o que era complicado ela reduzia a uma única instrução e o Roger tinha um nível incrível, demorei uns 10 anos para conseguir entender o que ele falava. Era um grupo com bastante gente em torno, com trabalho de observação de estrelas. Tive de aprender a trabalhar. Aqui o aluno às vezes nem aparece todo dia. Lá todo mundo trabalha todo dia por não sei quantas horas e você se dá conta de que está numa das profissões mais sérias. Astrofísica é interessante. Há a teoria – tem que ler bastante –, mas também tem os dados. Quando você está cansado da teoria, trabalha nos dados. Essa diversidade de coisas ajuda a trabalhar várias horas.

Seu primeiro artigo foi sobre o quê?

Era sobre uma estrela velha do halo da Via Láctea, a HD 76932. Determinei a sua abundância de elementos pesados e a temperatura com espectroscopia estelar. Na minha área, elementos pesados são aqueles mais pesados que o ferro, como o cério e neodímio. O interessante de ter um artigo publicado é que você aprende a escrever. Saiu na *Astronomy and Astrophysics*, uma revista europeia, hoje editada em conjunto com Brasil, Chile e Argentina.

A senhora continua nessa mesma linha de pesquisa até hoje.

Na mesma. Aprendi uma *expertise* e acredito que é preciso ter *expertise* pa-

ra ser um bom pesquisador. Tem gente que não tem, pega umas imagens e sai olhando para tudo. É preciso alguns anos para ser bom. Como trabalhei com um grupo muito bom, essa é a força da minha pesquisa.

De onde veio a ideia de estudar a evolução das estrelas da Via Láctea?

Foi durante o mestrado provavelmente que me interessei por essa parte de evolução química. Quanto ao tema das estrelas frias de baixa massa, foi ideia do Roger, pai do grupo. Martin Schwarzschild, que era muito conhecido nessa área de evolução estelar, estava em Paris nos anos 1950 e falou para o Roger que, se ele quisesse estudar formação

de estrelas da galáxia. A primeira geração era bem massiva. Por que as primeiras estrelas tinham altas massas? Porque não havia metais para resfriá-las. Provavelmente as primeiras eram todas de alta massa. Esfriar é importante para que haja condensação e as nuvens de gás possam ir se fragmentando. Com isso, nuvens menores darão origem a estrelas menores.

O que é uma estrela fria?

Estrelas com temperatura abaixo de 7 mil graus Kelvin, que são a maioria.

O que ocorre nessas estrelas mais frias?

Estão convertendo hidrogênio em hélio no núcleo se forem anãs ou em suas camadas mais externas. Uma das contribuições mais conhecidas do Schenberg diz respeito às estrelas anãs, como o Sol. Quando tiver queimado 10% do seu hidrogênio em hélio, o Sol vai se expandir e virar uma estrela gigante.

Essas estrelas em geral têm que idade?

As estrelas velhas de baixa massa do halo têm mais ou menos 13 bilhões de anos. Um dos objetivos é descobrir quais são as primeiras estrelas de alta massa com os telescópios terrestres gigantes que estão sendo planejados e com o futuro telescópio espacial James Webb.

A senhora sempre trabalhou com estrelas da Via Láctea?

Trabalhei também com estrelas de galáxias próximas, do chamado grupo local, como as Nuvens de Magalhães. As estrelas de galáxias mais distantes são mais fracas, não dá para observar. Talvez dê para ver um aglomerado de estrelas, que pode ser observado bem de longe por seu alto brilho. Mas com espectroscopia de alta resolução ainda não dá. Uma das ideias é fazer isso com os telescópios gigantes. Também tenho alguns artigos sobre populações estelares em galáxias elípticas, que se estuda usando sua luz integrada. Formei três alunos nessa linha.

Sempre me interessei por elementos químicos. É uma área que mistura física atômica, química

e evolução da galáxia, tinha de estudar estrelas de baixa massa. Esse palpite fez toda a diferença. Essas estrelas são muito velhas, se formaram quando a galáxia surgiu. Então quando as observamos, estamos observando o início da galáxia. As estrelas de mais alta massa explodem logo. As que observamos hoje são jovens. Nas de baixa massa existe o que existia quando a galáxia se formou. Em geral, os elementos químicos encontrados na superfície dessas estrelas refletem o material original da galáxia, como a baixa concentração de ferro. Estrelas bem pobres em metais são a primeira geração de estrelas de baixa massa. Mas elas não são a primeira ge-

As estrelas da Via Láctea que a senhora estuda estão exatamente onde?

Primeiro, estudei as estrelas do halo [região esférica que envolve a galáxia e contém gás rarefeito e estrelas muito antigas], mais fácil de serem vistas. Nos anos 1980 começou a discussão de qual seria a primeira geração de estrelas, que deve ser mais pobre em metais. Minha tese foi sobre estrelas do halo pobres em metais, mas, ao longo dos anos, fui me interessando pelo centro da galáxia. Atualmente esse é meu principal interesse. Hoje há certa discussão se as estrelas não se formaram primeiro no centro da galáxia, onde esse processo teria sido mais intenso. As mais velhas devem estar lá no centro. Então, nos últimos anos, trabalhei mais com o bojo da galáxia, mas continuei igualmente com os estudos do halo.

Por que especificamente se interessou pelo tema?

Sempre me interessei por evolução química em nossa galáxia. É uma área que mistura física atômica, química e na qual tem de se saber as características de uma transição atômica ou molecular. Minha especialidade são linhas moleculares, campo em que há pouca gente trabalhando. É preciso saber nucleossíntese [processo de criação de novos núcleos atômicos a partir de núcleos preexistentes], como os elementos se formam, sua evolução química, a formação de estrelas. Enfim, envolve muitas coisas.

Em nossa galáxia, o que a senhora vê em termos de evolução química?

O bojo da nossa galáxia é muito parecido com o bojo de outras galáxias espirais e elípticas. Tem sempre aquelas linhas, fortes, de magnésio e ferro, em diferentes proporções. Ou seja, suas populações estelares são semelhantes.

Isso não era de se esperar?

Era de se esperar. É uma coisa muito uniforme. Provavelmente o processo de formação das galáxias foi bem semelhante. Existem diferenças na proporção de

elementos químicos. Podem ter mais elementos alfa [cujos isótopos mais abundantes são múltiplos de quatro, a massa do núcleo do hélio], como o oxigênio 16 e o cálcio 20. Elementos alfa indicam se houve ou não enriquecimento rápido por estrelas massivas. Isso é o que eu faço. Procuo esses elementos, evidências de que supernovas enriqueceram o gás do qual se formou aquela estrela. Meu doutorado era voltado para ver qual foi a primeira geração de estrelas, aquelas primeiras supernovas. Isso é a busca das origens. Por isso é interessante.

A senhora é um dos autores de um estudo que, em 2001, encontrou aquela que foi considerada então a mais antiga

Astrofísica é interessante. Quando você está cansado da teoria, trabalha nos dados

das estrelas, a CS 31082-001. Como foi esse trabalho?

Foi a primeira vez que se detectou urânio numa estrela fora do sistema solar. É um elemento químico pesado e radioativo. Seu decaimento fornece a idade da estrela diretamente, não é necessário mais nada. O trabalho saiu na *Nature*. Num primeiro cálculo, a estrela tinha 14 bilhões de anos. Depois um grupo da Suécia mediu transições atômicas do urânio e recalculamos em 12,5 bilhões de anos a idade da estrela, com margem de erro de mais ou menos 2 bilhões de anos.

Essa estrela é da primeira geração de estrelas?

Talvez. Em algumas dessas estrelas pobres em metais há evidências de que seu conteúdo é resultado de uma única supernova. Ela seria, portanto, de uma segunda geração. Num trabalho em parceria com a Cristina Chiappini [astrofísica brasileira do Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam], que saiu em 2011 na *Nature*, mostramos que as abundâncias em metais de um aglomerado estelar no bojo da galáxia NGC 6522 poderia ser resultado de supernovas de alta rotação e alta massa.

O que é uma supernova de alta rotação?

São estrelas que rodam a 400 quilômetros por segundo. As estrelas quentes, em geral, têm alta rotação. Mas ninguém nunca tinha feito o cálculo de nucleossíntese dessas estrelas e esse grupo da Europa fez. Agora já estão no ponto de fazer previsões. É uma colaboração entre mim, que sou observadora, esse grupo de teóricos e a Cristina, que faz modelos de evolução química.

Quais são os seus trabalhos que tiveram maior impacto?

Um dos artigos de maior impacto foi um de 1988. Minha tese tinha sido sobre a presença de carbono, nitrogênio e oxigênio em estrelas frias. Fiz um pedido de tempo no ESO e tive sete noites ótimas de observação. Mostrei que nas estrelas do halo [da Via Láctea] há excesso de oxigênio. Isso era uma constante. E o que isso significa? Significa que o halo foi enriquecido rapidamente por supernovas do tipo 2. O oxigênio só é produzido em estrelas massivas, que vão virar supernovas do tipo 2. Foi a primeira evidência clara do excesso de elementos alfa no halo. O mesmo acontece nos núcleos das galáxias, em seus bojos. Esse foi o trabalho que me tornou conhecida. Em 1992 saiu um trabalho sobre ocorrência de alta concentração de magnésio nas galáxias. Depois disso, muitas das coisas que fiz foram nessa linha. Outro trabalho importante foi sobre a grade de espectros estelares.

Para seu cálculo se incluem as linhas atômicas e moleculares. Trabalhei 20 anos nesse tema com meus alunos. O espectro de um aglomerado de estrelas pode ser usado para compor a população de estrelas de uma galáxia, por exemplo. Uma galáxia tem todo tipo de estrelas. Dessa forma, é necessário fazer uma soma ponderada de acordo com os brilhos dessas estrelas. Calculamos os espectros de estrelas com diferentes valores de gravidade, metalicidade e temperatura, desde gigantes até anãs. Então, numa tese de doutorado, uma aluna, a Paula Coelho, juntou isso tudo e publicamos um artigo feito em conjunto com outros três ex-alunos que haviam trabalhado nisso. Esse trabalho tem sido muito citado. Acho que sou a astrofísica mais citada do Brasil atualmente, com números parecidos com os de Eduardo Bica [da Universidade Federal do Rio Grande do Sul] e Luiz Alberto Nicolaci da Costa [do Observatório Nacional]. São 8.500 citações na base Nasa/ADS e 7.500 no ISI.

Qual é sua linha mais recente de pesquisa?

São os aglomerados pobres em metais no bojo da Via Láctea, que devem ser os mais velhos da galáxia. Um deles tem duas populações distintas de estrelas. Esse é um tema atual da literatura. Sempre se achou que os aglomerados eram formados por uma única população.

Voltando para a sua trajetória pessoal, por que a senhora retornou ao Brasil?

Voltei, primeiro, porque havia assinado um acordo com o CNPq dizendo que ficaria aqui o dobro do tempo que passaria fora. Passei cinco anos na França. Então tinha que passar 10 aqui. Não gosto de assumir compromisso e não cumprir. Essa foi a razão mais forte. Em segundo lugar, voltei porque você sempre vai ser estrangeiro no exterior. Passei os três primeiros anos em Paris querendo voltar. Só gostei mais de lá nos dois últimos anos. Sempre quis voltar. Acho que os brasileiros, mais do que as pessoas de

outras nacionalidades, têm esse desejo de voltar. E, por fim, havia a questão do clima e da família, claro.

O que a senhora encontrou na volta ao Brasil?

Quando voltei, o que eu tinha? Uma mesa, que, aliás, já era esta aqui, só que estava no endereço antigo do IAG. Só tinha isso. Não tinha computador, não tinha nada. E, pior, tinha aquela lei dos anos 1980, que não permitia comprar computador. Essa lei matou até hoje certas áreas da engenharia. Foi a pior coisa que aconteceu com o Brasil. Até hoje não temos nosso computador [nacional]. Nos anos 1980, eu ia todo ano para a França, ficava lá meses calculando, porque aqui

Há um pouco de machismo no Brasil. Mas, se você for séria e trabalhar, ninguém atrapalha, não

no Centro de Computação Eletrônica [CCE] da USP não tinha *plotter* [um tipo de impressora de alta definição, usada para produzir gráficos vetoriais]. O *plotter* ficava quebrado 11 meses por ano. Eu trabalhava com espectros, tinha de ver o espectro. Comecei a pedir tempo no ESO e também em telescópios do Haváí e conseguia. Naquela época era mais fácil obter tempo, mas tinha que ficar lá para tratar, reduzir os dados. Aqui não tinha nada. Passava vários meses no exterior. Normalmente era o Observatório de Paris que pagava a minha viagem. Devo muito à França. Aqui raramente consegui alguma coisa. Sempre recusavam meus pedidos. Achavam que eu ia muito para

o exterior, que não era preciso. Não entendiam que eu tinha de calcular. Ficava 12 horas no computador para calcular em Paris. Então os anos 1980 foram terríveis, atrasaram muito a minha carreira. Trabalhava como uma condenada. Cheguei a ir ao CCE três vezes num dia. E olha que eu trabalhava lá na Água Funda. Tinha uma energia tremenda, ia e voltava. Perdi meu tempo. Se tivesse ficado na Europa, teria sido melhor. Nos anos 1990 brigamos para ter um bom computador e a FAPESP financiou um Vax. Aí mudou a situação. Mas isso ocorreu oito anos depois da minha volta.

Apesar de todas essas dificuldades, a partir dos anos 1990 sua carreira já estava bem estabelecida.

Em 1992, por exemplo, a senhora já era presidente da Sociedade Astronômica Brasileira (SAB).

É verdade. Apesar das dificuldades, consegui mostrar trabalho. Ser mulher não atrapalhou. Sempre debati essa questão [da discriminação da mulher] com a Mayana Zatz [geneticista do Instituto de Biociências da USP] e a Belita Koiller [física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ] em um grupo de discussão sobre o assunto na Academia Brasileira de Ciências [ABC]. No Brasil, se você trabalha e produz, ninguém fala nada. Se fazemos o dobro do que outros fazem, por que iriam falar?

Mas não tem aquela história de que uma mulher tem de fazer mais do que um homem para ser reconhecida como pesquisadora?

Tem. Acho que tem de fazer mais por ser mulher. Há um pouco de machismo. Mas, se você fizer mais, tudo está resolvido. O Brasil não é muito rígido nessa questão. Mas se fizer um pouco menos... Se for séria e trabalhar, ninguém atrapalha, não.

Sentiu algum preconceito por ser estrangeira e mulher na França?

Não tinha diferença alguma, era ainda mais igual do que aqui. Por um lado, tive

sorte de ter ido para a França. Nos países anglo-saxões, nos Estados Unidos, não é assim. A França, em particular, tem muita simpatia pelo Brasil e tudo isso conta. Por outro lado, fui para Paris quando havia uma ditadura no Brasil e não fui assim tão bem tratada. Cheguei à França e me disseram: “Ouvi dizer que no Brasil tem 36 generais”. Lá 36 é que nem o nosso 1 milhão, quer dizer muito. E eu respondi: “Só 36?”. Essa coisa de ligarem o Brasil apenas a Pelé, café e samba me irritava. Mas, hoje, graças ao Fernando Henrique e ao Lula, o respeito pelo Brasil mudou completamente. Pensando bem, acho que fui um pouco maltratada, sim. Todo mundo foi. Não dá para comparar com os últimos 20 anos, quando as coisas melhoraram.

Como a senhora chegou a vice-presidente da IAU, entre 2003 e 2009?

Já havia sido presidente da Comissão 29, sobre Espectros Estelares, e da Divisão 4, sobre Estrelas. Foi natural em vista disso. De qualquer forma é um reconhecimento, ninguém do Brasil tinha estado lá. Há também o fato de que ser brasileira e mulher ajuda. Isso dá visibilidade. Então, às vezes, ajuda em vez de atrapalhar em nível internacional. Tive uma grande participação na coisa mais importante que a IAU já fez, o Ano Internacional da Astronomia, em 2009. O Brasil, aliás, teve uma participação importante. E sabe por quê? Porque os países grandes não querem saber de ano disso e ano daquilo. Antes houve também o Ano Internacional da Física e foram uns poucos países, incluindo Brasil e Portugal, que fizeram o pedido oficial a favor dessa iniciativa. O Brasil é um dos sete países que pediram o Ano Internacional da Astronomia. O apoio do pessoal do Ministério das Relações Exteriores foi ótimo. Os outros países não votam porque não querem distração com ano disso e aquilo. Mas esse tipo de iniciativa é importante. Fui a eventos no exterior, fiz tudo o que pude, divulgamos bem e foi bastante importante. Poderia ainda des-

taçar a Assembleia Geral da IAU, que também ocorreu em 2009 no Rio de Janeiro, como outra iniciativa em que tive participação.

Qual é o ponto mais importante de sua carreira?

Acho que foi ter entrado para a Academia de Ciências da França. Fui durante 30 anos para a França, trabalhando duro, ficando em hotel sem estrelas. Em dezembro de 1976 comecei o doutoramento lá e em dezembro de 2006 fui aceita na academia. Foi um reconhecimento muito importante. Só há 150 membros estrangeiros na academia, muitos deles Prêmio Nobel. Parece que minha votação foi excelente.

Ter entrado para a Academia de Ciências da França é o maior reconhecimento que recebi

A eleição para a academia foi um reconhecimento inesperado?

Nunca imaginei isso. Fizeram tudo sem me falar. Essa é a maior honraria que recebi. Em 2008 recebi o Prêmio Trieste, da Academia de Ciências do Mundo em Desenvolvimento [TWAS], que também foi superimportante. Teve também o Prêmio L'Oréal-Unesco para Mulheres na Ciência em 2009. Este último de certa forma me mudou de patamar, pela grande promoção midiática. Por exemplo, no mês passado havia painéis ao longo da avenida Champs Elysées com fotos das laureadas nos 15 anos de existência do prêmio, incluindo as cinco brasileiras.

No Instituto do Milênio, o objetivo era começar a desenvolver no país o know-how para fabricação de instrumentos para telescópios internacionais, dos quais o Brasil é um dos sócios. Como avalia essa experiência?

Queríamos fazer instrumentos para os telescópios Soar e Gemini [ambos situados no Chile, nos quais o Brasil dispõe de tempo de observação]. Em última análise, quem faz um instrumento é quem o conhece melhor e pode tirar melhor proveito dele. Se você quer observar alguma coisa, é melhor construir um instrumento para essa finalidade. É isso que fazem por aí. Esse Instituto do Milênio tinha como objetivo passar de uma situação incipiente em termos de instrumentação para uma situação com infraestrutura e conhecimento para fazê-lo. Só que deu um trabalho terrível fazer o espectrógrafo Sifs em conjunto com o pessoal do LNA [Laboratório Nacional de Astrofísica]. Estamos aprendendo, lentamente.

Quais dificuldades ocorrem nesse processo?

Não sabemos nem negociar com as empresas. Houve uma companhia que queria que dobrássemos seu pagamento e queria bloquear o processo de construção de um instrumento. Elas fazem o que querem. Pensamos que todo mundo é cientista e que está interessado na pesquisa, mas as coisas não são assim. É preciso trabalhar de outra forma. O que a gente quer? Inovação. Astronomia desenvolve tecnologia de ponta. O Sifs gerou duas patentes de novos materiais, que estão sendo usadas agora num outro instrumento. O Sifs dispõe de fibras ópticas que não podem ter jogo. Têm de se manter firmes no lugar. O instrumento tem uma lente lá na frente e as fibras têm de ficar bem presas. Todo mundo fixa as fibras com um material duro. Mas o Antônio César de Oliveira, que estudou em São Carlos, criou um material, uma mistura flexível, que é fácil de ser furado e com muita precisão. Essa é uma das patentes. O Sifs, portanto, permitiu que ficássemos *experts* em fibras ópticas.

Quais são os outros dois instrumentos que estão sendo desenvolvidos?

O espectrógrafo de alta resolução Steles, do Soar, que é desenvolvido pelo Bruno Castilho, e deve ficar pronto no fim do ano. E há o BTFi [um imageador ajustável do Soar]. Todos os três instrumentos contam com financiamento da FAPESP. É importante esse apoio.

Como surgiu a aproximação do ESO com o Brasil?

Muitos brasileiros observaram no ESO a vida inteira. Entre 2006 e 2011 produzimos, por exemplo, 77 artigos com o Gemini, 25 com o Soar e mais de 200 com o ESO, onde há tudo quanto é tipo de instrumento de observação. Mas a aproximação ocorreu assim. Dentro do INCT-A [Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Astrofísica], propus que fizéssemos parte de um dos grandes telescópios em planejamento. Contactamos os três grandes projetos, o GMT [Giant Magellan Telescope], o TMT [Thirty Meter Telescope] e o do ESO. O TMT exigiria US\$ 100 milhões para incorporar o Brasil. O GMT disse que não ia se comprometer a usar nossa indústria, o que para nós era um ponto importante, e o deixamos de lado. O ESO pediu o dobro dos outros projetos para nos aceitar como membro. Na Comissão Especial de Astronomia (CEA), criada pelo MCT, refletimos que no GMT e no TMT a comunidade teria de esperar 10 anos até os telescópios ficarem prontos e só depois poderia começar a produzir. Entrar no ESO permitiria fazer tudo desde já, pois eles já disponibilizariam seus telescópios.

O processo de adesão ao ESO foi discutido entre os astrofísicos?

Foi discutido. Em 29 de março de 2010 convoquei todos os pesquisadores principais do Brasil e vieram 80 pessoas. Na reunião, a grande maioria votou a favor de entrar no ESO. Depois disso, pela CEA, a Sociedade Astronômica Brasileira consultou todos os doutores e, novamente, a

grande maioria foi a favor. No Plano Nacional de Astronomia, em que esse tema foi prioridade, a questão também foi extensamente discutida por um grande número de participantes. O mesmo ocorreu em plenárias da reunião da SAB em 2010. Sem o ESO não temos futuro. Os americanos não têm uma estrutura parecida. Perguntamos ao então ministro da Ciência e Tecnologia, Sérgio Rezende, qual era nosso limite. Ele disse para escolhermos o melhor projeto e ele veria como faríamos. Fizemos isso. Os valores foram negociados por uma comissão montada pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, da qual faziam parte o então presidente da SAB, Eduardo Janot Pacheco, Albert Bruch, então diretor do LNA, e Ademair

Sem a adesão ao ESO, não temos futuro. Os americanos não têm uma estrutura parecida

Cruz, do Ministério das Relações Exteriores. Economizamos € 100 milhões na negociação com o ESO.

O Brasil deverá pagar pouco mais de € 130 milhões, em 10 parcelas, para entrar no ESO, além de uma anuidade. Há quem diga que esse valor é elevado para uma comunidade pequena de astrofísicos, como a brasileira?

Não é uma comunidade pequena. São 700 astrônomos, 330 com contrato e outros tantos com pós-doc, além dos estudantes.

No modelo de alguns telescópios o sócio que entra com 10% do orçamento do

projeto tem 10% do tempo de observação. No ESO não é assim. Não iríamos pagar muito e correr o risco de não conseguir nenhum tempo de observação?

Pelo acordo com o ESO, o valor de nossa contribuição aumentará de forma gradativa até um teto e, para nos adaptarmos, temos inicialmente 3% do tempo de observação. A questão central é que, se não formos membros do ESO, não podemos ser, em muitos casos, os principais pesquisadores de um projeto, não podemos ser o primeiro autor de um artigo. Precisamos aprender a competir, e para isso é preciso fazer pesquisa de ponta, integrada na comunidade internacional.

Algum tempo atrás, a senhora estava envolvida numa iniciativa de relançar os kits de ciência que existiram nos anos 1970. Como está esse projeto?

Os kits vão ser lançados agora. No começo, serão cinco kits: um de química, um de óptica, um de genética, um de matemática e um galileoscópio. O motor disso é o Herch Moyses Nussenzeig [físico da UFRJ]. Os outros membros também são do mais alto nível: Vanderlei Bagnato (Instituto de Física de São Carlos da USP), Mayana Zatz, Eliana Dessen (IB-USP), Henrique Toma [Instituto de Química da USP], Eduardo Colli [Instituto de Matemática e Estatística da USP], Car-

los Henrique de Brito Cruz [do Instituto de Física da Unicamp e diretor científico da FAPESP]. O objetivo é motivar crianças e adolescentes para a ciência, por meio de experiências propostas nos kits. Nunca vimos kits de tão bom nível como o de óptica. E já há interessados também no exterior. A Capes gostou do projeto e deu financiamento inicial para a realização de testes com alunos de escolas. São mil kits de cada tipo, 5 mil no total, a serem testados neste semestre. Os passos seguintes são o aperfeiçoamento do material, a depender do resultado dos testes, e o lançamento em maior número. Está ainda em planejamento a elaboração de outros 20 kits. ■

Sentinela das trevas cósmicas

Superradiotelescópio inaugurado no Chile procura as primeiras estrelas do Universo frio, escuro e distante

154

Marcos Pivetta, de San Pedro de Atacama

Situado a pouco mais de 5 mil metros de altitude, a cerca de uma hora da localidade turística de San Pedro de Atacama, no norte do Chile, o platô de Chajnantor se tornou palco do maior projeto de observação astronômica construído pelo homem em terra firme. Nesse ponto elevado do deserto mais seco do planeta, onde o céu quase não tem nuvens e a média anual de chuvas é menos de 100 milímetros, o Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (Alma) foi oficialmente inaugurado no dia 13 de março. “O Alma é um radiotelescópio que nos permitirá dar um *zoom* em objetos do Universo frio e distante, com uma sensibilidade de 10 a 100 vezes maior do que a que temos disponível hoje”, afirmou o holandês Thijs de Graauw, diretor do observatório, que deixa o cargo em abril. A máxima resolução angular do Alma é de 0,004 segundo de arco. Isso equivale a ter, da Terra, a capacidade de distinguir um caminhão localizado na Lua.

Composto de um conjunto de 66 antenas de rádio gigantes, que podem funcionar de forma sincronizada como se fossem um único superradiotelescópio de 16 quilômetros de diâmetro, o observatório tem como objetivo principal desvendar os primórdios do Universo, entre 1 e 2 bilhões de anos depois do chamado Big Bang, a explosão que teria dado início a tudo. Após esse grande movimento de liberação de energia, o Universo se resfriou e se tornou escuro. Entrou temporariamente numa Idade das Trevas da qual começou a sair com o surgimento das primeiras estrelas, galáxias e planetas. Esse Universo frio e distante é o alvo por excelência, embora não o único, do Alma. O observatório também procurará pela presença no espaço de moléculas, como açúcar e água, que possam estar relacionadas a formas de vida. Os ciclos solares, que periodicamente provocam ejeção de grandes quantidades de massa de nossa estrela-mãe, serão ainda alvo de outras observações.





Entre planejamento e construção, o empreendimento científico nos Andes chilenos, distante cerca de 1.600 quilômetros da capital Santiago, consumiu 15 anos e US\$ 1,4 bilhão. Em cooperação com o governo do Chile, a montagem do Alma foi custeada por seus três grandes sócios. A Europa investiu 37,5% do valor do projeto por meio do Observatório Europeu do Sul (ESO), do qual fazem parte 14 países do Velho Mundo mais o Brasil, que está em processo de confirmação de sua adesão à organização (ver entrevista da astrofísica Beatriz Barbuy, da Universidade de São Paulo, na página 24). Os Estados Unidos contribuíram com um montante igual ao dos europeus e sua participação é coordenada pelo Observatório Nacional de Radioastronomia (NRAO). O Japão e Taiwan entraram com 25% da verba do Alma, e o Observatório Nacional Astronômico do Japão (Naoj) organiza a participação dos asiáticos na empreitada.

Os radiotelescópios do Alma são de dois tamanhos. Há um conjunto maior, composto de 54 antenas com 12 metros

de diâmetro. Cada uma dessas parabólicas pesa cerca de 100 toneladas. O segundo grupo é formado por 12 antenas com 7 metros de diâmetro. Usando técnicas de interferometria, os sinais de todos os radiotelescópios – ou de uma parte deles no caso de observações que não necessitem de dados produzidos pelo conjunto de antenas – são combinados e transformados em dados astronômicos num supercomputador instalado no Array Operations Site (AOS), uma unidade de apoio também situada no platô. Desse ponto no altiplano, as informações processadas são transmitidas para o Operations Support Facility (OSF), um centro operacional localizado a 25 quilômetros de distância do Chajnantor, a uma altitude aproximada de 2.900 metros. Do total de antenas do projeto, 57 já estão em funcionamento no platô e outras 9 se encontram no OSF sendo preparadas para iniciar sua operação provavelmente ainda neste ano.

Inserido na peculiar geografia árida do deserto do Atacama, frequentemente usada como cenário em filmes de ficção científica que tentam reproduzir a su-

Antenas do Alma no platô Chajnantor: operação conjunta como se fossem um superradiotelescópio de 16 quilômetros

O Alma em ação

As etapas do processo de captação, transmissão e processamento de dados pelo conjunto de 66 antenas



156

perfície de Marte, o platô Chajnantor foi escolhido para ser a sede do observatório devido ao céu transparente e estável. A 5 mil metros, o ar é rarefeito e 40% da atmosfera terrestre se encontra abaixo dessa altitude. A presença de vapor-d'água, elemento que distorce e dificulta o registro das emissões em frequências de rádio, é apenas 5% da quantidade registrada ao nível do mar. Essas características tornam os arredores de San Pedro de Atacama um lugar extremamente favorável ao tipo de observação feita pelo Alma.

O conjunto de radiotelescópios capta a porção (invisível a olho nu) do espectro eletromagnético com comprimentos de onda entre 0,32 e 3,6 milímetros (mm). A luz nesses comprimentos de onda vem de grandes nuvens frias do espaço interestelar, onde a temperatura é apenas alguns graus acima do zero absoluto, e de algumas das mais

antigas galáxias do Universo. Ela pode ser usada para estudar a composição química e a física de regiões densas em gás e poeira onde novas estrelas estão sendo formadas.

Frequentemente tais regiões são escuras e não podem ser observadas nas frequências da luz visível. No entanto podem ser “vistas” de forma clara na parte do espectro de luz em que o Alma trabalha. “Os primeiros resultados do Alma são espetaculares”, afirmou Pierre Cox, que está assumindo a direção do observatório no lugar de Thijs de Graauw. Cox acredita que, no futuro, o observatório poderá detectar até a matéria escura, uma misteriosa componente que representa cerca de um quarto do Universo.

PRIMEIROS RESULTADOS

Embora tenha sido oficialmente inaugurado apenas neste ano, o Alma está

produzindo dados para trabalhos científicos desde setembro de 2011, quando começou a operar com um número reduzido de antenas, em geral 16. Os primeiros estudos com dados coletados pelo superradiotelescópio começaram a ser publicados em 2012. Os resultados mais interessantes ganharam as páginas da revista *Nature* em 14 de março deste ano.

Uma equipe liderada por pesquisadores do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), Estados Unidos, mediu com o Alma, no comprimento de onda ao redor de 3 mm, a distância de 26 galáxias longínquas e poeirentas, onde havia grande formação de novas estrelas, e descobriu que elas estavam mais longe e eram, portanto, mais velhas do que se pensava. “Quanto mais distante estiver uma galáxia, mais longe no tempo a estamos vendo. Por isso, ao medir

distâncias, podemos reconstruir a linha cronológica de quão vigorosa é a formação estelar no Universo nas diferentes épocas da sua história de 13,7 bilhões de anos”, disse Joaquin Vieira, do Caltech, principal autor do artigo.

Os pesquisadores viram que, em média, os picos de formação estelar ocorreram 12 bilhões de anos atrás, 1 bilhão de anos mais cedo do que se supunha. Duas dessas galáxias são as mais distantes deste tipo já observadas. Tinham 12,7 bilhões de anos. Numa outra galáxia os astrofísicos detectaram moléculas de água. Segundo os autores do trabalho, essa é a evidência mais longínqua de água já identificada no Universo.

PROJETOS DE BRASILEIROS

Zulema Abraham, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP, foi a primeira astrofísica brasileira a usar o Alma para estudar um objeto celeste. Seu projeto disputou tempo de observação com cerca de mil propostas internacionais e foi uma das 112 iniciativas agraciadas com acesso a dados produzidos pelo observatório. Em novembro do ano passado, 23 radiotelescópios do Alma foram apontados por cerca de 20 minutos na direção da enigmática Eta Carinae, um sistema composto de duas estrelas gigantes de grande luminosidade, a maior com cerca de 90 massas solares e a menor com 30 massas solares.

Distante 7.500 anos-luz da Terra, a Eta Carinae apresenta uma espécie de apagão periódico. A cada cinco anos e meio, deixa de brilhar por aproximadamen-

te 90 dias consecutivos em certas faixas do espectro eletromagnético. Com o Alma, Zulema mediu as emissões de rádio do sistema binário de estrelas em quatro comprimentos de onda: 3 mm, 1,3 mm, 1 mm e 454 micrômetros. Alguns desses comprimentos de onda nunca haviam sido usados para observar a estrela. “Há poucos dados sobre o ciclo da Eta Carinae nas frequências de rádio”, afirma a pesquisadora, que tenta identificar o local exato do sistema binário onde esse tipo de emissão se origina. Em janeiro e fevereiro deste ano, Zulema recebeu 15 gigabytes de informação produzidos pelo observatório nos Andes chilenos, algo

A máxima resolução angular do radiotelescópio permitiria observar um caminho na Lua

Radiotelescópios do Alma: transparência e estabilidade do céu dos Andes favorecem observações



como três DVDs cheios de informação. A resolução angular dos dados é impressionante, de 0,4 segundo de arco. No radiotelescópio de Itapetinga, em Atibaia, a 60 quilômetros da capital paulista, Zulema consegue observar a Eta Carinae com uma resolução máxima de 2 minutos de arco, centenas de vezes pior do que a do Alma.

A astrofísica Thaisa Storchi-Bergmann, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), também obteve tempo de observação no Alma, em trabalho conjunto com Neil Nagar, da Universidade de Concepción, Chile. O projeto, cujas observações ainda não foram feitas, consiste no mapeamento da distribuição e da cinemática de gás molecular numa região de 100 parsecs, distância equivalente a 326 anos-luz, em torno do núcleo de galáxias ativas onde um buraco negro supermassivo devora matéria ao seu redor. Trabalhos feitos por Thaisa em comprimentos de onda da luz óptica e do infravermelho mostraram a presença de estruturas espirais nessa região, que parecem ser canais para alimentar o buraco negro supermassivo. “Como onde há poeira, há gás molecular, estamos atrás da emissão de gás molecular frio, que emite nas bandas espectrais cobertas pelo Alma, para verificar se ele está de fato se movendo em direção ao núcleo”, afirma a pesquisadora gaúcha.

Além de pleitear o uso do Alma, um grupo de astrofísicos brasileiros está negociando a instalação de uma antena de 12 metros de comprimento, igual às maiores compradas pelo observatório recém-inaugurado, numa localidade dos Andes argentinos. Denominado Long Latin American Millimeter Array (Llama), o projeto prevê a construção de um pequeno observatório em San Antonio de Los Cobres, cidade localizada a 200 quilômetros de distância do platô Chajnantor. A iniciativa seria uma parceria de brasileiros e argentinos. “Nós compraríamos a antena, que custa € 6 milhões, e eles construiriam e operariam o observatório”, diz Jacques Lépine, astrofísico do IAG-USP e coordenador do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Radioastronomia (Nara), principal articulador do Llama. Se sair do papel, a antena do projeto binacional poderá trabalhar de forma independente ou integrada ao observatório em San Pedro de Atacama. “Com o Llama, poderíamos melhorar até 10 vezes a resolução angular do Alma”, diz Lépine. ■

An aerial photograph of a forest, showing a large, prominent tree trunk in the lower-left foreground. The forest floor is covered in green vegetation, and the background shows a dense canopy of trees. The overall tone is slightly desaturated, with a mix of greens and browns.

Geof

An aerial photograph of a mountain range, likely the Andes, showing a central river valley. The terrain is rugged and mountainous, with a prominent river valley running through the center. The colors are muted, with shades of brown, tan, and grey, suggesting a high-altitude or semi-arid environment. The text 'Física' is overlaid on the left side of the image.

Física

Terra Mãe

Equipe da USP põe a América do Sul no mapa de Rodínia, um supercontinente de 1 bilhão de anos atrás

FRANCISCO BICUDO | EDIÇÃO 75 - MAIO DE 2002

Dez mil amostras cilíndricas de rocha com 2 centímetros de altura desvendam a América do Sul de 1 bilhão de anos atrás, um quadro bastante diferente do atual mapa-múndi. Naquela época, o que corresponde ao atual território brasileiro era uma série de grandes ilhas distantes umas das outras. O bloco que corresponde à Amazônia estava separado de Goiás e do Nordeste por mares e, ao mesmo tempo, mais próximo da porção sul do país do que hoje e quase colado ao que seria a América do Norte.

Coletadas de norte a sul do Brasil, no restante da América do Sul e na África, as amostras de rocha contam histórias que permitiram a uma equipe da Universidade de São Paulo (USP) montar o quebra-cabeça da composição de Rodínia – Terra Mãe, em russo –, um dos supercontinentes nos quais a crosta se dividia há cerca de 1 bilhão de anos, período anterior ao de Gondwana – o supercontinente mais conhecido, formado há 750 milhões de anos a partir da fragmentação de Rodínia. Para chegar a esses resultados, os pesquisadores do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) usaram a técnica do paleomagnetismo, que se baseia no fato de que uma rocha, ao resfriar-se, cria uma marca que mostra a direção do campo magnético terrestre naquele momento e assim permite localizar sua posição em relação aos pólos.

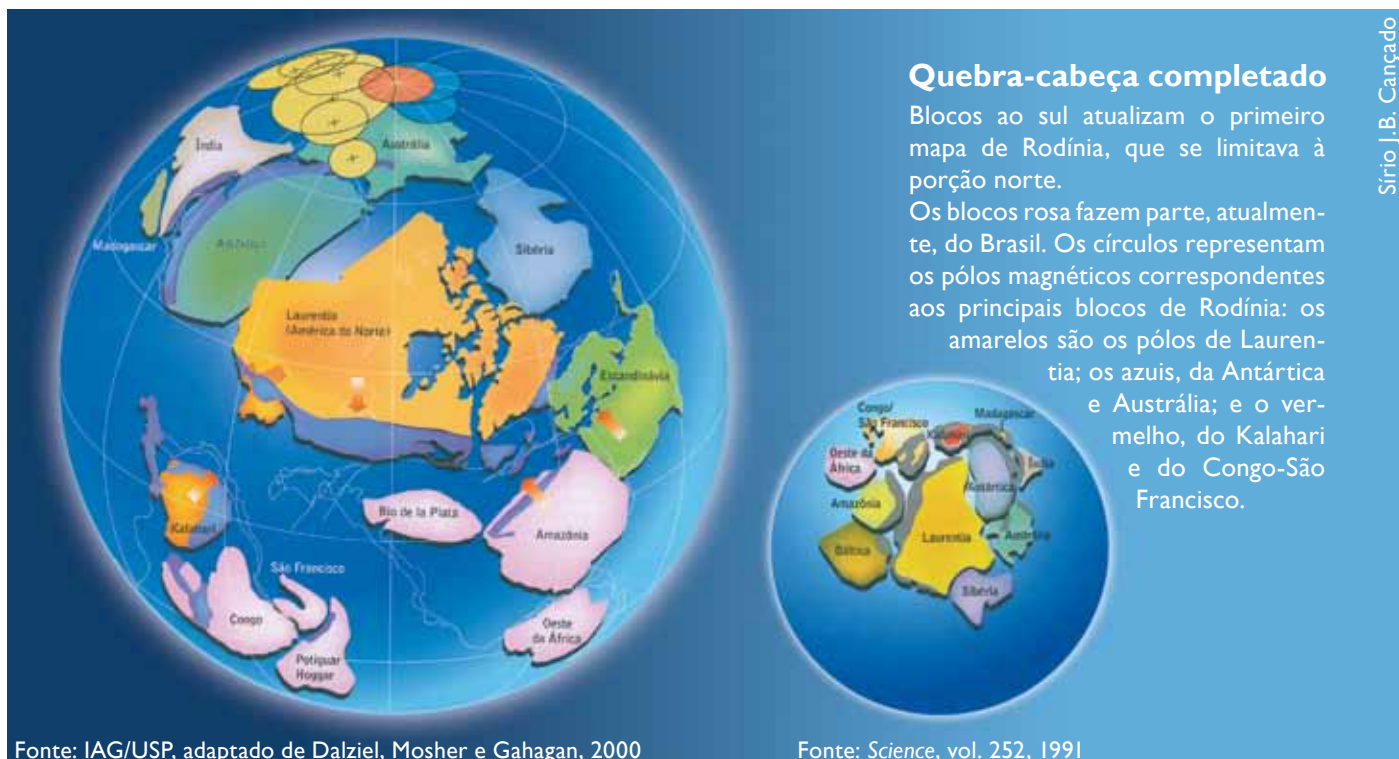
Laurentia

O trabalho, desenvolvido em projeto iniciado em 1998, foi apresentado em outubro de 2001 num congresso em Perth, Austrália, e num simpósio internacional sobre Rodínia e Gondwana reunido em Osaka, Japão. As descobertas completam e corrigem o primeiro mapa de Rodínia, mostrado em 1991 pelo geólogo norte-americano Paul Hoffman, hoje na Universidade de Harvard, Estados Unidos. Fundamentado em estudos feitos basicamente no Hemisfério Norte, o desenho de Hoffman mostrava um supercontinente cujo centro era um grande bloco chamado Laurentia – a atual América do Norte. Em torno, aglutinavam-se os que formariam Antártica, Austrália, Sibéria, Índia, Kalahari (leste da África), sul da China, Congo-São Francisco (parte da África e do Nordeste brasileiro) e Continente Báltico (norte da Europa).

O grupo brasileiro, que já atuava na área desde o início dos anos 70, decidiu então oferecer uma visão sul-americana de Rodínia, acrescentando peças ao quebra-cabeça de Hoffman. Coordenado por Igor Ivory Gil Pacca, o grupo do IAG voltou seu foco para as rochas dos crátons, que formaram o sul de Rodínia. Crátons são os blocos rochosos mais antigos da litosfera – camada externa do planeta, que é formada pela crosta e pelo manto superior, e tem cerca de 100 quilômetros de espessura.

O grupo coletou material em Mato Grosso, Rondônia, Ceará, Bahia e Paraná. Pegou amostras também na Argentina, Uruguai, Paraguai e Bolívia e, do outro lado do Atlântico, no Gabão, na Nigéria e em Camarões. Foram coletadas rochas dos três tipos: as sedimentares (arenitos, carbonatos e siltitos), as magmáticas (basaltos, granitos, gabros e andesitos) e as metamórficas (anfíbolitos, granulitos, migmatitos e gnaisses).

À medida que terminava as análises desse material, o grupo agregava peças à proposta original. Inicialmente, mostrou que a região central de Goiás, o Rio de la Plata (que abrangia o sul do Brasil), a África Ocidental e outros blocos menores também participaram da formação e fragmentação do supercontinente. O resultado é que a imagem idealizada por Hoffman mudou significativamente: a Amazônia, por exemplo, saiu do lado oeste e passou para leste. Segundo Pacca, Hoffman incluiu a Amazônia no mapa de 1991 com base em evidências estruturais e semelhanças geológicas, mas



Fonte: IAG/USP, adaptado de Dalziel, Mosher e Gahagan, 2000

Fonte: *Science*, vol. 252, 1991

Quebra-cabeça completado

Blocos ao sul atualizam o primeiro mapa de Rodínia, que se limitava à porção norte.

Os blocos rosa fazem parte, atualmente, do Brasil. Os círculos representam os pólos magnéticos correspondentes aos principais blocos de Rodínia: os amarelos são os pólos de Laurentia; os azuis, da Antártica e Austrália; e o vermelho, do Kalahari e do Congo-São Francisco.

com pouquíssimas informações paleomagnéticas, indispensáveis para a reconstituição da Terra antiga. “Era quase uma suposição, uma possibilidade”, comenta. Um dos méritos da equipe da USP foi justamente reunir dados abundantes da posição do bloco amazônico em Rodínia. “Hoje, não restam mais dúvidas”, assegura.

A história extraída das rochas reforça as hipóteses sobre a aparência que tinha a Terra há 1 bilhão de anos – um quinto de sua idade. Acredita-se que na época de Rodínia o planeta era uma imensa bola de gelo, resultante, provavelmente, de interferências astronômicas e alterações de órbita: o gelo aumentava a reflexão da luz, o que diminuía a absorção de energia. Veio, em seguida, o reverso da medalha: a intensa atividade vulcânica daquele período emitia uma quantidade enorme de gases, que acabaram por originar um gigantesco efeito estufa.

O gelo começou a derreter e, em cerca de 10 mil anos – período geológico extremamente curto –, a temperatura da Terra passou de 50°C (graus Celsius) negativos para 50°C positivos. As consequências sobre a vida, ainda incipiente, foram imediatas. “Esses eventos de estresse favoreceram o surgimento dos seres pluricelulares”, diz Ricardo Trindade, pesquisador da equipe do IAG. “Antes, o que havia na Terra eram as cianobactérias, seres muito simples e capazes de sobreviver em condições adversas.”

Rodínia em pedaços

Foi justamente nessa época de mudanças climáticas intensas, há cerca de 750 milhões de anos, que Rodínia começou a se fragmentar e a dança dos blocos passou a formar outro supercontinente: Gondwana. Ele aglutinava as atuais América do Sul, África, Antártica, Austrália e Índia. Os blocos que formariam o Brasil começaram a se aproximar do desenho de hoje quando surgiu o último dos grandes continentes: Pangea, há cerca de 300 milhões de anos. Foi da fragmentação de Pangea que nasceram os atuais oceanos e continentes, há aproximadamente 100 milhões de anos.

E a dança não pára: estima-se que atualmente os blocos se movam 3 centímetros ao ano, em média. O grupo do IAG aponta algumas tendências: nos próximos milhões de anos, devem surgir rachaduras na América do Norte, na Ásia e entre a África e a Península Arábica. Brasil e África se encontrarão de novo, desta vez do outro lado – oeste brasileiro com leste africano. Tanto as descobertas

quanto as conjecturas se apóiam na Teoria da Deriva Continental, apresentada em 1912 pelo cientista alemão Alfred Wegener (1880-1930), mas só consolidada nos anos 60. Pela teoria, a litosfera é formada por partes deformáveis chamadas placas tectônicas. As placas se movem ao longo da superfície, se quebram e se juntam, tudo sob o impulso do calor de dentro da Terra.

Rochas marcadas

À medida que se recua no tempo, contudo, cresce a incerteza sobre a movimentação efetiva das placas, de modo que não se pode dizer que o mapa de Rodínia, mesmo acrescido pelas contribuições brasileiras, seja definitivo. “Além de persistir alguma dúvida sobre quais blocos realmente fizeram parte de Rodínia, há divergências sobre a posição correta deles e onde exatamente se encaixariam”, afirma Manoel Souza D’Agrella, do grupo do IAG. Num artigo publicado em março em *Geology*, uma das revistas mais importantes da área, Ebbe Hartz e Trond Torsvik, da Universidade de Oslo, Noruega, mostram evidências de que o continente báltico estaria, na verdade, numa posição invertida em relação ao que se tem hoje – o norte seria o sul e vice-versa.

“Essa verificação teria implicações para a Amazônia, que normalmente aparece colada ao continente báltico nas reconstruções de Rodínia”, diz Hoffman, o autor do primeiro mapa. Segundo ele, um estudo, a sair na *Earth and Planetary Science Letters*, mostra que a Austrália pode não ter estado ao norte do México, um dos integrantes do bloco chamado de Laurentia, 1 bilhão de anos atrás. Há divergências, mas num ponto os pesquisadores concordam: seria impossível recuperar essa história tão remota sem o paleomagnetismo, ferramenta que o IAG e os outros grupos adotam para relatar a deriva continental.

A técnica apóia-se no fato de que, seja há 1 bilhão ou há 100 milhões de anos, o resfriamento de uma rocha sempre registra nela a direção do campo magnético terrestre. “O paleomagnetismo determina a latitude em que o bloco de rocha se encontrava e a posição dele em relação ao eixo da Terra”, afirma a geofísica Márcia Ernesto, que divide com Pacca a coordenação da equipe da USP.

No final dos anos 90, já com as primeiras amostras à mão, o grupo do IAG constatou que a posição do pólo arquivada nas rochas não correspondia à atual: numa era vertical, noutra horizontal, outras eram posições diagonais diversas. A hipótese de que o campo magnético terrestre tenha se alterado ao longo do tempo foi logo descartada: “Os pólos magnéticos terrestres sempre estiveram muito próximos dos pólos geográficos”, enfatiza Pacca. “E o eixo magnético terrestre funciona como um grande ímã de barras, próximo ao eixo de rotação.” Portanto, o que explica a discrepância na orientação magnética das rochas é que os continentes estiveram mesmo andando.

Rotas continentais

Depois se fez a análise de rochas de idades diferentes, coletadas no mesmo lugar. A série histórica permitiria definir as direções de pólo registradas. Um exemplo hipotético: há 800 milhões de anos, a direção era horizontal, aos 600 milhões fez uma curva à esquerda, aos 300 milhões à direita e assim por diante. A memória das rochas arquiva as rotas. Ao se juntar esses rastros e ordená-los numa linha de sentidos, surge a curva de deriva polar aparente – que mostra claramente os caminhos dos continentes. Foi o que aconteceu com os arenitos colhidos em duas cachoeiras de Mato Grosso – uma em Salto do Céu, perto de Cuiabá, outra em Vila Bela da Santíssima Trindade, antiga capital do Estado, próxima à Bolívia –, que deram segurança sobre onde estavam os blocos que formariam a América do Sul.

Traçadas as rotas de movimento da América do Sul e da África, os pesquisadores puseram a primeira sobre a segunda e vice-versa, e viram exatamente onde e quando esses continentes se aproximaram ou se afastaram. O trabalho de campo exige paciência e certa dose de adrenalina para a aventura. Da última vez em que estiveram em Rondônia, em julho de 2001, o grupo teve de invadir áreas controladas por madeireiras e o carro da universidade foi confundido com a fiscalização. “Não foi nada agradável”, conta Pacca: “Quase levamos uns tiros”.

Em campo, os pesquisadores penetram as rochas com uma furadeira especial e extraem os cilindros. Imediatamente, uma bússola determina a direção do campo magnético no momento e o pesquisador anota na própria amostra. No laboratório, as amostras passam por fornos que aumentam e diminuem alternadamente a temperatura, para eliminar interferências magnéticas recentes. É preciso deixar só o registro antigo, que é avaliado numa sala blindada – “o lugar de campo magnético menos intenso que existe em São Paulo”, segundo Márcia.

Parcerias

O grupo recebeu o reforço do Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geociências (IG), também da USP. É ali que se fazem as análises químicas e de elementos radioativos, que atestam a idade das rochas. “Como a margem de erro é mínima, podemos estabelecer hipóteses cada vez mais coerentes sobre a formação de Rodínia”, diz Wilson Teixeira, diretor do Instituto de Geociências (IG) da USP, que integra o grupo. Foi o IG, aliás, que sediou um encontro internacional sobre Rodínia, em agosto do ano passado.

O grupo do IAG, hoje umas das referências internacionais e provavelmente o único a trabalhar com paleomagnetismo no Brasil, atua em colaboração também com grupos da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Rio Claro e as universidades federais da Bahia, do Pará e do Rio Grande do Norte, que facilitam a coleta e interpretação dos resultados. Há ainda parcerias com especialistas das universidades de Berkeley (Estados Unidos), Trieste e Pádua (Itália), Suécia, Toulouse (França) e Buenos Aires (Argentina). O habitual espírito de colaboração entre cientistas é reforçado pelo fato de ninguém saber onde pode estar a rocha faltante no quebra-cabeça que cada grupo procura montar.

O PROJETO

Participação das Unidades Cratônicas da América do Sul na Evolução de Supercontinentes, Desde o Mesoproterozóico

MODALIDADE

Projeto temático

COORDENADOR

Igor Ivory Gil Pacca – IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 292.409,52

Dez tremores por dia

Estudo revela a intensa movimentação da crosta da região central do país

EDIÇÃO 84 • FEVEREIRO DE 2003

A tranqüilidade dos vastos planaltos de Goiás e Tocantins é só aparente. Sob a superfície, reina uma inquietação que agora vem à tona. Uma equipe de pesquisadores de São Paulo, Brasília e Minas Gerais constatou que por ali se sucedem, por ano, 30 tremores de baixa intensidade, com magnitude entre 2 e 4, com raríssimos episódios acima desse limite. Considerando os abalos mais amenos, a partir de magnitude zero, ali a terra treme, em média, dez vezes por dia, em episódios de no máximo três segundos.

“Sabíamos que havia tremores na região central do Brasil, mas não tantos”, observa o coordenador do projeto, o geofísico Jesús Antonio Berrocal Gomez, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP). Desde os anos 70, detectava-se na região apenas um ou dois tremores por ano – como hoje, nem poderiam ser chamados de terremotos, termo reservado para os abalos intensos, capazes de derrubar casas e prédios. É que havia apenas dez sismógrafos – os aparelhos que registram a movimentação da crosta, a camada mais externa da superfície da Terra –, e concentrados ao redor de Brasília e da Serra da Mesa, na região norte de Goiás.

Há quatro anos, quando começou esse estudo, foram instalados mais dez, cobrindo outros pontos estratégicos, e a real atividade da crosta nessa parte do Brasil começou a emergir. Os resultados ganharam o reforço de uma técnica adotada pela primeira vez no país, a chamada refração sísmica profunda: os pesquisadores provocaram tremores artificiais e sondaram a crosta do coração do Brasil em profundidades de até 40 quilômetros.

A incessante agitação subterrânea não representa motivo de preocupação para as construções ou atividades humanas: na imensa maioria, os tremores são registrados apenas pelos sismógrafos. É importante, porém, por enriquecer com novos detalhes a história remota dessa parte do país e

Os tremores da região central do Brasil são ecos da fragmentação da Pangea

do território nacional. “Os tremores da região central do Brasil são ecos da fragmentação da Pangea”, sentencia Berrocal, referindo-se ao supercontinente formado há cerca de 250 milhões de anos que, ao esfacelar-se, num processo iniciado há 200 milhões de anos, originou as atuais Américas, África, Europa, Ásia e Oceania.

por refletir fenômenos de escala planetária ainda em curso, como, provavelmente, em nenhum outro lugar

O oceano de Goiás

Berrocal e sua equipe interpretam os tênues abalos da região central do Brasil como uma resposta local ao menos dos movimentos mais próximos de acomodação das placas tectônicas. É o caso do afastamento da África da América do Sul, dois continentes que há 250 milhões estavam unidos e hoje constituem placas distintas e se afastam alguns centímetros a cada ano. Podem ecoar no coração do Brasil, de um modo que os cientistas pretendem detalhar em breve até mesmo os movimentos de acomodação dos blocos rochosos de cujo encontro resultaram os Andes, uma cordilheira relativamente jovem, formada há 150 milhões de anos e com bastante energia para liberar, como atestam os terremotos que ainda assustam colombianos, peruanos, equatorianos e chilenos.

Com esse trabalho, foi possível dar um salto para épocas ainda mais distantes, de modo que se tornou mais clara a etapa inicial de formação dessa parte do território brasileiro, chamada Província Tectônica Tocantins, uma área de 1.100 quilômetros no sentido norte-sul, com largura de 400 a 600 quilômetros, que vai do sul do Tocantins até a divisa de Goiás com Minas, de um lado, e o leste de Mato Grosso, de outro.

A auscultação da crosta – sim, é esse o termo usado, como se os geólogos ouvissem um coração batendo – confirmou algo apenas cogitado há alguns anos: entre 1 bilhão e 640 milhões de anos, um oceano de extensões aproximadas ao atual Atlântico ocupava a porção central do futuro território brasileiro. Os blocos de rocha emersos formavam um arquipélago como, atualmente, o do Japão. A paisagem, enfim, já foi bem diferente do que é atualmente, com montanhas como as dos Andes e vulcões ativos. “O que vemos hoje”, diz Reinhardt Fuck, geólogo da Universidade de Brasília (UnB), que participa do projeto, “é só a raiz desses terrenos mais antigos, já que a cadeia de montanhas foi quase completamente erodida.”

No início da pesquisa, pensou-se que os tremores de hoje derivassem tão-somente da acomodação final de dois crátons (subunidades das placas tectônicas), o Amazônico e o São Francisco, cujo encontro originou a Província Tocantins. Não se descartou inteiramente essa hipótese, que deve ter algum peso, ainda que limitado, mas um detalhe a fez balançar. “A acomodação dos crátons deveria ter terminado há pelo menos 500 milhões de anos”, observa Fuck, que começou a estudar a região em 1969.

Arco mais jovem

Os tremores artificiais, que ajudam a delimitar o alcance dos movimentos dos blocos rochosos, foram gerados por meio de 21 buracos de 40 a 60 metros de profundidade, preenchidos com até 1.000 quilos de explosivo gelatinoso e distribuídos ao longo de três trajetos com 300 quilômetros cada um. Acompanhadas por meio de 120 sismógrafos distribuídos ao longo das três linhas, as explosões revelaram uma variação de quase 11 quilômetros na espessura da crosta na região, que cresce de oeste para leste. Entre os pontos mais distantes da média de 36 quilômetros de espessura verificada ali, destaca-se São Luís dos Montes Belos, em Goiás, cujos moradores assentam-se sobre uma camada superficial de rochas de 33,7 quilômetros. No outro extremo, encontrou-se a crosta mais reforçada debaixo de Brasília: os habitantes da capital federal vivem sobre 43 quilômetros de rochas da crosta.

Os tremores se concentram numa faixa de cerca de 700 quilômetros de extensão, em que a crosta é mais fina, chamada Arco Magmático de Goiás. Sua idade recuou cerca de 1,6 bilhão de anos a partir do estudo da crosta e de datações de rochas. Segundo Fuck, esse trecho da Província Tocantins formou-se com o material extraído do manto terrestre e transferido para a crosta continental entre 930 e 640 milhões de anos atrás, em consequência da destruição do oceano que separava os



- Cráton Amazônico
- Arco Magmático de Goiás
- Província Tocantins
- Cráton São Francisco

A paz superficial do norte de Goiás, centro da Província Tocantins: movimentação da crosta ecoa fenômenos de escala planetária

crátons Amazônico e São Francisco. “Pensava-se que essa parte da Província Tocantins fosse das mais antigas do Brasil, mas os dados obtidos indicaram que se trata de uma das mais jovens”, diz o pesquisador da UnB.

O PROJETO

Estudos Geofísicos e Modelo Tectônico dos Setores Central e Sudeste da Província Tocantins, Brasil central

MODALIDADE

Projeto temático

COORDENADOR

Jesús Antonio Berrocal Gomez – IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 423.507,56 e US\$ 112.073,90

O calor que faz o chão tremer

Variações na espessura da litosfera causadas por diferenças de temperatura esclarecem a origem de terremotos no Brasil

EDIÇÃO 102 · AGOSTO DE 2004

Era impossível explicar por que a terra treme algumas vezes por ano em regiões tão distintas quanto o oeste de Goiás, o leste do Pantanal, o nordeste do Estado de São Paulo e o Triângulo Mineiro. Também era difícil entender por que reina uma calma quase eterna ao longo do rio Paraná, no norte de Minas, no leste de Goiás ou em quase todo o interior da Bahia.

Todas essas áreas se encontram no interior dos vastos blocos de rocha que formam a superfície terrestre, as placas tectônicas – e deveriam ser igualmente estáveis. Já se sabia que os grandes tremores de terra brotam apenas nos limites das placas tectônicas: a colisão de uma placa com outra, como um pedaço de mármore empurrando outro, gera pressões enormes que deformam e quebram suas bordas, originando os tremores – a rigor, só quando são intensos é que deveriam ser chamados de terremotos.

Tentou-se entender os tremores menores no interior das placas por meio de sinais aparentes que possam ter deixado, como rachaduras, desníveis de blocos de rochas e outras cicatrizes a céu aberto. Mas nenhuma explicação saltou à vista. A razão desses fenômenos parece estar mais embaixo, a centenas de quilômetros da superfície, na litosfera, a camada mais rígida e mais fria de rochas que recobre o planeta.

Com base em informações colhidas nos últimos 12 anos, o geofísico Marcelo Assumpção, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP), concluiu que as áreas mais sujeitas a tremores no interior das placas apresentam uma litosfera mais fina. Por essa razão, liberam mais facilmente a pressão resultante dos movimentos das placas, a origem dos terremotos.

Contrariamente, nas regiões com litosfera mais espessa, também no interior das placas, a tensão se dilui e só mais raramente provoca os tremores. Em outras partes do mundo, a fragilidade da litosfera está diretamente associada à frequência de terremotos, como no vale do Mississípi, nos Estados Unidos, em pontos dos Alpes, a extensa cadeia montanhosa do sul da Europa, e no norte da China.

No Brasil, muita gente acha que não, mas há, sim, terremotos – melhor dizendo, muitos sismos, o nome técnico que designa os tremores em geral. São cerca de 80 a 90 por ano, a maioria com magnitude inferior a 4, numa escala que vai até 9 – são, portanto, relativamente fracos, sobretudo quando comparados com os violentos tremores que ocorrem, por exemplo, no Japão, onde um dos terremotos mais intensos já registrados destruiu em 1923 cerca de 440 mil casas e matou 100 mil pessoas.

Situado na parte continental da placa Sul-americana, o Brasil é uma região considerada estável, ainda que sujeita às pressões da placa de Nazca, a oeste, que constitui o fundo do Pacífico e gera os abalos nos Andes, e da cadeia submarina Meso-Atlântica, a leste.

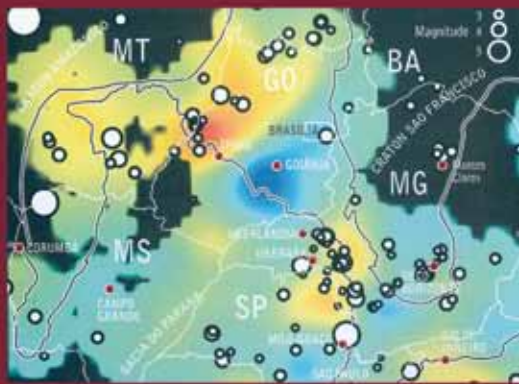
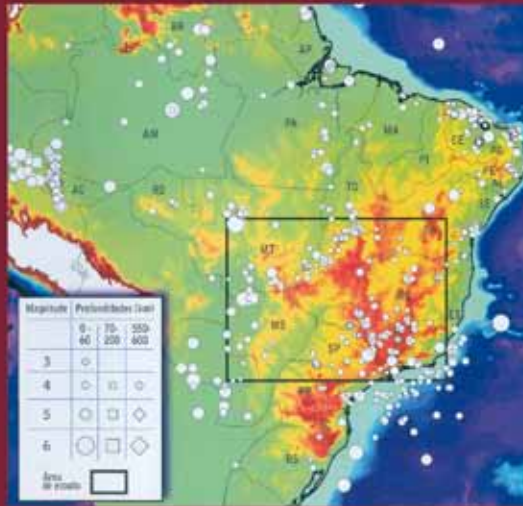
É justamente o mergulho da placa de Nazca sob a placa Sul-americana que causa os intensos tremores no Acre: o mais recente, às 3h24 da madrugada de 20 de junho do ano passado, atingiu magnitude 7, mas por ter sido profundo quase não foi sentido pelos moradores de Cruzeiro do Sul – no último século, houve na região cinco sismos com magnitude acima de 7. Os maiores sismos do interior das placas tectônicas foram um pouco mais amenos e chegaram à magnitude 6, liberando, mesmo assim, energia correspondente à de 30 bombas atômicas como a lançada sobre Hiroshima no final da Segunda Guerra Mundial.

Em geral, esses tremores ocorreram nas regiões Central e Sudeste, acompanhadas pelos pesquisadores há mais tempo que as outras.

Foi essa também a área estudada pela equipe do IAG, em conjunto com cientistas da Universidade de Brasília (UnB). Com sua equipe, Assumpção analisou uma área de quase 2 milhões de quilômetros quadrados, equivalente a um quarto do território nacional – um retângulo delimitado ao norte pelas cidades de Cuiabá, em Mato Grosso, e Milagres, a cerca de 150 quilômetros de Salvador, na Bahia, e ao sul por Assunção, no Paraguai, até um ponto no oceano Atlântico situado a cerca de 300 quilôme-

No Acre, os abalos mais intensos

Tremores conhecidos de 1724 a 2004 com magnitude igual ou superior a 3: atualmente, de 80 a 90 registros por ano

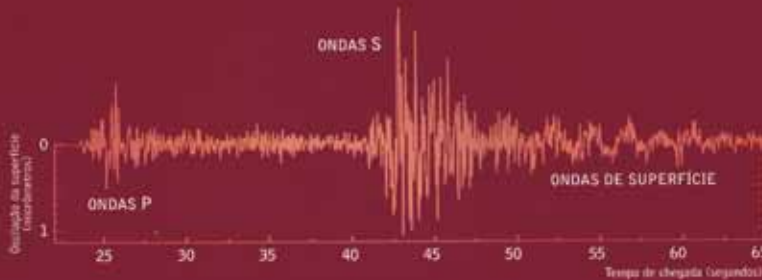


Exame em profundidade

Sul de Goiás e sul de Minas em situações opostas: litosfera é mais fina nas áreas em vermelho e amarelo e mais espessa nas regiões em azul (corte a 200 quilômetros de profundidade)

Vibrações da terra

Sismograma do tremor de magnitude 3,5 no Pantanal em 28 de outubro de 2003: litosfera pouco espessa



tros da cidade paulista de Santos e a 150 quilômetros de Cabo Frio, no litoral do Rio de Janeiro.

Nesse espaço afluem por ano cerca de dez tremores com magnitude igual ou superior a 3, suficiente para serem percebidos sem o auxílio dos sismógrafos, os aparelhos que detectam as ondas sísmicas, como são chamadas as vibrações causadas pelos abalos. Os pesquisadores determinaram a espessura da litosfera de maneira indireta, por meio de sismógrafos espalhados em 59 localidades que desde 1992 registram as ondas sísmicas.

Há dois tipos de ondas geradas pelo sismo e ambas, como a luz do sol mergulhando em uma piscina, sofrem reflexão e refração ao passarem por rochas mais ou menos duras: as ondas P (primárias) que atravessam qualquer parte do interior do planeta e chegam primeiro à superfície, enquanto as S (secundárias) propagam-se em velocidade menor e apenas em rochas sólidas.

A análise dos tempos de chegada das ondas P e S à superfície, após terem sido geradas por um terremoto do outro lado do mundo, tem sido o meio pelo qual avança o estudo das camadas mais profundas da Terra. Foi por meio dessas vibrações que se de-

duziu, em 1906, como deveria ser o centro do planeta – uma imensa e compacta esfera de ferro que permanece líquido a uma temperatura próxima a 3.500°C. Foi também com elas que se pôde mapear as regiões sísmicas ao redor do globo mais sujeitas aos tremores, que coincidem com os limites das placas tectônicas, por onde a energia interna da Terra escapa mais facilmente.

Agora, devidamente interpretadas pela equipe de Assumpção, as ondas P revelam onde é mais provável a terra tremer – são as regiões em amarelo e em vermelho no mapa. “Nesses pontos, os sismos não resultam do encontro de placas, mas da fragilidade interna das placas”, diz Assumpção. Nas regiões de litosfera mais fina, mais sujeitas ao acúmulo de tensões, o ponto de origem dos tremores – o hipocentro – encontra-se a menos de 5 quilômetros da superfície. “Os sismos são superficiais, mas as causas são profundas.”

Os pesquisadores fizeram uma tomografia da litosfera, do mesmo modo que os médicos examinam o interior do corpo. Analisaram a constituição das profundezas do planeta de 50 em 50

quilômetros, até chegarem, evidentemente com uma definição menor, a 1.300 quilômetros, quase um quinto da distância até o centro da Terra. Foi também por meio da tomografia das camadas mais profundas do planeta que Assumpção, anos atrás, apresentou a hipótese de que as placas tectônicas não se movem à deriva, como uma jangada sem vela.

Segundo seu modelo, esses imensos blocos de rocha se afastam ou colidem, fazendo os continentes vagarem muito lentamente ao redor do globo e às vezes causando terremotos, em consequência dos movimentos de uma grande parte do manto, a camada abaixo da crosta, em profundidades que no Brasil podem chegar a 700 quilômetros. Antes desse estudo, publicado na *Nature* em 1995, imaginava-se que apenas a camada superior do manto, a no máximo 200 quilômetros, fosse capaz de empurrar as placas (veja revista *Pesquisa FAPESP* nº 53, de maio de 2000).

Assumpção, desta vez, acompanhou 10 mil registros de ondas P, cuja velocidade pode variar de 6 a 13 quilômetros por segundo, com o propósito de analisar o perfil da litosfera – a dura casca de rochas que inclui a crosta, a camada de até 40 quilômetros que recobre a superfície, e uma faixa mais externa do manto, com 100 a 200 quilômetros de profundidade. Por fim, ele concluiu que a maior atividade sísmica ocorre preferencialmente em regiões nas quais essas ondas eram até 2% mais lentas em profundidades de 150 a 250 quilômetros.

A velocidade menor foi interpretada como resultado de temperaturas mais altas, já que as ondas se propagam mais lentamente em rochas mais quentes. De acordo com essa abordagem, as regiões mais quentes correspondem aos limites mais elevados da astenosfera, a parte maleável do manto, com temperaturas próximas a 1.300°C, que ocupa os primeiros 200 quilômetros abaixo da litosfera.

Depois de descobrir onde a astenosfera estava mais próxima da superfície, foi fácil determinar a espessura da litosfera: com uma temperatura média de 1.000°C, a extensão dessa camada correspondia à distância que faltava para chegar à crosta. Portanto, se a astenosfera fosse pouco profunda, a litosfera seria mais fina.

Foi nascendo assim um conjunto de mapas que indicam que a espessura da litosfera no Brasil pode variar de cerca de 100 quilômetros, exatamente onde há mais tremores, a cerca de 300 quilômetros, onde os abalos são bastante raros. De acordo com esse estudo, que será publicado no *Geophysical Journal International*, o ponto mais fino da litosfera, com uma profundidade de 100 a 150 quilômetros, encontra-se na região de Iporá, município a oeste de Goiás, onde se registram em média dois tremores por ano de magnitude igual ou superior a 3.

O que parece pouco é na verdade bastante quando confrontado com as vizinhanças de Goiânia, o sul de Goiás e a região de Belo Horizonte, em Minas, onde a litosfera é mais espessa – de 250 a 300 quilômetros – e se tem notícia de apenas um ou outro tremorzinho a cada 200 anos. Esse estudo elucida as razões pelas quais ocorreram alguns dos maiores terremotos no Brasil. Um deles, com magnitude 5,4, ocorreu em 1964 na região de Miranda, leste do Pantanal, no Mato Grosso do Sul – Assumpção verificou que se trata de outra área em que a espessura da litosfera não deve ultrapassar 150 quilômetros. Deve ter sido também esse o motivo do tremor de magnitude 6,2 registrado em 1955 em Porto dos Gaúchos, município a 300 quilômetros ao norte de Cuiabá, que se encontra no limite da área analisada nessa pesquisa.

Provas na superfície

Na região Nordeste os tremores são mais freqüentes, mas não tão fortes quanto na região central do país. No final da década de 1980, durante quatro anos, de 1986 a 1989, houve uma sucessão de tremores em João Câmara, no Rio Grande do Norte, os mais fortes com magnitude 5, danificando centenas de casas. Dois meses atrás, em junho, na região de Belo Jardim, a 50 quilômetros de Caruaru, em Pernambuco, houve uma série de tremores pequenos, de magnitude 3. “Ainda não temos medições precisas, mas nas regiões mais ativas do Nordeste, no Rio Grande do Norte e no Ceará, possivelmente a litosfera é mais fina também”, comenta Assumpção.

Mesmo centrado no comportamento das ondas a centenas de quilômetros abaixo da superfície, seu estudo não está desvinculado dos contornos da paisagem, porque as regiões de litosfera mais fina,

por serem mais frágeis, são também por onde pode escapar mais facilmente o magma produzido pelo calor da astenosfera. Originam-se assim as chamadas intrusões, que são rochas derretidas da base da litosfera que sobem à superfície – é o mesmo material que, em quantidades muito maiores, formam os vulcões.

O pico de Agulhas Negras, no Parque Nacional de Itatiaia, na divisa dos estados de São Paulo, Rio e Minas, com 2.787 metros de altitude, é um desses pontos de litosfera mais frágeis em que a lava encontrou por onde vazar, há cerca de 60 milhões de anos. Em Goiás, algo mais modesto e mais antigo: o morro do Engenho, de 200 metros, em Iporá, constitui os resquícios de intrusões ocorridas 80 milhões de anos atrás.

Assumpção pretende ampliar a área estudada e concluir o mapeamento da litosfera de todo o país. Feito hoje no ritmo possível, o trabalho conta com a colaboração de um conjunto de instituições nacionais – entre elas, as universidades federais de Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Norte, além do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – e de parceiros internacionais, como o Instituto de Ciencias de la Tierra, da Espanha, e a Northwestern University, dos Estados Unidos.

Não é fácil: só as áreas Central e Sudeste consumiram quase dez anos de trabalho. Mas Assumpção espera ainda contar com a participação de empresas, porque esse tipo de mapeamento – já concluído em países como Estados Unidos, Rússia, China e Austrália, entre outros – facilita a busca de minérios: é mais provável encontrar jazidas de diamante, por exemplo, em regiões antigas com litosfera mais espessa.

Talvez ainda mais difícil seja descobrir de onde vem o calor que torna a astenosfera mais rasa, afina a litosfera e abre as brechas para o magma passar. Os especialistas estão longe do consenso. Assumpção acredita que esses fenômenos possam estar ligados à Pluma de Trindade, uma coluna de rochas muito quentes do manto e relativamente fina (cerca de 100 quilômetros de largura).

Proposta há 30 anos por geoquímicos para explicar a ocorrência de intrusões, como o morro do Engenho e o pico de Agulhas Negras, no Brasil, a pluma seria formada por rochas quase fundidas provenientes de um ponto fixo da base do manto, nas proximidades do núcleo, a cerca de 3 mil quilômetros de profundidade, que sobem e esquentam a litosfera. Há milhões de anos, parte dessa pluma que chegou à superfície pode ter formado a cadeia de montes submarinos próxima a Vitória e o arquipélago de Trindade, na costa brasileira.

Como a fonte de calor próxima ao núcleo não deve ter apagado, mais rocha quente continua subindo e provocando vulcanismo e intrusões na crosta, enquanto a superfície se desloca com as placas tectônicas. Se fosse assim – eis o primeiro problema dessa idéia –, as dezenas de intrusões atribuídas à pluma deveriam estar, de algum modo, alinhadas de acordo com a idade. Mas não: parecem misturadas, as mais antigas e as mais recentes juntas, sem uma ordem clara.

O segundo problema é que a pluma é fina e profunda o bastante para escapar dos exames de tomografia e seu efeito sobre as ondas sísmicas é quase imperceptível. Há quem prefira acreditar que o magma não provém de regiões tão profundas, mas de porções mais rasas, a até 700 quilômetros. Neste caso, as elevações da astenosfera seriam causadas por correntes de convecção, como as que movem a água fervendo numa panela, confinadas na parte superior do manto. Também não é fácil provar.

O PROJETO

Estrutura Crustal e Sismicidade do Sudeste

MODALIDADE

Linha Regular de Auxílio a Pesquisa

COORDENADOR

Marcelo Sousa de Assumpção – IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 89.141,42 (FAPESP)

A Terra coberta de gelo

Há 630 milhões de anos a Amazônia era um deserto debaixo de geleiras

FRANCISCO BICUDO | EDIÇÃO 117 - NOVEMBRO DE 2005

Em vez de florestas densas com seringueiras, castanheiras e outras árvores com dezenas de metros de altura, a Amazônia de 630 milhões de anos atrás deve ter sido uma vasta planície coberta por uma camada de gelo de até 1 quilômetro de espessura, cercada por mares com geleiras e icebergs. Sua localização também parece ter sido diferente da que se imaginava. De acordo com a reconstituição da Terra apresentada há cerca de 30 anos pelo geólogo canadense Paul Hoffman, da Universidade Harvard, Estados Unidos, a Amazônia estaria próxima ao pólo Sul. Mas geólogos de São Paulo, do Amazonas, de Pernambuco e do Pará questionam esse modelo clássico da geologia e revelam que a Amazônia estava, na verdade, bem próxima do trópico de capricórnio – distante da posição anterior pelo menos 4,5 mil quilômetros, quase uma vez e meia a distância de Manaus a São Paulo em linha reta – onde as temperaturas deveriam ser mais altas.

“A Amazônia se encontrava em região intertropical, a 22° de latitude, em uma posição semelhante à atualmente ocupada pelo Estado de São Paulo”, afirma Afonso Nogueira, geólogo da Universidade Federal do Amazonas (Ufam), um dos integrantes da equipe que contou com pesquisadores do Instituto de Geociências e do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (USP), e das universidades federais de Pernambuco (UFPE) e do Pará (UFPA). Mas como poderia haver gelo perto do trópico? Não foi difícil encontrar uma explicação para esse aparente paradoxo. “As descobertas em território brasileiro reforçam a idéia do *snowball Earth*, uma teoria que postula que por duas vezes, uma delas há cerca de 630 milhões de anos, toda a superfície terrestre ficou debaixo de gelo, fazendo da Terra uma imensa bola de neve”, afirma o geólogo Cláudio Riccomini, coordenador da equipe do Instituto de Geociências da USP.

Nessa época começava a se formar um supercontinente chamado

Gondwana, que reuniu blocos rochosos conhecidos como crátons que correspondem às atuais América do Sul, África, Antártica, Austrália e Índia. Um desses, o cráton amazônico, que mudou de lugar, compreende os atuais estados de Rondônia, Amazonas, Roraima e Amapá, o norte do Mato Grosso e o oeste do Pará, além das Guianas, do Suriname e de parte da Bolívia.

As pistas de que havia uma capa de gelo também no cráton amazônico foram dadas pelos diamictitos glaciais. Formadas por lama e areia, essas rochas em geral apresentam coloração acinzentada e incluem fragmentos de rochas mais antigas, provenientes de regiões remotas.

Alguns desses fragmentos apresentam faces relativamente planas, por vezes polidas, que guardam as estrias de abrasão glacial – ranhuras paralelas na rocha causadas pelo atrito com outras rochas, adquiridas quando esses fragmentos estavam na base de geleiras em movimento. Havia diamictitos glaciais bem preservados em uma pedreira de 40 metros de altura e 70 metros de extensão no município de Mirassol d’Oeste, sudoeste de Mato Grosso. Os geólogos da USP, em colaboração com os grupos de Alcides Sial, de Pernambuco, e Cândido Moura, do Pará, examinaram os isótopos de carbono e de estrôncio das amostras colhidas e confirmaram: ali havia preciosidades com mais de 600 milhões de anos.

Registros magnéticos

Com os registros da passagem do gelo pela região vindo à tona, os pesquisadores trataram de tirar da gaveta o mapa desenhado por Hoffman. Não hesitaram em levantar a dúvida: a Amazônia

As descobertas em território brasileiro reforçam a idéia do *snowball Earth*, uma teoria que postula que por duas vezes, uma delas há cerca de 630 milhões de anos, toda a superfície terrestre ficou debaixo de gelo



Globo branco: por duas vezes o planeta ficou quase todo sob a neve

NASA

estaria mesmo no pólo Sul? A resposta conclusiva emergiu do emprego de uma técnica que tem sido útil na reconstrução da Terra primitiva, o paleomagnetismo. “Quando as rochas se formam, o campo magnético terrestre fica registrado nelas”, explica Ricardo Trindade, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP. “Na pedreira de Mirassol d’Oeste, a cada 1 ou 2 metros, usávamos uma furadeira especial para coletar cinco ou seis amostras de rocha”, lembra Eric Font, que então começava seu doutorado sob a orientação de Trindade. Em uma sala blindada magneticamente, as amostras – pequenos cilindros de 1 polegada de diâmetro por 2 centímetros de altura – passam por sucessivos aquecimentos, para eliminar os registros mais recentes de magnetismo. As informações sobre o magnetismo original são então comparadas com o campo magnético terrestre, que funciona como um enorme ímã cravado no centro do planeta. “Pode-se assim descobrir a latitude do bloco e a posição em que ele se encontrava, em relação ao eixo da Terra, naquele passado remoto”, diz Trindade.

Com as novas evidências e a concordância do próprio Hoffman, que esteve em Mirassol d’Oeste em setembro de 2003, o mapa-múndi da Terra primitiva está sendo redesenhado. Assumindo uma nova posição, relatada no final de 2003 na revista *Terra Nova*, a Amazônia saltou do extremo sul do globo para a região tropical. Ao norte está a Laurentia, o bloco de rocha que forma a atual América do Norte. A leste encontram-se dois outros crátons: o do Congo-São Francisco, correspondente à parte oriental da África e ao Nordeste brasileiro; o outro é o cráton do Rio da Prata, que hoje forma a Região Sul do Brasil e o Uruguai. O mosaico se completava com os crátons da África Ocidental, da Antártica e da Índia. “Como todos os blocos estavam muito próximos, seria difícil imaginar que a glaciação fosse um fenômeno local, restrito à Amazônia”, diz Nogueira. “O mais lógico é que fosse de fato um acontecimento global”.

Outros estudos reforçaram essa idéia. Diamictitos glaciais semelhantes aos de Mirassol d’Oeste haviam sido encontrados na década de 1990 no Canadá e na Namíbia. Em maio deste ano uma equipe da Universidade de Oxford, Inglaterra, descreveu na revista *Geology* depósitos de rochas com características parecidas em Omã, no Oriente Médio, para as quais os dados paleomagnéticos também indicam sedimentação em baixa latitude. Acrescentando outras peças ao quebra-cabeça, os brasileiros ajudam a consolidar o cenário da *snowball*, apresentado em 1992 pelo geofísico norte-americano Joseph Kirschvink. Sua idéia nasceu da inesperada descoberta de rochas glaciais no sul da Austrália, também formadas em baixas latitudes.

Kirschvink arriscou então um palpite ousado, que aos poucos se confirma: há pouco mais de 600 milhões de anos, por causa da colossal concentração da massa continental em um só supercontinente, o Gondwana, seria maior a capacidade da Terra de refletir a luz solar. Como a superfície ab-

sorveria menos calor, a temperatura do planeta cairia bruscamente. Outra causa desse resfriamento seria a decomposição de silicatos, os minerais mais abundantes na crosta terrestre, em um processo que absorvia gás carbônico da atmosfera, um dos gases que contribuem para o efeito estufa e ajudam a aquecer a Terra. Essas premissas levaram Kirschvink a ver o planeta como uma gigantesca bola de neve – a *snowball*.

Há um relativo consenso sobre a existência da glaciação, mas restam dúvidas sobre o tempo que a Terra teria permanecido coberta de neve. Os estudos feitos pelos brasileiros na Amazônia mostram que em apenas 100 mil anos, um tempo geologicamente curto, a temperatura da superfície do planeta pode ter passado de 50°C negativos para quase 60°C positivos. A conclusão veio da análise dos dolomitos, rochas de carbonato de cálcio e de magnésio, que cobriam os diamictitos de Mirassol d'Oeste. Formados em águas quentes do mar, os dolomitos dali são tão antigos quanto os diamictitos – é um sinal de que o gelo que cobria a Terra já estava totalmente derretido quando surgiram. Em outro artigo, publicado na *Geology*, a equipe brasileira revelou um detalhe importante dessas rochas: tanto os diamictitos glaciais quanto os dolomitos apresentavam deformações que ocorreram quando ainda estavam moles, não consolidados. “Essas deformações evidenciam que as mudanças de condições glaciais para climas quentes foram muito rápidas”, afirma Riccomini.

Sempre viva

Mesmo com o gelo cobrindo quase toda a superfície terrestre, Thomas Fairchild, pesquisador do Instituto de Geociências da USP e co-autor desse trabalho, não acredita que a vida sobre a Terra tenha desaparecido. “É difícil imaginar que a evolução dos animais, que já havia começado, tenha sido interrompida para depois ser retomada”, comenta. Para ele, o processo que gerou a *snowball*, apesar de intenso, não teria sido tão radical. Devem ter resistido bolsões de mares, principalmente nas proximidades do equador, com nutrientes para os primeiros seres pluricelulares – microscópicos, ainda com tecidos pouco definidos, parentes dos atuais corais e esponjas. Só muito mais tarde, quando as temperaturas começaram a subir, é que a vida se espalhou pelos continentes e surgiram novas linhagens de animais e plantas. “A ausência de fósseis dificulta os trabalhos”, diz Fairchild, “mas estamos aprendendo muito sobre a vida remota no planeta por caminhos paralelos”.

Na mesma pedreira de Mirassol d'Oeste foi encontrado um tipo de petróleo primitivo, talvez o mais antigo do Brasil. É um betume preto, viscoso como o mel e de aspecto vítreo. Representa um dos últimos estágios de maturação da matéria orgânica, encontrado em poros, bolsões e fraturas nas rochas carbonáticas. Segundo Nogueira, é outro sinal claro de vida terrestre imediatamente após a glaciação, já que o hidrocarboneto se forma a partir da decomposição de seres vivos. Esse material está sendo estudado em cooperação com pesquisadores da Universidade de Nancy, na França, em busca de informações sobre os organismos que o formaram. “Provavelmente, trata-se de bactérias primitivas”, acredita Nogueira. Como não é uma jazida, esse petróleo não tem importância econômica. Seu valor é puramente científico.

O PROJETO

Estratigrafia de seqüências do grupo Alto Paraguai, neoproterozóico cambriano da faixa Paraguai, Mato Grosso

MODALIDADE

Linha Regular de Auxílio a Pesquisa

COORDENADOR

Claudio Riccomini – IG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 54.392,98 (Fapesp)

Viagem ao **CEN**tro da Terra

174





Há 245 milhões de anos meteorito abriu cratera de 40 quilômetros de diâmetro na atual divisa entre Mato Grosso e Goiás | RICARDO ZORZETTO

Desde que trocou a vida corrida das grandes cidades pela tranquilidade do campo seis anos atrás, o publicitário paranaense Ruy Ojeda não se cansa de falar dos encantos da terra que adotou como sua: a pequena Ponte Branca, no sudeste do estado do Mato Grosso, já na divisa com Goiás. O que o seduziu não foi o sossego desse município de menos de 2 mil habitantes nem a beleza natural da região, onde as pastagens gradualmente substituíram as árvores de tronco retorcido e casca espessa do Cerrado. A razão do encanto é um fenômeno que ocorreu muito tempo atrás e ainda hoje Ojeda não compreende bem: o surgimento de uma imensa cratera formada pelo impacto de um meteorito que caiu há 245 milhões de anos perto de onde hoje fica Ponte Branca e o município vizinho de Araguainha.

Ojeda soube da cratera, cuja formação começa agora a ser mais bem conhecida a partir de estudos recentes de geólogos e geofísicos de São Paulo e Campinas, em julho de 2002, quando acompanhava o trabalho de campo da

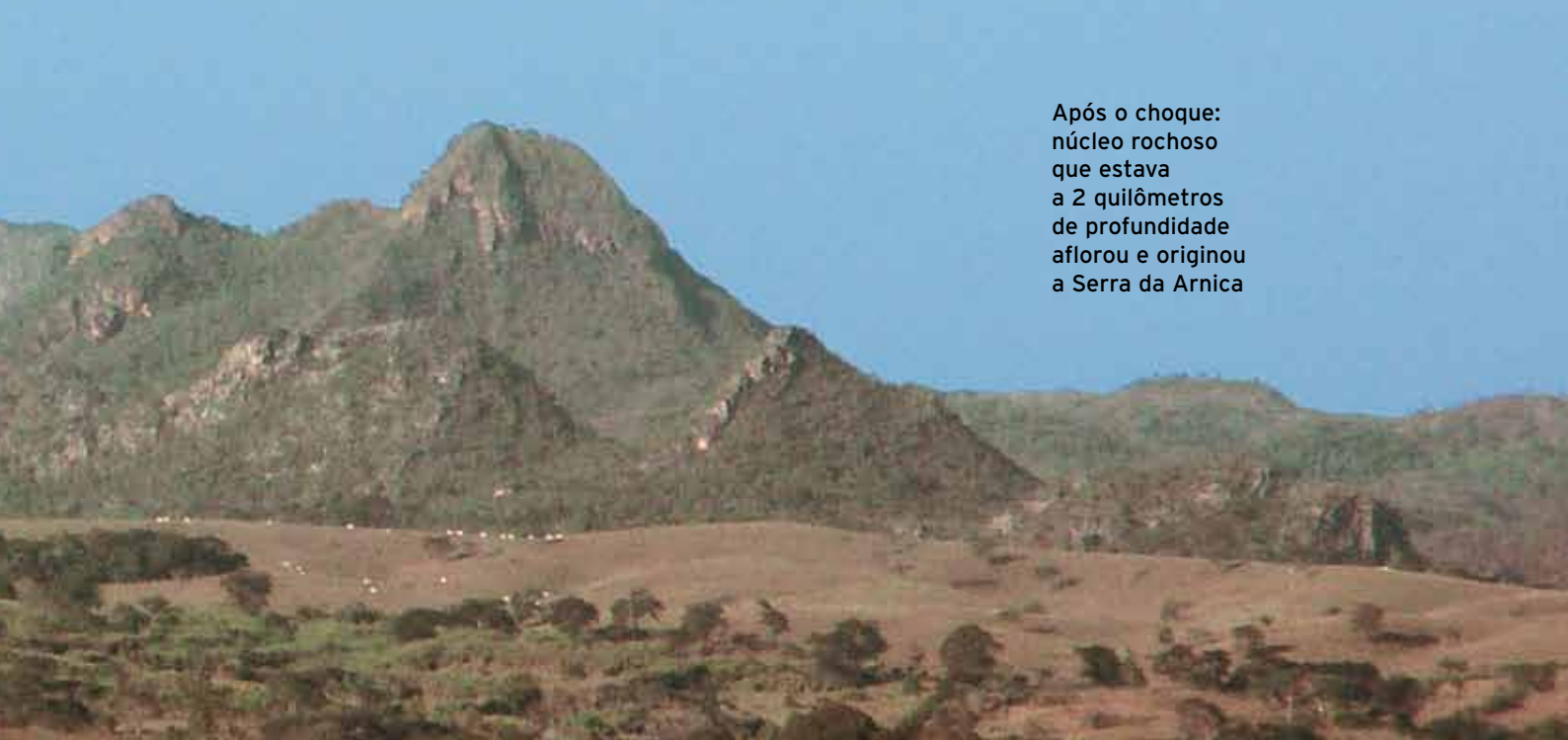
equipe de Claudinei Gouveia de Oliveira, da Universidade de Brasília. Maravilhado com a possibilidade de ver de perto essa cicatriz de um passado distante, Ojeda não perdeu tempo. Subiu a serra da Arnica – o ponto mais alto da região, a 16 quilômetros de Ponte Branca – e olhou em todas as direções, na esperança de encontrar um imenso buraco. Não viu nada que lembrasse uma cratera. Mas não desistiu de procurar e saiu pelas fazendas da região pedindo informações sobre o tal buraco. Só conseguiu encontrar a cratera, a maior da América do Sul provocada pela queda de um corpo celeste, quando aprendeu a decifrar as informações dos documentos científicos. “Não imaginava que víamos todos dentro dela”, conta.

Assim como ele, a maior parte dos 2 mil moradores de Ponte Branca e do 1,3 mil de Araguainha não sabe que as duas cidades nasceram no ventre de uma cratera aberta por um meteorito. Muitos nem acreditam que ela de fato exista. Dá para entender por quê. A cratera é tão extensa – tem 40 quilômetros de diâmetro – que da serra da Arnica, seu ponto central, não é possível enxergar os mor-

ros que formam sua borda. Só para ter uma idéia de sua dimensão, uma cratera como a de Araguainha abarcaria completamente a Região Metropolitana de São Paulo, a maior metrópole sul-americana, formada pela capital paulista e 39 municípios vizinhos.

Não é só quem mora por lá que tem dificuldade em perceber que as cidades estão no fundo de uma cratera: a primeira perto do centro, a região diretamente atingida pelo meteorito; e a segunda mais próxima à borda, onde extensas cadeias de morros semicirculares se ergueram em conseqüência do choque. Também os cientistas demoraram a notar a cratera. Sua estrutura em forma de um anel com 40 quilômetros de diâmetro foi inicialmente identificada na década de 1960 em estudos geológicos feitos pela Petrobras. Mas os indícios mais fortes de que se tratava mesmo de uma cratera só apareceram mais tarde. Em 1973, ao analisar as primeiras imagens do Brasil feitas pelo satélite norte-americano Landsat, o geofísico Robert Dietz e o geólogo Bevan French sugeriram em um artigo na *Nature* que a região de Araguainha estava no inte-

Após o choque:
núcleo rochoso
que estava
a 2 quilômetros
de profundidade
aflorou e originou
a Serra da Arnica



Ecoss de uma colisão

O meteorito que caiu modificou o relevo em uma região com 40 quilômetros de diâmetro

176

rior de uma depressão que poderia ser uma cratera de impacto aberta por uma rocha vinda do espaço, estrutura a que os geólogos dão o nome de astroblema.

Mas o formato circular observado do espaço poderia representar também os restos de um vulcão extinto, coberto por sedimentos, dúvida que intrigou os pesquisadores por anos até que as imagens estudadas por Dietz e French chamaram a atenção de um geólogo brasileiro recém-formado, Alvaro Crósta, que começava seu mestrado em sensoriamento remoto no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Após dias de viagem por estradas de terra esburacadas, em 1978 Crósta foi a Araguainha e Ponte Branca e percorreu a região, analisando os diferentes tipos de rocha que afloravam na paisagem. Nessa expedição encontrou os sinais característicos de uma cratera formada por impacto de um meteorito, entre eles fragmentos de rochas sedimentares que lembram a ponta de uma árvore de Natal. São os chamados cones de estilhaçamento ou *shatter cones*, que Crósta descreveu em um artigo publicado em 1981 na *Revis-*

ta Brasileira de Geociências, simultaneamente à publicação do trabalho da geóloga alemã Barbara Theilen Willige, que havia chegado ao mesmo resultado de modo independente e estimado a idade da cratera em 285 milhões de anos.

Crósta analisou rochas que se formaram com a pressão e o calor do impacto e calculou a idade do choque em aproximadamente 300 milhões de anos. “Mas na época não havia técnicas de datação adequadas e eu já supunha que pudesse ser mais recente”, comenta o geólogo, atualmente professor do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Datações posteriores feitas com técnicas mais precisas definiram em 245 milhões de anos a queda do meteorito na região.

Naquela época a Terra era bem diferente da que conhecemos hoje. O clima era mais quente e seco e as placas tectônicas, imensos blocos rochosos que formam os continentes atuais, ainda se encontravam coladas umas às outras, fundidos em um continente único: a Pangéia. Esse supercontinente que se

estendia no sentido norte-sul dividia o globo ao meio e era banhado a leste por um mar chamado Tétis e a oeste pelo Pantalassa, um imenso oceano que cobria quase toda a Terra. O que mais chama a atenção é que justamente nesse período ocorreu a maior das cinco extinções em massa a devastar a vida no planeta. Fósseis encontrados em diferentes regiões do mundo permitem estimar que 96% das espécies que povoavam os oceanos e 70% das que habitavam terra firme tenham sido eliminadas há 250 milhões de anos, data que marca a transição do período geológico Permiano para o Triássico. Há até mesmo quem acredite que essa extinção tenha favorecido a soberania dos dinossauros, que surgiram tempos mais tarde.

É pouco provável que o meteorito de Araguainha tenha sido o único responsável pela maior extinção da vida do planeta. Mas alguma contribuição ele pode ter dado, uma vez que o choque liberou uma quantidade de energia tão grande que causou em toda a região mais estragos do que se imaginava, revela um extenso trabalho realizado pela

equipe de Yára Marangoni, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP).

Em 2005 Yára reuniu especialistas de diferentes áreas da USP e da Unicamp e, em viagens de carro que duram dois dias a partir de São Paulo, os pesquisadores decidiram visitar a região, com o objetivo de investigar como o meteorito havia afetado as camadas mais profundas da crosta terrestre, que hoje se encontram expostas no centro da cratera. Associando técnicas distintas, esse trabalho vem permitindo redimensionar a intensidade do choque e a deformação provocada abaixo da superfície. Após quase dois anos de estudos e três expedições a Araguainha, a equipe de Yára já tem uma idéia mais precisa de como era a região antes da queda do meteorito e da profundidade dessa ferida aberta na pele do planeta. Também consegue estimar melhor o quanto já cicatrizou e foi apagado pelo vento e pela chuva.

Quando um bloco rochoso com 4 a 6 quilômetros de diâmetro despencou dos céus a milhares de quilômetros por segundo perto de onde hoje é Araguainha, a região era uma vasta restinga, submersa alguns metros em água salgada. A violência do impacto afetou imediatamente a região compreendida por um círculo de uns 30 quilômetros de diâmetro: a energia do choque transformou em vapor a água que havia ali e cavou um buraco com quase 2 quilômetros de profundidade, afirma o grupo de Yára em um artigo publicado em outubro no *Geological Society of America Bulletin*. O ponto diretamente atingido pelo meteorito foi submetido a altíssimas pressões. Mas não por muito tempo. Assim como uma pessoa que cai em uma cama elástica é lançada de volta ao ar, o alívio da pressão no centro do impacto fez brotar à superfície um gigantesco bloco de granito, rocha muito dura e antiga, que estava a dois quilômetros de profundidade – muito distante do centro da Terra, visitado pelos exploradores do livro de Júlio Verne. Esse núcleo com quase 5 quilômetros de diâmetro é parte da zona elevada no centro da cratera e inclui a atual serra da Arnica, a mesma que Ojeda visitou anos atrás à procura da cratera, também conhecida como domo de Araguainha.

Como se descobriu isso? É simples. Os geólogos Cristiano Lana, Ricardo Trindade e Elder Yokoyama analisaram as rochas que formam o relevo da região e constataram que camadas que deveriam estar a centenas de metros de profundidade apareciam ao nível do solo, como se as entranhas da Terra tivessem sido expostas. “A pressão do impacto fundiu parte dos sedimentos e após resfriar fez surgir no centro da cratera uma camada de 100 metros de espessura de uma rocha que contém fragmentos microscópicos de vidro”, conta Trindade.

Com um equipamento que mede variações na aceleração da gravidade – e permite estimar a densidade das rochas de uma região –, Yára e Marcos Alberto Vasconcelos avaliaram 300 pontos no interior da cratera. Notaram que a energia liberada no choque gerou danos muito abaixo da atual superfície. “A quase 2 quilômetros de profundidade é possível detectar os efeitos desse impacto no granito, que trincou e se tornou muito menos denso do que geralmente é”, conta a geofísica.

Os efeitos do choque se propagaram para muito além do núcleo e amarrotaram a crosta terrestre. Mapas tridimensionais produzidos a partir de imagens de satélite por Lana e Carlos Roberto Souza Filho, da Unicamp, mostram que círculos concêntricos se formaram em torno do local de impacto, como quando se lança uma pedra em uma bacia com água. Uma primeira cadeia circular de morros de até 500 metros de altura e quilômetros de extensão erigiu-se a 12 quilômetros do local de impacto, e uma segunda um pouco mais adiante, de 14 a 18 quilômetros do núcleo.

O PROJETO

Caracterização geofísica e petrofísica da estrutura de impacto de Araguainha

MODALIDADE

Linha Regular de Auxílio a Pesquisa

COORDENADORA

YÁRA REGINA MARANGONI - IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 257.847,75 (FAPESP)

Nem tudo, claro, continua igual. “Nesses milhões de anos esses morros perderam de 250 a 350 metros de altitude devido à ação do vento e da chuva”, explica Yára. Apesar desse desgaste natural, os pesquisadores afirmam que a cratera permanece muito parecida com a que se formou logo após o impacto. “É difícil ter acesso a uma cratera com estruturas bem conservadas como a de Araguainha”, diz Trindade. Muitos geólogos acreditam que crateras escavadas por meteoritos tenham sido muito mais comuns do que se pode imaginar. No início da formação do Sistema Solar os planetas mais próximos ao Sol, incluindo a Terra, foram fortemente bombardeados por meteoritos. A diferença por aqui é que as condições climáticas e a movimentação das placas tectônicas apagaram parte dessa história, que permanece gravada nas crateras de Marte ou mesmo da Lua.

Como primeiro passo para proteger Araguainha, anos atrás Crósta registrou a cratera na lista da Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos com os principais sítios geológicos nacionais, candidatos a serem classificados como patrimônio da humanidade pela Unesco. No início deste ano as prefeituras de Ponte Branca e Araguainha e o Ibama assinaram um documento propondo a criação de uma área de proteção ambiental na área da cratera. “Essa é uma forma de a região obter recursos para preservar as estruturas da cratera e adotar iniciativas como painéis explicando o que aconteceu por ali e programas de educação e divulgação nas escolas locais”, afirma Crósta. “Se não transmitirmos esse tipo de informação, há risco de os afloramentos rochosos serem destruídos.”

Ruy Ojeda, que até março era secretário de Meio Ambiente e Turismo de Ponte Branca, vê na conservação da cratera uma oportunidade de renascimento econômico para a região, que empobreceu desde o fim dos garimpos de pedras preciosas em meados do século passado. Desde que descobriu a cratera cinco anos atrás, se apaixonou e leu tudo o que pôde a respeito. E decidiu compartilhar com os moradores da região e de outras cidades o conhecimento sobre esse passado distante. “Não meço o tempo para falar sobre esse assunto”, diz Ojeda, que é conhecido como o embaixador do domo de Araguainha. ■

Bactérias

eletrizantes

Microrganismos podem explicar a origem da eletricidade encontrada em terrenos contaminados

REINALDO JOSÉ LOPES

Um aterro sanitário ou um terreno encharcado de petróleo que vazou de um oleoduto estão longe de ser ambientes favoráveis à vida do ponto de vista humano. Mas, para certas bactérias, o solo contaminado com esse tipo de poluente pode representar um banquete, uma vez que os microrganismos conseguem usar os resíduos ricos em matéria orgânica como fonte de energia. Essa atividade microbiana, aliás, pode até ser bastante desejável. É que, ao se alimentar, as bactérias degradam os compostos orgânicos e ajudam na limpeza das áreas poluídas. O geofísico brasileiro Carlos Alberto Mendonça e colaboradores nos Estados Unidos e na Europa acreditam ser possível descobrir quando as bactérias estão em ação sem precisar escarafunchar o solo. Nos últimos anos eles conseguiram indícios de que o repasto bacteriano deixa no solo uma trama de material condutor de eletricidade bastante sutil, mas detectável com o auxílio de equipamentos relativamente simples. Se outros experimentos confirmarem a ocorrência desse fenômeno – chamado pelos pesquisadores de biogeobateria –, o rastreamento da corrente elétrica pode se tornar uma ferramenta útil para indicar os locais onde os microrganismos estão ajudando eliminar os contaminantes do solo e aqueles nos quais a ação bacteriana não está dando conta da faxina.

Os pesquisadores apresentam um modelo explicando o funcionamento dessas biogeobaterias em um artigo a ser publicado em breve na revista científica *JGR-Biogeosciences*. Na verdade, esse conceito é uma extensão de um fenômeno geofísico bem estabelecido e estudado, as geobaterias, conta Mendonça, professor do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP). “Essa anomalia elétrica frequentemente está associada à presença de minerais condutivos no subsolo, em especial sulfeto de ferro ou sulfeto de cobre”, explica. “Por isso mesmo ela se tornou um indício importante para a prospecção mineral, principalmente na mineração de cobre.”

As geobaterias surgem quando no subsolo há contato de água com uma massa de mineral metálico se estendendo mais na direção vertical (do mais raso para o mais profundo) do que na horizontal. Nessas condições a porção mais superficial da massa metálica entra em contato com maior quantidade de oxigênio do ar, enquanto a mais profunda permanece em situação de quase anóxia (ausência de oxigênio). A diferença de concentração desse elemento químico favorece a transformação de energia química em energia elétrica: é a chamada reação de oxirredução, na qual um dos compostos transfere partículas de carga elétrica negativa (elétrons) para outro. No caso do mineral metálico, a região em contato com o ar perde elétrons (sofre oxidação) e a mais profunda ganha (sofre redução). O fluxo de elétrons gera uma corrente cujo efeito, o potencial elétrico, pode ser detectado com a ajuda de um par de eletrodos e um voltímetro.

Até poucos anos atrás, a detecção desse tipo de anomalia fornecia uma pista interessante sobre a presença de

minerais no solo. Mas nada se sabia sobre a possível relação desse fenômeno com a biodiversidade microscópica encontrada na terra. Esse conhecimento começou a mudar com os dados oriundos do aterro sanitário de Entressen, no sul da França. Em artigo de 2003 na *Geophysical Research Letters*, a equipe de André Revil – pesquisador da Escola de Mineração do Colorado, nos Estados Unidos, e da Universidade de Savoia, na França, com quem Mendonça colabora – demonstrou a ocorrência de anomalias elétricas muito semelhantes às geobaterias no aterro de Entressen.

O que se viu em Entressen foi depois observado em outros lugares: nas vizinhanças de uma refinaria em Berre, também no sul da França, onde ocorreu um derramamento de óleo cru; e numa antiga usina de gás natural em Portadown, na Irlanda do Norte, onde o solo e o lençol freático foram contaminados por compostos orgânicos após a desativação da usina. O potencial elétrico detectado era de centenas de milivolts – um terço do que

é produzido por uma pilha comum. Parece pouco, “mas a corrente associada é considerável”, diz Mendonça.

Em todos esses casos, era natural esperar a ação de microrganismos sobre as moléculas orgânicas que contaminavam o solo – em Berre, aliás, sabia-se que havia biodegradação do petróleo. Se a anomalia elétrica estava presente, talvez não fosse ousado demais propor que os microrganismos tivessem algo a ver com ela. “Esse é o grande desafio, a grande pergunta que queremos responder”, afirma Mendonça.

Sinais de que o grupo estava no rumo certo vieram de outro trabalho, publicado em 2007 na *Geophysical Research Letters* pela equipe de Yuri Gorby, do Instituto J. Craig Venter, nos Estados Unidos. Gorby e seus colegas tinham descoberto que a bactéria *Shewanella oneidensis* era capaz de produzir filamentos de apenas 100 nanômetros (milionésimos de milímetro) de espessura condutores de eletricidade. Segundo esse estudo, os filamentos poderiam funcionar como fios elétricos, pelos quais as bactérias lançariam os elétrons que



Depósito de lixo: fonte de energia para bactérias que degradam compostos orgânicos

sobrassem de seu metabolismo no solo, onde poderiam ser absorvidos por minerais.

No trabalho de 2007 a equipe de Gorby deu um passo além. Os pesquisadores preencheram uma coluna com areia molhada para simular em laboratório uma camada de solo. Depois colocaram os micróbios na mistura e observaram o que acontecia. Dias mais tarde viram que tinha surgido uma corrente elétrica que atravessa o solo artificial de baixo para cima. Eles também verificaram que uma rede de filamentos unia as bactérias. O grupo, então, propôs que o emaranhado era o responsável por fazer essa espécie de bateria microbiana funcionar. Segundo Mendonça, se essa rede de filamentos alcançasse a escala de metros de comprimento, permitiria explicar as observações feitas em terrenos contaminados.

“Até agora ninguém conseguiu contestar experimentalmente o trabalho de 2007, mas muitos microbiologistas o criticam porque lhes parece impossível que a transmissão de elétrons entre as bactérias possa atingir a escala de metros”, explica o geofísico da USP. “Para eles, deveria haver perda de energia e a transmissão deveria ocorrer, no máximo, entre poucas bactérias.”

Mendonça e seus colegas, no entanto, acreditam que a dissipação de energia pode ser bem menos severa – o que viabilizaria a ideia de que certas espécies de bactérias, como a *Shewanella oneidensis*, estariam por trás das biogeobaterias. “Sem isso, fica muito difícil explicar o sinal elétrico que detectamos”, diz ele. O modelo desenvolvido pela equipe de Mendonça se inspira nas chamadas células a combustível bacterianas, já bem estudadas em laboratório para explicar o funcionamento das biogeobaterias. Tal como nas células a combustível, as moléculas orgânicas do solo poluído serviriam

de combustível para as bactérias, que transfeririam elétrons de um polo a outro da bateria. Como nas geobaterias, o fluxo de elétrons surgiria das áreas mais fundas e anóxicas rumo à superfície, mais oxigenada. “Assim se teria um emaranhado de nanofios com propriedades elétricas produzido por essa comunidade microbiana eletrificando, de certa forma, boa parte da Terra”, compara Mendonça.

O grupo que Mendonça integra precisa agora de dados mais robustos em favor de seu modelo. Um caminho para os obter é testar as ideias em estudos de campo. A equipe tem duas áreas em vista: um local onde houve derramamento de petróleo, nos Estados Unidos; e um aterro, com o tamanho de um quarteirão e 6 metros de profundidade, perto do rio Pinheiros, em São Paulo. “Nesse aterro são jogados os dejetos após a flotação e a centrifugação feitas para diminuir a quantidade de poluentes num trecho do rio”, explica o pesquisador da USP. “Infelizmente, nesse caso, limpa-se uma coisa [o rio] e se suja outra [o solo].”

Se a hipótese do grupo estiver correta, deverá ser possível detectar uma assinatura elétrica diferente em profundidades distintas do solo – reações de redução ocorrendo nas regiões mais profundas da área poluída e as de oxidação mais acima, tudo mediado pela trama de microrganismos interligados. “Teremos de ver se é possível verificar esse efeito diretamente, porque esses terrenos muitas vezes têm uma complexidade espacial que pode atrapalhar a análise”, ressalva Mendonça.

Caso o experimento funcione, a detecção de biogeobaterias em terrenos contaminados pode se tornar um indicador de que nesses locais existem condições favoráveis à degradação natural de poluentes. Já a ausência de corrente elétrica pode significar que, deixada à própria sorte, a natureza não será capaz de decompor o contaminante. “Nesse caso, a contaminação poderia durar séculos e seria necessário uma intervenção direta para resolver o problema”, afirma. Bastaria espetar os eletrodos no solo para poder diferenciar um cenário do outro.

Mendonça lembra que muitos pesquisadores consideram possível que a trama eletrificada formada pelas bactérias seja um elemento antigo da biosfera – surgido há mais de 2 bilhões de anos, quando a atmosfera da Terra era mais pobre em oxigênio e os microrganismos consumiam o ferro do solo para gerar energia e se manterem vivos. E comenta: “É incrível encontrar um processo que talvez remonte ao surgimento da atmosfera atual do planeta em algo, por assim dizer, tão moderno quanto o solo contaminado por poluentes”.

> Artigo científico

REVIL, A.; MENDONÇA, C. A. *et al.* Understanding biogeobatteries: where geophysics meets microbiology. **JGR-Biogeosciences**. Special issue. No prelo.

> O PROJETO

Aparato de laboratório para simular campos de potencial espontâneo na perfilagem geofísica de poços

MODALIDADE

Auxílio Regular a Projeto de Pesquisa

COORDENADOR

CARLOS ALBERTO MENDONÇA - IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 21.988,37 (FAPESP)

...E a América do Sul se fez

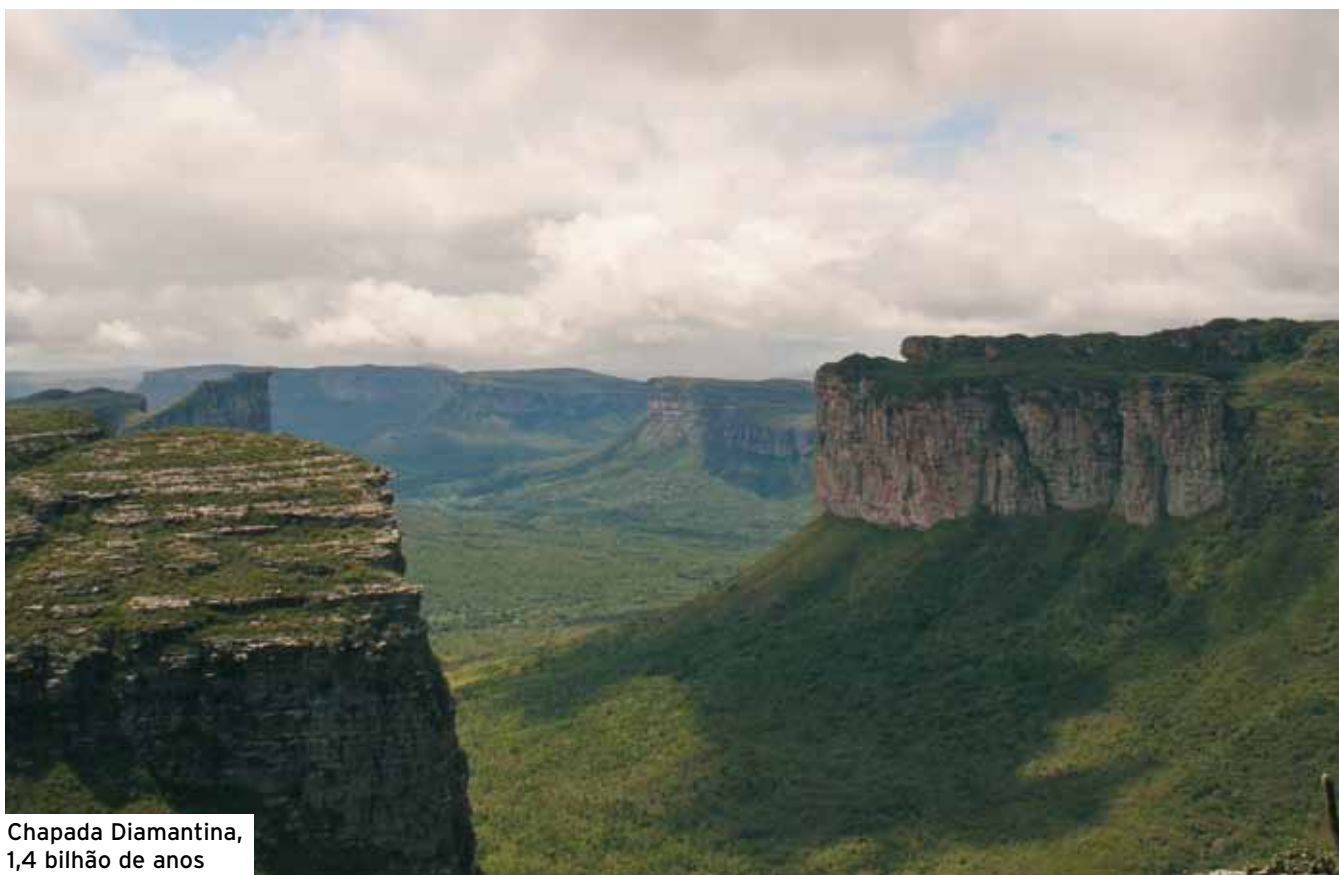
Gigantescos blocos de rochas com idades e origens variadas formaram o continente, que ainda se move

Carlos Fioravanti

A estrutura geológica da América do Sul é um imenso caleidoscópio de blocos de rochas que se quebraram, se colaram e se movimentaram de modo impressionante. Em Pirapora do Bom Jesus, município a 60 quilômetros de São Paulo, o geólogo Colombo Tassinari, professor do Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo (USP), exhibe evidências dessas transformações, que dezenas de geólogos estudam em profundidade há pelo menos 50 anos e seu colega da USP Benjamim Bley Brito Neves sintetizou em um artigo recém-publicado na *Journal of South American Earth Sciences*. “Tudo isso aqui já foi o fundo do mar, há mais de 600 milhões de anos”, diz Tassinari, ao chegar ao alto de uma colina em um dos bairros do município de Pirapora do Bom Jesus. Em seguida, ele para em um terreno de esquina margeado por amoreiras frutificando – em frente há uma escola municipal de paredes brancas e um mercadinho que vende baldes, bolas de plástico e sandálias havaianas. No barranco ao lado de uma rua asfaltada, Tassinari exhibe uma dessas evidências: as *pillow lavas*, corpos de magma basáltico em forma de bolhas ou, como o nome sugere, de traverseiros (*ver fotos na página 21*).

“A camada mais externa das *pillow lavas* se formou quando a lava quente que brotou da crosta oceânica se resfriou ao encontrar a água do mar”, explica Tassinari, que trabalha com Bley e com outros geólogos para reconstruir a turbulenta – e inacabada – história geológica da América do Sul. Há mais rochas desse tipo do outro lado do vale cortado pelo rio Tietê, aqui ainda bastante poluído, de águas escuras e lentas, cobertas com blocos brancos de espuma. Ao subir o morro ele já tinha mostrado um depósito natural de calcário e indicado a direção de uma antiga mina de magnetita – outros resquícios do fundo de um mar que se fechou como resultado do embate entre placas tectônicas que vinham em direções opostas. A força das placas era intensa a ponto de fazer com que fragmentos de crosta oceânica que estavam a estimados 4 mil metros de profundidade fossem lançados para dentro do continente e se apresentem hoje a cerca de 600 metros de altitude (possivelmente já formaram morros ainda mais altos).

Pesquisadores da USP, Universidade de Brasília (UnB), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e de outros centros de pes-



Chapada Diamantina,
1,4 bilhão de anos

182

quisa geológica do Brasil normalmente examinam a origem e a composição de partes desse imenso quebra-cabeça, por vezes oferecendo visões mais gerais como a de Bley. Ao mesmo tempo, especialistas de outros países – Argentina, Estados Unidos, Espanha, Alemanha, Inglaterra, Dinamarca e Austrália – trabalham para entender a formação de seus próprios continentes. Com frequência eles se encontram para se ajudar ou ver como os continentes se encaixavam, já que blocos de rochas hoje na América do Sul estiveram ao lado dos que hoje estão na América do Norte ou na China.

O artigo mais recente de Bley complementa outro, de 2008, publicado na revista *Precambrian Research* em conjunto com Reinhardt Fuck, da UnB, e Carlos Schbberhaus, do Serviço Geológico Brasileiro. Os dois trabalhos oferecem uma visão abrangente sobre a impressionante diversidade de idades, formas, tamanhos, composição e origens de blocos de rochas da crosta terrestre que vieram de direções diferentes, se encontraram, se



**Onde está hoje
o Centro-Oeste
havia um oceano
do tamanho
do Atlântico,
diz Fuck, da UnB**

empurraram, se amalgamaram ou se destruíram, consolidando o esqueleto geológico do continente sul-americano. Blocos de rochas bastante antigos, com idade superior a 2,5 bilhões de anos, encontrados na Bahia e nas margens do rio Amazonas, se avizinham de outros, menos antigos, de cerca de

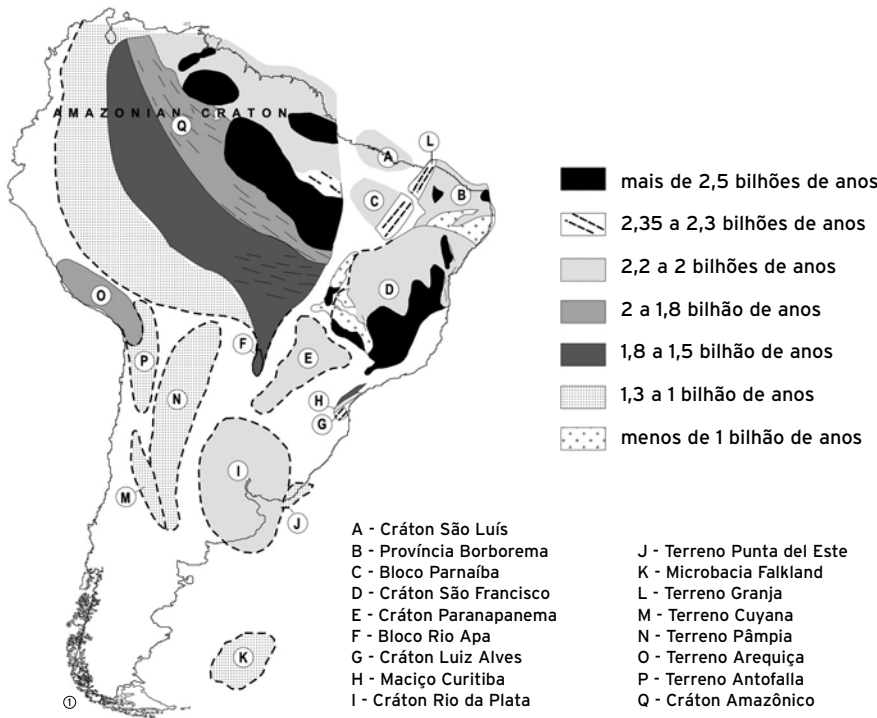
2 bilhões de anos, na Região Nordeste e em Mar del Plata, Argentina, e os mais jovens, de 500 milhões de anos, como a cadeia montanhosa da Mantiqueira, que começa no sul da Bahia e segue até o Uruguai. Essas camadas de rochas podem começar a poucos metros abaixo da superfície e chegar a 40 quilômetros de profundidade.

Na América do Sul, como em todo o globo, há uma destruição e uma reconstrução contínuas. Outro exemplo a céu aberto dos embates tectônicos é o Parque Nacional de Itatiaia. Sua estrutura geológica básica resulta dos derrames de lava liberados por um vulcão, mas depois muita lava correu por lá. No livro *Itatiaia – Sentinela das alturas* (Editora Terra Virgem), Umberto Giuseppe Cordani e Wilson Teixeira, também da USP, apresentam a sequência de movimentos tectônicos que resultaram na formação do pico das Agulhas Negras e de penhascos cujas laterais lembram as raízes petrificadas de uma imensa árvore.

“Onde hoje está o Centro-Oeste havia um oceano do tamanho do Atlântico, entre 900 milhões e 600 milhões de

Vestígios de Rodínia

Fragmentos se espalham pela América do Sul



IMAGENS: I. BENJAMIN BLEY BRITO NEVES / USP

anos atrás”, diz Fuck. Em 1969, depois de trabalhar por cinco anos no mapeamento geológico do Paraná, ele ingressou como professor na UnB e se pôs a estudar a geologia da região central do país. Suas análises indicaram que havia um arco de ilhas vulcânicas, como nas Filipinas, resultantes do choque de placas oceânicas. Da destruição das ilhas resultou uma cadeia de montanhas semelhante ao Himalaia, que se estendia por 1.500 quilômetros do sul do estado do Tocantins ao sul de Minas. E depois também desapareceu.

Tassinari acredita que a antiga bacia oceânica de Pirapora do Bom Jesus, que ele começou a estudar há 30 anos, deve ser valorizada. Mais ainda: pode se tornar mais uma atração da cidade, conhecida pelas festas religiosas e por uma igreja que começou a ser construída em 1725. “Já falamos com o prefeito e estamos batalhando para proteger melhor essas relíquias da história da Terra”, diz. Segundo ele, esse é o único trecho do estado de São Paulo com uma crosta oceânica relativamente bem conservada.

Outra indicação de braços de oceanos extintos são os sedimentos de mar profundo como os encontrados em Araxá, Minas, e em Afrânio e Dormentes, Pernambuco. “A vida de um oceano é muito curta, raramente vai muito além de 200 milhões de anos. A crosta oceânica, por ser mais fina que a continental, é constantemente reciclada”, diz Cordani. Ele, Bley e Tassinari atualmente são os pesquisadores principais de um projeto temático em curso coordenado por Miguel Basei, do Instituto de Geociências.

Mares de vida curta - Há outras sínteses em construção. Cordani e Victor Ramos, da Universidade de Buenos Aires, coordenam a elaboração do novo mapa tectônico – ou das grandes estruturas geológicas – da América do Sul, sob a supervisão dos serviços geológicos do Brasil e da Argentina. Esse trabalho reúne cerca de 40 geólogos do continente, que sintetizam informações acumuladas ao longo dos últimos 30 anos, desde quando a versão anterior foi feita. Cordani abre sobre a mesa uma das versões do

novo mapa, na escala 1:5 milhões: é um mosaico de manchas em vários tons de vermelho, azul e amarelo, representando as diferentes idades e estruturas geológicas da América do Sul. “Não, ainda não pode publicar. É só um rascunho.” Eles pretendem apresentar a versão final em agosto de 2012 no congresso internacional de geologia na Austrália.

Muitas linhas pretas, de comprimentos diferentes, cortam o mapa. São as fraturas ou falhas, que podem separar os blocos de rochas e deixar espaço livre para outras rochas. Há cerca de 30 milhões de anos, rochas vulcânicas preencheram as fraturas formadas muito antes, em estruturas de mais de 600 milhões de anos, formando a base dos terrenos hoje ocupados pela Grande São Paulo, São José dos Campos, Taubaté e outras cidades do Vale do Paraíba. Ao norte, a cidade de Manaus se formou sobre sedimentos rochosos de poucos milhões de anos, mas sob eles há rochas que se uniram há cerca de 500 milhões de anos.

As rochas mais antigas do Brasil estão no Nordeste. Nos anos 1960, como um dos fundadores e coordenador do

laboratório de geocronologia da USP, Cordani acompanhou as equipes da Secretaria de Minas da Bahia que faziam o levantamento geológico do estado. Na região central da Bahia encontraram uma rocha que se mostrava como a mais antiga do país, mas os métodos de datação ainda eram bastante imprecisos, com uma margem de erro próxima a 100 milhões de anos.

Mesmo assim, Cordani apresentou seus resultados em um congresso em Pequim em 1983 e as rochas da Bahia, com estimados 3,4 bilhões de anos, figuraram entre as mais antigas do mundo. “Em 1991 levei para analisar na Austrália e confirmei.” Hoje ele poderia simplesmente atravessar o gramado em frente à sua sala e usar a microsonda iônica de alta resolução, um sofisticado equipamento de datação de rochas que entrou em operação há poucos meses em um prédio em frente ao Instituto de Geociências.

Há dois anos, Bley, Fuck e Elton Dantas, da UnB, identificaram no oeste de Pernambuco as rochas ainda mais antigas do continente sul-americano, com 3,6 bilhões de anos. Para Bley, esse episódio teve um sabor especial – e não só por ter nascido ali perto, em Campi-



Eu vi que tudo aquilo era muito pouco estudado e prometi que voltaria, lembra-se Bley

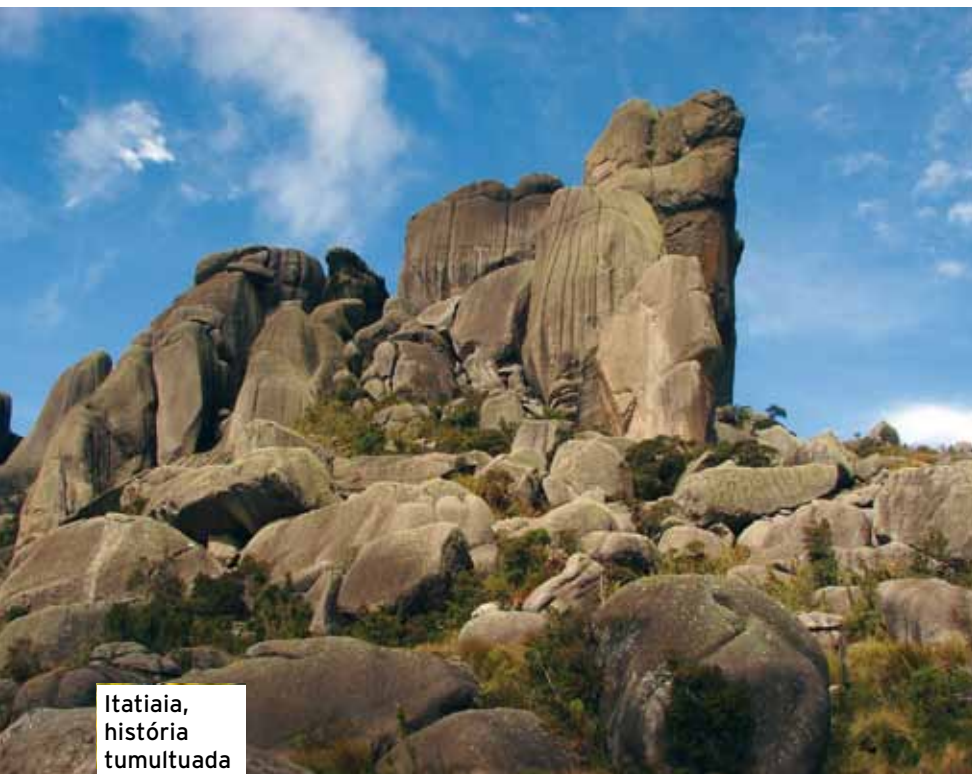
na Grande, Paraíba. Ele percorreu o oeste de Pernambuco há 50 anos, recém-saído do curso de geologia em Recife. “Eu andava por ali durante o dia e à noite lia *Os sertões* à luz de querosene, na calçada em frente ao hotel São Pedro em um vilarejo do município de Ouricuri”, recorda-se. “Vi que tudo aquilo era muito pouco estudado e prometi para mim mesmo que voltaria.”

As rochas de Pernambuco eram quase tão antigas quanto as do Canadá, com 4 bilhões de anos. São os poucos testemunhos dos primeiros tempos da Terra, formada há 4,7 bilhões de anos como resultado de uma nuvem de gás e poeira em rotação. Só havia rocha derretida, erupções vulcânicas e uma atmosfera tóxica, que durou milhões de anos. As primeiras bactérias, capazes de se manter a temperaturas próximas a 100° Celsius, só sobreviveram a partir de 3,5 bilhões.

A serra de Carajás, no Pará, e o Quadrilátero Ferrífero, em Minas, contêm rochas também bastante antigas, de 3 bilhões de anos. “Quando chegarem aqui e de onde vieram, não sabemos”, diz Bley. No Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP, os físicos Franklin Bispo Santos e seu orientador de doutorado Manoel D’Agrella Filho trabalham para determinar a direção magnética de rochas de Mato Grosso e Roraima no momento em que se formaram, entre 1,9 e 1,4 bilhão de anos. Sabendo disso, talvez consigam determinar de onde vieram e se viajaram juntas ou não. Essa técnica, chamada paleomagnetismo, pode reiterar ou enfraquecer hipóteses dos geólogos. “O problema”, diz Santos, “é que é muito trabalhosa e por vezes demoramos anos para completar as interpretações”.

Um rio e uma ilha - A América do Sul se formou a partir desses núcleos mais antigos, que cresceram incorporando outros. Segundo Cordani, o cráton amazônico dobrou de tamanho no Proterozoico, o mais longo dos períodos geológicos, com uma duração de cerca de 2 bilhões de anos. Crátons são imensos blocos formados por vários tipos de rocha, normalmente com mais de 1 bilhão de anos, que funcionam como um conjunto relativamente estável da crosta por pelo menos 100 milhões de anos. O cráton amazônico tem 4,4 milhões de quilômetros quadrados, equivalente a 52% do território brasileiro. Sua porção mais antiga, com mais de 2,6 bilhões de anos, está em Roraima e no oeste do Pará, à qual se uniram outros blocos de granito que formam as Guianas e parte da Venezuela, e depois outros, mais recentes. As rochas mais altas deixaram um vale

Glauco Umbelino



Itatiaia, história tumultuada



Tassinari e as *pillow lavas* de Pirapora do Bom Jesus (*detalhe acima*)



por onde começou a correr o rio Amazonas, cujos sedimentos formaram a ilha de Marajó.

Há 2,5 bilhões de anos houve uma reviravolta na história da Terra, com picos de perda de calor, que permitiram a formação da crosta, a camada mais superficial do planeta, antes tomado por uma sopa quente de magma. Um supercontinente chamado Kenorano pode ter se formado nessa época, quando a atmosfera começou a receber oxigênio, essencial para a sobrevivência de microrganismos mais sofisticados, a partir dos quais se desenvolveram os

multicelulares. “O grau de certeza desse supercontinente? De 20% a 30%. Ainda há muita controvérsia”, alerta Bley.

Outro supercontinente pode ter se formado entre 2,2 e 2 bilhões de anos. Bem depois se quebrou e seus pedaços se uniram outra vez formando Rodínia, que reuniu praticamente toda a massa continental da Terra entre 1 bilhão e 850 milhões de anos. Rodínia começou a se quebrar há cerca de 800 milhões de anos, formando oito continentes, que vagaram e depois se encontraram, outra vez formando um único supercontinente chamado Pangea.

“Olhe aqui”, diz Bley, mostrando um dos mapas na parede atrás de sua mesa de trabalho. “Pangea também se despedaçou, há cerca de 230 milhões de anos, formando os grandes oceanos, Atlântico, Índico, Ártico e Antártico. O mar de Tethys, que era imenso, se fechou. Este bloco, a Índia, subiu 200 quilômetros, veio do sul para o norte.” Inicialmente unidas em um só bloco da Pangea, a América do Sul e a África começaram a se separar dos outros há cerca de 220 milhões de anos. “Os atuais estados de Pernambuco e Paraíba formam as últimas pontes que se despregaram da África”, conta Bley.

A maior parte da América do Sul tornou-se relativamente estável por volta de 60 milhões de anos atrás. Os fragmentos de Rodínia formaram uma área relativamente estável da Venezuela à Argentina, a plataforma Sul-Americana, vasto conjunto de blocos de rochas com-

pletados com bacias sedimentares com a da bacia do Paraná, com cerca de cinco quilômetros de sedimentos. “Sobre esse pacote de rochas sedimentares e vulcânicas formaram-se depressões onde correm o rio Paraná e seus afluentes”, explica Bley.

A oeste, porém, existe uma área ainda geologicamente instável, a cordilheira dos Andes, resultado da convergência entre a placa de Nazca e a placa continental sul-americana. Os Andes ainda crescem, incorporando as rochas de Nazca, que afundam no manto da Terra, derretem e depois voltam para a superfície. “A placa de Nazca se movimenta um centímetro por ano”, observa Tassinari.

Os oceanos também estão em transformação. “O Atlântico está se expandindo e o Pacífico se fechando”, informa Bley. O resultado? “Daqui a 200 milhões de anos, os continentes vão se unir de novo.” Embora distante, o continente que deve resultar dessa fusão já ganhou vários nomes. Um deles é Amásia, já que deve unir outra vez a América e a Ásia. ■

Artigos científicos

1. NEVES, B.B.B. The Paleoproterozoic in the South-American continent: Diversity in the geologic time. *Journal of South American Earth Sciences* (in press).
2. FUCK, R.A.; NEVES, B.B.B. e SCHOBENHAUS, C. Rodinia descendants in South America. *Precambrian Research*. v. 160, p. 108-26. 2008.

OS PROJETOS

1. *A América do Sul no contexto dos supercontinentes* - nº 05/58688-1
2. *Paleogeografia do cráton amazônico durante o Proterozoico na formação de supercontinentes* - nº 2007/59531-4

MODALIDADES

1. Projeto Temático
2. Linha Regular de Auxílio a Projeto de Pesquisa

COORDENADORES

1. Miguel Ângelo Stipp Basei - IGC/USP
2. Manoel Souza D'Agrella Filho - IAG/USP

INVESTIMENTO

1. R\$ 3.611.085,27 (FAPESP)
2. R\$ 317.316,92 (FAPESP)

QUANDO OS HOMENS FAZEM A TERRA TREMER

186

Poços de água
causam dezenas
de tremores por dia
no interior paulista

CARLOS FIORAVANTI

Como fazer a terra tremer mesmo sem tocar em uma banda de *rock* pesado? Basta perfurar um poço de pelo menos 100 metros de profundidade, deixar encher de água e aguardar. Provavelmente a água vai se infiltrar entre os blocos de rocha abaixo da superfície e precipitar o deslizamento dos que já estavam para se soltar. Como resultado, o chão vai tremer, embora seja impossível prever em que momento e com que intensidade. Dificilmente será algo tão dramático quanto os terremotos recentes no Chile, que deslocaram várias cidades. Mas talvez seja o bastante para causar trincas em paredes de casas, como está acontecendo há alguns anos na região de Bebedouro, norte do estado de São Paulo.

Uma equipe do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP) verificou que tremores pouco intensos se tornaram constantes no distrito de Andes em Bebedouro a partir de janeiro de 2004. Poucos meses antes haviam sido abertos em uma fazenda 10 poços profundos, com 120 a 200 metros, para irrigar plantações de laranja nos meses mais secos. Por meio de 10 estações sismográficas instaladas na região desde 2005, os pesquisadores concluíram que os poços é que estariam causando os cerca de 3 mil tremores registrados nos últimos cinco anos – dois por dia, em média (a maioria na época das chuvas, quando os poços não são bombeados). Os moradores os atribuíram inicialmente a explosões em pedreiras, embora não houvesse nenhuma nas proximidades.

▶ O PROJETO

Tremores de terra em Bebedouro, SP, induzidos por poços tubulares

MODALIDADE

Linha Regular de Auxílio a Projeto de Pesquisa

COORDENADOR

MARCELO SOUSA DE ASSUMPTÃO - IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 138.495,60 (FAPESP)

Como chove muito de dezembro a março, os poços não são bombeados e permanecem cheios. “A água penetra mais facilmente entre os blocos de rochas basálticas que formam uma das camadas sob o solo e facilita o deslizamento dos blocos que já estavam sob tensão”, diz o geofísico Marcelo Assumpção, coordenador da equipe do IAG procurada pelos moradores da região no início de 2005. Os tremores mais fortes chegaram a 2,6 e 2,9 de magnitude, nos dias 11 e 30 de março de 2005.

“Tremores de magnitude 2 a 3 normalmente não são sentidos pelas pessoas, mas em Bebedouro isso ocorre porque se originam próximos à superfície, a cerca de 200 metros de profundidade”, diz ele. Os menos intensos são frequentes. Em março de 2005 os equipamentos registraram pelo menos 100 tremores por semana, dos quais 20 a 30 foram sentidos pelos moradores do distrito de Andes. Os abalos mais fortes fazem as casas balançarem e o chão e as janelas vibrarem, provocam trincas em pisos ou paredes, desequilibram quadros e portas e assustam as pessoas.

Os sismógrafos indicaram que os tremores podem migrar, como detalhado no artigo a ser publicado na revista *Water Resources Research*. “A cada ano os tremores começam perto dos poços de maior vazão”, diz Assumpção. “Com o tempo os epicentros vão se afastando alguns quilômetros, acompanhando o deslocamento da pressão da água nas camadas mais profundas.”

A infiltração de água nas fraturas das rochas pode causar tremores mais intensos nas proximidades dos reser-

vatórios das usinas hidrelétricas. No mundo todo há registros de cerca de 100 terremotos que os especialistas acreditam atribuem a alterações que os reservatórios provocam no solo – o mais sério, associado à construção da barragem de Zipingpu, na China, atingiu 7,9 graus e matou 80 mil pessoas em maio de 2008. Um grupo do IAG e da Universidade de Brasília (UnB) identificou 16 hidrelétricas que induziram tremores de terra no Brasil. Sismos de magnitude 4 ocorreram nos anos 1970 nas proximidades dos reservatórios Volta Grande e Marimondo, ambos no Rio Grande, a menos de 100 quilômetros de Bebedouro.

“Os terrenos das áreas norte e nordeste do estado de São Paulo apresentam falhas geológicas que propiciam tremores”, diz Tereza Higashi Yamabe, professora aposentada da Universidade Estadual Paulista (Unesp) e atualmente pesquisadora-colaboradora do IAG que também estuda a região. Em geral, segundo ela, a maioria das centenas de poços da região tem menos de 100 metros de profundidade e vazões menores de 10 metros cúbicos por hora. Não passam das rochas de arenito, que formam a primeira camada rochosa abaixo do solo. Quem precisa de mais água perfura mais fundo, avançando na camada de rochas basálticas, mais espessa e mais compacta que a de rochas areníticas, mas com fraturas que podem estar cheias de água. “Os poços profundos, que causam tremores, permitem que a água que circula nas camadas do arenito desça para camadas mais profundas e empurre as rochas que já estavam sob pressão geológica, prestes a deslizar”, diz Tereza.

Audiências - Aos poucos os tremores deixaram de ser fenômenos puramente naturais. Em 2006 e 2007 Tereza e Assumpção compareceram a duas audiências públicas no distrito de Andes, convocadas pela Câmara Municipal de Bebedouro. “Explicamos nossa interpretação de que os tremores haviam sido iniciados pela abertura dos poços na Fazenda Aparecida e recomendamos a vedação da parte rasa dos poços para evitar que a água caísse para as camadas de basalto, especialmente na época em que os poços não são bombeados”, conta Assumpção. Segundo ele, as

conclusões seguiram para a superintendência do Departamento de Águas e Energia Elétrica (Dae), à prefeitura e à promotoria de Bebedouro, mas não se traduziram em ações que pudessem deter os tremores. “A população que sofria com os tremores queria os poços fechados, mas os vereadores não”, diz ele. “Cada grupo aceitava ou não nossas conclusões, dependendo de seus próprios interesses.” Assumpção conta que o dono da fazenda com os 14 poços profundos não admitia que a origem dos tremores pudesse estar em suas terras. “O responsável pela Saaeb, a empresa de abastecimento de água de Bebedouro, tampouco acreditou nas conclusões do estudo.”

Encontrar quem conte dos tremores em Bebedouro é uma tarefa ingrata. Ninguém na Fazenda Aparecida fala sobre esse assunto. Os técnicos da Saaeb dizem que estão aguardando as decisões do Dae. As consultas à prefeitura de Bebedouro também são infrutíferas. A maioria dos vereadores e das equipes da prefeitura mudou no início de 2009, fazendo dos tremores um problema da gestão anterior. “Como não há nenhuma lei prevendo essas situações, por enquanto nenhum órgão público tem competência jurídica para obrigar a vedação da parte superior dos poços”, diz Assumpção.

Após alguns meses praticamente sem atividades no segundo semestre de 2009, os tremores em Andes voltaram a ocorrer desde meados de dezembro, aumentando de frequência em março e repetindo o mesmo padrão dos anos anteriores. Não fazer nada e deixar que terminem por si, até as rochas se acomodarem e toda a energia se dissipar, pode ser uma alternativa. O risco é que voltem mais intensos. Tereza lembra que os moradores de Nuporanga, outro caso de tremores disparados por poços, a 80 quilômetros de Bebedouro, já haviam se acostumado com as centenas de pequenos sismos de baixa intensidade que sentiam desde 1977, mas se assustaram com o tremor de magnitude 3,2 que chegou 12 anos depois.

▶ Artigo científico

ASSUMPTÃO, M. *et al.* Seismic activity triggered by water wells in the Paraná basin, Brazil. *Water Resources Research* (no prelo).

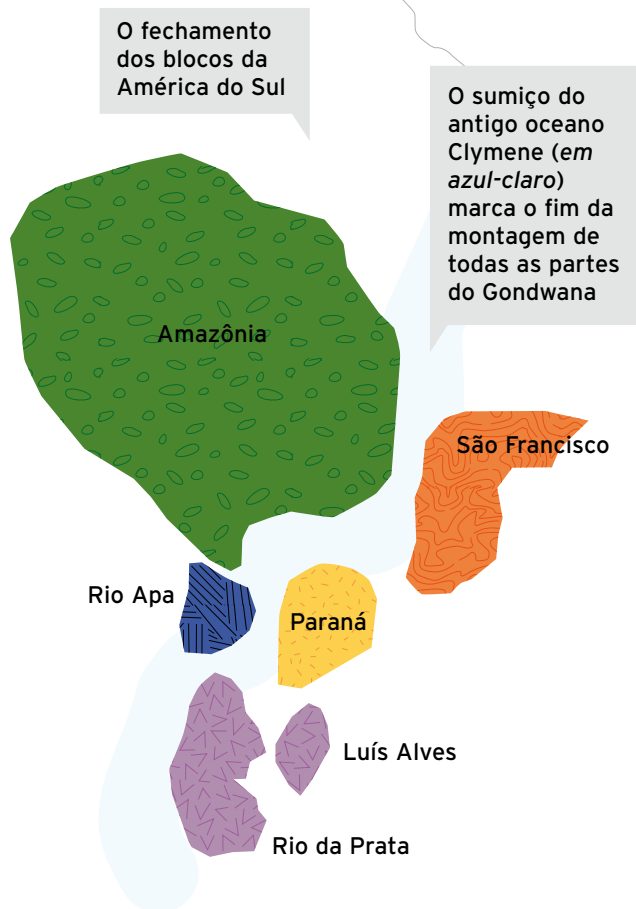
A última peça do Gondwana

188

Antigo oceano que isolava a Amazônia dos demais blocos da América do Sul secou há 520 milhões de anos

A história cronológica de Gondwana, o antigo supercontinente austral que incluía a maior parte das terras hoje situadas no hemisfério Sul, está sendo reescrita por pesquisadores brasileiros e norte-americanos. De acordo com novas datações de rochas e análises do campo magnético presente em trechos de uma cadeia montanhosa do Brasil Central, o evento final que levou à formação do supercontinente ocorreu 100 milhões de anos mais tarde do que se pensava. O desaparecimento de um oceano, Clymene, que separava a Amazônia dos demais blocos da futura América do Sul, se deu 520 milhões de anos atrás.

“Antes trabalhávamos com a ideia de que o fechamento do Clymene tivesse ocorrido há cerca de 620 milhões de anos”, afirma o geólogo Ricardo Trindade, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), um dos autores do trabalho, publicado na edição de março da revista científica *Geology*. “Agora sabemos



que a Amazônia passou muito tempo separada dos demais fragmentos da América do Sul e do resto de Gondwana por esse oceano.” A existência desse mar interior rasgando o coração do antigo Brasil é uma proposta desse grupo de pesquisadores. Seu nome foi retirado da mitologia grega. Clymene era a mulher do titã Iapetus. O oceano foi assim batizado para enfatizar sua conexão com outro oceano, o grande Iapetus, que banhava na mesma época o hemisfério Sul.

A junção dos fragmentos originais da América do Sul deixou marcas no relevo na forma de elevações, visíveis até hoje. O estudo pormenorizado das características de uma dessas cicatrizes geológicas, a Faixa Paraguai, levaram os pesquisadores a fixar uma nova data para o final do processo de montagem do Gondwana. A Faixa Paraguai é um grupo de elevações que marca a zona de colisão, ou sutura no jargão dos geólogos, entre o maior dos antigos blocos sul-americanos, a Amazônia, e as demais partes do continente. A rigor, ela é parte de uma enorme

cadeia de montanhas que se estende desde a fronteira do Maranhão com o Pará, passando pelo Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, até o sul da Argentina. “É notável que essas montanhas apresentem uma forma curva”, comenta o geólogo norte-americano Eric Tohver, da University of Western Australia, outro responsável pelo trabalho. “Em Mato Grosso, a direção da cadeia é oeste-leste. Do Mato Grosso do Sul até o Paraguai é norte-sul.” Com financiamento da FAPESP e da National Science Foundation dos Estados Unidos, Tohver participou do estudo durante os três anos em que fez pós-doutorado na USP com a equipe de Trindade e Cláudio Riccomini.

A antiguidade das montanhas da Faixa Paraguai, da qual faz parte a serra das Araras, em Mato Grosso, foi determinada por meio da datação das argilas depositadas no fundo do antigo oceano Clymene. Usando uma variação da técnica normalmente empregada para calcular a idade de certos tipos de falhas geológicas e terremotos, o método mede a quantidade de dois isótopos do elemento argônio (^{40}Ar e ^{39}Ar) nas rochas. Os resultados sugerem que a formação das montanhas – e, portanto, o fechamento do oceano Clymene – ocorreu há cerca de 520 milhões, uma centena de milhões de anos depois do que se pensava.

A segunda análise usada para amparar essa conclusão diz respeito à direção

O PROJETO

Sedimentação após as glaciações do Neoproterozoico: Um estudo integrado das capas carbonáticas do Brasil e da África - nº 05/53521-1

MODALIDADE

Auxílio Regular a Projeto de Pesquisa

COORDENADOR

Ricardo Trindade - IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 127.962,86 e
US\$ 13.669,00

e à intensidade do campo magnético da Terra armazenado nos minerais presentes nas rochas e sedimentos dessas montanhas. Esses materiais têm algo como uma bússola embutida em seu interior, um sinal que permite deduzir onde ficavam os polos magnéticos num momento da história evolutiva do planeta e fornece pistas sobre a movimentação dos continentes no passado remoto. No caso das amostras da Faixa Paraguai, os estudos indicam que a conformação não retilínea da cadeia de montes é compatível com os registros

paleomagnéticos arquivados em seus minerais. “Os vetores magnéticos seguem a curva das montanhas”, diz Tohver. As análises atestam também que a cadeia, na verdade, foi um dia reta, mas, em seguida, foi dobrada por um movimento de rotação sobre um eixo vertical. Esse tipo de ajuste é comum de ocorrer em lugares onde houve o choque e a acomodação de antigos blocos de terra, como se deu no Brasil Central quando o Clymene desapareceu.

Até os anos 1980 era dominante a ideia de que o Gondwana havia adquirido seus contornos definitivos de uma só vez. Todas as peças constituintes do supercontinente austral, porções antigas e relativamente estáveis da crosta continental denominadas crátons pelos geólogos, teriam se encaixado umas nas outras mais ou menos ao mesmo tempo. Nas últimas décadas, ganhou força a hipótese de que a gênese do supercontinente foi um processo menos pontual e que seu derradeiro ato ocorreu justamente no centro do Brasil, onde nem todas as peças desse quebra-cabeça geológico tinham encontrado um ponto justo de encaixe.

Segundo esse novo modelo, ao contrário do resto do Gondwana, cujas partes já estavam unidas e acomodadas, a América do Sul ainda estava fracionada em blocos há pouco mais de meio bilhão de anos. Existiam os crátons Amazônia, São Francisco (ligado à África), Rio Apa, Paraná, Luís Alves e Rio da Prata. Com exceção dos Andes, que ainda não haviam se formado, as partes principais do nosso continente estavam próximas umas das outras, mas ainda apartadas pelo Clymene (*ver quadro*). O oceano teve de fechar para que os blocos de terra finalmente se encaixassem. Esse foi o derradeiro movimento na montagem do Gondwana, que incluía peças das atuais América do Sul, África, Oceania, Antártida, Índia e península Arábica. ■

MARCOS PIVETTA

Artigo científico

TOHVER, E. *et al.* Closing the Clymene ocean and bending a Brasiliano belt: Evidence for the Cambrian formation of Gondwana, southeast Amazon craton. *Geology*. v. 38. n. 3, p. 267-70. mar. 2010.

A Terra **moldada** pela gravidade

190



Medições apuradas deformam a esfera perfeita vista do espaço

CARLOS FIORAVANTI

A gravidade, como já fez com Newton, continua a excitar a imaginação, levando a conclusões desnorteantes. Uma delas: quem viajar de navio da Cidade do Cabo, na África do Sul, até Belém, no Pará, vai percorrer uma imperceptível descida. Por causa das diferenças de massa do planeta no trajeto entre esses dois lugares – e, portanto, das variações do campo de gravidade da Terra –, o nível do mar no porto do sul da África do Sul está a 70 metros acima da altura do mar no porto de Belém.

“Ninguém nota esse desnível porque a distância entre a África do Sul e o Brasil é muito grande, de quase 8 mil quilômetros”, assegura o geofísico Eder Cassola Molina, professor do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP). “Além disso, a superfície do mar é curva, já que nosso planeta tem o formato aproximado de uma esfera.” Ele fez no ano passado o mapa do Atlântico Sul que oferece essas conclusões, para passar no concurso de professor livre-docente, e agora uma versão menor, em formato A4, está pregada na porta de um dos armários de seu amplo laboratório.

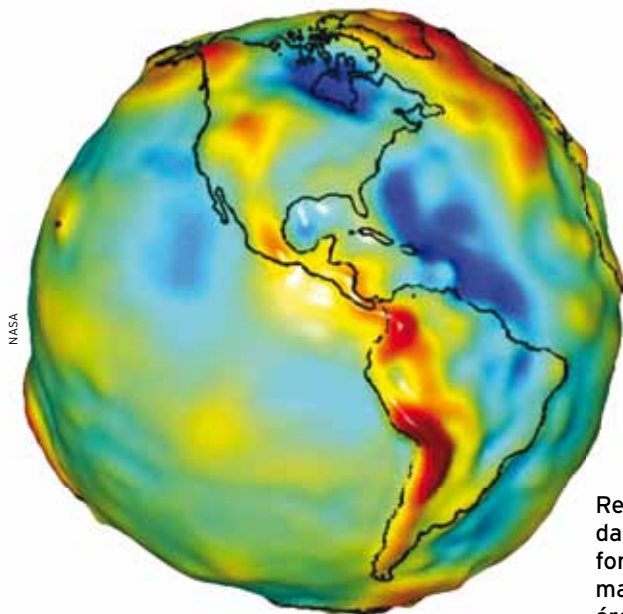
A força gravitacional expressa a atração física entre os corpos – e varia de acordo com a massa. Um exemplo cotidiano da ação dessa força é a maré oceânica, resultado da interação gravitacional entre a Terra, a Lua e o Sol, que faz a Terra se deformar diariamente. Capaz de atuar em qualquer ponto do Universo, a força da gravidade faz com que os corpos em queda livre nas proximidades da superfície terrestre sofram uma aceleração de aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$, ou seja, sua velocidade de queda aumenta $9,8 \text{ m/s}$ a cada segundo.

A aceleração da gravidade varia sutilmente em cada ponto da Terra, de acordo com o relevo e a densidade das rochas do seu interior, já que a distribuição de massa na Terra é heterogênea. Vem daí um efeito interessante: “A distribuição de massa da Terra controla o nível em que a água do mar vai se encontrar

em um dado instante, pois a superfície instantânea do mar se ajusta de acordo com o campo de gravidade. Assim, temos altos e baixos na superfície oceânica”, diz Molina. “O nível do mar não é constante e varia com o tempo e a localização geográfica. Na verdade, nem existe um nível do mar, mas um nível médio ou um nível instantâneo do mar.”

Em um dos computadores próximos às paredes, Molina mostra outro mapa, que detalha as variações de altura da água na costa brasileira. Nesse mapa, publicado em dezembro de 2010 na revista *Journal of Geodynamics*, uma mancha vermelha a nordeste da Região Nordeste do Brasil representa uma área em que a água do mar deve estar 10 metros acima do que as áreas que a cercam, marcada em verde e azul. “Com um mapa desses à mão”, diz Molina, “o piloto de um barco poderia desviar das áreas mais altas, mesmo que não as veja e economizar tempo e combustível”. Mesmo útil, essa imagem não deixa de ser um desafio à imaginação, principalmente dos mais céticos, que dirão que nunca viram uma ladeira com água escorrendo no meio do mar.

No mar e na terra - Fernando Paolo, que agora faz doutorado no Instituto Scripps de Oceanografia, Estados Unidos, elaborou esse mapa em 2010, enquanto Molina, que o orientou, preparava o maior. As duas imagens resultam da soma de duas fontes de informações, uma local e outra global. A primeira são os aparelhos que medem a variação do campo de gravidade, os gravímetros, instalados em boias amarradas atrás de 300 navios que percorreram a costa da África e do Brasil nos últimos 30 anos. A outra são medidores da variação da altitude do mar instalados em dois satélites, o Geosat, que a Marinha dos Estados Unidos lançou em 1986, e o Satélite Europeu de Sensoriamento Remoto (ERS-1), em órbita desde 1995. “Usando as duas fontes de informação, desenvolvemos uma metodologia que nos permitiu enxergar, em algumas áreas, como a plataforma continental brasileira, mais



Representação da Terra expressa força da gravidade, mais intensa nas áreas em vermelho

do que os pesquisadores que estudam essa mesma região usando apenas dados de satélites”, comenta Molina.

A medição das variações de altitude da água do mar por meio de satélite, mesmo que pareça estranha a marinheiros de primeira viagem, pode indicar *vales* ou *morros* da superfície oceânica não detectados por outros métodos, já que nem tudo o que o satélite examina foi avaliado por levantamentos batimétricos, bastante caros e trabalhosos. Em terra, esse tipo de nivelamento, feito por aparelhos GPS (sistemas de posicionamento globais), que exige um bom conhecimento do campo de gravidade, está substituindo as medições de relevo por nivelamento geométrico clássico, obtidas por meio de equipamentos chamados teodolitos: cada medição indicava as variações do relevo a distâncias de aproximadamente cada 100 metros, cobrindo poucos quilômetros por dia.

“Toda obra de engenharia precisa de dados precisos sobre altitude”, diz Denizar Blitzkow, professor da Escola Politécnica da USP. Os aparelhos com que ele começou a medir as variações da gravidade em São Paulo nos anos 1970 estão hoje no futuro museu da engenharia civil, que deve ser aberto este ano.

Essa forma de medir variações associadas ao campo de gravidade, somada a outras técnicas, indicou depósitos de petróleo em regiões do Nordeste, por

exemplo. A medida da variação de massa – e da força e aceleração da gravidade, diretamente proporcionais a essa massa – está também sinalizando onde pode haver minérios ou cavernas inexploradas, elucidando detalhes antes inexplicáveis de mapas geológicos, revelando diferenças na espessura na litosfera (a camada superficial da Terra) e, por fim, mostrando como e onde a quantidade de água de depósitos subterrâneos nos grandes aquíferos pode oscilar ao longo do ano. “Até poucos anos atrás”, diz Molina, que começou a trabalhar com gravimetria no início dos anos 1980, “tudo isso era impossível”.

As informações de dois novos satélites europeus, o Grace e o Goce, estão

detalhando as variações do campo de gravidade desde 2003 e permitindo a construção de uma imagem mais exata, embora um tanto desconfortável, das formas da Terra. Os gregos imaginavam a Terra como uma esfera perfeita, mas essa perfeição se desfez à medida que a possibilidade de o planeta girar continuamente se consolidava durante o Renascimento. Newton afirmava que, em consequência do movimento de rotação, a Terra deveria ser achatada.

Visto do espaço, o planeta continua parecendo uma esfera quase perfeita, embora os mapas feitos com base na aceleração da gravidade representem uma Terra deformada, às vezes assumindo uma forma que lembra um coração. “Os satélites estão mostrando que estávamos errados. Por meio das medições mais recentes, verificamos que a Terra é muito pouco achatada”, diz Blitzkow. A medida do eixo da Terra no equador encolheu 250 metros, passando de 6.370.388 metros em 1924 para os atuais 6.370.136,5 metros.

Desde 1982 Blitzkow trabalha com equipes do IBGE em mapas da variação do campo de gravidade em todo o território nacional. A versão mais recente, que inclui outros países da América do Sul, saiu em 2010, mostrando que a força ou aceleração da gravidade é menor em uma área que compreende o Ceará, um pouco dos estados vizinhos e a região central do país, até o norte do estado de São Paulo.

Andes e Amazônia - Poucos dias antes do Natal de 2010, uma semana antes do prazo final, Gabriel do Nascimento Guimarães apresentou a Blitzkow a quarta versão de um mapa mais detalhado, com as variações do campo de gravidade do estado de São Paulo – resultado de 9 mil pontos de medição em terra, complementados por informações dos satélites Grace e do Goce. Esse estudo faz parte do doutorado de Guimarães e de um projeto maior, coordenado por João Francisco Galera Mônico, da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Presidente Prudente, voltado à chamada agricultura de precisão, que busca as melhores condições de cultivo e colheita.

Os mapas geodésicos, feitos a partir das diferenças de elementos do campo de gravidade, abafam as diferenças de

O PROJETO

GNSS: Investigações e aplicações no posicionamento geodésico, em estudos relacionados com a atmosfera e na agricultura de precisão - nº 2006/04008-2

MODALIDADE

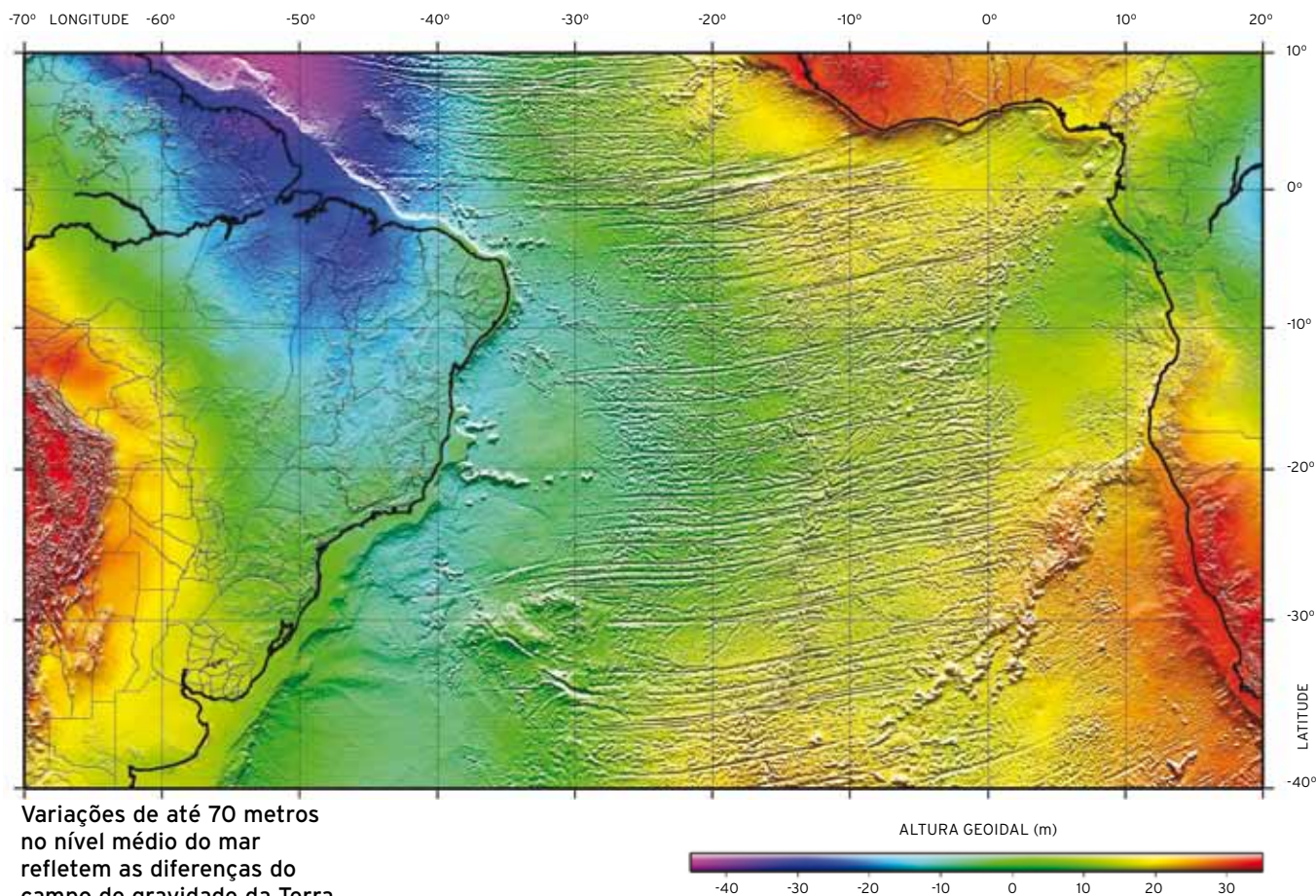
Projeto Temático

COORDENADOR

João Francisco Galera Mônico - Unesp

INVESTIMENTO

R\$ 1.279.880,42 (FAPESP)



relevo. No mapa da altura geoidal do estado de São Paulo o relevo apresenta variações de apenas seis metros de altura de leste a oeste, sem nenhum sinal das montanhas de 1.200 metros de altitude próximas ao litoral. No mapa da América do Sul as regiões mais altas estão nos Andes, mas com apenas 40 metros acima do nível zero, que corresponde ao da Amazônia.

O conceito de que a aceleração da gravidade reflete a distribuição da massa ajuda a entender essas diferenças agora tão pequenas. “Os Andes, embora com 6 mil metros de altitude, não têm muito mais massa que a Amazônia”, diz Blitzkow. “Se pudessemos pegar e pesar um cilindro da superfície de uma montanha dos Andes e outro da Amazônia, veríamos que a diferença de peso não é tão intensa quanto a variação de altitude.” No mapa de alturas geoidais da Terra, a cordilheira do Himalaia não passa de um morrinho.

Construído por alemães e norte-americanos, o Grace, abreviação de

A força da gravidade ganha novas aplicações. Só falta descobrir de onde vem a gravidade

Gravity Recovery and Climatic Experiment, é um conjunto de dois satélites gêmeos, separados 200 quilômetros entre si, que foram para o espaço em 2002. Por estarem em uma órbita baixa, a apenas 250 quilômetros de altitude (outros satélites com funções similares estavam a pelo menos mil quilômetros), eles medem as mais sutis interferências de montanhas e vales da Terra sobre a trajetória de cada um deles: os

equipamentos de bordo registram variações de milésimos de milímetros na distância entre eles. O Goce, sigla de Gravity Field and Steady-state Ocean Circulation Explorer, foi construído pela Comunidade Europeia e lançado em 2009 para registrar algo complementar, a variação dos vários elementos do campo de gravidade em relação a três eixos preestabelecidos.

A aceleração da gravidade está constantemente ganhando novas aplicações. A origem da gravidade, porém, diferentemente da de outras forças, como a eletricidade e o magnetismo, ainda é um mistério. Ninguém sabe como o Sol atrai a Terra e, em proporção menor, a Terra atrai o Sol. ■

Artigo científico

PAOLO, F.S.; MOLINA, E.C. Integrated marine gravity field in the Brazilian coast from altimeter-derived sea surface gradient and shipborne gravity. *Journal of Geodynamics*. v. 50, p. 347-54. 2010.

A história magnética DO BRASIL



194

Durante quatro anos, o físico Gelvam Hartmann coletou e examinou quase 600 fragmentos de tijolos de igrejas e casas antigas da Bahia, de São Paulo, do Rio de Janeiro e do Espírito Santo para conhecer a variação do campo magnético terrestre sobre o Brasil nos últimos 500 anos, um período sobre o qual praticamente não havia informação do ponto de vista geofísico. Seu trabalho registrou uma inesperada queda na intensidade do campo magnético nas regiões Nordeste e Sudeste e, a partir daí, estabeleceu um método de análise de materiais arqueológicos brasileiros que confirmou ou definiu as prováveis datas de construções antigas, algumas delas sem nenhuma documentação histórica.

Ao lado de arqueólogos, arquitetos e geólogos, Hartmann tirou pequenas lascas de tijolos de igrejas e casas coloniais do Pelourinho, no centro histórico de Salvador, com martelo e talhadeira quando era possível ou, quando não, com uma furadeira resfriada a água. Aos poucos, enquanto examinava esse material no Instituto de Física do Globo de Paris (IPGP) e no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP), ele construiu a história magnética do Brasil, ao confirmar as datas das construções e associá-las com as respectivas intensidades magnéticas. Assim é que emergiu uma informação nova – a intensidade do campo magnético, de 36,2 microteslas (tesla é a unidade de medida da densidade de fluxo magnético) – de uma das mais antigas construções do Brasil,

Análise de fragmentos de tijolos de
construções antigas registra
enfraquecimento do campo magnético
sobre a América do Sul | CARLOS FIORAVANTI

195

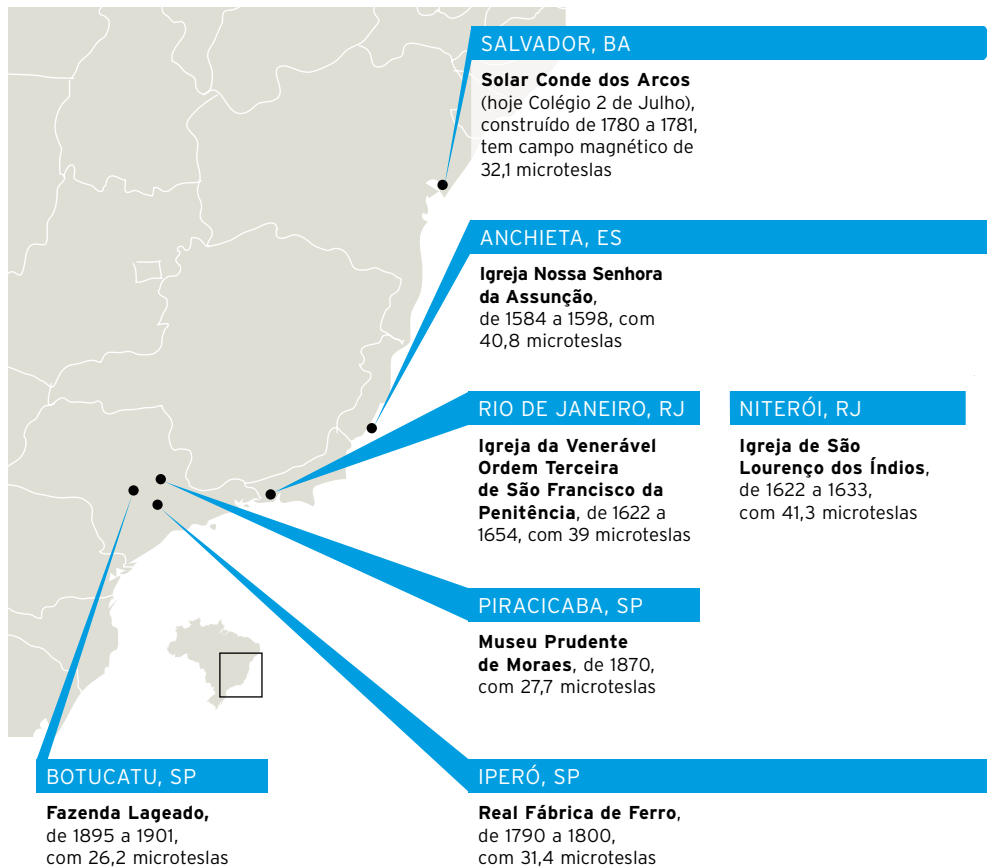
a Catedral de São Salvador, erguida pelos jesuítas entre 1561 e 1591 com dinheiro do terceiro governador-geral do Brasil, Mem de Sá, e um sino trazido de Portugal.

Quase não houve problemas com a maioria das amostras das fundações e das paredes das igrejas de Salvador, mas, estranhamente, a análise de uma amostra da casa do poeta Gregório de Matos, conhecido como *Boca do Inferno* por causa do sarcasmo com que tratava as autoridades de Salvador, indicou que a construção teria sido erguida em 1830, não entre 1695 e 1700, como os documentos indicavam. Hartmann verificou depois que essa era a data apenas do terceiro piso – construído mais tarde –, de onde ele havia coletado amostras de tijolos quando aquela parte da casa passava por uma restauração.

“Os geofísicos estão nos ajudando a contar a história da ocupação do Brasil”, reconhece Marisa Afonso, professora de arqueologia e vice-diretora do Museu de Arqueologia e Etnologia (MAE) da USP. Em abril de 2004, ela atravessava um longo dia chuvoso no centro regional do MAE em Piraju, interior paulista, quando recebeu um *e-mail* de Ricardo Trindade, professor do IAG e orientador de Hartmann no doutorado. De Paris, Trindade a convidava para ajudar a construir a curva de datação de materiais arqueológicos, como ainda não havia sido feita no Brasil, usando registros do campo magnético, nos moldes do que ele já tinha visto por lá. “Quanto mais métodos de datação, melhor, porque as técnicas mais usadas, como carbono 14 e termoluminescência, nem sempre funcionam

A energia do passado

A intensidade do campo magnético nas regiões Nordeste e Sudeste tem diminuído desde o século XVI



GELVAM HARTMANN / IAG-USP

196

em todos os casos”, diz ela. “Por sorte tanto Gelvam quanto Ricardo gostam de arqueologia e sabem falar do que fazem de maneira simples.”

Ao mesmo tempo, Hartmann e outros pesquisadores do IAG estão detalhando as variações do campo magnético terrestre, principalmente nas regiões onde é menos intenso. O campo é gerado pelo movimento do ferro líquido no núcleo da Terra, expressa-se na superfície do planeta, orientando as bússolas, e forma uma barreira invisível a 30 mil quilômetros acima da superfície do planeta que dificulta a entrada de partículas vindas do Sol. Agora está claro que a região onde o campo é mais fraco em toda a superfície terrestre, a Anomalia Magnética do Atlântico Sul, está se deslocando e se expandindo. Antes restrita ao sul da África, essa área atualmente cobre parte do sul da América do Sul e quase todo o Atlântico Sul.

O ponto de menor intensidade dessa mancha está se deslocando para oeste: já esteve no sul da África, e depois no meio do Atlântico Sul, a meio caminho entre o Brasil e a África do Sul. Por volta de 1930 estava perto da cidade do Rio de Janeiro, migrou para o sul e estacionou sobre o estado de Santa Catarina e atualmente se encontra no Paraguai, com uma intensidade de cerca de 22 microteslas (*ver mapa*). Algumas consequências são conhecidas: justamente nas áreas onde o campo é mais fraco os satélites de telecomunicações e os ônibus espaciais podem sofrer mais interferências magnéticas, que podem danificar seus equipamentos, tanto quanto, em uma escala menor, um ímã pode desmagnetizar um computador e o fazer perder as informações.

Os resultados surgiram após uma série de surpresas, nem todas agradáveis.

Hartmann conta que se sentiu desarvorado em maio de 2008, logo no início de um estágio de seis meses no laboratório de paleomagnetismo do Instituto de Física do Globo de Paris. Seu propósito era caracterizar o campo magnético do material que tinha levado – fragmentos cerâmicos brasileiros dos últimos 2 mil anos –, mas as coisas começaram a dar errado. “Yves Gallet, o chefe do laboratório, disse que eu não conseguiria analisar aquelas peças, por não estarem bem cozidas por dentro. Cerâmicas, tijolos, telhas ou qualquer outro material que passou por um aquecimento intenso podem guardar o registro do campo magnético da Terra no momento do cozimento, mas, para isso, têm de ter sido assados de modo uniforme. Yves me fez uma proposta: ‘Vá para o Brasil, fique lá 20 dias, colete material histórico, de no máximo 500 anos, e volte; te pago a passagem’”, conta Hartmann.



ROSANA NAJJAR / IPHAN



GELVAM HARTMANN / IAG-USP

Ele desembarcou em Salvador, a primeira capital do Brasil. De imediato procurou Carlos Etchevarne, professor de arqueologia da Universidade Federal da Bahia (UFBA) que conheceu em um congresso três anos antes, e Rosana Najjar, arqueóloga do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan) e coordenadora do Projeto Pelourinho de Arqueologia (Monumenta/Iphan). Etchevarne e Rosana o apresentaram a outros arqueólogos, que o ajudaram a coletar fragmentos de tijolos de fundações, paredes ou tetos de 20 construções antigas do Pelourinho. “Nunca tínhamos trabalhado antes com físicos”, conta Etchevarne, “mas conseguimos um diálogo muito bom, rapidamente, com objetivos comuns”.

Eles selecionaram prédios cuja data de construção já era conhecida por meio de registros históricos ou de pesquisas arqueológicas. A razão é simples:

Hartmann precisava de uma referência inicial para estabelecer a data de construção por seus próprios métodos, medindo a intensidade dos resquícios do campo magnético registrado em minerais ferrosos como a magnetita e a hematita, que compõem a argila usada para fazer os tijolos dessas construções. Tanto quanto a data, lhe interessava a intensidade do campo magnético no momento do cozimento. “O campo magnético da Terra oscila incessantemente, em diferentes escalas de tempo, de milissegundos a bilhões de anos, de modo que fragmentos de construções com idades distintas registram valores do campo também distintos”, diz ele.

De volta a Paris, Hartmann conta que trabalhou “16 horas por dia, incluindo sábados e domingos”, durante dois meses para determinar a idade e a intensidade do campo magnético do material que havia levado. Com essas e outras amostras colhidas em outra viagem a Salvador, ele confirmou por seus próprios métodos as datas de construções históricas, afinando as técnicas de trabalho. “Esses dados servem de ferramenta de datação de construções históricas”, atesta Trindade, que acompanhou a segunda expedição a Salvador, em dezembro de 2008. Servem mesmo. À medida que dominava a técnica e criava uma associação entre as datas e as intensidades do campo magnético, Hartmann pôde definir a data de construção – entre 1675 e 1725 – de uma casa do Pelourinho, a de número 27, da qual os arqueólogos não tinham nenhuma documentação.

No instituto em Paris e no IAG, Hartmann preparou 295 amostras de 14 igrejas e casas de Salvador. Depois, na Região Sudeste, percorreu casas de fazenda, igrejas e outras construções de São Paulo, ao lado do arqueólogo Paulo Zanettini, e do Espírito Santo e do Rio de Janeiro, com a arqueóloga Rosana Najjar, e obteve mais 289 amostras de 11 lugares. Hartmann deixou as amostras no formato de cubos com um centímetro de lado. Depois submeteu as amostras ao forno paleomagnético, que, após sucessivos aquecimentos e resfriamentos, resgata a intensidade e a orientação do campo magnético no momento em que a argila foi queimada pela pri-

meira vez. É um método demorado e, por enquanto, de baixa eficiência: Hartmann obteve boas informações de apenas 56% das amostras do Nordeste e de 38% das do Sudeste.

Depois de assar, resfriar e medir no magnetômetro as amostras de cada lugar que visitou, Hartmann construiu as curvas de variação da intensidade do campo magnético para cada região. A do Nordeste exibiu valores decrescentes – em torno de 40 microteslas em 1560 para 25 em 1920 – com uma queda de aproximadamente cinco microteslas a cada século. “É bastante”, diz ele. Os valores das amostras da Região Sudeste apresentaram uma queda mais acentuada, como detalhado em um artigo publicado este ano na revista *Earth and Planetary Science Letters*, onde em 2010 saíram os dados sobre o Nordeste. “Os dois artigos representam uma contribuição fundamental para a compreensão da evolução do campo magnético terrestre nos últimos 500 anos”, assegura Trindade. O geofísico Igor Pacca, professor do IAG e um dos pioneiros no Brasil no estudo do campo magnético terrestre, levantou as informações de milhões de anos atrás, registradas em rochas. As mais recentes, do início do século passado para cá, estão sendo coletadas por observatórios terrestres e satélites.

Ao menos nas primeiras tentativas, essa técnica não serviu para datar pinturas rupestres, nem painéis de barro, que perderam o campo magnético original por terem ido muitas vezes ao fogo, nem as casas dos bandeirantes paulistas, feitas de barro amassado e prensado. Etchevarne acredita que talvez sirva para esclarecer as origens de potes de água, que só passam uma vez por temperaturas altas. “Um dos próximos desafios é encontrar como datar materiais com mais de 500 anos que não foram tão bem queimados”, diz Marisa. “Já pedi a Gelvam para não desistir. Temos peças de cerâmica de até 7 mil anos para datar.” Hartmann já começou a trabalhar com amostras colhidas em Missões e pretende examinar as igrejas de Minas Gerais o mais breve possível para ampliar as análises da variação do campo magnético entre as regiões do Brasil.

Segundo Trindade, essas análises regionais mostraram que o campo

magnético no Brasil está longe de apresentar um comportamento ideal, que pode ser comparado ao campo magnético de um ímã de barra. Nas duas regiões, o campo magnético é complexo e apresenta fortes influências de componentes multipolares – ou não dipolares, como os geofísicos dizem. “Nesses casos”, diz Hartmann, “a agulha da bússola apresenta uma forte deflexão com relação ao norte, que pode chegar a mais de 20°”. Já na França, segundo ele, predomina o campo dipolar, como se a Terra fosse um ímã quase perfeito, e as deflexões com relação ao norte não excedem os 5°.

Campo menos intenso - Para os geofísicos, a queda contínua nos valores do campo magnético e o fato de as amostras das regiões Nordeste e Sudeste apresentarem grandes diferenças em intensidade devem estar ligados à Anomalia Magnética do Atlântico Sul (Sama, na sigla em inglês). Regida por campos não dipolares, a Sama é uma ampla região com as intensidades mais baixas do campo magnético – em torno de 28 microteslas (o valor médio do campo magnético da Terra é de 40 microteslas e o máximo, de 60 microteslas). “Por causa da proximidade geográfica, a influência da anomalia é maior no Sudeste que no Nordeste brasileiro”,

⏏
Se não houvesse campo magnético, não haveria nem bússola nem as grandes navegações, diz Igor Pacca

diz Hartmann. “A anomalia representa uma área em que a blindagem do campo magnético contra raios cósmicos e partículas solares é mais frágil.”

Pacca vê a Sama como “uma janela” para partículas de alta energia conhecidas como raios cósmicos, que podem entrar mais facilmente na Terra através de regiões menos intensas do campo magnético. Ele e Everton Frigo, também do IAG, acreditam que os raios,

por sua vez, poderiam facilitar a formação de nuvens, fazer chover mais e baixar a temperatura, principalmente sobre as terras cobertas por trechos menos intensos do campo magnético.

Há muito tempo se sabe que as manchas solares interferem no clima, mas nunca soubemos direito como”, diz Pacca. Quanto mais manchas solares, maior a atividade do Sol – e maior seu campo magnético. Nesses momentos, o campo magnético do Sol age em conjunto com o campo magnético da Terra dificultando a entrada de raios cósmicos. Em períodos de menor intensidade da atividade solar, há menos manchas e o campo magnético do Sol é menos forte.

“Quando os campos do Sol e da Terra estão com a intensidade mínima, os raios cósmicos entram mais facilmente na Terra, colidem com partículas da atmosfera e geram uma quantidade enorme de elétrons e de outras partículas”, diz Pacca. “Toda a energia criada com as colisões produz uma ionização, que pode favorecer a condensação de vapor de água. Os raios cósmicos podem ser os gatilhos que disparam as reações que levam à formação de nuvens de chuva”, teoriza.

Pesquisadores do Reino Unido e da Dinamarca também defendem essa possibilidade, mas ainda há espaço para ou-

198

As amostras preparadas (abaixo) vão para o forno: resgate magnético



O PROJETO

Evolução do campo magnético terrestre na América do Sul para os últimos 500 anos - nº 2000/10754-4

MODALIDADE

Bolsa de Pós-doutorado

COORDENADOR

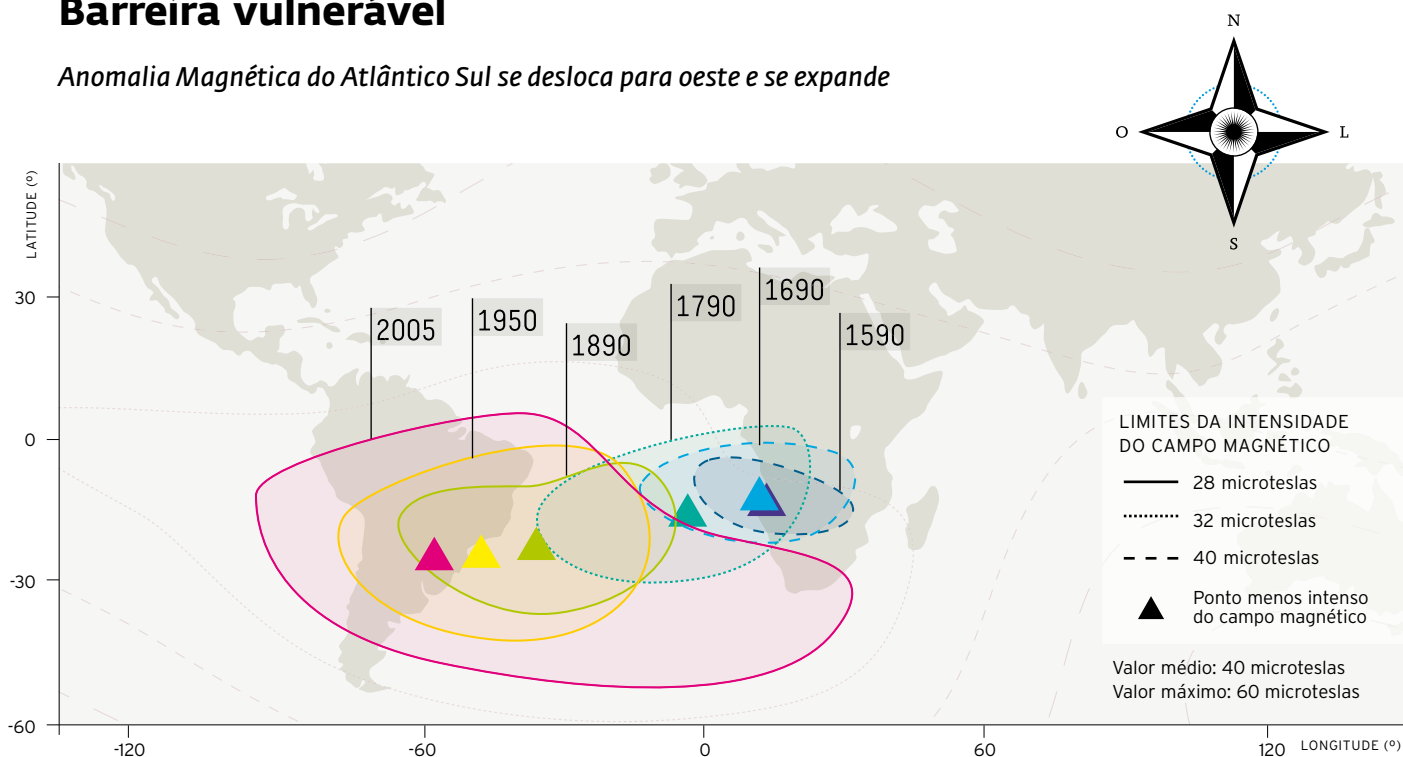
Gelvam André Hartmann - IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 145.801,14

Barreira vulnerável

Anomalia Magnética do Atlântico Sul se desloca para oeste e se expande



FONTE: GELVAM HARTMANN, RICARDO TRINDADE E IGOR PACCA / IAG-USP; EDIÇÃO: LAURA DAVIÑA

tras visões. “Até o momento”, diz o físico Paulo Artaxo, da USP, com base em estudos do Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas (IPCC), de que ele faz parte, “não há evidências sólidas, nem a favor, nem contra, de que possa haver algum efeito de raios cósmicos sobre os processos de formação de nuvens”.

Como essa região menos intensa do campo magnético se forma e como pode reduzir a intensidade do campo registrado em rochas ou tijolos? Ninguém sabe. O que mais pode acontecer em razão dessa queda na intensidade do campo, além das interferências em telecomunicações? Outro mistério. “Einstein já dizia em 1905 que a origem e a evolução do campo magnético terrestre são um dos problemas mais difíceis da física, já que não seguem nenhum padrão”, argumenta Hartmann.

O comportamento do campo magnético terrestre é complexo a ponto de já ter apresentado até mesmo reversões dos polos – o polo norte tornando-se sul – a mais recente há 780 mil anos. E existe a possibilidade de mudar outra vez: “Apareceu uma anomalia na Sibéria, que está se ampliando e já é mais intensa que o polo norte magnético”, diz Pacca. “Por enquanto, é como se a Terra tivesse

dois polos norte, mas o atual polo norte está perdendo a vez e pode surgir outro, mais forte, em milhares de anos.”

Pacca montou um dos primeiros laboratórios de paleomagnetismo no Brasil em 1971, no Instituto de Física da USP. Dois anos depois ele reinstalou os equipamentos no IAG, para onde se mudou, como professor convidado, para formar um grupo de pesquisas em geofísica. Como não havia outros materiais para estudar, por muitos anos só rochas entravam lá.

Um dos trabalhos mais ambiciosos consistiu na análise da intensidade e da orientação do campo magnético de 10 mil amostras de rochas do Brasil e da África. Daí saíram detalhes sobre a posição dos continentes na Terra de 1 bilhão de anos atrás, bem diferente de agora: o que corresponde ao atual território brasileiro era uma série de grandes ilhas distantes umas das outras e o bloco de rochas que forma a atual Amazônia estava separado de Goiás e do Nordeste por mares e mais próximo do sul do país do que hoje (ver Pesquisa FAPESP nº 75, de maio de 2002). Hoje, grupos de pesquisadores em 24 países – na Amé-

rica do Sul, apenas Argentina e Brasil – trabalham com geomagnetismo e paleomagnetismo.

Pacca encontrou recentemente o que acredita ser o mais antigo estudo em português sobre magnetismo nas rochas, o *Roteiro do Goa a Diu*, publicado em 1538 (Goa e Diu eram domínios portugueses no sudoeste da atual Índia). O autor é dom João de Castro, nobre português que terminou a vida, aos 48 anos, como vice-rei da Índia. Em seus roteiros, ele mostrava como os navegadores deveriam se orientar em alto-mar, valendo-se das estrelas e de instrumentos simples como a bússola, para chegar aos destinos desejados. “Se não houvesse campo magnético, não haveria bússola”, diz ele. “E sem a bússola não teria havido grandes navegações, que enriqueceram muitos comerciantes e permitiram a conquista de novos espaços como o Brasil.” ■

Artigo científico

HARTMANN, G.A. *et al.* New historical archeointensity data from Brazil: Evidence for a large regional non-dipole field contribution over the past few centuries. *Earth and Planetary Science Letters*. v. 306, p. 66-76. 2011



Um perfil continental: ilustração apresenta variações no relevo (*linha branca*) e na crosta da América do Sul

Por que a terra treme no Brasil

Sismólogos propõem uma nova explicação para os terremotos no país

Igor Zolnerkevic e Ricardo Zorzetto

201

Em 8 de outubro de 2010 a terra tremeu como jamais se havia visto em Mara Rosa, cidade com 10 mil moradores no norte de Goiás. Passava um pouco das 5 da tarde daquela sexta-feira e as pessoas se preparavam para o fim de semana quando o chão balançou tão intensamente a ponto de se tornar difícil ficar em pé. Árvores chacoalharam, paredes trincaram e telhas despencaram das casas. Menos de um minuto mais tarde, os reflexos desse terremoto de magnitude 5, um dos mais fortes registrados no país nos últimos 30 anos, haviam percorrido 250 quilômetros e alcançado Brasília, onde alguns prédios chegaram a ser desocupados. “Muita gente em Mara Rosa pensou que a terra fosse se abrir e o mundo acabar”, conta Lucas Barros, chefe do Observatório Sismológico da Universidade de Brasília (UnB). Nas semanas seguintes Barros e sua equipe instalaram sismógrafos em Mara Rosa e nos municípios vizinhos para acompanhar a reverberação daquele tremor. Em seis meses, outros 800 sismos, menos intensos, ocorreram ali e ajudaram a determinar a causa direta do desassossego da terra naquela região. Bem abaixo de Mara Rosa, a uns três quilômetros de profundidade, há uma extensa rachadura na crosta terrestre, a camada mais rígida e externa

do planeta. E, ao longo dessa fratura que se estende por cinco quilômetros, as rochas haviam se deslocado, fazendo a terra tremer. “Tivemos de fazer audiência pública em Mara Rosa e em Mutunópolis para explicar às pessoas o que estava ocorrendo e o que elas deviam fazer para se proteger”, diz Barros.

A identificação dessa fratura não chegou a surpreender o grupo da UnB. Mara Rosa e outros municípios do norte de Goiás e do sul de Tocantins se encontram em uma região geologicamente instável: a zona sísmica Goiás-Tocantins, que concentra 10% dos terremotos do Brasil. Parte dos geólogos atribui a elevada frequência de tremores nessa área – uma das nove zonas sísmicas delimitadas no país, com 700 quilômetros de comprimento por 200 de largura – à proximidade com o Lineamento Transbrasiliano, uma extensa cicatriz na crosta terrestre que cruza o Brasil e, do outro lado do Atlântico, continua na África. Acredita-se que ao longo do lineamento a crosta seja mais frágil por concentrar blocos rochosos trincados que, sob compressão, se movimentariam mais facilmente produzindo terremotos.

Mas nem todos concordam. Muitas vezes a localização dos tremores não coincide com a desse conjunto de falhas e, em certos trechos dele, nunca

Sob a terra

Levantamento mostra a diferença de espessura da crosta terrestre no Brasil e na cordilheira dos Andes

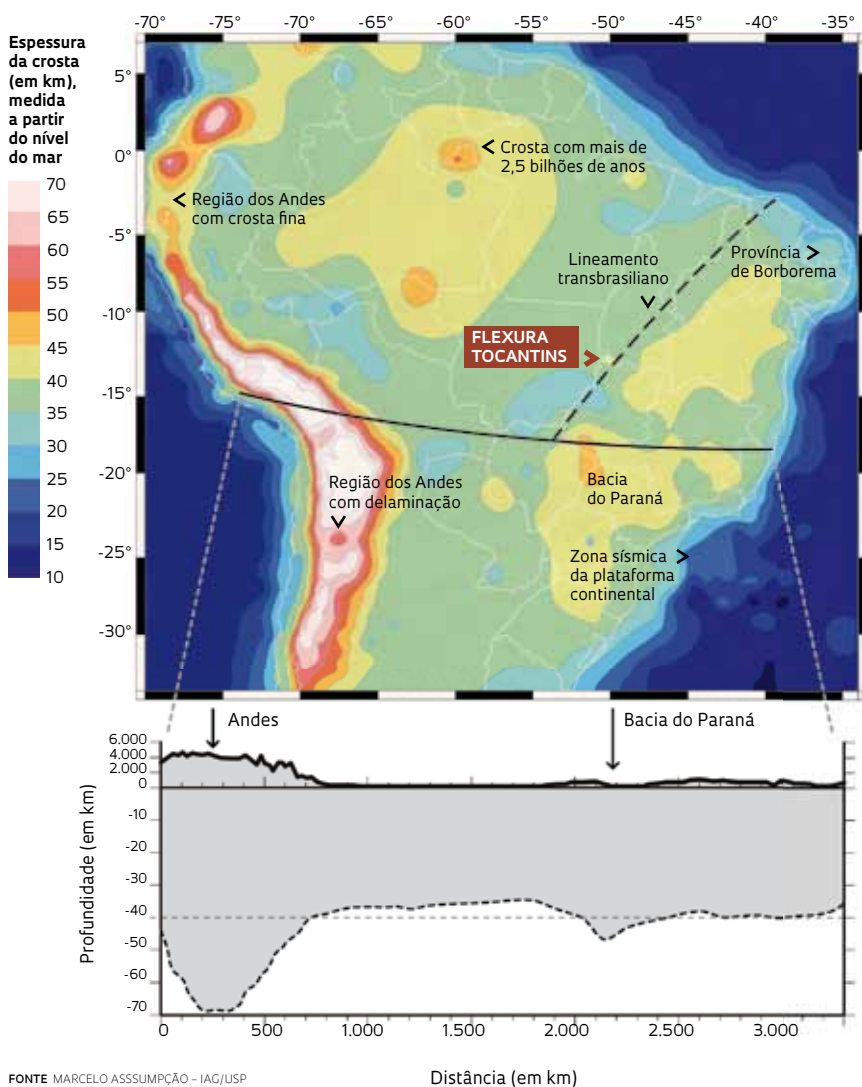
se detectaram tremores. Quem duvida da influência direta do lineamento sobre os sismos dessa região aposta em causas mais profundas, como as que acabam de ser identificadas por um grupo de pesquisadores do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP) a partir do levantamento da espessura da crosta terrestre no país, recém-concluído.

Em um trabalho publicado em fevereiro deste ano na *Geophysical Research Letters*, o sismólogo Marcelo Assumpção e o geofísico Victor Sacek apresentam uma explicação mais completa – e, para muitos, mais convincente – para a concentração de tremores em Goiás e Tocantins. Em algumas áreas dessa zona sísmica a crosta terrestre é mais fina do que em boa parte do país e encontra-se tensionada pelo peso do manto, a camada geológica inferior à crosta e mais densa do que ela. Medições da intensidade do campo gravitacional nessas áreas de crosta fina indicam que, ali, há um espessamento do manto. Essa combinação faz essas duas camadas de rocha – a crosta e a região superior do manto, que do ponto de vista físico se comportam como uma estrutura única e rígida chamada pelos geólogos de litosfera – vergarem como um galho prestes a se romper. Nessa situação, a litosfera pode trincar como uma régua de plástico que é curvada quando se tenta unir suas extremidades (ver infográfico ao lado).

“A litosfera tende a afundar onde ela é mais densa e a subir onde a densidade é menor”, explica Assumpção. “Essas tendências causam tensões que produzem falhas e, eventualmente, provocam sismos”, completa o sismólogo do IAG, coordenador da Rede Sismográfica do Brasil, que monitora os terremotos no país.

Durante uma conversa em sua sala no início de abril, Sacek, coautor do estudo, pegou um livro de capa flexível para ilustrar o que ocorre no trecho da zona sísmica Goiás-Tocantins onde se encontra Mara Rosa. “Supondo que esse livro represente a litosfera da região, um acréscimo de carga no interior da litosfera, por haver uma proporção maior de rochas do manto [mais densas], vai fazê-la sofrer uma flexura”, explicou, colocando o livro na posição horizontal e pressionando suas laterais, o que o fez se dobrar como se um bloco de pedra estivesse colado à capa inferior. Como resultado, a parte superior é submetida a forças de compressão e a inferior a forças de distensão. “Embora seja rígida, a litosfera tem alguma flexibilidade e resiste até certo ponto à deformação”, diz Sacek. “Mas a partir de determinado limite ela pode vergar e se romper.”

Anos atrás, analisando o mapa da distribuição de sismos no Brasil, Assumpção percebeu que a maioria deles ocorria no trecho de Goiás e Tocan-



FONTE MARCELO ASSUMPÇÃO – IAG/USP

Distância (em km)

tins no qual em 2004 o geofísico Jesús Berrocal, ex-professor da USP, havia identificado uma anomalia gravimétrica. Lá o campo gravitacional é anormalmente elevado para uma região de planalto com altitude média entre 300 e 400 metros. Naquelas terras planas e relativamente baixas – por exemplo, não existem cadeias de montanhas ali – não há excesso de massa sobre a superfície que justifique a flexura da litosfera. Logo, concluiu Assumpção, essa massa só poderia estar embaixo da terra. Provavelmente em regiões profundas como as camadas mais superficiais do manto, uma vez que a crosta só tem 35 quilômetros de espessura.

Mas era preciso verificar se essa ideia fazia sentido e se o espessamento do manto podia, de fato, fazer a litosfera se curvar. Assumpção pediu então a Sacek, especialista em simulações com-

6,2
é a magnitude
do tremor
mais intenso
registrado
no Brasil,
em 1955

ZONA SÍSMICA GOIÁS-TOCANTINS

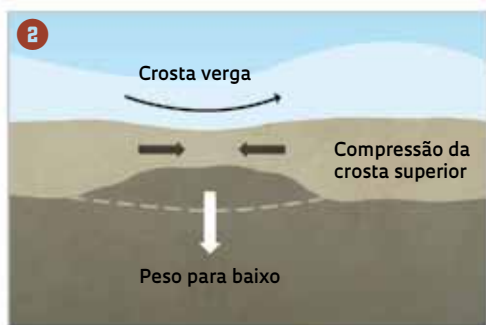


A crosta é estável onde não há falhas geológicas e sua espessura não varia muito. O espessamento do manto nas regiões em que a crosta é mais fina pode causar tensões adicionais que favorecem a ocorrência de tremores

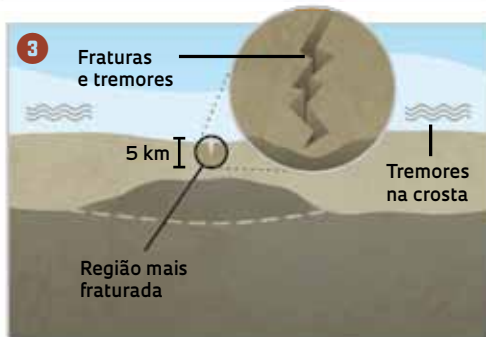


ESTRESSE CONSTANTE

A litosfera do planeta, formada pela crosta e a parte superior do manto, é dividida em placas que se movem e colidem. O choque nas bordas das placas gera tensão que se espalha pelo interior dos continentes



A diferença de peso entre rochas da crosta e do manto à mesma profundidade faz a região afinada vergar por conta do peso extra abaixo dela. Essa flexura comprime as rochas próximo à superfície



Somada às tensões exercidas nas bordas das placas da litosfera, essa compressão é demais para as rochas a profundidades inferiores a 5 km, que tendem a sofrer fraturas, causando os abalos sísmicos

putacionais, que criasse um modelo matemático para representar as camadas geológicas daquela área de Goiás e Tocantins que levasse em conta todas as forças que atuam sobre elas. Sacek desenvolveu um programa incluindo tanto o efeito de forças locais, originadas a poucas dezenas de quilômetros da região dos sismos por diferenças de relevo (vales, rios e morros) e por variações na espessura da crosta, como o de forças regionais, de escala planetária, que ocorrem a milhares de quilômetros de distância, nas bordas dos blocos em que está dividida a litosfera.

Ao unir esses elementos, Sacek identificou uma zona de fragilidade da crosta que coincide com a área de mais sismos em Goiás e Tocantins. Nesse grande bloco, com 200 quilômetros de largura e 5 de profundidade, as forças são intensas a ponto

de superar o limite de elasticidade das rochas e fragmentá-las. “Esse modelo explica até a profundidade dos sismos, que em geral ocorrem a menos de cinco quilômetros da superfície”, afirma Sacek.

Ele e Assumpção acreditam que esse mecanismo – a flexura em região de crosta mais fina – pode também ser a causa da elevada frequência de tremores em outras regiões do país, como a bacia do pantanal e a zona sísmica de Porto de Gaúchos, em Mato Grosso, onde em 1955 ocorreu o maior abalo sísmico já registrado no Brasil, com magnitude de 6,2 graus na escala criada por Charles Richter. Os terremotos com magnitude superior a 5 são raros no país – ocorre, em média, um a cada cinco anos. Mas, mesmo fracos, costumam assustar a população, pouco habituada a conviver com os sismos e pouco preparada para lidar com eles. Além de falta de informação sobre como enfrentar os tremores, as residências mais pobres não resistem a abalos pequenos, que causariam poucos danos em uma metrópole. Em 9 de dezembro de 2007, um tremor de magnitude 4,9 danificou várias casas no povoado de Caraíbas, nos arredores de Itacarambi, norte de Minas Gerais, onde a queda de uma parede matou uma criança. “Essa é a única morte direta causada por um terremoto de que se tem notícia no país”, conta o geólogo Cristiano Chimpliganond, da UnB.

A flexura da crosta também explica os terremotos em outra zona sísmica do Brasil: a margem da plataforma continental entre os estados do Rio Grande do Sul e o Espírito Santo. A uma distância que varia de 100 a 200 quilômetros da costa, o fundo do mar sofre um declive abrupto. Nesse degrau, a profundidade do oceano passa de 50 metros para 2 mil metros. Os sedimentos que os rios transportam para o mar se acumulam na extremidade desse degrau, exercendo um peso extra sobre a crosta. Assumpção acredita que essa sobrecarga provoque os sismos

detectados nessa região, por mecanismos semelhantes ao que estaria ocorrendo em Goiás e Tocantins. A diferença nesse caso é que o excesso de massa não se encontra sob a crosta, mas sobre ela.

Em um trabalho de 2011, Assumpção e colaboradores da Universidade Estadual Paulista (Unesp), do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) e da Petrobras analisaram um terremoto que ocorreu em abril de 2008 a 125 quilômetros ao sul da cidade de São Vicente, no litoral paulista – e que foi sentido até na cidade de São Paulo. O ponto de origem do tremor foi justamente a extremidade do degrau da plataforma continental e as características de suas ondas sísmicas parecem confirmar a ideia de que foi desencadeado pela sobrecarga de sedimentos.

A elaboração desses modelos sobre a causa dos tremores brasileiros só foi possível graças à descoberta de variações na espessura da crosta terrestre no país. Assumpção e colaboradores da UnB, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e do Observatório Nacional (ON) reuniram informações sobre a espessura da crosta em quase mil pontos na América do Sul, tanto no continente como no oceano – desse total, cerca de 200 medições foram feitas nos últimos 20 anos com financiamento da FAPESP e do governo federal. No mapa que sintetiza esses dados, publicado no *Journal of South American Earth Sciences*, os pesquisadores chamam a atenção para as regiões onde a crosta é mais espessa ou mais delgada. “A espessura da crosta é um dos parâmetros mais importantes para compreender a tectônica [as forças e os movimentos das camadas geológicas] de uma região”, afirma o sismólogo Jordi Julià, da UFRN.

Essa é a compilação mais completa e detalhada já feita sobre a crosta brasileira. A espessura em todos esses pontos foi obtida a partir da combinação de dados obtidos por três métodos que usam as ondas sísmicas para deduzir a estrutura das camadas geológicas por onde elas passam. O mais preciso deles – e também o mais caro – é a refração sísmica, no qual os pesquisadores registram ao longo de centenas de quilômetros os tremores causados por explosões controladas (ver Pesquisa FAPESP nº 184). Os dois outros métodos se baseiam no monitoramento ao longo de anos dos terremotos que acontecem ao redor do globo.

De modo geral, a crosta no Brasil tem espessura semelhante à dos outros continentes – em média de 40 quilômetros, medidos a partir do nível do mar. Há algumas regiões no país, porém, em que a crosta chega a ser mais fina do que 35 quilômetros. A existência de uma delas – uma faixa de quase mil quilômetros que vai do pantanal, em Mato Grosso do Sul, a Goiás e Tocantins – ainda não está bem delineada, porque há poucas informações sísmicas disponíveis sobre a

região. Já no Nordeste, onde foi feita a maioria dos experimentos de refração sísmica pela equipe de Reinhardt Fuck, da UnB, a incerteza é menor.

Ali se localiza a área mais vasta do território nacional com crosta menos espessa: a província de Borborema, bloco rochoso sobre o qual se assentam quase todos os estados do Nordeste, a região com maior frequência de tremores no país. Em alguns pontos dessa região, a crosta tem menos de 30 quilômetros. Esse afinamento parece ter ocorrido entre 136 milhões e 65 milhões de anos atrás, período em que a América do Sul se separou da África.

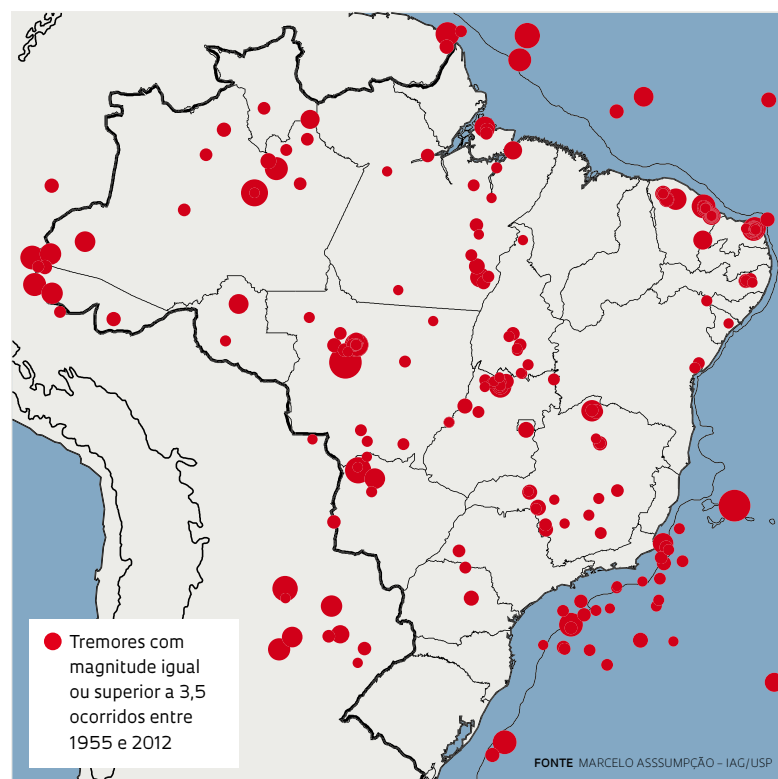
Um dos recordes de espessura está sob a floresta amazônica, na fronteira entre os estados de Roraima, Amazonas e Pará. Com até 45 quilômetros de espessura, esse é um dos pedaços da crosta mais antigos do Brasil, com mais de 2,5 bilhões de anos. “Essas regiões mais antigas tendem a ter crosta mais espessa”, diz Assumpção.

Mas o trecho de crosta mais espessa do país se encontra em uma região relativamente jovem, a bacia do Paraná, que começou a se formar há 460 milhões de anos. No interior de São Paulo, próxi-

“A sismologia não consegue prever terremotos e, mesmo que conseguisse, não poderia evitá-los”, diz Lucas Barros, da UnB

Onde ocorrem os sismos

Terremotos se concentram em regiões de crosta fina, como o Nordeste, o Centro-Oeste e a plataforma oceânica





Cordilheira dos Andes: região em que a crosta é mais espessa na América do Sul e atinge até 75 quilômetros

mo ao rio Paraná, a crosta alcança 46 quilômetros de espessura. Assumpção propõe duas possíveis razões para esse espessamento. A primeira, sugerida por diversos estudos, é que sob a bacia do Paraná haveria um bloco de crosta mais antiga, com bilhões de anos de idade, batizado de cráton do Paranapanema. A segunda tem a ver com a intensa atividade vulcânica ali há 130 milhões de anos. Por algum motivo que não se conhece, o manto abaixo da bacia do Paraná se tornou anormalmente quente, fenômeno que os geólogos chamam de pluma térmica. Essa pluma teria fundido parcialmente as camadas profundas da Terra, gerando magmas de composição basáltica que se derramaram sobre a superfície e originaram uma das maiores províncias vulcânicas do planeta. Essas rochas geraram as faixas de terra roxa, um solo bastante fértil. Parte do material originado no processo permaneceu lá embaixo e, quando o manto esfriou, se soldou à porção inferior da crosta, aumentando sua espessura.

Com pesquisadores do Chile e da China, Assumpção expandiu o mapeamento da crosta para a cordilheira dos Andes. Sob essa cadeia de montanhas, a espessura da crosta varia de 35 quilômetros, na fronteira do Peru com o Equador, a 75 quilômetros, no altiplano boliviano. Essa espessura máxima é semelhante à observada em outras regiões montanhosas relativamente jovens, como o Himalaia. Em geral, há uma correlação direta entre a altitude de um terreno e a espessura da crosta. “Quanto mais alta a topografia, mais espessa é a crosta”, explica Assumpção. “Para altitudes superiores a 3 mil metros, o normal é a crosta chegar a 70 quilômetros.”

Mas há exceções. No norte da Argentina, onde os Andes se erguem a mais de 4 mil metros de altura, a crosta tem menos de 55 quilômetros de espessura. Novamente, os pesquisadores imaginam

duas explicações. Ou a crosta já era anormalmente fina desde antes da formação dos Andes ou, há 4 milhões de anos, ela se tornou tão espessa e quente que perdeu parte de suas camadas mais profundas, fenômeno chamado delaminação.

Já na fronteira do Peru com o Equador, onde a altitude supera os 3 mil metros, sua espessura é de apenas 35 quilômetros. Nesse caso, a crosta parece ser sustentada pelo movimento das correntes das camadas mais profundas do manto, que, embora sejam rochas, se comportam como um líquido extremamente viscoso no tempo geológico – ele flui alguns centímetros por ano. A força dessas correntes ascendendo são capazes de suspender a crosta, acrescentando de um a dois quilômetros na altura das montanhas. O inverso também pode acontecer. O fluxo descendente pode puxar para baixo a crosta em algumas regiões, como Sacek e Naomi Ussami, geofísica da USP, observaram na bacia de Marañon, entre o Equador, o Peru e a Colômbia.

A pesar das duas décadas de trabalho, as pesquisas nessa área ainda estão atrasadas na América do Sul. Os Estados Unidos e a Europa já dispunham de mapas detalhados da espessura da crosta no final dos anos 1990. “O avanço do mapeamento da crosta no mundo varia segundo a renda *per capita* dos países”, diz Assumpção. “Só estamos melhores do que a África.”

No Brasil, as principais instituições de pesquisa da área se uniram há dois anos e criaram a Rede Sismográfica do Brasil, que dispõe de 50 estações sismológicas e pretende chegar a 80. Assim, os pesquisadores esperam monitorar melhor o país e aumentar a resolução do mapa. Quanto mais terremotos se observarem, mais detalhes da espessura da crosta poderão ser identificados. E, com mais detalhes, é possível criar modelos que permitam prever com mais precisão as áreas sob risco de tremores de maior magnitude. “A sismologia não consegue prever terremotos e, mesmo que conseguisse, não poderia evitá-los”, diz Barros. “Por isso, temos de aprender a conviver com eles e nos proteger deles.” ■

Projeto

Evolução tectônica, climática e erosional em margens convergentes: uma abordagem numérica (nº 2011/10400-0); **Modalidade:** Bolsa de pós-doutorado; **Coord.:** Victor Sacek – IAG/USP; **Investimento:** R\$ 153.896,91 (FAPESP).

Artigos científicos

ASSUMPÇÃO, M. e SACEK, V. Intra-plate seismicity and flexural stresses in central Brazil. **Geophysical Research Letters**. v. 40 (3), p. 487-91. 16 fev. 2013.

ASSUMPÇÃO, M. et al. Crustal thickness map of Brazil: Data compilation and main features. **Journal of South American Earth Sciences**. v. 43, p. 74-85. abr. 2013.

ASSUMPÇÃO, M. et al. Models of crustal thickness for South America from seismic refraction, receiver functions and surface wave dispersion. **Tectonophysics**. 2013 (on-line).

Uma hipótese para a grande extinção

Cratera aberta no centro do Brasil pode ter causado um aquecimento global que teria levado à maior eliminação de espécies da história da Terra



PANGEIA

LOCAL

Há pouco mais de 250 milhões de anos, quando todos os continentes estavam agrupados num único supercontinente (Pangeia), um meteorito com diâmetro estimado de 4 quilômetros atingiu o território hoje dividido pelas cidades de Araguaiña e Ponte Branca, no sudeste do Mato Grosso, perto da divisa com Goiás.

IMPACTO

A queda da rocha celeste abriu uma cratera de 40 quilômetros e destruiu imediatamente tudo que estava a 250 quilômetros ao seu redor. A colisão liberou uma energia equivalente a 1 milhão de megatoneladas de TNT, gigantesca, mas incapaz de alterar diretamente o clima de todo o globo.

TERREMOTOS

Novas evidências geológicas sugerem que pode ter havido muitos terremotos com magnitude de até 9,9 graus na escala Richter num raio de mil quilômetros em torno do local da queda do meteorito e liberação de uma quantidade descomunal de um gás de efeito estufa, o metano, que estava aprisionado até então no subsolo.

EFEITO ESTUFA

O meteorito de Araguaiña caiu numa região rica em depósitos de carbono orgânico, a Formação Irati, e as ondas de choques decorrentes da abertura da cratera fraturaram as rochas e soltaram 1.600 gigatoneladas de metano. Resultado: o clima em Pangeia, que já tinha como característica ser extremamente árido em seu interior, teria esquentado demais e provocado a morte de 96% das espécies da Terra.



A estufa de Araguainha

Queda de meteorito no Mato Grosso há 250 milhões de anos pode ter liberado metano suficiente para provocar um aquecimento global e causar a maior extinção de espécies conhecida

Marcos Pivetta

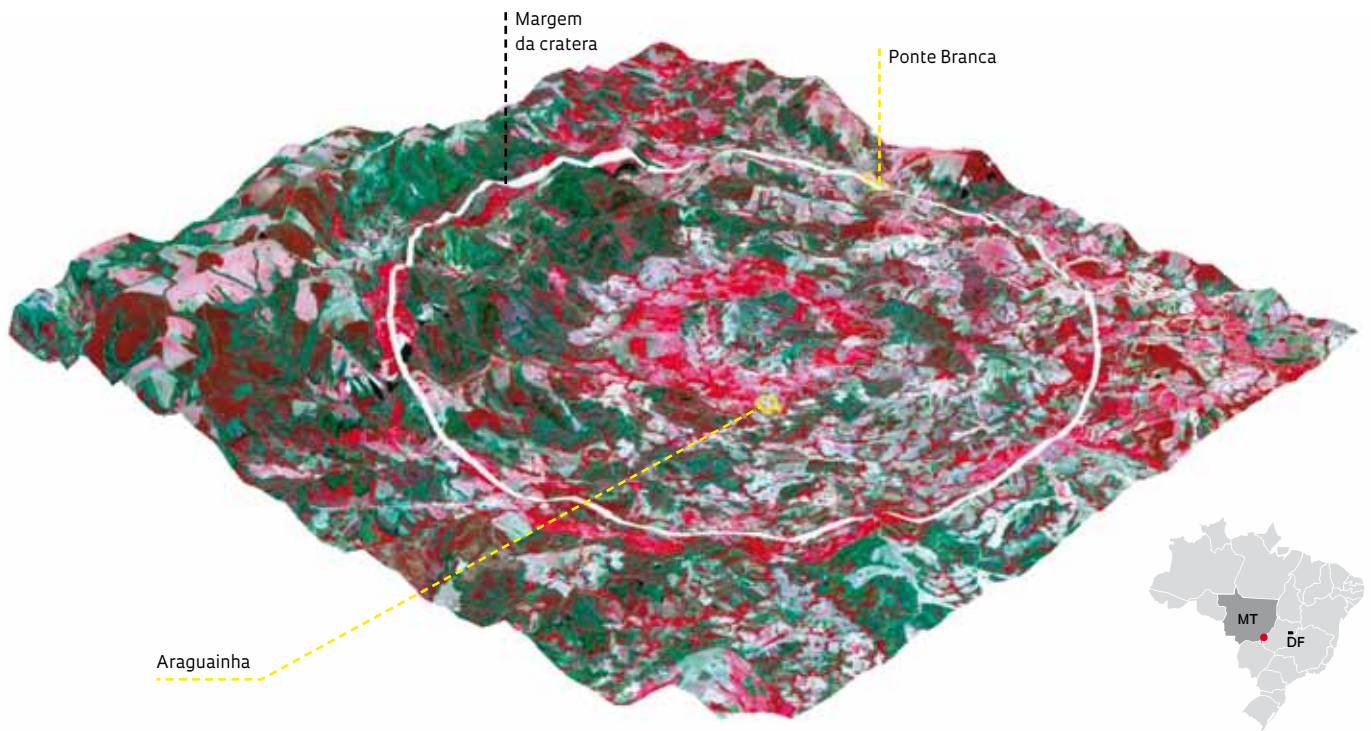
207

No último meio bilhão de anos houve cinco grandes extinções em massa na Terra. A mais recente e também mais famosa ocorreu cerca de 65 milhões de anos atrás, matou 75% de todas as espécies de vida e incluiu entre suas vítimas fatais os dinossauros. Os impactos climáticos causados pela queda de um meteorito que abriu uma cratera de 180 quilômetros perto da costa do que hoje é o México costumam ser apontados como a provável causa dessa mortandade em larga escala, que marca o fim do período Cretáceo. Mas esse não foi o episódio mais traumático para a biodiversidade do planeta.

Há pouco mais de 250 milhões de anos, quando ainda não havia dinossauros ou mamíferos e

todos os continentes atuais estavam unidos no antigo supercontinente Pangeia, 96% das espécies da Terra sucumbiram em razão de um ou vários eventos trágicos e misteriosos. Segundo um estudo recém-publicado por pesquisadores da Austrália, Reino Unido e Brasil na revista científica *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, a maior extinção conhecida, que sinaliza o término do período Permiano, pode ter sido desencadeada pelos efeitos indiretos decorrentes da abertura de uma cratera de 40 quilômetros de diâmetro no território hoje dividido pelas cidades de Araguainha e Ponte Branca, no sudeste do Mato Grosso, perto da divisa com Goiás.

A colisão em si do meteorito de aproximadamente 4 quilômetros de diâmetro que criou essa



enorme cicatriz no relevo do Brasil Central, conhecida como domo ou cratera de Araguainha, não tinha potencial para acabar com a vida numa escala global. A energia produzida pelo impacto da rocha celeste com a superfície terrestre deve ter destruído imediatamente tudo que estava a até 250 quilômetros ao seu redor. “A queda do meteorito em Araguainha não tinha capacidade para provocar uma extinção global em massa”, afirma o geólogo Eric Tohver, da University of Western Australia, primeiro autor do trabalho, no qual colabora com uma equipe da Universidade de São Paulo (USP). “Mas seus efeitos indiretos sim.”

TERREMOTOS E TSUNAMIS

Uma sucessão de eventos decorrentes do impacto pode ter provocado em questão de dias um rápido e fatal aquecimento global. A natureza e a abrangência da área de ocorrência de certos depósitos sedimentares parecem indicar que eles foram originados por tsunamis. Outras evidências geológicas sugerem que podem ter ocorrido muitos terremotos com magnitude de até 9,9 graus na escala Richter num raio de mil quilômetros em torno da cratera. Os intensos tremores de terra teriam fraturado as rochas ricas em carbono orgânico da Formação Irati, da qual faz parte a região de Araguainha, e liberado uma quantidade desconunal de um gás de efeito estufa, o metano.

De acordo com os cálculos dos pesquisadores, em questão de dias podem ter sido liberadas na atmosfera 1.600 gigatoneladas de metano, quase cinco vezes mais do que o despejado no planeta desde o início da Revolução Industrial, há 250

anos. Essa ideia se apoia numa descoberta recente feita pelos pesquisadores. As rochas da região apresentam uma assinatura isotópica estranha: são empobrecidas em carbono 12 e ricas em carbono 13. A explicação para essa anomalia é que elas liberaram uma grande quantidade de metano, que tem carbono em sua composição, para a atmosfera.

Se o ar foi repentinamente tomado por esse gás, o aquecimento global em Pangeia – que já tinha como marca registrada um clima de extremos, em especial em suas áreas áridas mais centrais, onde as temperaturas ultrapassavam os 60°C – teria sido tão brusco que poucas formas de vida conseguiram se adaptar às novas condições ambientais. “Em geral, a grande extinção do fim do Permiano costuma ser atribuída a alterações decorrentes de vulcanismos e da liberação de lava”, diz o geólogo Ricardo Trindade, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP, outro autor do estudo, parcialmente financiado pela FAPESP. “Mas nossa hipótese indica que a cratera de Araguainha pode ter tido um papel importante, ainda que indireto, nesse processo.”

Num primeiro momento, a possibilidade de um meteorito ter sido o agente detonador de uma mudança climática global que levou ao maior processo de extinção de vida na Terra faz lembrar a saga do fim dos dinossauros. Então, a mesma história se repetiu nas duas extinções, na do Permiano e na do Cretáceo? Em ambas as situações há semelhanças: rochas caídas do espaço e as respectivas crateras terrestres podem ter ocasionado mudanças climáticas que estariam envolvidas nos dois processos de extinção. Mas nem

tudo teria sido exatamente igual. A dinâmica de cada evento teria sido única.

O meteorito que, há 65 milhões de anos, caiu na península mexicana de Yucatán tinha pelo menos 10 quilômetros de diâmetro e deu origem a uma cratera, a de Chicxulub – quase cinco vezes maior do que a de Araguainha. A energia produzida apenas pelo impacto da rocha celeste foi milhões de vezes maior do que a de uma bomba atômica. Por si só, a queda do meteorito representou uma grave alteração na dinâmica do planeta. A quantidade de poeira produzida pela explosão

causada pelo aquecimento do clima, enquanto a do Cretáceo seria decorrente do esfriamento. “Foi azar o meteorito ter caído numa região rica em carbono orgânico”, afirma Tohver.

A NOVA IDADE DA CRATERA

Até o ano passado, seria impensável sequer associar a grande extinção do Permiano a eventuais alterações decorrentes do surgimento do domo de Araguainha, a maior e mais antiga cratera brasileira confirmadamente aberta pela queda de um meteorito (*ver texto na página 21 sobre as crateras até hoje descobertas no país*). A idade estimada de Araguainha era de 245 milhões de anos, ou seja, os geólogos acreditavam que a cratera teria se formado depois da grande mortandade de espécies. No entanto, uma datação por técnicas mais modernas, feita por Tohver e os brasileiros e publicada na revista *Geochimica et Cosmochimica Acta* de junho de 2012, chegou a uma idade mais precisa para a cicatriz deixada pelo meteorito no Brasil Central: 254,7 milhões de anos, com uma margem de erro de 2,5 milhões de anos para cima ou para baixo. Como a extinção do Permiano ocorreu há 252,2 milhões de anos, a cratera de Araguainha talvez tenha se originado um pouco antes da grande mortandade de espécies. “Não há nenhuma outra cratera no mundo que seja dessa mesma época, da transição do Permiano para o Triássico”, explica o geólogo Cristiano Lana, da Universidade Federal de Ouro Preto (Ufop), outro autor do trabalho.

Maior mortandade da história, a grande extinção do Permiano eliminou 96% das espécies vivas

deve ter bloqueado a chegada dos raios solares sobre a Terra e jogado o planeta num cenário de inverno nuclear, de escuridão e de frio intenso.

O quadro da grande extinção de Pangeia teria algumas peculiaridades, a se levar em conta a nova hipótese formulada por Tohver, Trindade e seus colegas. O impacto direto do meteorito de Araguainha teria tido apenas um efeito destrutivo regional. As consequências sobre o clima global teriam sido causadas pela série de terremotos que fez as rochas da Formação Irati liberarem metano e provocarem o efeito estufa exacerbado. Nesse caso, a grande extinção do Permiano teria sido

Imagem de satélite do domo de Araguainha (à esq.) e vista da área da cratera (abaixo): região rica em depósitos de carbono orgânico





Cones de estilhaçamento em Araguainha (acima): evidências de que meteorito abriu a cratera. À direita, ossos fossilizados: amostra da vida local



210

A nova hipótese sobre o possível papel da cratera brasileira na extinção do Permiano é polêmica e ainda será alvo de novas pesquisas

Procurar as origens de um fenômeno de escala tão grande como o aniquilamento de quase toda a vida sobre a Terra há 250 milhões de anos não é uma tarefa trivial e qualquer hipótese aventada sempre é passível de críticas e polêmicas. O geólogo Alvaro Penteadó Crósta, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), um dos maiores estudiosos de crateras no país, acredita que ainda são necessários mais dados para realmente

associar a extinção do Permiano a efeitos indiretos do surgimento do domo de Araguainha. “Trata-se de uma hipótese interessante. Contudo, não há evidências de que a quantidade de matéria orgânica presente nas rochas da região (Formação Irati) tenha sido suficiente para liberar tamanha quantidade de metano”, diz Crósta. “Além disso, o processo de liberação do metano a partir de ondas sísmicas proposto pelos autores necessitaria ser mais bem estudado, assim como a proposta de que tsunamis de grande magnitude teriam se propagado a distâncias de vários milhares de quilômetros em um ambiente marinho de águas rasas, o que não seria de se esperar.” Segundo o geólogo Claudio Riccomini, do Instituto de Geociências (IGC) da USP, outro autor do trabalho sobre o possível papel de Araguainha na

extinção do Permiano, a Formação Irati apresenta teores de até 20% de carbono orgânico que tornam razoável formular essa hipótese.

Alguns estudiosos sustentam que a extinção não teve uma causa, mas talvez várias, como a queda de meteoritos, a atividade vulcânica e variações no nível do mar. “Para os que defendem

uma multicausalidade para o fenômeno, teria sido justamente a somatória dos efeitos, e não necessariamente a intensidade de cada um, a responsável pela magnitude dessa grande extinção. Nesse caso, porém, a principal dificuldade é demonstrar o sincronismo entre as várias causas e determinar o momento em que foi atingido o limiar que levou à extinção”, diz o paleontólogo Cesar Schultz, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). “Nesse tipo de contexto, qualquer uma das causas poderia ter sido ‘a gota d’água’ que fez o copo transbordar. Mesmo que se possa questionar se a intensidade do impacto de Araguainha teria sido suficiente para, isoladamente, causar a extinção, ele poderia ter sido essa ‘gota d’água.’” Entretanto, Schultz ressalta que a diferença de tempo entre a idade atribuída à queda do meteorito em Araguainha e a grande mortandade de espécies do Permiano está no limite da margem de erro do método utilizado por Tohver e o grupo da USP. Isso ainda é um complicador, diz o paleontólogo, uma vez que os autores propõem uma relação imediata de causa e efeito entre o impacto da rocha extraterrestre e as mudanças climáticas que levaram à extinção. ■

Projeto

Caracterização geofísica e petrofísica da estrutura de impacto de Araguainha (nº 2005/51530-3); Modalidade Linha Regular de Auxílio a Projeto de Pesquisa; Coord. Yára Regina Marangoni/IAG-USP; Investimento R\$ 217.201,69 (FAPESP).

Artigos científicos

TOHVER, E. *et al.* Shaking a methane fizz: Seismicity from the Araguainha impact event and the Permian–Triassic global carbon isotope record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Publicado *on-line* em 18 jun. 2013.

TOHVER, E. *et al.* Geochronological constraints on the age of a Permian–Triassic impact event: U–Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ results for the 40 km Araguainha structure of central Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. v. 86, n. 1, p. 214–27. jun. 2012.

Geobaterias: da interpretação de dados à intervenção no meio físico

CARLOS ALBERTO MENDONÇA | IAG - USP

Modelos geofísicos são utilizados na interpretação de observações de campo para caracterizar o substrato terrestre e entender processos dinâmicos que nele ocorrem. Máquinas ou elementos de máquinas normalmente inspiram tais modelos. Geradores e dínamos fornecem representações que explicam o campo geomagnético; dispositivos mecânicos representam processos que levam à ruptura das rochas e geração de terremotos; circuitos elétricos representam processos de transporte que quantificam o fluxo da água em solos e rochas. Entretanto, o modelo de “geobateria” pode ser considerado um dos mais estranhos. Esse modelo explica a existência de potenciais elétricos de alguns volts, da ordem de uma pilha comum, que se estendem por quilômetros ao redor de corpos minerais com condução eletrônica.

Corpos minerais se estendendo desde níveis mais profundos até a subsuperfície funcionam como baterias. Como muitos minerais condutivos têm interesse econômico (cobre, chumbo, ouro, prata), a Geofísica Aplicada utiliza esse potencial elétrico para encontrar novos alvos de mineração.

Mais intrigante ainda, com o advento das “biogeobaterias”, foi a constatação de que, na ausência de minerais condutivos, diversos microorganismos sintetizam filamentos com condução eletrônica e constroem suas próprias geobaterias. O que ganham com isso? Ao ativar geobaterias para dissolver e precipitar minerais ou consumir poluentes dissolvidos na água, os microorganismos retiram a energia que sustenta seu metabolismo.

Ao ativar geobaterias para dissolver e precipitar minerais ou consumir poluentes dissolvidos na água, os microorganismos retiram a energia que sustenta seu metabolismo.

Como substâncias potencialmente poluentes são consumidas, as biogeobaterias definem processos sustentáveis de recuperação de áreas contaminadas. Onde não “naturalmente instaladas” elas poderiam ser construídas ou estimuladas para atingir o mesmo objetivo. Poderiam ser usadas, por exemplo, para recuperar áreas contaminadas por derrames de petróleo e combustíveis, por plumas de contaminação em aterros sanitários ou por metais pesados dissolvidos na água subterrânea.

Os geofísicos utilizaram historicamente o modelo de geobateria para entender sinais elétricos observados na superfície da Terra. No atual estágio, esse modelo inspira construções de engenharia visando recuperar áreas degradadas. Estudos com geobaterias e protótipos de construção foram desenvolvidos por pesquisadores do Laboratório de Geofísica Aplicada levando ao um depósito de patente que incorpora as ideias aqui discutidas.

DEPÓSITO DE PATENTE:

Dispositivo e método para indução e monitoramento de biodegradação em ambientes contaminados
Guilherme C. Novaes, Carlos A. Mendonça e Sérgio Fachin

Keegan Jones

Ciências Atmos




féricas

**Noroeste da capital
e pico do Jaraguá: poluição
é barrada pela serra
da Cantareira, considerada
de “ar puro”, e ali se acumula**

Estufa que exporta poluição

Mais quente e sem garoa,
São Paulo espalha a fumaça que produz
para cidades distantes até 400 km

CARLOS FIORAVANTI



O clima de São Paulo mudou. Os dias de verão são cada vez mais quentes e os de inverno, mais secos. A temperatura média da maior cidade do Brasil está 1,3°C (grau Celsius) mais alta do que há quatro décadas. E, ao contrário do que se poderia imaginar, os efeitos da urbanização, sobretudo a impermeabilização do solo e o excesso de veículos, não são os principais responsáveis pela mudança: respondem por cerca de 30% nas alterações, enquanto os 70% cabem às forças naturais, principalmente ao aquecimento do Oceano Atlântico nesse período.

216 Além de explicar essas alterações, as pesquisas coordenadas por Pedro Leite da Silva Dias, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), mostram algo pior: a Região Metropolitana de São Paulo – capital e 38 municípios vizinhos – é um centro exportador de poluentes. Cercada ao sul pela serra do Mar, que separa a planície litorânea do planalto – e ao norte pela serra da Cantareira, de cerca de 1.200 metros de altitude, a região ocupa um quadrilátero de 200 por 150 km (quilômetros), onde vivem 17 milhões de pessoas. Seu ar poluído, principalmente no inverno, pode chegar a cidades situadas a até 100 km da capital, ainda que em concentrações menores do que nas imediações das avenidas ou plantas industriais onde é produzido. Silva Dias estima que, conforme a época do ano, de 20% a 30% da poluição de Campinas, Tatuí e Sorocaba, por exemplo, venha de São Paulo.

A poluição tornou-se, portanto, um problema não mais apenas local, mas regional. Má notícia para os próprios paulistanos que, nos finais de semana e férias, vão se refugiar na montanha em busca de ar puro, um dos atrativos de cidades serranas próximas. Modelagens feitas em computador atestam que o ar pode não ser tão puro assim, por causa da poluição trazida sorrateiramente pelos ventos que sopram da capital. Quem vive mais longe nem sempre escapa. Se embalado por ventos mais intensos, o ar poluído da metrópole pode alcançar Bauru, a quase 400 km.

Delineou-se outro problema para os vizinhos de São Paulo: há lugares onde a concentração de ozônio (O₃) perto do solo chega a superar a da capital. Formado pelos poluentes emitidos pelos carros, esse ozônio é prejudicial, ao contrário do que existe numa camada atmosférica elevada, que protege o planeta de radiações danosas. Na alta atmosfera, essa forma de oxigênio fil-

**Túnel Jânio Quadros:
medições valiosas nesse
“laboratório” livre da
radiação solar, que acelera
as reações entre poluentes**

tra os raios ultravioleta do Sol, mas junto do solo pode irritar os olhos e causar rinite, tosse e outros problemas respiratórios. É tóxico também para as plantas.

Em Barueri, Embu e Jundiaí, por exemplo, o teor desse ozônio poluente pode ser até 50% maior que na praça da Sé ou no vale do Anhangabaú – nesses pontos, em pleno centro, a média horária de ozônio, de 60 ppb (partes por bilhão), oscila conforme a época do ano e às vezes excede o limite de segurança, que é de 80 ppb.

Quando se pensa em soluções, surge um complicador. Quem deve assumir a responsabilidade pelos problemas de saúde causados pela poluição: o município que exporta poluentes ou o que os recebe? Nem os especialistas em Direito Ambiental da Europa ou dos Estados Unidos se entendem a respeito.

Na capital, também há surpreendentes pontos de formação de ozônio, como a serra da Cantareira e o pico do Jaraguá. Embora considerados refúgios de ar puro, são regiões altas, e por isso barram a passagem do ar e podem ter as mesmas concentrações de ozônio que áreas densamente urbanizadas, segundo levantamentos do IAG e do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen).

A situação preocupa porque hoje o ozônio é o poluente que mais ultrapassa o limite de segurança, sobretudo nos bairros paulistanos do Ibirapuera e da Mooca, bem como em Cubatão, na Baixada Santista. A formação de ozônio em locais distantes dos pontos de origem dos poluentes é um problema comum aos grandes centros. Silva Dias acredita que haja muito ozônio nos arredores de Brasília e Curitiba, por exemplo, já que o fenômeno costuma ocorrer em cidades com mais de 400 mil habitantes.


O trabalho conjunto de físicos, químicos, meteorologistas e matemáticos mostra por que hoje a Terra da Garoa não passa de uma lembrança. Esse apelido de São Paulo se refere a uma situação que persistiu até os anos 60, quando a chuvinha fina era assídua e se somava ao clima mais frio:

no inverno, os paulistanos não dispensavam casacos grossos, luvas e cachecóis. Hoje praticamente não há garoa, enquanto são mais frequentes as chuvas torrenciais, causadoras de inundações na estação quente.

Os pesquisadores analisam as condições meteorológicas – variação de temperatura e umidade, distribuição de chuvas, frequência de nevoeiros e ventos – que determinam o transporte dos poluentes e concluíram: as forças naturais são decisivas para a transformação da São Paulo da Garoa numa cidade de chuvas torrenciais. “Há uma forte correlação entre as mudanças do clima da capital e as ocorridas no Atlântico Sul, cuja temperatura média anual aumentou 1,4°C em 40 anos”, explica Silva Dias.

Influências marinhas -Embora não se possa garantir que o aquecimento do oceano seja a causa direta do aquecimento da capital, a hipótese é plausível. Medições feitas desde 1933 na estação meteorológica do IAG na Água Funda, junto ao Jardim Zoológico, apontam para uma mudança drástica no regime pluviométrico: aumento das chuvas intensas no verão e diminuição das chuvas leves no inverno. Disso resultou uma mudança no teor de umidade do ar. O ar mais seco que passou a predominar no inverno dificultou a dispersão dos poluentes gerados pelos 6 milhões de automóveis, 400 mil caminhões e ônibus e cerca de 30 mil instalações industriais da Região Metropolitana.

Apoiados ainda em medições de 1999 e 2000, que se somaram a informações colhidas rotineiramente pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), os pesquisadores passaram a entender melhor não só as mudanças climáticas, mas também as origens e os movimentos das massas de ar que se desfazem, estacionam ou mudam de rota ao encontrar as serras e os corredores de prédios. São os ventos originados mais frequentemente no mar que carregam a poluição produzida na cidade, principalmente por veículos, em volumes nada desprezíveis: 1,6 milhão de toneladas de monóxido de carbono, 380 mil toneladas de hidrocarbonetos e 64 mil toneladas de aeros-



Cubatão, ao pé da Serra do Mar: brisa marinha leva ao planalto poluentes dessa cidade industrial

sóis (material particulado) por ano. Além de mostrar que esses poluentes afetam a qualidade de vida na capital e nos municípios vizinhos, o estudo é provavelmente o primeiro a medir a origem e o destino do ar respirado em São Paulo.

A Região Metropolitana produz a maior parte de seus poluentes: de 70 a 80%. O resto vem do interior ou de outros Estados: entre fins de outubro e começo de novembro, cerca de 10% da poluição da metrópole é resíduo de queimadas, principalmente de cana, feitas a até 300 km de distância, nas regiões de Piracicaba ou Ribeirão Preto. Mesmo as cinzas de queimadas no sul da Amazônia podem chegar à maior cidade do Brasil, dependendo da direção e da intensidade dos ventos – a movimentação diária dos ventos pode ser acompanhada na página www.master.iag.usp.br, construída com os resultados da pesquisa.

A análise do movimento e da qualidade do ar baseou-se numa metrópole ampliada em raio de 100 km – inclui parte da Baixada Santista (Santos e Cubatão), do Vale do Paraíba (até São José dos Campos) e de áreas mais planas, como Sorocaba e Campinas. Foi essa visão abrangente que permitiu conhecer os pontos e os processos de formação de ozônio.

Já se sabia que há menos ozônio no centro ou em Congonhas, porque os próprios poluentes dessas áreas – sobretudo óxidos de nitrogênio – o consomem. É pela falta desses poluentes que pode haver mais ozônio no parque do Ibirapuera do que na vizinha avenida 23 de Maio.

Levados pelas massas de ar, os poluentes emitidos pelos carros – formadores do ozônio – saem da capital e participam de reações promovidas pela luz solar, que demoram de duas a três horas para se completar – tempo suficiente para que cheguem a municípios vizinhos ou estacionem nas encostas das serras. A situação se agrava em novembro, quando há muitos dias ensolarados e sem nuvens.

O detalhamento do processo foi um trabalho duro. A vice-coordenadora Maria de Fátima Andrade, do IAG, estudou a formação e interação de poluentes. Com os valores

do inventário de emissões, estudou a formação de ozônio a partir de óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e radicais livres (fragmentos de moléculas formadas a partir de oxigênio). O programa de previsão de formação de ozônio que ela usou tem cerca de 200 reações com 90 poluentes.

Tampa de panela - Ficou clara a importância da brisa marinha – corrente de ar de baixa intensidade que nasce no oceano, como resultado da diferença de temperatura entre o mar e o continente. É essa brisa, ao circular a 500 metros da superfície, que ameniza a temperatura da capital e intensifica a dispersão de poluentes, sobretudo quando associada aos ventos de Sudeste, correntes mais intensas, também originadas no mar. O efeito refrescante desses ventos marinhos, descobriram os pesquisadores, pode chegar até São Carlos ou Pirassununga, a 230 km da capital. “São Paulo tem sorte de estar perto do mar”, diz o coordenador. “O clima seria pior, do ponto de vista do impacto sobre a saúde pública, sem a brisa.” Dias quentes e abafados são dias em que a brisa marinha não atinge a cidade.

A equipe fez também um perfil tridimensional das massas de ar na Região Metropolitana: é a camada-limite planetária, região baixa da atmosfera onde os poluentes reagem entre si. Descrita num artigo publicado em abril de 2001 em *Atmospheric Environment*, essa região ocupa de 50 a 100 km ao redor do centro de São Paulo. Sua altura depende da força dos ventos que abriga, mas durante o dia chega a 1.500



metros do solo. À noite, o limite cai para 400 metros ou menos e, como o volume ocupado pelo ar urbano diminui, a concentração de poluentes aumenta.

O ar piora com um fenômeno típico do inverno paulistano: inversão térmica. Na chegada de uma frente fria, a temperatura sobe com a altura, ao contrário do habitual: normalmente a temperatura cai 1°C a cada 100 metros de altitude. Em 1999 e 2000 houve observações por meio do Sodar – *Sounding Detection and Ranging* ou sondador acústico, aparelho que emite sinais sonoros como um radar de submarino e traça o perfil da variação térmica a até 1.500 metros do solo. Apurou-se que, sob forte inversão térmica, a camada-limite pode cair para 200 metros. Ela funciona como uma tampa de panela e, quanto mais baixa, mais concentração de poluentes. “Para os moradores da cidade, é a pior situação”, diz Fátima.

O Sodar evidenciou também dois fenômenos que afetam a qualidade do ar. Um deles é o dos “jatos noturnos”, ventos verticais intensos que resultam de mecanismos atmosféricos de maior escala, como as frentes frias – massas de ar vindas do sul do continente. Os jatos quebram a estabilidade da camada-limite noturna e podem trazer para baixo poluentes como o ozônio, aumentando sua concentração perto da superfície. Além disso, a mistura do ar provocada pelos jatos também pode contribuir para a diminuição da concentração de poluentes produzidos na superfície, como a poeira.

A situação pode melhorar com o segundo fenômeno, o das ondas de gravidade. Mais intensas à noite, assemelham-se às ondas de água que batem numa barreira: ao subir a Cantareira, o ar origina oscilações, análogas às ondas de água, o que contribui para reduzir a poluição.

“Esta foi a primeira vez que se estu-

dou o perfil tridimensional da poluição na Região Metropolitana”, comenta Paulo Artaxo, pesquisador do Instituto de Física da USP que participou do trabalho. Para chegar onde chegaram, os especialistas soltaram balões parecidos com os de festas de aniversário, que sinalizam a direção e a intensidade dos ventos. Valeram-se também de um avião Bandeirante do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Em quatro vôos, nos invernos de 1999 e 2000, coletaram amostras de ar das cidades de São Paulo, Sorocaba, São José dos Campos, Campinas e Cubatão, voando a 200 metros do solo, abaixo do tráfego aéreo.

Variação brusca - Os pesquisadores analisaram a concentração dos gases poluentes ozônio, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e dióxido de enxofre. A concentração de material particulado foi analisada por uma técnica que analisa os raios X gerados por uma amostra num acelerador de partículas. Foram analisados tanto o material fino, de menos de 2 micra (1 micron é a milésima parte do milímetro), que entra na corrente sanguínea e atinge os alvéolos pulmonares, quanto o grosso, acima de 2 micra, que causa rinite, tosse e resfriado.

Primeira conclusão: a concentração de poluentes pode variar bruscamente num local. Em medição do dia 13 de agosto de 1999 no aeroporto Campo de Marte, havia 9.000 partículas por centímetro cúbico (cm³) a 1.000 metros de altitude. A 1.500 metros, o teor de material particulado caía para 2.000 por cm³. A diferença também varia muito com a distribuição geográfica: “Das áreas litorâneas para o centro da cidade, a concentração de material particulado subiu 20 vezes”, diz Artaxo. E as fontes desses poluentes variam no ano. Num estudo feito no inverno, a distribuição de material particulado fino foi esta: veículos, 28%; poeira do solo, 25%; sulfatos de fontes industriais,

O PROJETO

Meteorologia e Poluição Atmosférica em São Paulo

MODALIDADE
Projeto temático

COORDENADOR
PEDRO LEITE DA SILVA DIAS – Instituto Astronômico e Geofísico – USP

INVESTIMENTO
R\$ 1.411.210,01

Beleza enganadora: as cores do pôr-do-sol na metrópole se devem ao excesso de poluição

23%; e queima de óleos industriais, 18%. Já no verão, a participação dos carros cai para 24% e se destacam a poeira do solo (30%) e a queima de óleo residual (21%).

Ficou claro que a emissão de poluentes se casa com as condições meteorológicas para determinar a qualidade do ar. O problema é que uma lógica ainda misteriosa rege essa combinação. “Se reduzíssemos a emissão de poluentes pela metade, pode ser que a poluição não caísse pela metade”, diz Artaxo. “Em algumas condições meteorológicas, poderia cair muito pouco.”

Estudos mais refinados do Instituto de Física indicaram que o material particulado afeta o comportamento das camadas mais baixas da atmosfera. Já se descobriu que a poeira, sobretudo a mais fina, absorve e reflete luz, além de aquecer o ar ao redor – o ar poluído a 1 km do solo é mais quente que o ar puro na mesma altitude. As partículas também diminuem a visibilidade e dificultam a dispersão de poluentes – e oferecem o pôr-do-sol avermelhado típico da capital. Já se conhece a composição dessa poeira da cidade: há partículas de pelo menos 13 elementos, como enxofre, cloro, titânio, ferro, níquel, zinco, bromo e chumbo. No particulado fino, predomina o enxofre e no grosso elementos vindos do solo, como silício, cálcio e ferro. Nessa sopa aérea também circulam esporos de fungos e bactérias.

Só não se sabe de onde vem mais material particulado, se dos carros ou das indústrias. Por isso, Fátima e a equipe do Instituto de Química da USP coordenada por Lílian Carvalho viveram dois dias desconfortáveis fazendo medições e coletas em dois túneis da cidade: o Jânio Quadros, por onde só passam veículos leves, e o Maria Maluf, que também recebe caminhões. São laboratórios onde se misturam poluentes que ainda não reagiram entre si – entre outras razões, porque ali não há radiação solar. Nos próximos meses, à medida que o grupo concluir as análises, conhecerá melhor a contribuição dos veículos.

O aprofundamento da pesquisa evidencia mais as soluções. Estudos semelhantes em Santiago do Chile permitiram reduzir pela metade a concentração de poluentes, cuja dispersão é barrada pela cordilheira. Segundo Artaxo, foi simples: depois de se descobrir que a poeira era o maior poluente, concluiu-se ser mais viável investir em caminhões que varrem as ruas toda noite do que controlar a emissão de poluentes por indústrias e veículos. “Poluição do ar tem solução”, diz Artaxo. “Basta criar um plano de controle bem embasado cientificamente, com metas claras e multas para quem não cumpri-las.”

Soluções à mão - Para ele, não se trata de criar, mas de implantar medidas já anunciadas: mais investimento no transporte urbano coletivo, controle anual de emissões veiculares e substituição dos ônibus a diesel por equivalentes a gás. “Se essas medidas houvessem sido aplicadas há dez anos, a poluição hoje seria de 30 a 50% menor.” Há mudanças em andamento. Já funciona no pico do Jaraguá uma estação móvel da Cetesb que mede o teor de material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e ozônio a 300 metros do solo. Há outras 23 estações fixas e duas móveis na Região Metropolitana e seis fora: Cubatão (duas), Campinas, Paulínia, Sorocaba e São José dos Campos.

Atentos ao futuro, pesquisadores da USP buscam o estudo da poluição por imagens de satélites com resolução de 1 a 5 km. O satélite Terra, lançado no ano passado pela Nasa, a agência espacial dos Estados Unidos, mostra ser possível detectar ao menos o teor de partículas na faixa da luz visível e de monóxido de carbono no infravermelho. Em dez anos, quando a Região Metropolitana fundir-se com Campinas e São José dos Campos, como se prevê, talvez seja difícil administrar centenas de sensores para saber como está o ar do dia. De imediato, o estudo ensina a ter uma idéia da qualidade do ar só com uma olhada no céu. Se há nuvens, é bom sinal, pois elas funcionam como aspiradores: sugam o ar poluído das camadas baixas da atmosfera e o expõem para o alto.

A satellite image of the Amazon rainforest, showing a dense green canopy. Large, billowing plumes of white and grey smoke rise from several points across the forest, partially obscuring the green below. The smoke is most prominent in the upper left and center-right areas of the image.

Incêndios no Mato Grosso: fumaça cria sombra sobre a floresta

Jacques Desloîtres, MODIS Land Rapid Response Team, NASA/GSFC

222

Sombras sobre a floresta

Nuvens de fumaça das queimadas bloqueiam 20% da luz solar, diminuem as chuvas e esfriam a Amazônia

MARCOS PIVETTA | EDIÇÃO 86 • ABRIL DE 2003

Quase todo mundo já viu esta cena, ao vivo ou na televisão: nuvens de fumaça tingem de cinza o céu da Amazônia no auge da estação das queimadas, entre agosto e outubro, a época mais seca do ano na região. Nesse período, por falta de visibilidade, microscópicas partículas decorrentes da combustão da vegetação, chamadas de aerossóis, turvam de forma tão marcante o firmamento que aeroportos de capitais como Rio Branco e Porto Velho fecham constantemente para pousos e decolagens. Num dia especialmente opaco, um falso, lento — e lindo — pôr-do-sol pode começar ao meio-dia e se arrastar por horas. Tudo por causa da sombra de aerossóis que paira sobre partes significativas da Amazônia quando o homem usa uma das formas mais primitivas e poluidoras de limpar e preparar a terra para o cultivo, o fogo. A escuridão fora de hora, como se sobre a floresta houvesse um guarda-sol gigante fabricado pelo homem, pode ser o efeito mais visível de uma atmosfera saturada de finíssimas partículas suspensas, mas nem de longe é o único.

Só agora a ciência começa a ter elementos para ver que as queimadas, principal fonte de aerossóis durante a estiagem na região Norte, perturbam o clima e a vegetação de formas ainda mais sutis e perversas. Ao desencadear uma cascata de eventos físico-químicos poucos quilômetros acima da

floresta, a espantosa concentração de aerossóis na Amazônia no auge da estação do fogo — com picos de 30 mil partículas por centímetro cúbico de ar, uma taxa cerca de 100 vezes maior do que a verificada na poluída cidade de São Paulo em pleno inverno — altera o ambiente imediatamente abaixo da nuvem de fumaça: reduz em média um quinto da luz solar que incide sobre o solo, tem potencial para esfriar a superfície em até 2° Celsius e diminuir de 15% a 30% as chuvas na região. A redução da radiação solar na superfície, provocada pelo excesso de partículas em suspensão, pode ainda puxar para baixo a taxa de fotossíntese das árvores. “Como as partículas, às vezes, viajam milhares de quilômetros na atmosfera antes de caírem no chão, os efeitos dos aerossóis podem se mani-

Como as partículas, às vezes, viajam milhares de quilômetros na atmosfera antes de caírem no chão, os efeitos dos aerossóis podem se manifestar em pontos distantes de onde ocorrem as queimadas

festar em pontos distantes de onde ocorrem as queimadas”, afirma Paulo Artaxo, do Instituto de Física da Universidade São Paulo (IF/USP), um dos pesquisadores que participam do Experimento de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA). “Partículas provenientes da Amazônia já foram encontradas nos Andes e em São Paulo.”

Isso não quer dizer que, em razão do resfriamento e da estiagem associados à ação dos aerossóis, a venda de malhas tenha disparado ou que os guarda-chuvas tenham caído em desuso em setores da Amazônia entre agosto e outubro. Tampouco há evidências inequívocas de que as árvores sofram uma baixa na fotossíntese nesse período do ano. Por ora, com exceção da mensurável queda na luminosidade que incide sobre a superfície na época das queimadas, as demais consequências atribuídas ao manto de poeira suspensa sobre a floresta ainda carregam um considerável grau de incerteza.

Aparecem mais na teoria, nos cálculos e modelos climáticos rodados em computadores, do que na realidade do dia-a-dia. Mas não se pode esquecer que os modelos são, em grande medida, o laboratório dos cientistas do clima, que, de outra forma, não teriam como estudar o impacto de alguns fenômenos da natureza. A boa notícia é que a quantidade de informações que começa a surgir sobre o clima da Amazônia com o LBA — megaprojeto internacional de US\$ 80 milhões que, desde 1999, reúne mais de 300 pesquisadores da América Latina, Europa e Estados Unidos, sob a liderança do Brasil — não tem paralelo e já está ajudando a entender o efeito dos aerossóis nesse ecossistema. “Agora, temos informações riquíssimas que nunca foram disponíveis”, diz a pesquisadora Maria Assunção Faus da Silva Dias, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, que também participa do LBA.

Ação dos aerossóis

Quando se fala em queimadas na Amazônia, o primeiro vilão ambiental que vem à mente é o dióxido de carbono (CO₂), o popular gás carbônico, um dos subprodutos da combustão da vegetação. Principal composto associado ao aumento do efeito estufa, fenômeno responsável por provocar um aquecimento no clima de todo o planeta que pode alterar drasticamente as condições de vida na Terra, o dióxido de carbono é um tema recorrente. Já os aerossóis, cujo diâmetro varia de 0,01 a 20 micrômetros (1 micrômetro é a milionésima parte do metro), são um tema mais novo e menos compreendido. Nem por isso, menos importante. “Esse campo de estudo ainda está em franco desenvolvimento”, comenta Carlos Nobre, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), de São José dos Campos, coordenador científico do LBA. “O impacto dos aerossóis é mais difícil de entender.”

A hipótese de os aerossóis serem um fator amenizador das temperaturas não é inédita, tampouco é usada somente no contexto amazônico. Quando entrou em erupção em 1991, o vulcão filipino Pinatubo expeliu enormes quantidades de lava e cinzas e levou a uma redução significativa na temperatura média da maior parte do planeta durante um ano. Nesse contexto, um apressadinho poderia concluir que o homem deveria aumentar deliberadamente as taxas de produção de aerossóis para combater o aquecimento global causado pelo aumento do efeito estufa. Além de ninguém saber

com certeza se essa solução seria realmente eficaz, há uma insanidade embutida nesse raciocínio: os aerossóis são uma forma de poluição do ar e não faz sentido combater o aquecimento global com mais sujeira. “Eles fazem mal à saúde humana e carregam elementos tóxicos que afetam os ecossistemas”, lembra Artaxo.

Tudo o que produz fumaça em grande quantidade pode originar aerossóis. Essas partículas podem ser emitidas pelas atividades industriais, erupções de vulcões, motores de carros, grãos de pólen, bactérias, poeira do solo, entre outras fontes. Na região Norte, durante a estiagem, o que provoca um aumento brutal nas concentrações de aerossóis são as cinzas das queimadas. Por terem vida curta, de cerca de uma semana na atmosfera, os aerossóis produzem efeitos mais em nível local ou regional. Não são como o dióxido de carbono, gás que demora mais de 100 anos para sumir da atmosfera e tem uma ação muito mais cumulativa e de ordem global no clima da Terra. Mas, como todo ano, durante pelo menos três meses, as partículas lançadas ao ar pelas queimadas se incorporam ao ecossistema amazônico com uma intensidade impressionante, suas repercussões não devem ser tão temporárias assim na região Norte do país.

Bloqueador solar

Com a ajuda de imagens de satélites, instrumentos instalados em pontos da floresta que registram ininterruptamente a temperatura, a radiação solar e o fluxo de gases, e medições feitas com auxílio de aviões, sobretudo durante as duas grandes campanhas realizadas pelo megaprojeto (uma na estação mais úmida, entre janeiro e fevereiro de 1999, e outra na época de transição entre a seca e o início das chuvas, de agosto a novembro do ano passado), a ação dos aerossóis sobre o clima da Amazônia saltou à vista dos pesquisadores do LBA. Há muitas incertezas sobre o impacto das partículas em suspensão, mas uma coisa é certa: elas realmente são muito eficientes em bloquear a luz durante as queimadas na Amazônia, uma vez que o manto de fumaça pode se estender por uma área de 2 a 4 milhões de quilômetros quadrados, algo entre 40% e 80% do território total desse ecossistema.

É verdade que para enxergar isso nem é necessário ser cientista, basta olhar para o céu num dia enfumaçado. Mas os pesquisadores acabam de quantificar esse decréscimo de radiação solar na superfície com grande riqueza de detalhes. Cálculos feitos em dois pontos da região Norte — em Alta Floresta, no norte de Mato Grosso, e em Ji-Paraná, em Rondônia — mostram que, em média, de agosto a outubro, 20% da radiação solar é absorvida pelos aerossóis ou refletida e enviada de volta ao espaço. Em casos extremos, ocorrem picos em que a retenção ou a reflexão dos raios de sol podem chegar a 50%. Mesmo a luz que consegue atravessar a espessa camada de fumaça chega à superfície em grande parte alterada: a quantidade de radiação direta cai frequentemente a um terço do normal e a de radiação difusa (que não incide frontalmente sobre os olhos) pode aumentar até sete vezes. Para chegar a esses resultados, a pesquisadora Aline Sarmiento Procópio, da equipe de Paulo Artaxo, do Instituto de Física da USP, analisou dados referentes a quatro anos de observações em Ji-Paraná e Alta Floresta. “É interessante destacar que, mesmo separadas por aproximadamente 700 quilômetros, essas duas cidades apresentam padrões semelhantes de alterações no fluxo de radiação solar causadas pelos aerossóis. Isso indica que o problema é de ordem regional e afeta grande parte da Amazônia”, comenta Aline.

Resfriamento

Se a poeira suspensa funciona como uma espécie de guarda-sol opaco sobre a floresta, impedindo a chegada de uma parte considerável de luz à superfície, nada mais natural do que pensar que essas partículas exerçam um efeito resfriador ao nível do solo durante o período de seca. Pode parecer uma ironia afirmar que um subproduto da combustão vegetal — processo que, num primeiro momento, logicamente aquece o local onde ocorre a queimada — possa ocasionar, num segundo instante, uma queda na temperatura.

Mas, pelas contas dos pesquisadores, a concentração de partículas provenientes das queimadas

tem, teoricamente, a capacidade de diminuir a temperatura na superfície imediatamente abaixo da nuvem de fumaça em torno dos 2° C (Celsius). Numa região como a Amazônia, onde se atingem facilmente médias diárias de 35° C, essa redução na temperatura pode parecer modesta. Mas esses valores são, ao contrário, extremamente altos, ainda mais quando se sabe que alterações significativas no clima do mundo podem ser provocadas por oscilações da ordem de apenas meio grau Celsius.

Há, no entanto, alguns senões nessa história de encarar as partículas em suspensão como um ar-condicionado instalado sobre a Amazônia. Esse conceito é válido para os prováveis efeitos dos aerossóis ao nível do solo — mas não alguns quilômetros acima da floresta, onde se encontram essas partículas de poluição. Se resfriam a superfície terrestre ao barrar a passagem de parte da luz solar que incidiria sobre o planeta, os aerossóis produzem justamente o efeito contrário na troposfera, a camada atmosférica que se estende até aproximadamente 15 quilômetros acima da superfície terrestre.

Uma porção da radiação solar bloqueada é absorvida pelos próprios aerossóis, que se encarregam de elevar a temperatura da atmosfera pela emissão de radiação térmica.

Se resfriam a superfície terrestre ao barrar a passagem de parte da luz solar que incidiria sobre o planeta, os aerossóis produzem justamente o efeito contrário na troposfera

Nesse caso, o ar aquecido transmite algum calor para o que está embaixo, para o solo, como uma lareira esquentando uma pessoa não muito distante. “Por convecção, uma parte do calor extra na atmosfera passa para a superfície, diminuindo assim a ação resfriadora dos aerossóis sobre o solo”, diz Carlos Nobre, do Inpe. Nesse caso, em vez de reduzir em 2° C a temperatura na superfície, os aerossóis, na prática, acabariam baixando em apenas 0,5° C a temperatura no chão, segundo Nobre. Isso porque a queda de temperatura produzida pelos aerossóis na superfície é de uma magnitude um pouco maior do que o aquecimento ocasionado na troposfera.

Deu para entender? Quer mais complexidade nesse quadro? A escassez de séries históricas sobre o clima na região Norte dificulta qualquer comparação de mais longo prazo sobre o impacto atual dos aerossóis nas temperaturas. Ninguém, por exemplo, sabe qual era a temperatura média em Alta Floresta durante os meses de estiagem na década de 60, antes do início dos projetos de colonização na Amazônia. Portanto, fica difícil confrontar os dados do passado, que não existem, com os de hoje. Aliás, há 40 anos, a cidade não havia sequer sido fundada e seu atual território não passava de um pedaço intocado de selva. Mais um complicador? Como a presença de aerossóis não é nem de longe o único fator que determina a temperatura real medida num lugar, a ação de resfriamento das cinzas pode não ser tão intensa assim. Outras variantes climáticas podem amenizar ou mesmo contrabalançar o seu efeito. Em anos em que, por exemplo, ocorre o fenômeno climático El Niño, que altera os índices pluviométricos em vários pontos do globo, costuma chover menos no norte da Amazônia. “Por todos esses condicionantes, ainda não vemos de maneira clara a ação dos aerossóis sobre a temperatura na superfície da Amazônia”, afirma Artaxo, que coordena um projeto temático da FAPESP no âmbito do LBA.

Chuvvas atrasadas

Resta a questão das chuvas. Qual o impacto dos aerossóis nos índices pluviométricos da Amazônia? Ninguém sabe dizer com certeza, mas, de maneira geral, há evidências de que as chuvas podem ser atrasadas ou reduzidas em até 30% em decorrência da presença elevada de aerossóis na atmosfera. Num raciocínio lógico, os pesquisadores acreditam que se as altas concentrações de aerossóis diminuem as temperaturas na superfície, a taxa de formação de nuvens na região também se reduz. Como há menos calor no nível do solo, formam-se menos correntes ascendentes de ar quente, as chamadas térmicas. Visto que são exatamente essas bolhas de calor as responsáveis por transportar o vapor d'água da superfície terrestre para os céus — como se sabe, o ar quente sobe —, a quanti-

dade disponível de matéria-prima para a ocorrência de chuvas na atmosfera também se torna menor.

O excesso de aerossóis pode ainda influenciar a formação de nuvens na Amazônia por meio de outro mecanismo. Cerca de dois terços das partículas de fumaça em suspensão na atmosfera são capazes de reter água e exercer o papel de núcleos de condensação de nuvens (NCN). O vapor d'água se acumula sobre esses núcleos e forma gotas de nuvens que crescem até o ponto em que as gotas se tornam muito grandes e pesadas e despençam na forma de chuva. Quando há poucas partículas de aerossóis na atmosfera da Amazônia, fora da época das queimadas, a água evaporada se concentra em poucos NCNs, que atingem mais rapidamente o tamanho necessário para voltar ao solo como chuva. É um mecanismo muito eficiente de precipitação.

Às vezes, em apenas uma hora a gota, apoiada num núcleo de condensação, cresce de tamanho 1 milhão de vezes e cai na superfície. Nesse caso, as nuvens, típicas de ambiente com ar limpo, são do tipo marítimo pela sua baixa altitude, reduzido número de NCN e grande tamanho de gota. Alcançam até 5 quilômetros de altura e produzem chuva constante e regular. Esse é o padrão dominante de formação natural de nuvens na Amazônia durante a maior parte do ano, quando o número de núcleos de condensação na atmosfera oscila entre 300 e 800 partículas por centímetro cúbico. No auge das queimadas, os céus ficam tão carregados de aerossóis que os picos de concentração de NCN podem atingir 30 mil partículas por centímetro cúbico. Esse alto grau de poluição muda todo o cenário de

formação de nuvens e chuva na Amazônia. “Quando há excesso de aerossóis, o vapor d'água se espalha por mais núcleos de condensa-

Quando há excesso de aerossóis, o vapor d'água se espalha por mais núcleos de condensação e demora mais para virar chuva

ção e demora mais para virar chuva”, explica Maria Assunção, do IAG-USP, coordenadora de outro projeto temático da FAPESP no âmbito do LBA. Nessa situação, as nuvens são do tipo continental, comumente encontradas em locais poluídos, e podem atingir até 15 quilômetros de altura. O crescimento das gotas é tão lento que, em alguns casos, a água, em vez de cair na forma de chuva, evapora novamente na atmosfera e é levada pelas correntes de vento para outras regiões. Ocorre, então, um deslocamento geográfico da pluviosidade: a chuva que deveria cair numa área desloca-se para outra.

Tempestades

Se a água das nuvens continentais não evaporar e essa formação passar dos 5 quilômetros de altura, ela se solidifica e vira gelo, visto que nessa porção da atmosfera a temperatura é inferior a 0° C. Resultado: surge um cúmulo-nimbos, a nuvem de tempestade, que produz raios e trovões. Nesse caso, a chuva demora mais para ocorrer, mas, quando acontece, é muito mais violenta e se concentra num só período. “Durante a campanha do LBA no ano passado em Rondônia, esperávamos que as chuvas comessem em meados de outubro, mas elas só vieram em novembro”, relembra Maria Assunção. “Não dá para assegurar que esse atraso se deveu aos aerossóis lançados à atmosfera pelas queimadas, embora suspeitemos disso.”

Como se vê, as altas taxas de aerossóis, como as verificadas ao menos três meses ao ano na Amazônia, podem bagunçar três grandes variantes do clima: os níveis de radiação solar, a temperatura na superfície (e na atmosfera) e o regime de chuvas. Se o impacto dessas alterações na dinâmica do próprio clima ainda não é bem conhecido, o que dizer então de suas conseqüências no ecossistema em si, na floresta e seus habitantes? Num primeiro momento, a incidência de menos luz sobre a mata aguça a hipótese de que a fotossíntese das plantas deve diminuir nesse ambiente mais embaçado criado pela fumaça das queimadas. Mas a fisiologia vegetal não responde de forma tão simples e direta. “Pode até ser que o efeito dos aerossóis seja maior na ecologia do que na física da atmosfera, mas ainda precisamos fazer estudos nessa linha”, comenta Carlos Nobre, do Inpe. O desarranjo no clima da Amazônia provocado pela emissão de aerossóis também interessa diretamente

às outras regiões brasileiras e aos demais países. Se ficar comprovado que as altas concentrações de fumaça diminuam as chuvas na região Norte, o tema entra na ordem do dia da agenda internacional. Isso porque a floresta amazônica — a rainforest, em inglês — é, depois dos oceanos, a maior fonte de vapor d'água do planeta.

Se muda a chuva na Amazônia, provavelmente altera a chuva em outras partes do globo. Num estudo publicado em outubro passado no *Journal of Geophysical Research*, pesquisadores da Universidade de Duke, nos Estados Unidos, simularam em computador efeitos climáticos em alguns pontos do planeta que poderiam ser decorrentes do desmatamento da Amazônia. No trabalho, observaram reduções significativas nos índices de chuva e evaporação, sobretudo durante a estação mais úmida, em pontos da terra tão distantes como os estados norte-americanos de Dakota do Sul e Dakota do Norte, unidades federativas próximas à fronteira com o Canadá.

OS PROJETOS

Interações Físicas e Químicas entre a Biosfera e a Atmosfera da Amazônia no Experimento LBA

MODALIDADE

Projeto temático

COORDENADOR

Paulo Eduardo Artaxo Netto — IF/USP

INVESTIMENTO

R\$ 1.814.179,30

Interações entre Radiação, Nuvens e Clima na Amazônia na Transição entre as Estações Seca e Chuvosa/LBA

MODALIDADE

Projeto temático

COORDENADORA

Maria Assunção Faus da Silva Dias — IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 1.538.922,32

Os senhores da chuva

Gás descoberto na atmosfera da Amazônia intensifica a precipitação, enquanto as queimadas a reduzem

CARLOS FIORAVANTI | EDIÇÃO 97 · MARÇO DE 2004

Em dois artigos científicos publicados em edições sucessivas da revista *Science*, pesquisadores brasileiros, europeus, australianos e israelenses explicam fenômenos sobre o clima da Amazônia que intrigavam há muitos anos. O primeiro estudo, que saiu no dia 20 de fevereiro, mostra por que chove tanto na maior floresta tropical do mundo, que cobre pouco mais da metade do território brasileiro. Por meio de uma cadeia de reações químicas só agora identificada, um gás liberado em abundância pelas plantas, o isopreno, converte-se em outro, recém-descoberto na atmosfera, que se revelou um dos compostos-chave nos processos de formação das nuvens de chuva. O segundo trabalho, da sexta-feira seguinte, dia 27, revela por que o excesso de partículas inibe as chuvas na época de queimadas, entre agosto e novembro. As partículas resultantes da queima da floresta saturam o ar e levam à formação de nuvens mais altas que as formadas nos outros meses do ano, com gotas d'água bem menores, que, em vez de caírem na forma de chuva, permanecem em suspensão na atmosfera até evaporarem.

Para chover, não basta apenas a elevada concentração de umidade, que na atmosfera da Amazônia supera 90%, em contraste com regiões mais secas, como o Centro-Oeste, onde às vezes o vapor d'água disperso no ar não passa de 10% nos momentos mais críticos. Outro ingrediente indispensável são as partículas em suspensão no ar conhecidas como aerossóis, que atuam como núcleos de condensação de nuvens (NCN): atraem e condensam moléculas de água, crescendo até se tornarem pesadas o suficiente para caírem em forma de chuva. Mas havia um problema. Sempre que os pesquisadores do Experimento de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) – megaprojeto internacional de US\$ 80 milhões que reúne mais de 300 especialistas da América Latina, da Europa e dos Estados Unidos – quantificavam os núcleos de condensação, obtinham valores baixos, insuficientes para explicar por que a Amazônia é um dos lugares em que mais chove no mundo. A pluviosidade da floresta varia de 2.500 milímetros por ano por metro quadrado em Manaus a 5 mil milímetros em São Gabriel Cachoeira, também no Estado do Amazonas. Para se ter uma ideia desse volume de água, na cidade de São Paulo caem de 1.500 a 1.800 milímetros de chuva por ano.

As respostas começaram a aparecer com as análises das medições atmosféricas feitas em 1998 em uma das torres do LBA, a 70 quilômetros ao norte de Manaus. Foi quando os pesquisadores descobriram as transformações por que passa o isopreno, um gás já conhecido, produzido pelas plantas. Molécula simples, com cinco átomos de carbono e oito de hidrogênio, o isopreno sofre um conjunto de reações químicas sob a ação da luz solar – perde um átomo de hidrogênio e ganha quatro de oxigênio – e se converte em uma das duas formas estruturais de uma mesma substância, o 2-metil-treitol, até então desconhecida como composto atmosférico. Essa nova substância é agora vista como um dos principais formadores dos núcleos de condensação de nuvens por duas razões. Primeiro, por ser um álcool e, portanto, capaz de atrair moléculas de água. Segundo, por causa da quantidade em que é produzida. Embora apenas 0,6% do isopreno se converta nessa substância, não é pouco em termos absolutos. Estima-se que a Amazônia produza por ano cerca de 2 milhões de toneladas de 2-metil-treitol, o que torna esse novo composto um dos aerossóis de origem orgânica mais comuns produzidos pelas florestas tropicais no mundo.

“Ninguém imaginava que o isopreno, por ter uma massa molecular baixa, pudesse funcionar como precursor de um composto que, agora sabemos, é um dos componentes importantes dos núcleos de condensação de nuvens na Amazônia”, comenta Paulo Artaxo, pesquisador do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP), que participou dos dois artigos da *Science*. Havia outra



Queimadas: nuvens com gotículas d'água que evaporam em vez de cair na forma de chuva

razão pela qual não se apostava nesse composto químico, produzido por todas as plantas em quantidades que variam de acordo com cada espécie, e também industrialmente, como matéria-prima de alguns tipos de plástico. Até os pesquisadores conseguirem demonstrar as transformações do isopreno e sua importância sobre o ecossistema amazônico, acreditava-se que a tarefa de formar nuvens coubesse apenas a um composto orgânico comum nas florestas temperadas da Europa: o terpeno, uma molécula mais encorpada.

As florestas tropicais, mais quentes, úmidas e ensolaradas que as temperadas, funcionam de modo diferente, já que as populações de plantas são distintas. Segundo o físico da USP, em Balbina, a região do Amazonas em que as medidas foram feitas, de 40% a 60% das nuvens de chuva devem se formar a partir de uma forma ou de outra do 2-metiltreitol, enquanto o terpeno apresenta uma participação modesta, próxima a 20%. Nas matas de clima mais frio, o terpeno responde por algo em torno de 30% dos compostos orgânicos voláteis. Por fim, cerca de 10% das gotículas de nuvens nascem a partir de partículas orgânicas emitidas diretamente pela vegetação, como pólen, bactérias e fungos, igualmente capazes de atrair as moléculas de água.

Medindo gotas

Coordenado por Magda Claeys, esse primeiro estudo da edição da *Science*, que saiu na véspera do Carnaval, dia 20, alerta para as alterações climáticas causadas pela perda da floresta tropical, em decorrência de processos naturais ou da ação humana. Quanto menor a área de floresta, menor será a quantidade de vapor d'água e de isoprenos liberados pelas plantas. Portanto, haverá menos núcleos de condensação de nuvens e possivelmente menos chuva. Mas a pluviosidade começa a diminuir já numa etapa anterior, como efeito das queimadas, que antecedem a formação de pastos e lavouras. “Descobrimos uma interação muito forte entre a fumaça das queimadas e as nuvens que está interferindo no ciclo hidrológico”, comenta Maria Assunção Silva-Dias, pesquisadora do Instituto de Astrofísica, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP, diretora do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), e uma das autoras do segundo artigo da *Science*.

Quando a floresta arde em chamas para dar espaço a pastos ou plantações, o céu muda de modo radical. Em feixes de fumaça, ganham o ar até 30 mil partículas por centímetro cúbico – uma concentração pelo menos mil vezes maior que em condições normais e cerca de cem vezes maior

Descobrimos uma interação muito forte entre a fumaça das queimadas e as nuvens que está interferindo no ciclo hidrológico

do que a verificada na cidade de São Paulo nos dias mais poluídos do inverno. Os pesquisadores do LBA, desta vez sob a coordenação

de Meinrat Andrea e, do Instituto Max Planck de Química, da Alemanha, demonstraram que a quantidade maior ou menor de partículas no ar faz toda a diferença no processo de formação das nuvens e das chuvas. Um número reduzido de aerossóis, como acontece em condições naturais, sem a interferência humana, induz à formação de grandes gotas de chuva, com um diâmetro que varia de 30 a 50 micrômetros (1 micrômetro é a milésima parte do milímetro), que se aglomeram em nuvens baixas, com o topo distante de 3 a 5 quilômetros do solo, e caem em poucas horas. Por outro lado, o excesso de partículas liberadas quando a floresta queima produz gotas d'água menores, de 10 a 20 micrômetros de diâmetro, que formam nuvens mais altas, de até 16 quilômetros de altura, e, por serem mais leves, evaporam em vez de ganharem peso e caírem na forma de chuva.

Os pesquisadores estabeleceram essas diferenças, já delineadas em termos mais gerais por meio de sensoriamento remoto, visitando as próprias nuvens, em cerca de 20 vôos em dois aviões Bandeirante, um paralelo ao outro, entre setembro e outubro de 2000. Em um deles estavam Andrea e Artaxo, coletando informações sobre as partículas que formam as nuvens. O outro avião, com pelo menos um pesquisador da Universidade Estadual do Ceará (Uece) – ora ia Alexandre Costa, ora João Carlos Parente de Oliveira – e, sempre, Daniel Rosenfeld, especialista da Universidade de Jerusalém, Israel, mergulhava nas nuvens com o propósito de analisar as gotas d'água que se formavam ali dentro. Do solo, Maria Assunção acompanhava as duas equipes, informando-as sobre o comportamento do clima.

Os vôos começavam em Ji-Paraná, em Rondônia, seguiam rumo a Porto Velho, no mesmo estado, passavam por Rio Branco e Cruzeiro do Sul, no Acre, e terminavam em Tabatinga, no Amazonas. À medida que seguiam de uma região de queimadas frequentes para outras em que são mais raras, até aterrissarem em um ponto em que a floresta se mantém razoavelmente preservada, tornavam-se nítidas as diferenças na estrutura das nuvens. Em Ji-Paraná, predominavam as gotas pequenas e as nuvens altas, ao passo que em direção a Tabatinga as gotas grandes e as nuvens baixas é que se tornavam mais comuns.

Menos chuva no Sul

As medidas tomadas reiteram a estimativa de que as partículas resultantes das queimadas reduzem a quantidade de chuvas em até 30%, mas, segundo Assunção, ainda é preciso trabalhar um pouco mais para chegar a um valor mais exato: os aviões percorreram apenas as nuvens de chuva menores, evitando as maiores, que costumam incomodar os pilotos. “É possível que esse mesmo mecanismo possa também atrasar as chuvas, mas ainda não está demonstrado”, diz ela. De todo modo, os contrastes já são nítidos: “Em Tabatinga chove todo dia, enquanto em Ji-Paraná chove menos do que choveria se não houvesse as emissões de queimadas”, observa Artaxo. Já se sabia que as queimadas, por cobrirem o céu de fumaça, reduzem a temperatura da superfície em pelo menos 0,5° Celsius e a luminosidade em até 50% (veja Pesquisa FAPESP 86).

Os dados obtidos fortalecem a hipótese de que as queimadas na Amazônia possam ter um efeito muito mais abrangente e inibir as chuvas também em outras regiões da América do Sul, especialmente no Sul e Sudeste do Brasil, a pelo menos 2 mil quilômetros de onde são produzidas, já que as nuvens de fumaça são carregadas pelas correntes de ar nessa direção – outra parte vence as montanhas dos Andes e chega ao oceano Pacífico. A equipe do LBA já encontrou nos Andes e em

São Paulo partículas de queimadas da Amazônia, mas ainda falta provar que elas chegam também a outras regiões e conseguem espantar a chuva.

OS PROJETOS

Interações Físicas e Químicas entre a Biosfera e a Atmosfera da Amazônia no Experimento LBA

MODALIDADE

Projeto temático

COORDENADOR

Paulo Eduardo Artaxo Netto – IF/USP

INVESTIMENTO

R\$ 1.814.179,30 (FAPESP)

Mudanças de Uso da Terra na Amazônia: Implicações Climáticas e na Ciclagem de Carbono

MODALIDADE

Instituto do Milênio do Experimento LBA

COORDENADOR

Paulo Eduardo Artaxo Netto – IF/USP

INVESTIMENTO

R\$ 4.200.000,00 (MCT)

Interações entre Radiação, Nuvens e Clima na Amazônia na Transição entre as Estações Seca e Chuvosa/LBA

MODALIDADE

Projeto Temático

COORDENADORA

Maria Assunção Faus da Silva-Dias – IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 1.538.922,32 (FAPESP)

As faces da Amazônia

Florestas de terra firme e trechos alagados se comportam de modo diferente

ALESSANDRA PEREIRA | EDIÇÃO 101 · JULHO DE 2004

Alguns trechos da Floresta Amazônica funcionam de modo inverso do que se pensava: a Floresta Nacional do Tapajós, no Pará, por exemplo, libera mais dióxido de carbono (CO_2) do que consome, de acordo com estudos recentes realizados no Experimento de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia (LBA), projeto multinacional que aos poucos elucida o funcionamento climático e bioquímico da floresta que cobre pouco mais da metade do território brasileiro. Mais conhecido como gás carbônico, o CO_2 , produzido pela respiração dos seres vivos e pela queima de combustíveis fósseis como o petróleo, é o principal gás que regula a temperatura da atmosfera terrestre.

Outra descoberta da equipe do LBA: uma área correspondente a um quinto da Amazônia – as florestas alagadas, sujeitas à inundação durante o período das chuvas – emite uma quantidade elevada de metano (CH_4), outro gás associado ao aquecimento da Terra, o efeito estufa.

Um dos 27 estudos sobre o LBA publicados em maio, numa edição especial da revista *Global Change Biology*, mostra que o volume de metano liberado para a atmosfera por essas áreas situadas perto de rios e igarapés (riachos), na parte baixa da Bacia Amazônica, é até oito vezes maior do que se pensava. Análises feitas pela equipe coordenada por John Melack, da Universidade da Califórnia, Estados Unidos, indicam que as florestas inundadas próximas a Manaus, no Amazonas, liberam também uma quantidade de CO_2 equivalente a 40% à que é absorvida em terra firme.

“Não imaginávamos valores tão altos de emissões de metano e de CO_2 nessas áreas alagadas”, comenta Paulo Artaxo, do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP), um dos coordenadores do LBA, projeto orçado em US\$ 80 milhões que reúne cerca de mil pesquisadores da América Latina, dos Estados Unidos e da Europa. Mas essa emissão de metano, mesmo em uma quantidade tão elevada, não contribui para agravar o aquecimento global, porque, no balanço geral, a Amazônia está em equilíbrio, de acordo com cálculos recentes.

Ou seja, a quantidade de gases associados ao efeito estufa emitidos pela floresta, por queimadas, pelo solo e por partes alagadas, é praticamente o mesmo que a absorvida pelo ecossistema como um todo, segundo cálculos publicados por Artaxo e Eric Davidson, do Centro de Pesquisas Woods Hole, nos Estados Unidos. Em termos práticos, a Amazônia não é nem a grande fonte de oxigênio do planeta, nem a grande poluidora.

Interações

Os achados sobre a emissão de metano constituem apenas uma amostra dos 700 estudos que serão apresentados na 3ª Conferência Científica do LBA, a ser realizada em Brasília de 27 a 29 deste mês – é a primeira vez que tantas novidades sobre a Amazônia serão divulgadas simultaneamente. O conhecimento acumulado desde o início do projeto, em 1998, permite agora aos especialistas ter uma idéia mais precisa de como a vegetação interage com a atmosfera e ajuda a dimensionar o impacto da presença do homem na floresta: estima-se que 24 milhões de pessoas vivam na Amazônia, que se

estende pelo Brasil, Bolívia, Peru, Equador, Colômbia e Venezuela.

O funcionamento da Floresta Amazônica, que de maneira geral parece ho-

A Amazônia não é uma floresta uniforme, do ponto de vista da paisagem e do comportamento químico e físico, mas um mosaico de paisagens distintas, que, no conjunto, formam um desenho único

mogêneo, revela-se muito complexo em um olhar detalhado, a ponto de variar bastante de uma região para outra. A Amazônia não é uma floresta uniforme, do ponto de vista da paisagem e do

comportamento químico e físico, mas um mosaico de paisagens distintas, que, no conjunto, formam um desenho único.

De acordo com os trabalhos a serem apresentados em Brasília, as florestas de terra firme, que ocupam cerca de 80% da área total da Amazônia, e as florestas alagadas se desenvolvem em épocas distintas. Na estação chuvosa, entre novembro e abril, as árvores das florestas de terra firme absorvem mais carbono e crescem mais intensamente.

O fato novo é que ocorre o inverso nas áreas inundadas, que crescem mais durante a seca, segundo Humberto Rocha, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP. Provavelmente esse fenômeno está associado ao excesso de água que limita a fotossíntese, processo pelo qual as plantas sob a luz solar transformam o carbono absorvido da atmosfera em longas moléculas de açúcar (celulose), o principal componente da madeira.

O projeto LBA derrubou outro conceito antigo sobre a Amazônia: a floresta sofre por falta de nutrientes. Pensava-se que somente a falta do fósforo limitava o crescimento das árvores. De fato, o fósforo é o principal nutriente nas matas intocadas ou primárias. Mas um estudo realizado nas matas do Pará mostrou que em áreas degradadas é a deficiência de outro nutriente, o nitrogênio, elemento químico abundante na floresta, que limita o crescimento da vegetação.

“As sucessivas queimadas diminuem a quantidade de nitrogênio, que se transforma em gás com o calor do fogo”, comenta um dos organizadores da conferência do LBA, Michael Keller, pesquisador do Instituto Internacional de Estudos das Florestas Tropicais, ligado ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

“O nitrogênio literalmente vai embora com a fumaça”, diz ele. Essa descoberta tem uma aplicação: para recuperar as áreas degradadas pela agricultura ou pecuária, possivelmente será preciso adicionar ao solo fertilizantes à base de nitrogênio, em quantidades elevadas. Somente na porção brasileira da Floresta Amazônica, 25 mil quilômetros quadrados são desmatados por ano.

Curiosamente, em outra evidência de como os trechos da Floresta Amazônica se comportam de modo diferente, a velocidade do crescimento da mata varia ao longo de sua extensão leste-oeste, desde o Pará até a Colômbia. De acordo com um estudo do grupo de Yadvinder Malhi, da Universidade de Oxford, na Inglaterra, a floresta tende a crescer e a morrer três vezes mais rapidamente na porção oeste – abrangendo os estados de Rondônia e Amazonas e trechos da Bolívia, do Peru, da Colômbia e da Venezuela – do que na parte leste. Como explicar? Uma das hipóteses é que as taxas mais altas de crescimento se devem à fertilidade do solo nas áreas próximas à Cordilheira dos Andes, aparentemente maior do que nos solos do leste.

Uso da terra

Se a falta de nitrogênio no solo gera problemas para as plantas da floresta, o excesso desse elemento na atmosfera também provoca mudanças negativas, como se pode observar em fazendas de gado em Rondônia. Uma equipe formada por pesquisadores brasileiros e norte-americanos coletou águas das chuvas em Balbina, no Amazonas, uma das áreas em que a floresta está mais preservada, e também em Rondônia, onde a vegetação já sofreu sucessivas queimadas para dar lugar às pastagens.

A análise das amostras de água de chuva dessas duas regiões mostrou resultados muito distintos. Enquanto a chuva em Balbina contém uma pequena quantidade de nitrogênio – 2,9 quilos por hectare –, encontrado na forma de nitrato, nutriente essencial para o crescimento das plantas, em Rondônia a chuva traz em média 5,7 quilos de nitrogênio por hectare.

Segundo Luciene Lara, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da USP, a quantidade de nitrogênio em Rondônia é similar à de áreas desenvolvidas do Estado de São Paulo. Vêm daí alguns problemas: gerados a partir do nitrogênio, os nitratos tornam o solo mais ácido, diminuindo a produtividade das plantas e aumentando a proliferação de algas em rios e lagos.

Ainda não há como mensurar o impacto do acúmulo de nitrogênio nas florestas brasileiras, pois os danos ao ecossistema só aparecem em 20 ou 30 anos.

Mas é possível, sim, ter uma idéia do tamanho do potencial estrago. Durante a década de 1960 a destruição de florestas na Suécia e na Alemanha foi causada por quantidades elevadas de nitratos e sulfatos. “Na Europa é mais simples medir o impacto na vegetação, pois existem pouquíssimas espécies de vegetais nas florestas”, afirma Paulo Artaxo. “Na Amazônia, a enorme biodiversidade dificulta os estudos de impactos na vegetação.”

Um dos maiores desafios da Amazônia e outro tema a ser debatido na conferência do LBA é como conciliar preservação da natureza com as necessidades das populações que vivem na floresta. O governo federal anunciou que pretende asfaltar a BR-163, rodovia que liga Cuiabá, no Mato Grosso, a Santarém, no Pará, para escoar a produção agrícola e pecuária, mas cientistas e membros de organizações não-governamentais temem o desflorestamento da Amazônia Central, que costuma acompanhar a construção de estradas.

O receio é justificado: cerca de 14% da Floresta Amazônica já foi devastada e 10% dessa área, equivalente ao Estado de São Paulo, está abandonada porque o solo se tornou pobre em nutrientes ou com erosão acentuada ou ainda porque os pequenos agricultores não tinham mais recursos para investir no plantio.

Britaldo Soares, pesquisador da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e integrante do LBA, acredita que seja possível reduzir pela metade o desmatamento ao longo da estrada se antes de sua construção for adotada uma nova estratégia de ocupação, incluindo incentivos fiscais para preservação, organização das redes de produtores rurais, medidas regulatórias de ocupação e uma rígida e efetiva fiscalização.

Outra participante do projeto, a geógrafa Bertha Becker, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), também trabalha nessa área. “Podemos estabelecer um novo modelo de povoamento, criar unidades de conservação e capacitar a população local para o manejo florestal com certificação da madeira”, comenta ela. “É necessário criar na Amazônia oportunidades de crescimento econômico com compromisso social e ambiental.”

Por dentro das nuvens

Novo sistema hidrometeorológico vai fazer previsões de chuva com três horas de antecedência

MARCOS DE OLIVEIRA | EDIÇÃO 108 - FEVEREIRO DE 2005

No próximo verão, se tudo correr bem, os moradores da Região Metropolitana de São Paulo, que engloba 39 municípios, terão à disposição um serviço de informações sobre chuvas que poderá evitar muitos prejuízos e até salvar vidas. Tempestades como aquelas que alagaram, no início de janeiro, ruas em São Paulo, São Caetano do Sul e São Bernardo do Campo, onde deslizamentos mataram nove pessoas, poderão ter a previsão antecipada com a implantação de um novo sistema meteorológico que irá identificar e analisar a formação e a movimentação de nuvens na região. A idéia é prever os perigos das fortes chuvas e emitir alertas de curtíssimo prazo (com até três horas de antecedência) para a Defesa Civil, órgãos governamentais e também para toda a população pelos meios de comunicação.

O projeto faz parte de um amplo programa de ciência e inovação tecnológica financiado pela FAPESP, numa parceria com o Conselho de Hidrometeorologia da Secretaria de Ciência e Tecnologia do estado, que começa a ser implantado e leva o nome de Sistema Integrado de Hidrometeorologia do Estado de São Paulo (Sihep).

A idéia é prever os perigos das fortes chuvas e emitir alertas de curtíssimo prazo para a Defesa Civil, órgãos governamentais e também para toda a população

A primeira fase do programa foi implementada em dezembro de 2004 e é composta por quatro projetos aprovados por uma equipe de especialistas de fora do país. Com um custo de R\$ 4 milhões, essa etapa é dedicada à implantação de uma rede de equipamentos que inclui a instalação de estações meteorológicas de superfície e a construção de um radar móvel, seguido da modernização de dois outros já existentes nas cidades de Bauru e Presidente Prudente, que servem, principalmente, à agricultura na previsão de chuvas. Com novos sensores e novos softwares, eles serão de importância fundamental para as previsões de tempo que identificam e quantificam a chuva nas nuvens.

Além da prestação de serviços à sociedade, o Sihep vai proporcionar um avanço no conhecimento científico da meteorologia do Estado de São Paulo e incentivar o desenvolvimento tecnológico do país nessa área. “O programa é paradigmático por conjugar atividade de pesquisa científica de grande atualidade, permitir a geração de informação de relevância socioeconômica e, com estratégias de financiamento, contribuir para a inovação tecnológica em instrumentos de precisão”, diz José Fernando Perez, diretor científico da FAPESP.

“Com os radares e a rede de estações meteorológicas, que estão sendo implantados, vamos ampliar nossa capacidade de observação e diagnóstico dos processos físicos e dinâmicos da formação de nuvens e de tempestades, além de prover dados de melhor qualidade que serão inseridos nos modelos numéricos para a previsão do tempo, do clima e dos modelos hidrológicos (análise da quantidade de água da chuva que vai para o solo e para os rios)”, explica Oswaldo Massambani, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo e coordenador do Sihep.

Uma ferramenta inédita para os pesquisadores é a aquisição de um novo radar, que vai atuar em conjunto com o existente na barragem de Ponte Nova, no município de Biritiba Mirim (região leste da Grande São Paulo) e será instalado em um caminhão, permitindo maior mobilidade na detecção de chuvas, inclusive no litoral. Ele será produzido por uma pequena empresa paulistana, a Atmos, única brasileira que apresentou propostas com outras quatro estrangeiras. Embora promettessem critérios de preço (até 30% mais baratos) e mais rapidez na entrega, as empresas estrangeiras ficaram de fora porque a FAPESP, em acordo com os pesquisadores, resolveu inves-

tir na capacitação brasileira de fabricação de radares meteorológicos. “Usamos o nosso poder de compra para estimular o desenvolvimento tecnológico nessa área no país”, diz Perez. “Mostramos que critérios como rapidez e preço, nesse caso, não são os únicos e nem os mais adequados quando se pretende ter um impacto tecnológico na capacitação de empresas brasileiras.” No acordo entre a empresa, a FAPESP e os pesquisadores responsáveis pelos radares do IAG e do Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMet) da Universidade Estadual Paulista (Unesp) de São Paulo ficou estabelecido que a Atmos, para atender às especificações formuladas pelos pesquisadores ainda não dominadas pela empresa, vai importar alguns pacotes tecnológicos para deixar os equipamentos prontos para o verão de 2006.

A tecnologia do novo radar se baseia na banda X, uma frequência eletromagnética que funciona em 9,5 gigahertz, enquanto a chamada banda S, usada nos radares do IPMet (Bauru e Presidente Prudente) e de Ponte Nova, mantido pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), opera na frequência de 2,8 gigahertz. A diferença é que o banda S tem um raio de mais de 200 quilômetros (km) e o banda X, de até 100 km. “Mas o X, além de ser Doppler (procedimento eletrônico que mede a velocidade de deslocamento do eco – reflexão das ondas eletromagnéticas – oriundo das nuvens em relação ao radar), terá capacidade de detectar as nuvens com maior resolução e precisão”, diz o engenheiro Fábio Haruo Fukuda, responsável pelos projetos da Atmos. “Vamos fazer os projetos dos conjuntos eletrônicos e mecânicos do radar e importar o software e alguns módulos eletrônicos, mas toda a engenharia de integração será realizada em São Paulo”. A empresa também cuidará do projeto do pedestal de controle da antena do radar, que possui movimento de rotação e de azimute (ângulo de direção em relação ao solo). Todos os equipamentos serão instalados num caminhão que será adquirido no projeto e adaptado para o funcionamento do radar. “Teríamos condições de desenvolver aqui a maioria dos módulos que iremos comprar lá fora, mas isso implicaria um maior prazo de entrega, o que não é viável neste projeto”, diz o engenheiro Paulo Eduardo Martins, da Atmos.

Fundada em julho de 2004, a Atmos é uma empresa formada na incubadora de inovação da Fundação Aplicações de Tecnologias Críticas, que possui o nome comercial de Atech, uma organização de direito privado e sem fins lucrativos criada em 1997 para integrar o Sistema de Vigilância da Amazônia (Sivam), implementado pela Aeronáutica, o principal cliente da empresa. A Atech, que elabora e presta assessoria em sistemas de tráfego aéreo, processamento de imagens de radares e de satélites para as Forças Armadas e para empresas, fechou em outubro de 2004 um contrato de US\$ 1 milhão com o governo da Venezuela para prestar consultoria e participar do processo de transferência e absorção de tecnologia do Programa Modernização do Sistema de Prognóstico Hidrometeorológico daquele país. A Atmos foi montada também com a participação da Omnisys, empresa também criada em 1997 para desenvolver sistemas de aplicações aeronáuticas, navais, meteorológicas e de telecomunicações.

Para solidificar o conhecimento em radares, a Atech, e depois a Atmos, desenvolveu um radar meteorológico banda S que está instalado no município de Mogi das Cruzes. “Com a experiência que adquirimos no projeto Sivam, nós projetamos todo o equipamento em banda S, inclusive o software de controle do radar, e o instalamos em Mogi. Agora estamos na fase de testes, utilizando um software meteorológico alemão”, conta Fukuda. “No futuro, pretendemos também desenvolver esse tipo de software, que é a única parte do equipamento produzida fora do país.”

Ele vai permitir analisar o momento da formação do sistema (nuvens) e verificar se ele é candidato a tempestades

No lado científico, o meteorologista Augusto José Pereira Filho, do IAG, que coordena o projeto de desenvolvimento do novo

radar, diz que o banda X como está no projeto aprovado atende às reivindicações técnicas dos pesquisadores. “Ele vai permitir analisar o momento da formação do sistema (nuvens) e verificar se ele é candidato a tempestades”, diz Pereira Filho, que estuda a previsão de enchentes desde 1986. Há qua-

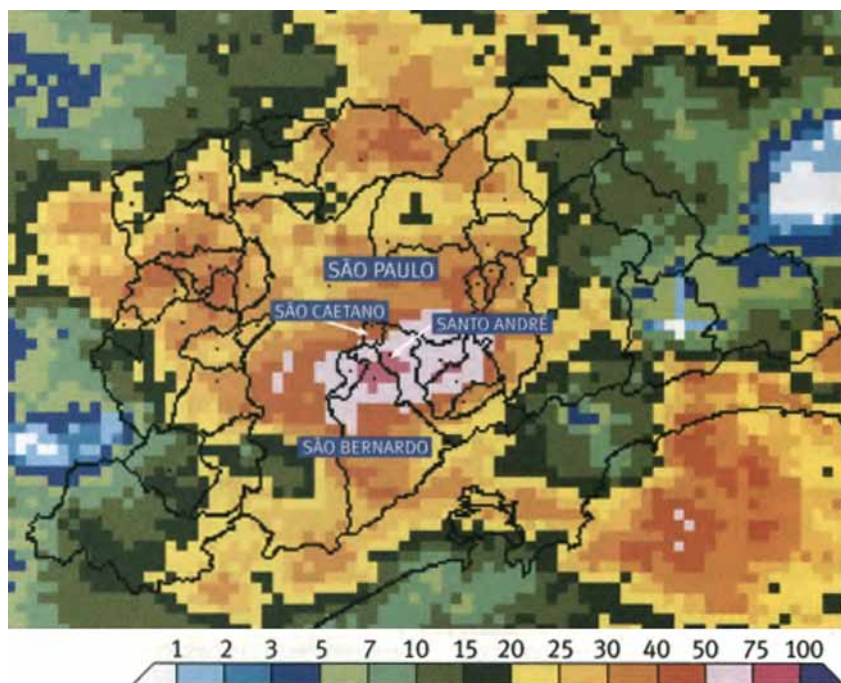
tro anos ele analisa os dados coletados pelo radar de Ponte Nova e as enchentes. “Pela imprensa comparo as conseqüências das chuvas que vejo no radar. Nesse período, incluindo as do início de janeiro deste ano em São Bernardo, as vítimas já passam de 30 pessoas mortas, sendo a maior parte crianças.”

“Em 70% dos casos, as fortes chuvas, que atingem até mais de 100 milímetros (mm) de água em apenas três horas, acontecem devido a formações locais com ar de circulação gerado por superaquecimento da região metropolitana”, diz Pereira Filho. “Como nessa grande área existe muito concreto e asfalto, no verão acontece um aquecimento que se transforma em ar quente que sobe em direção à atmosfera. Quando essa bolha de ar se encontra com a brisa que vem do litoral ocorre uma mistura de ar quente com ar frio e mais umidade. Em geral, os ventos mudam de noroeste para sudeste e fazem o ar subir (além de 12 quilômetros é possível encontrar temperaturas de -60°C), se expandir e resfriar, tendo como conseqüência a transformação do vapor de água e a formação de gotas e de granizo.” Tudo isso acontece de forma muito rápida. Da formação das nuvens até o final da tempestade, podem-se passar apenas três horas. “O grande objetivo do radar de banda X será detectar a formação da chuva ainda em desenvolvimento no estágio de nuvens. Ele vai funcionar como um complemento do radar de Ponte Nova, que detecta a chuva quando ela já está caindo.”

Visão do litoral

No verão, o radar móvel poderá ser posicionado para monitorar as nuvens no topo da serra do Mar (que separa o planalto onde está a cidade de São Paulo e a região da Baixada Santista). Assim os pesquisadores montarão um sistema de previsão imediata de no máximo três horas com resolução da ordem de 200 metros no solo. “Não dá para evitar a tempestade, mas é possível antecipar a formação do sistema e onde ele vai ser mais forte. Com isso poderemos alertar a Defesa Civil e entidades governamentais e não-governamentais, para que retirem as pessoas de encostas antes dos deslizamentos, por exemplo, e até fechar túneis e avenidas, ou seja, tirar as pessoas do caminho da chuva.” A comunicação entre o radar móvel, IAG e Ponte Nova será feita por rádio ou telefonia celular. O trabalho de Augusto e mais 13 pesquisadores inclui também o acompanhamento da vazão dos rios que circundam a região metropolitana e fazem parte da bacia do alto Tietê. “Vamos analisar a quantidade de chuva que escoar pelo rio e o quanto fica na bacia. Em alguns casos, já tivemos medições que mostraram a vazão do rio Tietê subir de 100 metros cúbicos por segundo (m/s) de água para 600 m/s em menos de três horas, situação que também contribui para as enchentes.”

Para processar todas as informações envolvidas nas previsões de chuvas e outros prognósticos, os pesquisadores vão contar também com uma rede de estações meteorológicas de superfície. Serão adquiridas inicialmente dez novas estações automatizadas (medem e enviam as informações via



Em 11 de janeiro deste ano, tempestade sobre o ABC paulista, detectada pelo radar meteorológico de Ponte Nova, provoca enchentes em São Caetano. Na imagem, as cores indicam o total de chuvas. Em rosa escuro, elas são mais fortes.

telefone, celular e internet) na região metropolitana que vão medir temperatura, ventos, umidade relativa e quantidade de chuva. “Elas vão estar interligadas a uma rede já existente de 80 estações espalhadas pelo estado mantidas pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento do estado e adquiridas pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (Fehidro)”, diz Orivaldo Brunini, pesquisador do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), que coordena a rede das estações meteorológicas de superfície no Sihesp. “Essas 80 também vão ser modernizadas”, avisa Brunini. Para ele, a implantação do Sihesp é de extrema importância não só para evitar enchentes mas também para a agricultura. “A previsão do tempo e os sistemas de alerta podem ajudar o agricultor na escolha da hora certa para a colheita, plantio e, principalmente, no manejo de agroquímicos, porque é possível evitar uma pulverização, por exemplo, antes de uma chuva. Se chover, depois da pulverização, perde-se o serviço.”

Os benefícios para a agricultura também são previstos por Lourival Mônaco, secretário executivo de Ciência e Tecnologia do governo paulista. Para ele, se a eficiência do Sihesp ficar em 40%, os agricultores do estado poderão economizar US\$ 160 milhões por ano com a pulverização de herbicidas e inseticidas. Na cana-de-açúcar, se 40% dos plantadores utilizarem a previsão do tempo para pulverizar e 30% tiverem êxito, a economia será de US\$ 42 milhões. “Além disso, a previsão do tempo permite um melhor desenvolvimento das políticas agrícolas”, diz Mônaco.

A agricultura também será beneficiada com a modernização dos radares de Bauru e Presidente Prudente a ser feita pela Atmos. “Na primeira fase serão modernizados o sistema de recepção e o processamento do sinal”, diz Fukuda, da Atmos. Nesse caso, os equipamentos e o software virão dos Estados Unidos. A empresa brasileira vai gerenciar as modificações e realizar a adaptação dos circuitos do radar para a instalação dos novos equipamentos. Depois ela ficará encarregada da manutenção. “Com hardware e software novos teremos mais parâmetros e esperamos fazer previsões mais rápidas”, diz Gerhard Held, coordenador do projeto dentro do Sihesp. A modernização dos radares vai beneficiar também o monitoramento e um sistema de alerta a enchentes na área urbana de Bauru, por exemplo, além da identificação de outros eventos atmosféricos severos como tornados, vendavais e tempestades de granizo.

Esse projeto tem o objetivo de fazer simulações climáticas usando novos modelos matemáticos para a previsão e para os estudos de variabilidade climática do estado

coordenação de Tércio Ambrizzi, do IAG. Será a formação de uma rede de computadores que vai hospedar um modelo climático para o estado. Para isso, o projeto está montando uma rede com 16 computadores que trabalharão em paralelo para gerar cerca de 140 bilhões de informações por segundo. “Esse projeto tem o objetivo de fazer simulações climáticas usando novos modelos matemáticos para a previsão e para os estudos de variabilidade climática do estado. Nosso interesse é fornecer informações para uma melhor previsão climática sazonal nesta região”, explica Massambani. Para ele, os dados obtidos em tempo real pelas redes de plataformas observacionais e os produtos de previsão de curtíssimo prazo, de curto prazo e climáticas, são de fundamental importância na diminuição dos impactos de eventos extremos no Estado de São Paulo, como tempestades severas, inundações, ventos intensos, secas severas e geadas.

Tanto as informações dos radares como das estações meteorológicas vão interagir com o quarto e último projeto aprovado no Sihesp nessa fase, sob a

O PROJETO

Implantação de plataformas observacionais (4 projetos)

MODALIDADE

Sistema Integrado de Hidrometeorologia do Estado de São Paulo (Sihesp)

COORDENADOR

Oswaldo Massambani – IAG/USP

INVESTIMENTO

R\$ 4 milhões (FAPESP)

Um rio que flui pelo ar

Ventos da Região Norte aumentam umidade no Sudeste e no Sul do país

Em alguns dias do ano um rio com as dimensões do Amazonas atravessa os céus do Brasil. Ele nasce sobre o Atlântico próximo à linha do Equador, ganha corpo sobre a Floresta Amazônica e segue para oeste até os Andes, onde o encontro com a imponente muralha rochosa o faz desviar para o sul. Dali esse imenso volume de água flutua sobre a Bolívia, o Paraguai e os estados brasileiros de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo. Às vezes, alcança Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul antes de retornar para o oceano. Apesar de sua extensão, ninguém o vê. É que esse rio não tem margens nem peixes. É um rio metafórico – mas não inexistente – formado por uma coluna de vapor d'água

com cerca de 3 quilômetros de altura, algumas centenas de quilômetros de largura e milhares de extensão.

Os especialistas em meteorologia e hidrologia sabiam desse rio voador – na realidade, correntes de ventos úmidos que recebem o nome técnico de jatos de baixos níveis – desde o início dos anos 1960, mas só agora começam a conhecer melhor a origem de sua água e a forma como ele interage com a superfície do planeta ou como ajuda na formação de nuvens gigantes que sobem a 15 quilômetros acima do solo.

Os primeiros dados do projeto Rios Voadores, divulgados no dia 19 de março em São Paulo, confirmam as alterações de composição que essa corrente de ventos úmidos sofre em seu longo trajeto sobre o Brasil. A maior parte

do vapor d'água vem do oceano, transportada para o continente pelos ventos alíseos, que sopram de leste para oeste – uma pequena porção dessa umidade se condensa em nuvens e cai como chuva sobre a Amazônia. Mas boa parte do vapor que forma esse rio invisível vem da própria floresta. É que, ao passar sobre a maior floresta tropical do planeta, ele incorpora a água que evapora diretamente do solo e também aquela retirada pelas plantas da terra e lançadas na forma de vapor na atmosfera. Uma parte da água da Amazônia chega ao sul do país e possivelmente vira chuva.

Identificar de onde vem a água desse rio voador, um dos muitos que cortam os céus brasileiros, exigiu uma parceria pouco comum no mundo científico. Uniu pesquisadores, com conhecimen-



Simon Chirgwin/BBC World Service

Reciclagem: na Amazônia evaporação devolve à atmosfera parte da água das chuvas

vapor d'água que se condensavam em um tubo resfriado por gelo-seco. Em um desses voos, sob condições atmosféricas extremamente favoráveis, Moss acompanhou o rio voador da Amazônia até São Paulo e calculou que, em determinado trecho, a quantidade de água que fluía nessa corrente era de 3.200 metros cúbicos por segundo, mais do que a vazão do rio São Francisco. Toda a água carregada por essa corrente de ar em 24 horas equivaleria a 115 dias de consumo de São Paulo, uma metrópole com 11 milhões de habitantes.

Assinatura química - Em pouco menos de dois anos Moss e Iatesta coletaram cerca de 500 amostras de água obtidas de 500 metros a 2 mil metros de altitude que estão sendo examinadas no Laboratório de Ecologia Isotópica da USP em Piracicaba pela equipe de Reynaldo Victoria. A análise de uma espécie de assinatura química (a proporção de átomos de hidrogênio e oxigênio radiativos) das amostras de água e a comparação dessa assinatura com a de amostras de água da chuva e de rios de todo o país permitirão aos pesquisadores conhecer como se altera a composição dessa massa de ar à medida que ela avança pelo continente. Também devem tornar clara a colaboração da umidade que evapora da Amazônia para as chuvas do Sul e do Sudeste.

“Esses dados preenchem uma lacuna importante no conhecimento dessas correntes úmidas e permitem verificar a validade dos modelos climáticos desenvolvidos para o país”, afirma Pedro Leite da Silva Dias, pesquisador do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP e diretor do LNCC, integrante do projeto.

Anos atrás grupos do IAG e do Inpe haviam participado de um estudo feito em colaboração com Bolívia, Paraguai e Argentina que mediu por meio de equipamentos lançados em balões a temperatura, a umidade, a pressão e a velocidade dessas correntes de ar úmido apelidadas de rios voadores pelo climatologista José Marengo, do Inpe (*ver Pesquisa FAPESP nº 114*). “Na época

um avião coletou amostras de vapor de água apenas nos outros países porque não conseguimos autorização para voar no Brasil”, conta Dias.

Serão necessários anos para analisar os dados coletados mais recentes. Mas uma avaliação preliminar indica não ser nada desprezível a contribuição da Amazônia para a umidade que chega ao Sudeste e ao Sul do país. No Inpe, Demerval Moreira e Wagner Soares usaram modelos matemáticos de previsão do tempo para fazer uma estimativa de quanta água da Amazônia essas correntes de ar levam para outras regiões. Concluíram que nos dias que esse rio voador passa sobre a Amazônia – isso acontece apenas em cerca de 35 dias por ano – mais umidade chega ao Centro-oeste, ao Sudeste e ao Sul, aumentando a probabilidade de chuvas.

“Quando esses ventos passam sobre a Amazônia elevam em média em 20% a 30% a umidade do ar em Ribeirão Preto, por exemplo, aumentando o potencial de chuvas”, conta Dias. Em algumas ocasiões, esse acréscimo pode chegar a 60%. “Agora estamos tentando calcular quanto dessa umidade vinda da Amazônia de fato precipita na forma de chuva”, explica.

Moss se preocupa com o ritmo do desmatamento que observa de seu avião – e que pode modificar o clima da Amazônia, com efeitos capazes de atingir o restante do país. “A floresta funciona como um tampão: as plantas e o solo retêm água da chuva, que depois penetra no solo e fica armazenada antes de evaporar”, explica Dias. Sem a floresta, os ventos úmidos vindos do oceano que penetram no continente podem chegar mais rapidamente, em dois ou três dias, ao sul do país, aumentando o risco de tempestades. “A retirada da floresta diminuiria em 15% a 30% as chuvas na Amazônia, segundo vários modelos climáticos, e aumentaria as chuvas no Sul e na bacia do Prata”, conta Dias.

“As informações disponíveis hoje no Brasil”, afirma Eneas Salati, criador do Laboratório de Ecologia de Isótopos na USP em Piracicaba e um dos idealizadores desse projeto, “são mais do que suficientes para que se adote uma política de parar o desmatamento e iniciar o reflorestamento”. ■

RICARDO ZORZETTO

to teórico sobre os fenômenos hidrológicos e atmosféricos, e um engenheiro-explorador, habituado a vivê-los em seus voos ao redor do mundo. Com patrocínio da Petrobras, Gérard Moss, o engenheiro, realizou de 2007 ao início deste ano 12 voos sobre diferentes regiões do país planejados em colaboração com equipes da Universidade de São Paulo (USP), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), do Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Uerj) e da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS).

A cada viagem, Moss, suíço naturalizado brasileiro, e seu companheiro de voos, Tiago Iatesta, coletavam a bordo de um avião monomotor amostras de

Ondas DA PREVISÃO

242

Em uma tarde de fevereiro de 2008 o sistema de alerta da Defesa Civil da cidade de Barueri na Região Metropolitana de São Paulo recebeu uma informação de previsão de tempestade para as próximas duas a três horas direto do sistema de radar meteorológico mantido por uma parceria entre a prefeitura do município e o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP). O pessoal da Defesa Civil imediatamente isolou algumas áreas, principalmente de encostas, e evitou, muito provavelmente, a morte de moradores de duas casas que foram destruídas com aquelas chuvas. O exemplo mostra a importância do monitoramento imediato do tempo em uma região como a de São Paulo, de alta concentração urbana.

O radar meteorológico que faz o monitoramento de nuvens e a aproximação de tempestades, granizo e velocidade dos ventos, além de medir uma série de outras variáveis do tempo, é um instrumento que faz parte da rotina dos pesquisadores de meteorologia do IAG-USP desde 2007. Ele foi financiado pela FAPESP por meio do Programa Sistema Integrado de Hidrometeorologia do Estado de São Paulo (Sihesp), uma parceria entre o Conselho de Hidrometeorologia (Cehidro) e a atual Secretaria de Desenvolvimento do Estado. O projeto e a montagem são da empresa paulistana Atmos, que utilizou instrumentos e *software* importados adicionados à tecnologia nacional. O radar móvel está instalado em um caminhão, com uma antena multidirecional, equipamentos, computadores, além de um gerador a diesel, que o deixam capaz de operar em qualquer lugar. Sob a coordenação do professor Augusto José Pereira Filho, do Laboratório

Radar meteorológico construído no Brasil faz previsão de chuvas com três horas de antecedência | MARCOS DE OLIVEIRA

de Hidrometeorologia (Labhidro) do IAG, o radar faz parte de um sistema de previsão hidrometeorológica que inclui as modelagens atmosférica e hidrológica para dar suporte na previsão de chuvas intensas e a possibilidade de enchentes e na previsão do tempo com até dois dias de antecedência realizada por meio de outro sistema de previsão numérica, denominado Advanced Regional Prediction System (ARPS). Precipitações severas previstas com esse sistema são monitoradas com o radar do IAG, que permite uma previsão de duas a três horas de antecedência com alto detalhamento para a área de cobertura do equipamento.

“Os radares móveis são mais indicados para pesquisa e os principais estão nos Estados Unidos e Japão. Nos Estados Unidos são muito usados para monitorar tornados. O nosso radar é o primeiro do mundo a ser operado com objetivos operacionais e de pesquisa”, diz Pereira Filho. Num raio de ação de 150 quilômetros, o radar permite o monitoramento e previsão de chuva que abrange parte do Vale do Paraíba, Baixada Santista, serra do Mar, Campinas, Região Metropolitana de São Paulo e parte da região oeste do estado. Com ele é possível analisar a maior incidência de chuvas na Região Metropolitana da capital e menor ao redor das cidades, em dias de tempestades isoladas, como nos mananciais. Chove mais nas cidades porque o ar é aquecido próximo à superfície terrestre em consequência do acúmulo, na área urbana, de concreto e asfalto que absorvem a energia solar e a devolvem na forma de calor. Principalmente no verão o ar seco e quente muitas vezes é misturado com o ar úmido e frio oriundo da brisa que vem do oceano. O resultado é a formação rápida de tempestades e pancadas de chuva forte,

rajadas de vento, granizo, descargas elétricas e, conseqüentemente, enchentes e deslizamentos. “O que temos em São Paulo, no caso das chuvas fortes e enchentes, é uma formação local, muito particular, de eventos meteorológicos, no nível de microclima”, conclui Pereira Filho. Somente em 2010, um ano que já havia sido prognosticado por Pereira Filho como muito chuvoso, o sistema de previsão emitiu mais de 50 alertas de tempestade. “A quantidade de chuvas fortes em janeiro último também teve relação com o fenômeno climático El Niño associado com temperaturas da superfície do oceano Atlântico Sul acima do normal, o que injetou na atmosfera grandes quantidades de umidade, levadas pelas circulações atmosféricas para o continente.”

O convênio entre o IAG e a prefeitura de Barueri que dá suporte a esse sistema foi firmado em 2008. “Isso proporcionou que nós treinássemos o pessoal da Defesa Civil da cidade para operar o radar durante 24 horas por dia no período chuvoso, de setembro a março.” O radar móvel também é utilizado no ensino e pesquisa de estudantes de graduação e pós-graduação em meteorologia do

IAG e engenharia ambiental da Escola Politécnica da USP. “Eles vão até o radar e verificam como o sistema é operado”, diz o professor Pereira Filho. Atualmente o caminhão com todo o equipamento instalado está estacionado em um terreno elevado em Barueri. Uma massa grande de dados, como mapas de chuva, vento, tamanho de gotas, está disponível no *site* do Labhidro para as defesas civis, secretarias de Estado e demais órgãos públicos que possuam meteorologistas. A página inicial do *site* www.labhidro.iag.usp.br é aberta ao público e contém a previsão do tempo com temperatura, umidade, ventos e chuva, além dos boletins de alertas de tempestades. O volume de informação gerado pelo radar é muito grande, são cerca de 10 megabytes (MB) a cada cinco minutos. Ao todo são 20 produtos que estão disponíveis. “Já atingimos a marca de milhares de usuários em dias de muita chuva”, diz. As informações captadas pelo radar são enviadas ao IAG por meio de um sistema de micro-ondas e os dados armazenados em um servidor. São arquivos que mostram os vários fenômenos monitorados desde a formação de nuvens até a dissipação das tempestades. Os registros rápidos e acelerados são fáceis para um leigo entender o fenômeno na tela do computador.

A sequência de coleta de dados do radar foi quebrada principalmente em 2009. “No verão daquele ano não pudemos fazer um levantamento porque o radar ficou seis meses parado por problemas técnicos”, diz Pereira Filho.

Além do radar, a equipe do professor, formada por professores, alunos do IAG e o pessoal treinado da prefeitura de Barueri, conta com mais duas estações meteorológicas terrestres e sensores de medição de umidade de solo e espectro de gotas, entre outros, adquiridos com recursos da FAPESP no mesmo projeto do Sihesp, que visava dar suporte a instituições de pesquisa do estado na compra de instrumental para estudos de tempo e clima. Uma estação está instalada no Parque de Ciência e Tecnologia (Cientec) da USP, na zona sul de São Paulo, e outro no *campus* da USP Leste. No mesmo programa também foram reformados os radares meteorológicos de Bauru e Presidente Prudente, do Instituto de Pesquisas Meteorológicas (Ipmet) da Universidade Estadual Paulista (Unesp) e instalado um sistema de computação para processar as informações climáticas do estado no IAG.

Formação empresarial - O Programa Sihesp e a FAPESP resolveram em 2005 entregar a construção do radar meteorológico móvel para a Atmos, a única empresa brasileira que apresentou uma proposta, porque a Fundação preferiu fortalecer a presença de uma companhia nacional no fornecimento desse tipo de equipamento. Com sede em São Paulo, a Atmos foi fundada em 2004 como um braço da Fundação Aplicações de Tecnologias Críticas, a Atech, uma organização de direito privado e sem fins lucrativos criada em 1997 para integrar o Sistema

O radar transmite pulsos de alta potência que se propagam na atmosfera e atingem um fenômeno atmosférico como nuvens, chuvas, granizo e neve

de Vigilância da Amazônia (Sivam), e que atualmente presta serviços para os sistemas de controle do tráfego aéreo brasileiro. A Atmos também teve outra empresa na sua formação, a Omnisys, que desenvolve e presta manutenção a sistemas de radares para tráfego aéreo. Atech e Omnisys construíram um radar meteorológico fixo em Mogi das Cruzes com base na experiência do Sivam e que serviu de experimentação para a criação da Atmos.

“Para produzirmos o radar móvel, o professor Augusto forneceu os requisitos técnicos necessários e nós procuramos atender e resolver os desafios eletrônicos e mecânicos, como desenvolver o pedestal da antena e mudar a suspensão do caminhão convencional para um sistema pneumático que inibe a vibração”, diz Claudio Carvas, diretor-presidente da Atmos. Uma das necessidades era que o radar funcionasse em banda X, designação de frequência eletromagnética que funciona em 9,4 gigahertz (GHz), recomendável para monitorar a atmosfera, medir o volume das nuvens e a quantidade de água que vai cair em um determinado período. A chamada banda S, usada em outros radares meteorológicos, opera na frequência de 2,8 GHz. A banda X funciona bem até um raio de 150 quilômetros (km), enquanto a S atinge até 240 km.

O radar, denominado MXPOL pelo Labhidro, sigla em inglês para banda X de mobilidade e polarização vertical e horizontal, tem a potência de 80 quilo-

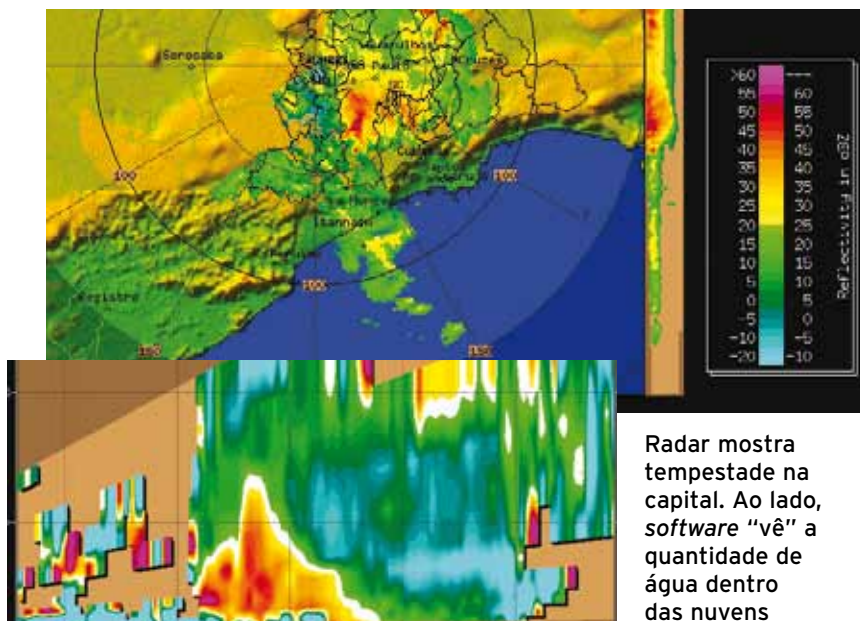
FOTOS AUGUSTO PEREIRA FILHO/IAG-USP



Radar em Barueri: pesquisa e monitoramento de chuvas

watts (kW) de pico. “Isso significa que o radar transmite pulsos estreitos de alta potência que se propagam na atmosfera e atinge um fenômeno atmosférico como nuvens, chuvas, granizo e neve”, diz Paulo Eduardo Martins, gerente técnico do projeto na Atmos. Outra vantagem do radar móvel explicitado pelo professor Pereira Filho é a dupla polarização, técnica que permite observar o fenômeno na faixa vertical e horizontal. É possível analisar o interior das nuvens por meio de um *software* e identificar a quantidade de água ou granizo, e não apenas visualizar essas formações de baixo para cima. Outro recurso, o sistema Doppler, permite detectar o deslocamento das nuvens e tempestades.

Pedestal inovador - Para montar o radar móvel, que teve um orçamento de R\$ 2 milhões, o projeto permitiu a compra, no Brasil, de um caminhão de série, um gerador a diesel, equipamento de ar-condicionado, *racks* e o contêiner, além da importação dos sistemas de transmissão, recepção, processadores digitais, *software* e computadores, dos Estados Unidos, motores de antena, da Itália, e refletor, da Finlândia. A Atmos desenvolveu um sistema inovador para o pedestal da antena parabólica de 2,44 metros de diâmetro, que não necessita



Radar mostra tempestade na capital. Ao lado, *software* “vê” a quantidade de água dentro das nuvens

ser lubrificado com óleo. Os testes de avaliação e adaptação antes da entrega foram realizados pelo engenheiro francês Frédéric Cazenave, pesquisador do Laboratório de Hidrologia da Universidade de Grenoble.

Como muitos dos equipamentos e *softwares* ainda são importados e muitas vezes a preços elevadíssimos, a Atmos resolveu desenvolver produtos para radares no país. O primeiro, por meio de um projeto do programa de Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe) da FAPESP, coordenado pelo diretor-técnico da empresa, Fábio Fukuda, foi um receptor digital para radar. “Esse aparelho processa para o *software* os sinais recebidos de uma forma muito mais precisa que os receptores analógicos usados atualmente. Desenvolvemos esse equipamento para uso nos nossos radares e até vender para outros fabricantes”, diz Martins. Esse produto só é feito por empresas alemãs e norte-americanas. Outro desenvolvimento da empresa é um *software* de meteorologia que gera todos os produtos (informação de nuvens, granizo, gotas de chuva, ventos etc.) recebidos do processador de sinais do radar. “Hoje só existe esse *software* lá fora, a um preço de licença de até US\$ 200 mil para cada radar”, diz Carvas. Para desenvolver esse produto, a empresa teve aprovado, em 2007, um projeto dentro do Programa Subvenção Econômica

da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) no valor de R\$ 855 mil.

Além de construir e desenvolver equipamentos, a empresa presta serviços de manutenção para radares de vigilância aérea da Aeronáutica e controle de tráfego aéreo e vai vender serviços de meteorologia para a empresa Somar, de São Paulo, com o radar de Mogi, que será transferido, nos próximos meses, para a rodovia dos Imigrantes para melhor posicionamento. “Fizemos também a atualização e reformulação dos radares do porta-aviões São Paulo. Também fizemos reparos em geradores de frequência em bandas S e X para seis corvetas da Marinha brasileira. Atualmente temos 25 engenheiros dentro do Centro de Manutenção de Sistemas da Marinha”, diz Carvas. A Atmos possui ainda uma série de parcerias internacionais com empresas dos Estados Unidos e da Europa para suprir nichos tecnológicos como equipamentos de aproximação de aeronaves em aeroportos, radares de uso militar e equipamentos de vigilância para gerenciamento de tráfego aéreo baseado em informações de posicionamento via GPS.

A perspectiva de novos radares instalados no país é grande. No Brasil existem 25 radares meteorológicos, sendo 17 ligados ao controle de tráfego aéreo. “Para deixar o país bem coberto seriam necessários cerca de 400. Nos Estados Unidos existem redes com até 200 radares meteorológicos”, diz Martins. ■

OS PROJETOS

1. Sistema de previsão hidrometeorológica para a Bacia do Alto Tietê (01/13952-2)
2. Desenvolvimento de receptor digital para radares meteorológicos Doppler (06/51396-8)

MODALIDADE

1. Sistema Integrado de Hidrometeorologia do Estado de São Paulo (Sihesp)
2. Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe)

COORDENADORES

1. Augusto José Pereira Filho - USP
2. Fábio Haruo Fukuda - Atmos

INVESTIMENTO

1. R\$ 1.820.586,34 e US\$ 409.727,04 (FAPESP)
2. R\$ 94.773,75 e US\$ 43.549,52 (FAPESP)

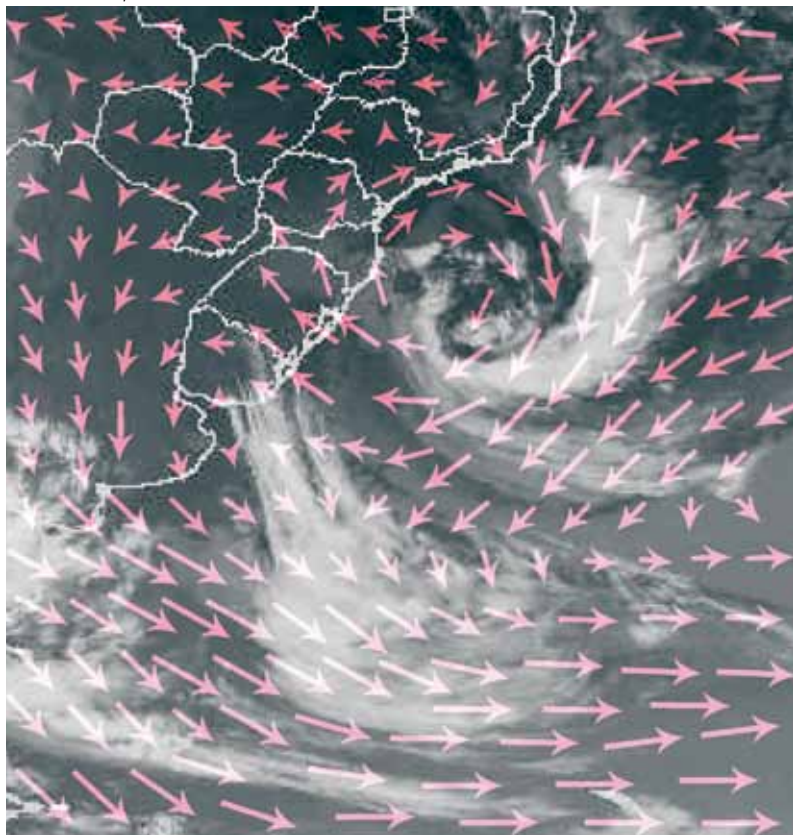
De olho no furacão

Estudo explica a formação e o desenvolvimento dos ciclones na costa do Brasil

Isis Nóbile Diniz

246

Flechas indicam a direção do vento e, conforme o tamanho delas, a velocidade. Quanto maior, mais veloz

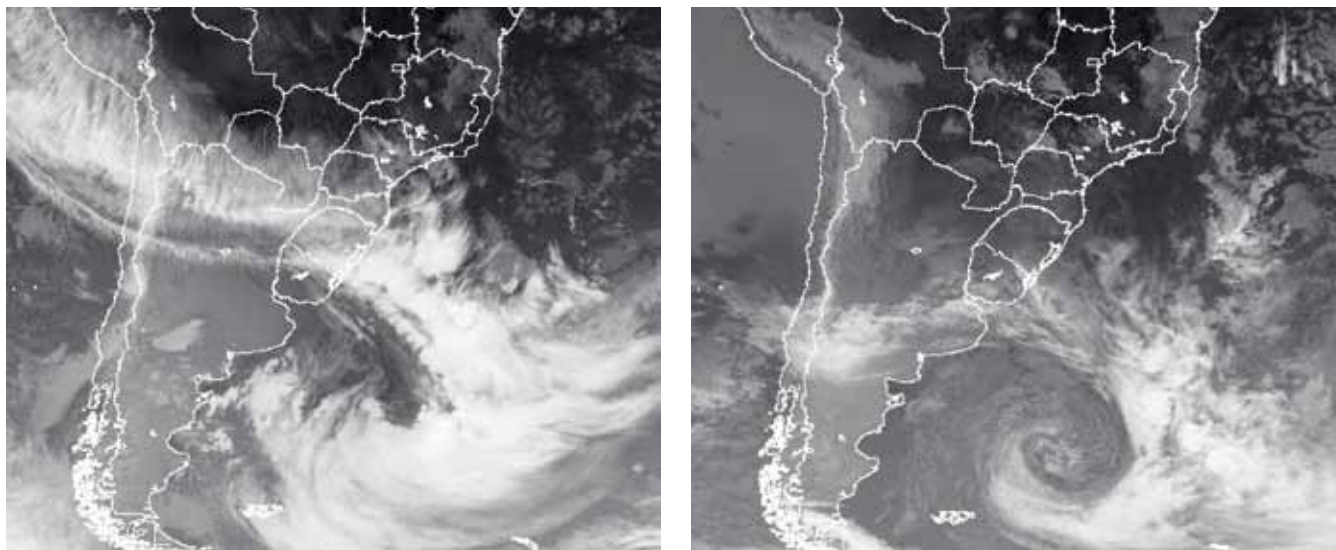


A comunidade científica costuma categorizar os ciclones do Atlântico Sul da mesma maneira: como ciclones extratropicais. Porém, ao estudar três ciclones formados próximos à costa brasileira, os pesquisadores Rosmeri Porfírio da Rocha e João Rafael Dias Pinto, do Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP), concluíram que o desenvolvimento de um deles foi diferente do esperado para um ciclone extratropical da região. Publicado no *Journal of Geophysical Research* em julho deste ano, o estudo procura explicar a formação, a evolução e a dissipação de ciclones próximos à costa do Brasil para, no futuro, os meteorologistas terem à mão dados mais precisos sobre o desenvolvimento desses sistemas. Afinal, ignorar essas informações pode levar a previsões meteorológicas equivocadas ou surpreender os especialistas, como ocorreu com o furacão Catarina.

Em 2004, o Catarina atingiu principalmente os estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, causando danos em cerca de 60 mil edificações. Apenas na região catarinense o prejuízo foi de mais de R\$ 200 milhões, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Enquanto sopravam os ventos fortes, os meteorologistas debatiam se o Catarina era um furacão ou um ciclone extratropical – a falta de dados e de registros da passagem de furacões sobre o Atlântico Sul dificultava a análise. A confirmação ocorreu, principalmente, graças às informações coletadas por satélites internacionais, embora as medições de instrumentos brasileiros tenham colaborado.

Para amenizar essa falta de informações sobre as ciclogêneses na costa brasileira, os pesquisadores do IAG decidiram estudar o comportamento de três ciclones que se desenvolveram em diferentes regiões onde o fenômeno é mais comum. O primeiro escolhido foi formado entre o sul do Brasil e o Uruguai em agosto de 2005. O segundo, na região do rio da Prata, em junho de 2007, e, por último, o ciclone do sul da Argentina, em julho de 2008. Todos surgiram como ciclones extratropicais.

Qualquer ciclone pode nascer extratropical, subtropical ou tropical e mudar de categoria, ou seja, fazer uma transição. “Por exemplo, o Catarina nasceu como um ciclone extratropical que fez transição para furacão (também chamado de ciclone tropical ou tufão). As particularidades são o que difere um do outro”, conta Dias Pinto. Os ciclones extratropicais possuem frente fria e



Dois dos três eventos analisados, da esquerda para a direita: ciclones na região do rio da Prata e ao sul da Argentina

frente quente associadas e se formam em latitudes médias entre 30° e 60° (no hemisfério Sul, próximo à Região Sul do Brasil até o sul da Argentina) graças à diferença de temperatura do equador comparada ao frio dos polos. Os subtropicais podem ou não ter frentes e, geralmente, se formam entre as latitudes de 15° até 40° (que correspondem à área entre o Sudeste e o Sul do país). Os furacões não têm frente fria nem frente quente e se formam principalmente devido à energia obtida por meio da evaporação de águas oceânicas mais quentes.

As ferramentas escolhidas pelos pesquisadores para analisar os ciclones foram: uma técnica de Robert Hart, professor da Universidade do Estado da Flórida, e a teoria do ciclo de energia desenvolvida por Edward Lorenz, criador da teoria do caos. A técnica de Hart permite classificar qualquer ciclone independentemente de sua natureza. Já o modelo de Lorenz mostra a proveniência da energia usada pelo sistema para se desenvolver e também para onde essa energia é dispersada. “Ambas nos permitem analisar mais profundamente os ciclones e identificar seus diferentes tipos, evitando que outro furacão nos pegue de surpresa”, diz Dias Pinto.

Aplicando as técnicas, os pesquisadores descobriram que o primeiro ciclone quase se tornou subtropical. “O segundo era um extratropical bomba, isso significa que teve rápido e intenso desenvolvimento em 24 horas”, explica Dias Pinto. O tempo médio de vida de um ciclone é de

O fenômeno pode nascer extratropical e mudar para tropical, outra categoria

três dias. “O mar sob atuação de um ciclone extratropical com essa intensidade provoca ondas grandes no oceano e ressaca devido aos fortes ventos”, completa Rosmeri. Ou seja, tratava-se de um ciclone extratropical, mas com características diferentes das condições corriqueiras. O terceiro ciclone, formado mais ao sul, mostrou-se um extratropical típico com todas as características já esperadas pelos meteorologistas.

ENERGIA

Dois principais tipos de instabilidade podem contribuir para a formação, evolução e dissipação de um ciclone. A fonte de energia mais comum no Atlântico Sul é a baroclínica, obtida quando o ar frio (mais denso) e o ar quente (menos denso) se encontram gerando ondas. Uma outra fonte é a barotrópica, gerada pela mudança da velocidade dos ventos horizontalmente. “Usando a combinação de ferramentas conseguimos entender como esses me-

canismos físicos atuam para diferentes desenvolvimentos e fortalecimentos de ciclones”, afirma Rosmeri.

Se os meteorologistas classificarem os ciclones como extratropicais durante todo o seu desenvolvimento, podem errar a previsão: a chuva pode perdurar por mais dias e os ventos serem mais intensos. “Foi o que ocorreu com o Catarina. Ele nasceu extratropical e virou um furacão”, conta Rosmeri. Os meteorologistas sabiam que se tratava de um evento catastrófico, mas discutiam sobre sua classificação, ou seja, se era um furacão ou um ciclone extratropical. “Na véspera de atingir a costa do Brasil, cada sistema de alerta – brasileiro e americano – apontava para uma resposta”, afirma Rosmeri.

A pesquisadora ressalta: “Não queremos fazer previsão do tempo, mas explicar a formação dos ciclones que atingem a costa brasileira. Entender a evolução dos ciclones dessas regiões do Atlântico Sul fornece subsídio para conhecermos o ciclo de vida deles e apontar possíveis furacões”. Segundo Rosmeri, por enquanto, usar apenas modelos numéricos para prever a evolução de um ciclone pode induzir a erros. “A maioria dos estudos que existem são sobre os ciclones do Atlântico Norte”, conta a meteorologista. ■

Artigo científico

DA ROCHA, R. P.; DIAS PINTO, J. R. The energy cycle and structural evolution of cyclones over southeastern South America in three case studies. *Journal of Geophysical Research*. v. 116, p. D14112. 26 jul. 2011.

Tempo firme

Das previsões meteorológicas ao aquecimento global, FAPESP investiu nas ciências do clima

Muito antes de o aquecimento global invadir a agenda de inquietações do planeta, a FAPESP já fazia investimentos de fôlego na ciência do clima. De um radar meteorológico instalado na década de 1970 no interior paulista para monitorar as chuvas e abastecer de informações os agricultores e a Defesa Civil até o Programa FAPESP de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais (PFPMCG), que investirá pelo menos R\$ 100 milhões até 2018, a Fundação demonstrou uma preocupação contínua em formar recursos humanos e aumentar a quantidade e a qualidade da contribuição dos pesquisadores de São Paulo no avanço do conhecimento sobre o tema – com isso, ajudou o país a conquistar espaço no debate mundial sobre as mudanças climáticas. “Ao patrocinar projetos de cientistas do estado de São Paulo mesmo quando eles estudam fenômenos em outros estados, como é o caso da Amazônia, a FAPESP ajudou a moldar uma comunidade de pesquisadores que hoje produz ciência do clima de classe internacional”, diz Reynaldo Victoria, professor do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena), do *campus* Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo em Piracicaba, coordenador executivo do PFPMCG.

O primeiro grande investimento da FAPESP ocorreu em 1974, com a instalação de um radar meteorológico na cidade de Bauru, no interior paulista. Implantado no Instituto de Pesquisas Meteorológicas (Ipmet), que depois seria incorporado à Universidade Estadual Paulista (Unesp),

METEOROLOGIA

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O radar do Projeto Chuva é instalado em outubro, em São José dos Campos, para estudar os temporais que duram muitos dias e causam deslizamentos

o equipamento se tornou o ponto de partida da atual rede paulista de radares meteorológicos. Na época, os radares disponíveis em São Paulo pertenciam à Aeronáutica e eram talhados para monitorar o espaço aéreo.

Proposto no início dos anos 1970 como um projeto especial da FAPESP pelo então diretor científico Oscar Sala (1922-2010), o Radar Meteorológico de São Paulo (Radasp) tinha um duplo objetivo: criar um ambiente capaz de formar recursos humanos em meteorologia, usando técnicas avançadas para a época, e oferecer, com rapidez, previsões do tempo que permitissem à agricultura paulista se programar e à Defesa Civil monitorar os efeitos de tempestades. “O professor Sala anteviu a importância que a meteorologia teria no contexto das ciências atmosféricas e tomou a iniciativa de propor um programa piloto, que, além de fomentar a pesquisa, envolvia uma transferência direta de conhecimento para a sociedade e o setor produtivo”, diz Roberto Vicente Calheiros, professor titular da Unesp e pesquisador do Ipmet. Logo que o radar entrou em operação, a Rádio Eldorado, de São Paulo, começou a divulgar informações sobre previsões de chuva obtidas pelo equipamento.

SERVIÇO ESSENCIAL

O radar de Bauru permitiu acompanhar em tempo real a ocorrência de chuvas no estado e fornecer previsões imediatas, de alguns minutos até horas adiante. “Trata-se de um serviço essencial à sociedade,

Reportagem da *Folha* de S. Paulo sobre o radar, em 23 de julho de 1974



Os experimentos de campo ajudaram a explicar a origem das chuvas intensas de verão na cidade de São Paulo

como a segurança pública e o sistema de saúde”, diz Calheiros. As pesquisas incorporaram equipes do Departamento de Águas e Energia Elétrica (Daee), da Escola Politécnica e da Escola de Engenharia de São Carlos (USP) e da Escola de Engenharia de Ilha Solteira (Unesp), com destaque para estudos sobre chuvas de verão e camadas da atmosfera. Um dado curioso: o radar instalado em 1974 foi substituído, nos anos 1990, por um equipamento mais moderno. Recentemente, a Universidade Federal de Alagoas levou-o para Maceió, onde o velho radar voltou a funcionar.

Os melhores resultados do projeto levaram-no a uma segunda etapa. Em 1982 começou a ser implantado o Radasp II, sob a coordenação de Roberto Vicente Calheiros. Com a instalação de um segundo radar, na barragem do Daee, em Ponte Nova (MG), o programa permitiu aprimorar técnicas de previsões meteorológicas no estado, com benefícios principalmente

para o planejamento agrícola. Calheiros desenvolveu uma técnica de quantificação de chuva com radar, apresentada em sua tese de doutorado e depois em um artigo na *Journal of Climate and Applied Meteorology*. Entre outros trabalhos, os experimentos de campo ajudaram a explicar a origem das chuvas intensas de verão na cidade de São Paulo, por meio de uma pesquisa coordenada por Maria Assunção Faus da Silva Dias. Mais recentemente, um destaque de pesquisa propiciada pelos radares é a contribuição da meteorologista Maria Andrea Lima no entendimento sobre o desenvolvimento de tempestades – seus estudos acompanham as tempestades até certo ponto tentando antever o volume de chuvas que ainda poderão gerar.

Na década de 1990, o apoio da FAPESP propiciou a formação de recursos humanos e a criação de infraestrutura avançada de pesquisa, ajudando a criar lideranças nacionais no estudo das mudanças climáticas globais num momento em que o tema ganhava importância e repercussão. O climatologista Carlos Nobre, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), cita dois exemplos dessa contribuição. O primeiro foi o investimento, em 1996, no Laboratório de Instrumentação Meteorológica (LIM) do Inpe, em Cachoeira Paulista, que se tornou referência para pesquisadores das ciências ambiental e meteorológica no Brasil. O LIM especializou-se em preparar, instalar, testar e calibrar sensores e medidores ambientais utilizados em pesquisas de diversos campos do conhecimento. O segundo exemplo, em 1999, foi a criação de um sistema de dados e informações do Experimento de Grande

1974

Radar de Bauru estimulou a pesquisa e forneceu previsões meteorológicas de qualidade

2010

O computador
Tupã vai ajudar a
desenvolver o
primeiro modelo
climático
brasileiro

250

Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia (LBA), uma das maiores experiências científicas do mundo na área ambiental: soma 156 projetos de pesquisa, desenvolvidos por 281 instituições nacionais e estrangeiras. “Foi a primeira vez que foi possível reunir dados de um experimento multidisciplinar. Não tenho dúvidas de que o sucesso do programa não teria sido o mesmo sem esse sistema”, diz Carlos Nobre, que foi o primeiro coordenador executivo do PFPMCG e atualmente é secretário de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). “O sucesso foi tão grande que serviu de inspiração para bancos de dados de outros programas, como o Biotá-FAPESP e o Programa FAPESP de Mudanças Climáticas”, afirma. A FAPESP, observa Nobre, também foi uma das principais fontes de financiamento do LBA ao patrocinar projetos de pesquisa de cientistas paulistas vinculados ao programa, que foi gerenciado pelo MCTI e coordenado pelo Inpe e pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa).

VOLUME E DENSIDADE

Nos anos 2000, a pesquisa sobre mudanças climáticas no Brasil ganhou volume e densidade, gerou um conjunto de contribuições originais e alcançou visibilidade internacional. Vários grupos do estado de São Paulo se destacaram nesse esforço, com apoio da FAPESP. Avançou-se, por exemplo, na determinação do papel das queimadas como fator de perturbação do equilíbrio da atmosfera e dos ecossistemas, em projetos liderados por

nomes como Paulo Artaxo, professor do Instituto de Física da USP, Alberto Setzer e Carla Longo, pesquisadores do Inpe. “Houve um enorme avanço nesse campo”, observa Carlos Nobre. A modelagem da integração entre vegetação e clima também avançou, mostrando os riscos das mudanças climáticas para a manutenção dos grandes biomas brasileiros, como a Amazônia e o cerrado, sob a liderança de pesquisadores como Carlos Nobre e Gilvan Sampaio, do Inpe, e Humberto Ribeiro da Rocha, professor do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP. O entendimento dos impactos ambientais nos ciclos biogeoquímicos da cana-de-açúcar, principalmente nos sistemas aquáticos, sob a liderança de Luiz Martinelli, da USP, e o balanço de-

talhado das emissões de carbono pelo uso de biocombustíveis, notadamente o etanol, sob a liderança de Isaias Macedo, da Unicamp, foram contribuições originais lideradas por brasileiros. No campo da oceanografia também houve progressos no entendimento da circulação de correntes oceânicas no Atlântico, em pesquisas lideradas por Paulo Nobre, do Inpe, e Edmo Campos, do Instituto Oceanográfico da USP, com destaque

para a interação entre a corrente brasileira e a das Malvinas.

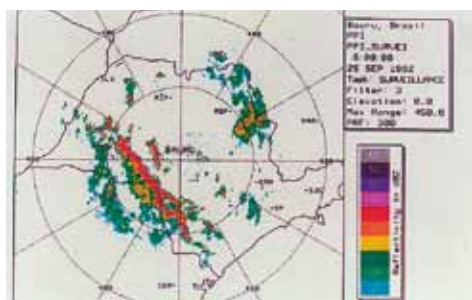
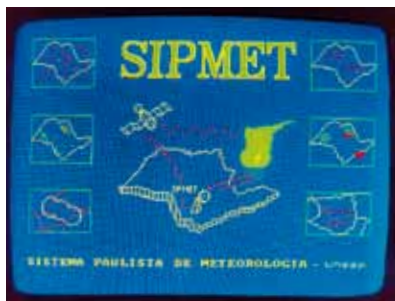
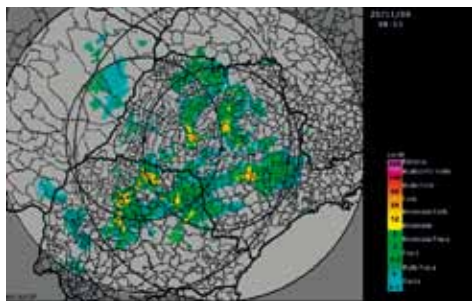
De caráter multidisciplinar, o tema das mudanças climáticas envolve especialistas de diversas áreas. Um livro publicado há três anos pela FAPESP compilou a contribuição da pesquisa paulista para o conhecimento das mudanças climáticas, produzida entre 1992 e 2008. A obra reuniu informações sobre 208 projetos

temáticos e auxílios a pesquisa – duas modalidades de apoio da Fundação – e 437 bolsas, financiados pela FAPESP. Havia pesquisas das áreas de agrárias e veterinária, arquitetura e urbanismo, biológicas, engenharias, física, geociências, humanas e sociais, química e saúde.

Essa massa crítica serviu de alicerce para um grande esforço multidisciplinar na compreensão dos

De caráter multidisciplinar, o tema das mudanças climáticas envolve pesquisadores de áreas diversas

fenômenos climáticos. Foi lançado em agosto de 2008 o Programa FAPESP de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais (PFPMCG), que prevê investimentos de R\$ 100 milhões em 10 anos – ou cerca de R\$ 10 milhões anuais – na articulação de estudos básicos e aplicados sobre as causas do aquecimento global e de seus impactos sobre a vida das pessoas. É provável que o valor seja maior – só nos três primeiros anos,



A incidência de chuvas captada pelo sistema paulista de radares, em 2009 (alta) em 1992 (ao lado)

mais de R\$ 40 milhões já foram desembolsados. Os projetos de pesquisa estão vinculados a seis temas distintos. O primeiro é o funcionamento de ecossistemas, com ênfase na biodiversidade e nos ciclos de carbono e de nitrogênio. O segundo é o balanço da radiação atmosférica, em especial estudos sobre os aerossóis, e a mudança no uso da terra. O terceiro trata dos efeitos das mudanças climáticas sobre a agricultura e a pecuária. O quarto, da energia e do ciclo de gases de efeito estufa. O quinto aborda os impactos na saúde e o sexto, as dimensões humanas da mudança ambiental global. “Todos nós que tivemos financiamento pelo LBA sentimos a necessidade de conversar mais de perto e somarmos experiências”, afirma Reynaldo Victoria, que além de coordenar o programa lidera um grupo que vai analisar o papel dos rios nos ciclos regionais de carbono. O PPFMCG já dispõe de 18 projetos de pesquisa e almeja chegar a mais de uma centena. Em breve deverão incorporar-se ao programa pelo menos duas dezenas de projetos do âmbito de convênios estabelecidos entre a FAPESP e as fundações de Amparo à Pesquisa do Rio de Janeiro (Faperj) e de Pernambuco (Facepe). A compra de um navio oceanográfico pela USP foi incorporada ao programa – a embarcação, que deve estar pronta para uso em 2012, cumprirá um papel fundamental no programa. “Permitirá que saibamos muito mais sobre o papel do Atlântico Sul no clima”, diz Victoria.

MODELO CLIMÁTICO

Uma grande ambição do programa é criar o primeiro modelo climático brasileiro, um *software* capaz de fazer simulações sofisticadas sobre fenômenos do clima. Hoje, para projetar os efeitos das mudanças climáticas, utilizam-se ferramentas computacionais inespecíficas. Para utilizar tal programa de modelagem, foi comprado por R\$ 50 milhões (R\$ 15 milhões da FAPESP e R\$ 35 milhões do MCTI) um supercomputador capaz de realizar 224 trilhões de operações por segundo. Batizado de Tupã, foi instalado no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Inpe e até o início de 2012 deverá estar em pleno funcionamento. “A criação do CPTEC na década de 1980 colocou a meteorologia brasileira no mesmo patamar dos países desenvolvidos e a aquisição do Tupã é um esforço para que nos mantenhamos competitivos em termos de previsão de tempo e clima”, diz Osvaldo de Moraes, coordenador-geral do CPTEC. “Será utilizado para o trabalho do CPTEC em previsões climáticas, mas também estará disponível a todos os grupos de pesquisa do programa FAPESP.” Hoje o computador é o 29º da lista dos 500 mais po-

tentes do planeta. “A aquisição da nova máquina não garante automaticamente uma melhora nas previsões. Temos de aperfeiçoar nossos modelos para que as previsões fiquem mais apuradas”, afirma Moraes, que destaca também o apoio da Fundação no financiamento de bolsas e projetos de pesquisa no CPTEC.

Uma dessas iniciativas, com recursos no valor de R\$ 1,4 milhão concedidos pela FAPESP, é um projeto temático batizado de Projeto Chuva, que começou em 2009, liderado por Luiz Augusto Machado, pesquisador do CPTEC. Um dos objetivos é incorporar aos modelos de previsão meteorológica fenômenos que hoje não são detectados, porque têm escala de tempo e espaço muito pequenas. “Um exemplo são as tempestades de 30 minutos que causam grandes alagamentos, mas não são detectadas pelos modelos, por serem rápidas demais”, diz Osvaldo de Moraes. “À medida que os modelos aumentam as resoluções espaciais, precisam começar a descrever os processos que ocorrem no interior das nuvens, tais como tamanhos das gotas de chuva, ou descrever os inúmeros tipos de cristais de gelo que existem em uma nuvem de

tempestade”, afirma Luiz Augusto Machado. Para estudar tais fenômenos, os pesquisadores estão utilizando radares e outros equipamentos trazidos do exterior, que são instalados por um período determinado em áreas onde os fenômenos ocorrem. Os experimentos já ocorreram em Alcântara (MA),

O Projeto Chuva busca incorporar aos modelos de previsão fenômenos que ocorrem em escala pequena

Fortaleza (CE) e Belém (PA), e em novembro e dezembro serão realizados no Vale do Paraíba. Machado explica que a pesquisa no Vale do Paraíba vai cobrir dois eventos meteorológicos típicos na região nessa época do ano. O primeiro deles é a tempestade severa, acompanhada de chuvas intensas e granizo. O segundo tipo de chuva é aquela contínua, que permanece por dias seguidos. Essas chuvas costumam provocar inundações e deslizamentos de terra, como as que atingiram São Luís do Paraitinga, no Vale do Paraíba, e Teresópolis (RJ), nos últimos tempos. ■ **Fabício Marques**

Da garoa à TEMPESTADE

Temporais se tornam mais frequentes e chuva aumenta 30% em São Paulo em 80 anos

TEXTO Marcos Pivetta

FOTOS Léo Ramos

252

A terra da garoa virou a megalópole da tempestade. Em cerca de 80 anos, a quantidade de chuva anual que cai na Região Metropolitana de São Paulo, onde um em cada 10 brasileiros vive numa área equivalente a quase 1% do território nacional, aumentou 425 milímetros (mm), metade do que chove em boa parte do semiárido brasileiro. Saltou de uma média anual de quase 1.200 mm na década de 1930 para algo em torno dos 1.600 nos anos 2000. Fazendo uma soma linear, é como se todo ano tivesse chovido 5,5 mm a mais do que nos 12 meses anteriores. A pluviosidade não apenas se intensificou como alterou seu padrão de ocorrência. Não está simplesmente chovendo um pouco mais a cada dia, um efeito que seria pouco perceptível na prática e incapaz de ocasionar alagamentos constantes na região. A quantidade de dias com chuva forte ou mode-

rada cresceu, provocando inclusive tempestades no inverno, época normalmente seca. Em contrapartida, o número de dias com chuva fraca, menor do que 5 mm, diminuiu.

Um regime de extremos, pendular, passou a dominar o ciclo das águas na região metropolitana: quando chove, em geral é muito; mas, entre os dias de grande umidade, pode haver longos períodos de seca. A Grande São Paulo parece caminhar para o pior dos dois mundos, alterando períodos intensos de excesso e de falta de chuva ao longo do ano. “A urbanização e o chamado efeito ilha de calor, além da poluição atmosférica, parecem ter um papel importante na alteração do padrão de pluviosidade em São Paulo, em especial nas estações já normalmente mais úmidas, como primavera e verão”, afirma Maria Assunção da Silva Dias, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Entre 1933 e 2010, o total anual de chuvas aumentou 425 mm na região metropolitana, segundo dados da USP

da Universidade de São Paulo (IAG-USP), autora de um estudo ainda inédito sobre o tema. “Nos meses mais secos, a influência das mudanças globais do clima é responsável por 85% da dinâmica envolvida no aumento de chuvas extremas.” Embora com menos nitidez, a mesma tendência de elevação no número de dias com chuva intensa foi detectada na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (*ver quadro na página 45*).

O novo padrão pluviométrico em São Paulo não é como uma frente fria passageira. Veio para ficar, segundo modelagens feitas pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST-Inpe). As projeções sugerem que a situação atual é uma espécie de prólogo do enredo futuro. Elas sinalizam que deverá ocorrer até o final deste século um aumento no número de dias com chuvas superiores a 10, 20, 30 e 50 mm, ou seja, praticamente em todas

as faixas significativas de pluviosidade. Haverá apenas uma diminuição na quantidade de dias com chuvas muito fracas e possivelmente um aumento no número de dias secos. “A sazonalidade das chuvas também deverá mudar”, afirma José Marengo, chefe do CCST, coordenador de um trabalho ainda não publicado sobre as projeções de chuva na região metropolitana. “A quantidade de tempestades fora da época normalmente mais úmida deverá crescer, um tipo de situação que pega a população de surpresa.” As simulações levam em conta apenas os possíveis efeitos sobre o regime pluviométrico da região metropolitana causados pelas chamadas mudanças climáticas globais, sobretudo o aumento nas concentrações dos gases de efeito estufa, que esquentam a temperatura do ar. O peso que a urbanização e a poluição atmosférica podem ter sobre as chuvas da Grande São Paulo não é considerado nas projeções.

Projeções indicam que frequência de tempestades em São Paulo poderá crescer até o final do século

Uma das grandes dificuldades de fazer grandes estudos, capazes de revelar flutuações climáticas do passado e servir de baliza para projeções futuras, é a ausência de séries históricas longas e confiáveis, com informações diárias sobre a incidência de chuvas. Sem elas, não é possível

fazer uma análise estatística robusta e ter uma visão clara sobre quanto chovia e como se distribuía a pluviosidade ao longo dos anos e das estações climáticas (primavera, verão, outono e inverno). Os especialistas são unânimes em apontar essa deficiência no Brasil. A série com dados de melhor qualidade sobre chuvas num ponto do território nacional é a fornecida pela estação meteorológica do IAG, que fica no Parque do Estado, no bairro da Água Funda, zona Sul da cidade de São Paulo. Os registros se iniciaram em 1933, quando a unidade foi inaugurada, e prosseguem até hoje.

Outro fator reveste os dados fornecidos pela estação meteorológica do IAG de um caráter único. Os registros foram obtidos dentro de uma grande área verde da cidade de São Paulo que não mudou radicalmente seu perfil ao longo de quase oito décadas – uma raridade numa megalópole que não possui muitos parques e jardins. Em outras palavras, embora a cidade tenha sofrido um forte processo de urbanização e de impermeabilização do solo no século passado, as condições naturais nos arredores da estação do

Parque do Estado não se alteraram radicalmente. Dessa forma, faz sentido comparar os dados do presente com os do passado, visto que o ambiente local é mais ou menos o mesmo. “Na zona Norte de São Paulo, no Mirante de Santana, existe uma estação meteorológica com medições desde os anos 1950”, afirma Pedro Leite da Silva Dias, pesquisador do IAG-USP e diretor do Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), no Rio de Janeiro, também autor do estudo sobre a evolução das chuvas na região metropolitana. “Mas lá só havia matas algumas décadas atrás e hoje tem prédio do lado da estação.”

Devido à riqueza de dados fornecidos pela estação do IAG no Parque do Estado, Assunção e seus colaboradores puderam enxergar detalhes e tendências mais sutis no regime das chuvas ao longo das últimas oito décadas. Entre 1935 e 1944 choveu, em média, mais do que 40 mm em cerca de 30 dias, com grande concentração de pluviosidade nos meses de verão e, em menor escala, na primavera e no outono. Durante o período não houve registros de episódios de pluviosidade dessa intensidade nos meses de inverno. A situação começou a mudar a partir de meados dos anos 1940. Desde então, em todas as décadas ocorreu, em média, ao menos uma chuva desse porte no inverno. Entre 2000 e 2009, o número total de jornadas com tempestades acima de 40 mm esteve na casa de 70 eventos. Uma tendência similar se repete quando se analisa década a década a ocorrência de chuvas diárias acima de 60 e de 80 mm.

De forma geral, dois fatores principais podem estar relacionados com a alteração no regime de chuvas na região metropolitana: as mudanças climáticas globais, um fenômeno de grande escala, e o efeito ilha de calor, de caráter localizado e típico das megacidades. Os dois atuam em conjunto. Um potencializa os efeitos do outro e, em geral, é difícil traçar uma linha divisória entre ambos. Segundo Marengo, a maioria dos modelos climáticos indica que haverá um aumento na quantidade de chuva desde a bacia do Prata até o Sudeste do Brasil nas próximas décadas. Dentro dessa moldura mais ampla, surge a questão específica do clima nas grandes cidades, em especial do efeito ilha de calor, que, ao tornar mais quentes as áreas extremamente urbanizadas, também funciona como um ímã de chuvas.

BRISA MARINHA MAIS ÚMIDA

A temperatura superficial do oceano Atlântico no litoral paulista aumentou cerca de um grau entre os anos de 1950 e 2010. Passou de 21,5°C para 22,5°C. Pode parecer pouco, mas uma das consequências desse aquecimento é aumentar a taxa de evaporação da água do oceano, combustível que torna a brisa marinha ainda mais carregada de umidade. Esse processo tem repercussões sobre o clima acima da serra do Mar, no planalto onde fica a região metropolitana.

Por que boa parte das chuvas na Grande São Paulo ocorre entre o meio e o final da tarde, depois das 15 ou 16 horas? Essa é a hora em que a brisa marinha, quente e úmida, vinda da Baixada Santista, termina de subir a serra e atinge a megalópole. “A zona Sudeste é geralmente o primeiro lugar da capital que sente os efeitos da brisa”, comenta Maria Assunção. A estrutura interna das cidades, com muitos prédios altos, altera a direção dos ventos e pode até provocar



Verde escasso na metrópole de concreto e asfalto: se 25% do território da Grande São Paulo fosse coberto por árvores, a temperatura média cairia até 2,5°C

a ascensão da brisa marinha em certos pontos da região metropolitana e favorecer localmente a formação de nuvens de chuvas. A poluição urbana, sobretudo os aerossóis, pode tanto favorecer como inibir a ocorrência de tempestades sobre as cidades, dependendo de sua quantidade.

Estudos feitos nos Estados Unidos na década de 1990 sugerem que parte do aumento de pluviosidade em algumas regiões metropolitanas, como na de Saint Louis, se deve à sua crescente urbanização. Nessa área do estado de Missouri, onde vivem cerca de 2,9 milhões de pessoas, as chuvas aumentaram entre 5% e 25% nas últimas décadas. Um estudo do ano passado, conduzido em grandes cidades da Índia, conclui que as alterações no regime pluviométrico dessas concentrações urbanas derivam mais das flutuações naturais do clima do que de fenômenos locais.

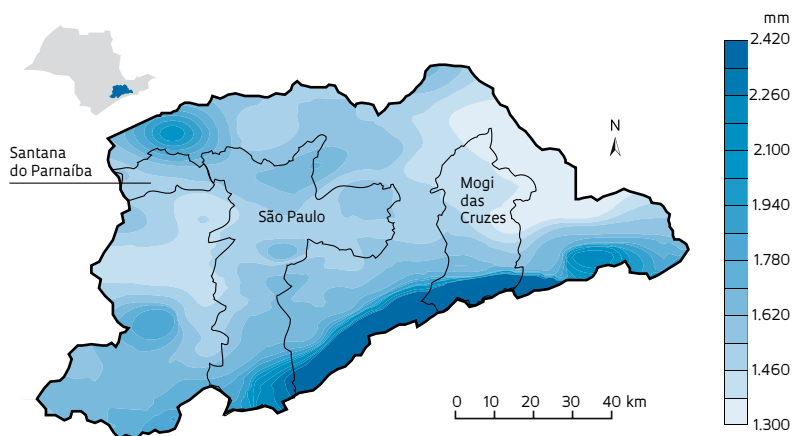
ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO

No caso da Região Metropolitana de São Paulo, o trabalho da USP encontrou uma forte correlação entre seu processo de urbanização e as alterações no regime das chuvas. Os episódios de chuvas extremas, acima de 40 mm, se acentuam à medida que a população de São Paulo e de suas cidades vizinhas cresce e os territórios desses municípios viram praticamente uma única mancha de ocupação contínua, com pouco verde, muito asfalto e repleta de fontes de poluição e calor. De 1940 a 2010, a população da região metropolitana aumentou 10 vezes, de 2 para 20 milhões de habitantes. A mancha urbana cresceu 12 vezes entre 1930 e 2002, de 200 para 2.400 quilômetros quadrados. A temperatura média anual de São Paulo subiu 3°C entre 1933 e 2009, de acordo com os registros da estação do IAG no Parque do Estado e o total de chuvas aumentou em um terço. “Antes estudávamos esse processo de forma teórica”, afirma Pedro Leite da Silva Dias. “Agora temos mais dados, inclusive de fontes digitais.”

Mitigar o efeito ilha de calor pode ser uma forma de reduzir os episódios de chuvas extremas nos centros urbanos. O físico Edmilson Dias de Freitas, do IAG-USP, tem testado algumas medidas em simulações computacionais para ter uma ideia de seu impacto sobre o clima da Região Metropolitana de São Paulo. Pintar de branco as superfícies das casas e prédios não seria um procedimento eficaz. “A poluição e os eventos meteorológicos escurecem o branco rapidamente em São Paulo”, diz Freitas. “Não há como manter isso.” A medida mais eficaz seria aumentar a cobertura vegetal da cidade. Segundo as simulações, se 25% da área da região metropolitana fosse tomada por árvores, a temperatura média poderia ser reduzida entre 1,5°C e 2,5°C. Um clima mais ameno reduziria o efeito ilha de

A geografia da chuva

A pluviosidade anual na Grande São Paulo varia de 1.300 a 2.400 mm. Chove mais em áreas montanhosas, como na serra do Mar



A brisa marinha traz chuva para a região metropolitana



Na década passada, houve em média 70 dias com chuvas acima de 40 mm em São Paulo

calor e talvez não atraísse tanta chuva para a região. Hoje as áreas verdes não representam nem 10% da Grande São Paulo.

Por tabela, se houvesse mais parques e menos áreas impermeabilizadas na maior metrópole brasileira, o efeito mais perverso das tempestades também seria minimizado: as chuvas intensas produziriam menos enchentes e alagamentos. O solo exposto absorve mais as águas que caem sobre ele. “São Paulo fere um princípio básico de drenagem: a água da chuva tem de se infiltrar no solo onde ela cai”, diz a engenheira civil Denise Duarte, professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, que colabora com colegas do IAG. “Aqui, com boa parte da cidade impermeabilizada, a água é simplesmente escoada.” A chuva de um lugar é transferida para outro, em geral os situados em pontos baixos da mancha urbana.

O valor atual de aproximadamente 1.600 mm anuais de chuva registrado na estação do IAG funciona como uma referência genérica ao regime pluviométrico vigente na região metropolitana.

Mais águas na Guanabara

As chuvas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, a segunda maior do país com 12,5 milhões de habitantes, parecem exibir tendências semelhantes às de São Paulo. Embora a capital fluminense não disponha de uma série histórica sobre pluviosidade tão longa e confiável como a do IAG-USP, duas estações do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) instaladas no Rio de Janeiro fornecem dados de qualidade razoável sobre ao menos quatro décadas de chuva.

De acordo com os registros obtidos entre 1967 e 2007 pela estação mantida no Alto da Boa Vista, a quantidade de água despejada sobre esse bairro da zona Norte da capital fluminense nos dias de forte tempestade elevou-se, em média, 11,7 mm ao ano. A estação fica no Parque Nacional da Tijuca, uma das maiores florestas urbanas do planeta. "Houve uma tendência de aumento da pluviosidade total na região metropolitana e as áreas de floresta, como o Alto da Boa Vista, se tornaram mais úmidas", afirma a meteorologista Claudine Dereczynski, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), principal autora do estudo, ainda não publicado.



A outra estação do Inmet se situa em Santa Cruz, bairro com menos áreas verdes da zona Oeste. Nessa região, os sinais de intensificação das chuvas foram discretos, segundo as informações coletadas entre 1964 e 2009, e não foram considerados estatisticamente significativos. "No Rio, os dados climáticos das últimas décadas sinalizam mais claramente um aumento na temperatura local

e de forma mais fraca uma elevação da quantidade de chuvas", diz Claudine. Simulações feitas por pesquisadores do Inpe e da UFRJ projetam para as próximas décadas um aumento na intensidade e na frequência tanto dos dias de chuva intensa como dos de seca. A pluviosidade apresenta tendência a se tornar mais mal distribuída ao longo do ano e a se concentrar fortemente em alguns dias.

OS PROJETOS

1 Narrowing the Uncertainties on Aerosol and Climate Changes in São Paulo State - Nuançe-SPS

2 Assessment of impacts and vulnerability to climate change in Brazil and strategies for adaptation option

MODALIDADE

1 e 2 Programa FAPESP de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais - Projeto Temático

COORDENADORES

1 Maria de Fátima Andrade - IAG-USP
2 José Marengo - Inpe

INVESTIMENTO

1 R\$ 570.084,46
US\$ 2.654.199,16
2 R\$ 1.264.027,66

Numa área que hoje se estende por 8 mil quilômetros quadrados e engloba os territórios de 39 municípios, a quantidade de chuva realmente medida ano a ano em cada estação meteorológica pode variar bastante. Um trabalho do CCST traça uma espécie de distribuição geográfica da pluviosidade na Grande São Paulo a partir de séries históricas, com o total diário de chuva, fornecidas por 94 estações meteorológicas do Departamento de Águas e Energia (DAEE) do Estado de São Paulo e da Agência Nacional de Águas (ANA). Dados de um período de 25 anos, entre 1973 e 1997, foram utilizados no trabalho.

Nas zonas mais úmidas, em geral pontuadas por serras e montanhas, a pluviosidade anual pode chegar a 2.400 mm, quantidade de chuva parecida com a da floresta amazônica. Esse é caso da porção da Grande São Paulo cortada pela serra do Mar, que pega o trecho sul da capital paulista e parte de cidades como São Bernardo do Campo e Rio Grande da Serra, e também de trechos de Santana do Parnaíba e Cajamar, no oeste da região metropolitana. Nas áreas menos úmidas, como

uma grande parte de Mogi das Cruzes, o índice de chuvas pode ficar na casa dos 1.300 mm por ano. Entre esses dois extremos há vários níveis intermediários de pluviosidade.

"Essa diferença de níveis de chuvas se mantém ao longo do ano e em todas as estações climáticas", diz Guillermo Obregón, do CCST, principal autor do estudo sobre a distribuição geográfica da chuva na região metropolitana. "Nos locais mais úmidos predominam as chuvas orográficas ou de relevo." Esse mecanismo faz as massas de ar quente e úmido subirem ao se chocar com elevações topográficas, condensarem-se e gerarem precipitações frequentes. Seja por seus prédios e asfalto, seja por suas áreas montanhosas, a Grande São Paulo parece estar no caminho das chuvas. ■

Artigos científicos

1 SILVA DIAS, M.A.F. *et al.* Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. *Climatic Change*. no prelo. 2012.

2 MARENGO, J. A. *et al.* The climate in future: projections of changes in rainfall extremes for the Metropolitan Area of São Paulo (Masp). *Climate Research*. no prelo. 2012

Captação de dados marítimos e climáticos

Duas boias repletas de sensores serão instaladas em alto-mar para colaborar no entendimento das condições meteorológicas e oceânicas da costa brasileira



SATÉLITE

Geoestacionário, ele recebe os dados das boias e os retransmite para uma estação em terra

ESTAÇÃO DE PROCESSAMENTO

Do satélite as informações seguem para a internet



BOIA METEOCENOGRÁFICA (BMO)

Fabricadas para a Petrobras, duas dessas boias vão servir principalmente para medir as correntes e as ondas na região do pré-sal

ATLAS-B

O navio Alpha Crucis vai levar essa boia para o alto-mar com o objetivo de estabelecer uma série temporal para acompanhamento de possíveis mudanças climáticas



258

- Estação meteorológica
- Estação de comunicação via satélite
- Painéis solares
- Sensor de correntes marítimas
- Medidor de salinidade e temperatura
- Cabo de aço
- Boia

- Medidor de vento
- GPS
- Estação de comunicação via satélite
- Bateria
- Sensor de CO₂
- Sensor de profundidade e temperatura
- Sensor de flúor
- Sensor de radiação solar
- Sensor de radiação solar e de flúor
- Sensores de condutividade e temperatura

BOIAS ao mar

Equipamentos flutuantes de coleta de dados entram em operação ainda neste ano

Evanildo da Silveira

O desenvolvimento de duas boias para monitoramento meteorológico e das condições do mar vai permitir que o Brasil tenha tecnologia necessária para estudos e operações oceanográficas em águas profundas. Os equipamentos serão pela primeira vez fabricados no país. Os dois projetos são da empresa Ambidados – Soluções em Monitoramento Ambiental, do Rio de Janeiro, um em parceria com a universidade federal daquele estado (UFRJ), com financiamento da Petrobras, e outro com a Universidade de São Paulo (USP), com apoio da FAPESP. O lançamento da boia da USP ao mar será uma das primeiras missões, ainda neste ano, do recém-adquirido navio oceanográfico Alpha Crucis.

Uma das sócias da Ambidados, Wilsa Atella, explica que essas boias oceanográficas vão servir para a aquisição de dados meteorológicos importantes e o monitoramento do ambiente marinho em alto-mar. Elas são equipadas com sensores que medem, por exemplo, a velocidade dos ventos, quantidade de chuvas, umidade relativa do ar, radiação solar, pressão atmosférica, concentração de dióxido de carbono (CO₂), temperatura do ar e da água do mar, salinidade, correntes e ondas.

Para isso, ficam fundeadas num ponto específico do oceano, de onde enviam as informações coletadas para um satélite, que as retransmite para um sistema computacional e conseqüentemente coloca os dados na internet. “Os clientes que usam essas informações são portos, empresas *offshore* [alto-mar] e pesquisadores em projetos científicos”, diz Wilsa.

PLATAFORMAS DE PETRÓLEO

De formato cilíndrico, com 2,5 metros de diâmetro, 1,20 metro de altura e 400 quilos, a boia meteoceanográfica (BMO) começou a ser desenvolvida em 2010 a pedido do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes) da Petrobras. “Essa boia é importante no monitoramento meteoceanográfico das regiões oceânicas em águas profundas, para onde estão se deslocando as plataformas de exploração de petróleo da Petrobras e outras empresas”, diz Wilsa. Ela informa que serão fabricadas inicialmente duas BMO. Uma já foi entregue à Petrobras e deverá ser levada ao mar ainda neste ano, e a outra ficará pronta em setembro.

A outra boia em processo de finalização pela Ambidados, chamada Atlas-B, está sendo desenvolvida pela empresa em parceria com o Instituto Oceanográfico (IO) da USP. Segundo o professor Edmo Campos, do Departamento de Oceanografia Física, Química e Geológica do IO, a ideia de desenvolvê-la surgiu em 2004, depois que o sul do país foi atingido pelo

furacão Catarina, em março daquele ano. O evento deixou claro que a meteorologia brasileira

“Construímos um sistema de monitoramento das condições oceânicas e atmosféricas em regiões de águas profundas”, diz Edmo Campos

não estava preparada para prever esse tipo de fenômeno, que requer conhecimento tanto das condições do mar onde o furacão se forma como da temperatura média de uma camada de água de 100 a 200 metros.

Segundo Campos, o desenvolvimento da Atlas-B tem dois objetivos principais. O primeiro deles é meteorológico, ou seja, melhorar a previsão do tempo e conhecer as condições do mar nas regiões próximas onde a boia ficará fundeada. O segundo é estabelecer uma série temporal dessas previsões, para acompanha-

mento de possíveis mudanças climáticas. “É um projeto pioneiro no Brasil”, assegura o pesquisador da USP. “Nosso país sempre se destacou na oceanografia costeira. Agora construímos um sistema de monitoramento das condições oceânicas e atmosféricas em regiões de águas profundas. Além disso, pela primeira vez estamos fazendo o processo completo, projetando, construindo, lançando e mantendo a boia.”

A intenção inicial era comprar boias Atlas, as mesmas que são usadas no Projeto Pirata, um programa de monitoramento das águas do oceano Atlântico tropical, entre a América e a África, da latitude 20° Sul (mais ou menos na altura de Vitória, no Espírito Santo) até a latitude 20° Norte (na região do Caribe), desenvolvido em conjunto pelos Estados Unidos, Brasil e França. Nesse espaço existem 16 boias fabricadas pelos norte-americanos para a National Oceanic & Atmospheric Administration (Noaa) ou Administração Oceânica e Atmosférica Nacional. “Em vez de nos vender as boias, os americanos sugeriram que fabricássemos outras iguais à Atlas”, conta Campos. “Eles nos repassaram a tecnologia para fazer cópias delas. Por isso é que chamamos as que estamos fabricando de Atlas-B.”

A partir de então Campos e sua equipe passaram a procurar uma empresa de engenharia que fosse capaz de construir a Atlas-B. Foi assim que encontraram a Ambidados e fecharam o contrato em março de 2011. “Em seguida fornecemos todas as especificações do que queríamos para eles, que começaram a desenvolver a boia”, conta Campos. “Para esse projeto, recebemos R\$ 500 mil do programa de mudanças climáticas da FAPESP, em

260

1. Na UFRJ, boia produzida para a Petrobras

2. Atlas é cópia autorizada de similar norte-americana



O PROJETO

Impact of the southwestern atlantic ocean on south american climate for the 20th and 21st centuries – nº 2008/58101-9

MODALIDADE

Projeto Temático do Programa FAPESP de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais (PPFPMCG)

COORDENADOR

Tercio Ambrizzi – USP

INVESTIMENTO

R\$ 2.075.788,51 e
US\$ 583.427,37 (FAPESP)

um projeto coordenado pelo professor Tércio Ambrizzi, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), da USP, R\$ 500 mil do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Mudanças Climáticas e R\$ 500 mil do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [CNPq].”

Feita do mesmo material – fibra de vidro, aço e alumínio – e com tamanho semelhante ao da BMO, a Atlas-B tem um formato um pouco diferente, chamado toroidal (parecido com uma boia salva-vidas ou um pneu). Na parte que ficará acima da água há uma pequena torre, de quase dois metros de altura, onde serão instalados sensores, como, por exemplo, pluviômetros, que medem a quantidade de chuva, anemômetros para indicar a direção e a velocidade do vento, espectrorradiômetro, que verifica a radiação solar incidente, GPS, termômetros, além de medidores da umidade relativa do ar e a concentração de CO₂.

Na parte submersa também haverá uma torre, menor que a de cima, mas invertida, de cabeça para baixo. Da parte mais baixa dela sairá um cabo, de 4 mil metros de extensão, cuja ponta será fixada no fundo mar. A boia ficará num ponto específico da superfície, localizado na região onde se formou o furacão Catarina, a 600 quilômetros mar adentro do cabo de Santa Marta, no litoral catarinense. Nos primeiros 500 metros do cabo, a partir da boia, também serão instalados sensores, entre os quais fluorômetros, para medir a concentração de flúor, e espectrorradiômetros para verificar a radiação solar que penetra na água, além de instrumentos que medem a salinidade e a temperatura da água.

VIA SATÉLITE

Todos os dados coletados pelos sensores instalados na boia serão gerenciados por um sistema de computação chamada Datalogue, desenvolvido pela equipe de Campos, no IO da USP. “Depois de passar pelo Datalogue, as informações serão enviadas para um módulo de transmissão que as retransmitirá para o sistema de satélites Argos, que coleta dados ambientais de plataformas autônomas de todo o mundo”, explica Campos. “Dos satélites, os dados são enviados para a internet.”

Segundo o pesquisador da USP, num primeiro momento serão construídas duas Atlas-B. A primeira já está quase



A boia Atlas-B ficará num ponto específico em alto-mar no litoral catarinense onde se formou o furacão Catarina

pronta e será lançada ao mar, no dia 1º de novembro, a partir do navio Alpha Crucis. Para esse lançamento, o projeto recebeu R\$ 200 mil do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Mudanças Climáticas da USP. “A primeira boia permanecerá em operação por um período de um ano”, diz Campos. “Depois ela deverá ser substituída por outra igual. A expectativa é que essa alternância possa ser mantida por muito tempo para que se produzam séries de tempo ininterruptas e longas relacionadas aos estudos climáticos. Os recursos de R\$ 1,5 milhão que recebemos da FAPESP, CNPq e INCT são para a construção dessas duas boias. Essas duas primeiras servirão para demonstrar que somos capazes de fabricar, fundear e operar boias iguais à Atlas, usada no Projeto Pirata.”

Além da BMO e da Atlas-B, a Ambidados desenvolveu um terceiro produto, o Ondaleta, um instrumento para o monitoramento da maré e das ondas em portos. Ele é composto de uma unidade feita com uma caixa de PVC, que abriga seus sistemas eletrônicos e um sensor de pressão, mais um tubo de cobre que vai até a água. O conjunto é capaz de medir a altura da maré e das ondas e o período dessas últimas (o tempo entre uma e

outra). Ele está ligado a outra unidade que pode ser instalada, por exemplo, em uma empresa proprietária de navios. “A comunicação entre as duas unidades poderá ser feita em tempo real por rádio ou fibra óptica”, diz Wilsa. “Nós desenvolvemos também um *software* específico que permite o cliente configurar o sensor de acordo com a suas necessidades.”

A patente do Ondaleta pertence ao Cenpes, da Petrobras, e foi cedida à Ambidados em 2010, que paga *royalties* a companhia petrolífera. “Era apenas um protótipo”, diz Wilsa. “Com recursos próprios e do Cenpes, nós desenvolvemos o produto comercial e a interface *on-line*. Até agora já vendemos cinco unidades para empresas.” A Ambidados é uma empresa de base tecnológica, criada em 2006 por pesquisadores egressos do Programa de Engenharia Oceânica da Coppe, e que foi instalada em 2007 na incubadora da própria instituição. Em abril deste ano, a empresa mudou para o Parque Tecnológico do Rio de Janeiro, localizado dentro do *campus* da UFRJ, na Ilha do Fundão. “Hoje nossos principais clientes são a Petrobras e a Vale”, diz Wilsa. “Temos atualmente 31 funcionários e deveremos faturar R\$ 3 milhões neste ano.” ■

Desafios no campo e nas cidades

262

Mudanças climáticas deverão acentuar perdas na produção agrícola, aumentar o desafio de gerar energia hidrelétrica e afetar a gestão urbana

Carlos Fioravanti

'Temos de agir para evitar o pior", comentou o agrônomo Eduardo Assad, pesquisador da Embrapa em abril em uma conferência em São Paulo ao apresentar as conclusões de um dos capítulos do primeiro relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC). Os pesquisadores esperam que as informações do relatório sirvam para nortear a elaboração e a implantação de políticas públicas e o planejamento das empresas. "Tendo nosso relatório", diz Tércio Ambrizzi, do IAG-USP, um dos coordenadores do PBMC. "temos mais chance de ver as áreas em que estamos bem e as que precisamos dar mais atenção."

Os desafios apontados no relatório brasileiro são muitos. "Temos de mudar a política agrícola, industrial

e urbana, incluir preocupação com sustentabilidade e eventos climáticos extremos como as chuvas e as secas", comenta Antonio Magalhães, assessor do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), ligado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). "Precisamos ampliar os debates e superar a rigidez institucional, as resistências e os interesses de curto prazo."

O relatório indica que as consequências da elevação da temperatura média global serão dramáticas no Brasil. De acordo com os modelos computacionais de simulação do clima, a agricultura será o setor mais afetado, por causa das alterações nos regimes de chuva. "Mesmo que a quantidade de chuva fique inalterada, a disponibilidade de umidade no solo deve diminuir, em consequência

da elevação da temperatura média anual, que intensifica a evapotranspiração", diz Magalhães. Segundo ele, esse fenômeno deve prejudicar os cultivos agrícolas em regiões onde a escassez de água é constante, como o semiárido nordestino.

"No Nordeste brasileiro", prevê o relatório, "as culturas do milho, arroz, feijão, algodão e mandioca sofrerão perda significativa de produtividade devido à forte redução de área de baixo risco". Uma provável consequência da redução da produção agrícola e da área de terras aptas à agricultura é a queda na renda das populações, intensificando a pobreza e a migração da área rural para as cidades, que por sua vez deve agravar os problemas de infraestrutura (habitação, escola, saúde, transporte e saneamento).

Os efeitos na agricultura já podem ser dimensionados. “Desde 2000 observamos uma queda na produção em algumas regiões, principalmente de café, soja e milho”, diz Assad. Segundo ele, com a elevação da temperatura, as perdas de produtividade agrícola causadas pelas variações do clima já chegam a R\$ 5 bilhões por ano – e devem crescer. A previsão de um estudo da Embrapa de 2008, confirmada no relatório do PBMC, é que as mudanças do clima devem prejudicar a produção de alimentos e causar perdas estimadas em R\$ 7,4 bilhões em 2020 e R\$ 14 bilhões em 2070, comprometendo o agronegócio, responsável por 24% do PIB nacional. A soja deve ser a cultura mais afetada, com perdas de até 40% da área de plantio. A produção de café arábica deve cair 33% em São Paulo e Minas Gerais, embora possa aumentar no Sul do país. As previsões indicam que, em 2020 e 2030, deve haver uma redução na produção de algodão, arroz, feijão, soja, milho e trigo – como efeito da provável elevação da temperatura.

“De 1990 a 2010, a intensidade da precipitação dobrou na região do cerrado”, diz Assad, “e o padrão tecnológico atual da agricultura ainda não se adaptou a esses novos padrões”. Agora, segundo ele, torna-se imperioso investir intensivamente em sistemas agrícolas consorciados, e não somente na produção agrícola solteira, de modo a aumentar a fixação biológica de nitrogênio, reduzir o uso de fertilizantes e aumentar a rotação de culturas. “O conhecimento já existe, mas precisamos de um nível de governança mais forte”, ele afirma. “Temos de aumentar a produtividade agrícola no Centro-Oeste, Sudeste e Sul, para evitar a destruição da Amazônia. A reorganização do espaço rural brasileiro agora é urgente.”

MAIS PESTES E PRAGAS

Cheias e secas mais frequentes e intensas devem causar uma redução na produção agrícola também por outra razão. Pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente, de Jaguariúna, concluíram que algumas doenças – principalmente as causadas por fungos – e pragas podem se agravar em muitas das 19 culturas analisadas – entre as quais soja, milho, café, arroz, feijão, banana, manga e uva – em decorrência da elevação dos níveis de CO₂ do ar,

“Temos de aumentar a produtividade agrícola. A reorganização do espaço rural brasileiro agora é urgente”, alerta Assad

EDUARDO CESAR



da temperatura e da radiação ultravioleta B, como previsto nos cenários de mudanças do clima, acenando com a possibilidade de aumento de preços e de redução de variedade de cereais, hortaliças e frutas. Outra possibilidade é a migração de doenças como a sigatoka negra, a mais preocupante praga da bananeira, causada por um fungo, que deve perder intensidade em algumas regiões produtoras, mas emergir onde ainda não se manifestou (ver Pesquisa FAPESP nº 198).

Cheias e secas mais intensas e frequentes, de acordo com o relatório do PBMC, devem também alterar a vazão dos rios e prejudicar o abastecimento dos reservatórios das hidrelétricas, acelerar a aci-

dição da água do mar e reduzir a biodiversidade dos ambientes aquáticos brasileiros. A perda de biodiversidade dos ambientes naturais brasileiros deve se agravar; alguns já perderam uma área expressiva – o cerrado, 47%, e a caatinga, 44% – a ponto de os especialistas questionarem se a recuperação do equilíbrio ecológico característico desses ambientes seria mesmo possível.

Quem mora nas cidades, principalmente nas regiões costeiras, terá de se preocupar com o risco ampliado de deslizamento de encostas, enxurradas ainda mais fortes e com os possíveis efeitos da elevação do nível do mar, da intensificação das ondas de calor, que pode agravar a mortalidade principalmente de portadores de doenças

Prevenindo desastres naturais: parques lineares como este de Manaus podem ajudar a reduzir os efeitos das inundações nas cidades

cardíacas e respiratórias, e com a proliferação de insetos transmissores de dengue e malária, beneficiados pela temperatura mais alta. “Se não nos prevenirmos diante da possibilidade de intensificação do calor e da umidade nas cidades”, alerta Assad, “a tendência é de termos mais problemas de saúde pública”.

O QUE FAZER?

O grupo de trabalho coordenado por Assad e Magalhães sugeriu medidas de adaptação à inclemência do clima nas cidades, como a implantação de parques lineares na margem de córregos, o controle da erosão nas cidades costeiras, onde vivem 85% da população do país, e o remanejamento dos moradores das áreas de risco, para reduzir o impacto de cheias e evitar inundações dantescas como a da cidade de Petrópolis há dois anos. “Frequento a cidade do Rio há 50 anos, mas só depois de mil pessoas morrerem em Petrópolis é que vi garis limpando as bocas de lobo em Copacabana”, diz Assad. “Um prefeito de Minas Gerais adotou medidas contra inundações, recolhendo lixo e limpando as bocas de lobo, não houve inundações na cidade dele nos dois anos seguintes, mas no terceiro as medidas de prevenção não foram mais adotadas.”

“As incertezas não justificam adiamento das decisões sobre mitigação de emissão de gases do efeito estufa”, comenta Mercedes Bustamante, professora da Universidade de Brasília e coordenadora da equipe que examinou as perspectivas de redução dos impactos (mitigação) e de adaptação às mudanças climáticas. Emilio Rovere, professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro que também esteve à frente da equipe que elaborou essa parte do relatório, reconheceu “a quase impossibilidade de estabilização da temperatura em apenas 2 graus acima do nível pré-Revolução Industrial”, “a viabilidade de se alcançar os objetivos voluntários de limitação de emissões já aprovados pelo governo brasileiro” – a redução de 36 a 38% na emissão de gases do efeito estufa até 2020, anunciada em dezembro de 2010, por meio da redução do desmatamento, recuperação de pastagens degradadas e da implantação de políticas agrícolas, ambientais e energéticas ambientalmente sustentáveis – e “a tendência de retomada do crescimento das emissões brasileiras após 2020, caso não sejam aprovadas medidas adicionais de mitigação”.

Os especialistas desse grupo concluíram que aparentemente é possível, sim, conciliar a redução da emissão de gases do efeito estufa com desenvolvimento econômico. “O governo não está parado, mas as ações ainda são tímidas”, afirma Assad. O governo federal promoveu os primeiros leilões de energia eólica e solar, mas o etanol, que representa uma alternativa menos

“O futuro tem de ser diferente, porque o governo acaba refletindo o que a sociedade quer”, diz Magalhães

poluente que os combustíveis fósseis, ainda é pouco prestigiado, segundo ele. Uma iniciativa relevante é o programa Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC), que destinou R\$ 3,5 bilhões em financiamentos para a safra 2011/2012 com o propósito de motivar os produtores rurais a reduzirem a emissão de gases do efeito estufa, por meio do plantio direto sobre a palha do cultivo recém-colhido, da recuperação de pastagens degradadas para a produção de alimentos e do incentivo à integração de florestas, pecuária e lavoura. Como resultado do Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia, o desmatamento caiu de 27 mil km² para 4 mil km²

em menos de 10 anos, mas os ajustes nas áreas de transportes ainda são lentos. “Precisamos de mais trens, metrô e ciclovias, não podemos nos basear mais nos meios de transporte individual, principalmente nas cidades”, diz Assad.

Os autores do relatório reconhecem que o diálogo está crescendo. Antigos oponentes, como os produtores agrícolas, agora são aliados. O Plano Nacional sobre Mudança do Clima e o reconhecimento pelo governo dos Estados Unidos de que as mudanças climáticas são um problema devem acelerar a implantação de políticas efetivas nessa área. “Todas as esferas de governo, indústria, comércio e sociedade precisam estar envolvidas no desenvolvimento de uma resposta nacional adequada”, afirma Assad. Magalhães, do CGEE, reconhece que essa articulação ainda está no começo, embora a preocupação com as mudanças do clima seja crescente.

“Quando começou internacionalmente a discussão sobre mudanças climáticas, sobretudo a partir da criação do IPCC em 1989, o assunto não chegou a sensibilizar os tomadores de decisão no Brasil. Levou mais de uma década para que o país reagisse”, diz Magalhães. “Hoje já existe uma Comissão Nacional sobre Mudanças Climáticas, um Fórum Nacional e Fóruns Estaduais, que incluem a sociedade civil, um Plano Nacional, e agora estão sendo elaborados planos setoriais de adaptação àquelas mudanças que já são inevitáveis. Vários ministérios e instituições já planejaram suas ações, mas ainda falta esforço e maior consistência nas respostas. Esse movimento de articulação tende a crescer. O futuro tem de ser diferente, porque o governo acaba refletindo o que a sociedade quer.” ■

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-85047-16-0



Realização:



Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica
e Ciências Atmosféricas



Apoio:

Pesquisa
FAPESP

 **FUNDESPA**
Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas