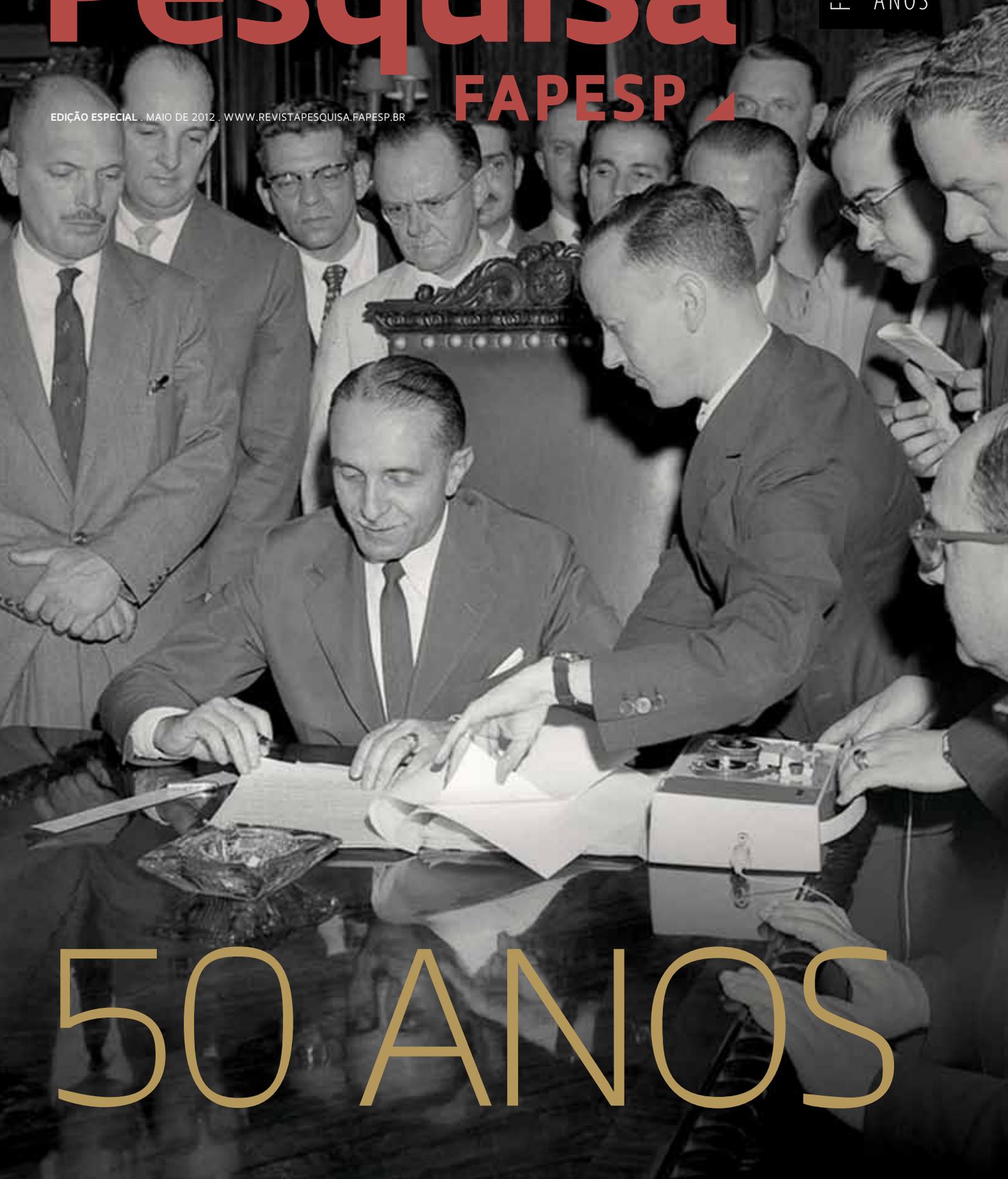


Pesquisa

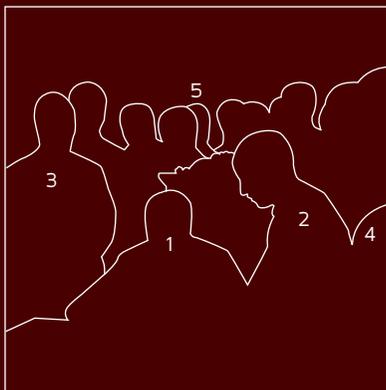
FAPESP

FAPESP
50
ANOS

EDIÇÃO ESPECIAL . MAIO DE 2012 . WWW.REVISTAPESQUISA.FAPESP.BR



50 ANOS



A certidão de nascimento da FAPESP

Em 23 de maio de 1962, o governador Carlos Alberto Alves de Carvalho Pinto sanciona a Lei nº 5.918, de 18 de outubro de 1960, que organizou a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), e assina o Decreto nº 40.132, que aprovou os estatutos da nova instituição. Na foto, Carvalho Pinto (1), Hélio Pereira Bicudo (2), chefe da Casa Civil, Fauze Carlos (3), secretário de estado da Saúde e membro da comissão de governo que elaborou o projeto autorizando a criação da Fundação, Jayme Arcoverde de Albuquerque Cavalcanti (4), primeiro diretor-presidente da FAPESP, de 1962 a 1976 e Paulo Emílio Vanzolini (5), zoólogo, um dos articuladores da criação da FAPESP e membro de seu conselho superior por 15 anos em 3 períodos.

UMA IMAGEM DA HISTÓRIA



JOHN W. JORDAN/ARQUIVO PIERRE KAUFMANN

O céu de Bagé, no Rio Grande do Sul, escureceu em plena tarde de 12 de novembro de 1966. Ponto privilegiado para observação do eclipse solar completo, a cidade gaúcha acolheu astrônomos do mundo todo. Entre eles, um grupo da Universidade Mackenzie, de São Paulo: na foto, Wilson Lopes e Pierre Kaufmann. Junto a eles, o radiotelescópio adquirido pela FAPESP, um dos primeiros grandes equipamentos entregues a um projeto de pesquisa. A bordo do fenemê (FNM, sigla da Fábrica Nacional de Motores), primeiro caminhão da indústria brasileira, ele foi transportado ao sul e forneceu medições durante o espetáculo celeste.



APRESENTAÇÃO

6 Os 50 anos da FAPESP e o desenvolvimento da ciência em São Paulo

Carlos Henrique de Brito Cruz

7 Meio século de FAPESP

Celso Lafer

8 Para contar uma história exemplar

Mariluce Moura

MEDICINA

12 Entrevista

Luiz Hildebrando P. da Silva

Ação coordenada de instituições reduz os casos de malária

20 Biologia molecular

Pesquisadores apostam em fármaco nacional contra o mal de Chagas em médio prazo

22 Hipertensão

Equipe do Incor reduz de 2 mil para 80 os genes candidatos a explicar a origem da hipertensão

30 Imunologia

Amplia-se a visão molecular da sepse

34 Diabetes

Grupo desvenda conexões entre dieta e resistência à insulina

38 Psiquiatria

Alterações genéticas estão agora associadas à esquizofrenia

GENÔMICA

44 Xylella

Empreendimento pioneiro desvelou ao país sua face de produtor científico competente

54 Genética

Projeto Genoma Cana abriu caminho para novas variedades

58 Doenças tropicais

Pesquisadores identificam alvos promissores contra esquistossomose

62 Reparo de DNA

Sensor detecta lesões em genes causadas pela radiação

66 Biologia estrutural

Cristalografia facilita a busca de novos medicamentos

70 Biologia estrutural

Rede com 20 grupos definiu a estrutura de 200 biomoléculas

74 Neurologia

Príon celular regula comandos químicos nos neurônios

78 Genética humana

Grupo identifica genes de doenças neuromusculares

84 Câncer

Células normais podem facilitar a evolução de tumores

BIOLOGIA

90 Ambiente

Lagarto da Amazônia reforçou proposta sobre refúgios

94 Evolução

Lagartos de dunas expressam histórias evolutivas próprias

98 Biologia evolutiva

Gambás brasileiros antecederam os cangurus australianos

100 Ecologia

Formigas ajudam sementes a germinar em florestas

104 Zoologia

O bico do tucano é um eficiente dissipador de calor

106 Biodiversidade

Paulistas e paraenses colaboram em estudos sobre venenos

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

112 Mudanças climáticas

Pesquisadores se articulam para examinar transformações ambientais do planeta

120 Cosmologia

Análise de raios cósmicos avança e traz novos desafios

127 Nanociência

Partículas de ouro e prata formam joias nanométricas

132 Geologia

Laboratório ajuda a reconstruir a história da América do Sul



TECNOLOGIA

140 Bioenergia

Programa Bioen amplia conhecimento sobre biocombustíveis

148 Indústria aeronáutica

Universidades e Embraer aperfeiçoam aviões

154 Biopolímero

Plástico de cana-de-açúcar degrada-se em um ano

158 Semicondutores

Filme ferroelétrico poderá entrar nos computadores

162 Novos materiais

Grupo faz vitrocerâmicas para telescópios e ossos do ouvido

166 Novos materiais

Diamante sintético é usado em brocas e como bactericida

170 Engenharia naval

Estudos da dinâmica de plataformas apoiam avanços na exploração de petróleo

174 Indústria petrolífera

Programa aprimora produção das refinarias

176 Tecnologia da informação

Projetos em colaboração viabilizam novos usos das ciências da computação

182 Tecnologia da informação

Físicos fazem fibras ópticas para unir circuitos de computadores

186 Informática

Revisor gramatical brasileiro é licenciado para a Microsoft

188 Biologia celular

Identificação de erro reorienta estudos de reprodução animal

190 Pecuária

Cruzamentos deixam bovinos prontos para abate mais cedo

194 Agricultura

Inseto é usado para eliminar transmissor do *greening*



HUMANIDADES

202 Economia

País reduz abismo histórico entre campo e cidade

208 Sociologia

Memórias de trabalhadores rurais elucidam fim do colonato

212 Sociologia

Centro de Estudos da Metrópole desvenda múltiplas faces de São Paulo

216 Direitos humanos

Viés autoritário da mentalidade brasileira é um dos focos de núcleo de estudos da violência

220 Relações internacionais

Políticas norte-americanas para a América do Sul são mais reativas do que proativas

224 Ciência política

Poder de legislar do Executivo tende a amenizar a imagem do governo como clientelista

230 Defesa nacional

Legislativo ainda tem participação fraca no destino das Forças Armadas

240 Antropologia

Análise de etnografias desfaz noção do antropólogo como tradutor

246 História da ciência

Transformação da alquimia em química foi longa e suave

252 Literatura

Ressurge a complexidade do escritor Monteiro Lobato

258

A FAPESP em 50 anos

Ao final de cada reportagem, apresentamos:

O PROJETO refere-se ao principal projeto de pesquisa focado, com os valores definidos na época de sua contratação.

ARTIGOS CIENTÍFICOS apresenta os principais trabalhos resultantes das pesquisas publicados em revistas científicas.

DE NOSSO ARQUIVO indica reportagens anteriores publicadas na revista *Pesquisa FAPESP*.

Os 50 anos da FAPESP e o desenvolvimento da ciência em São Paulo

Carlos Henrique de Brito Cruz, diretor científico

A base de dados do ISI, acessível via Web of Science, mostra, em 1966, 42 artigos científicos de autores no Brasil. Desses, seis eram de autores no estado de São Paulo, representando 14% do total nacional. Dez anos depois, a produção científica brasileira era 26 vezes maior, (1.073 artigos). A de São Paulo cresceu 90 vezes (535 artigos, 48% do total nacional). Daí em diante, a participação paulista ficou entre 47% e 52%.

Não é difícil supor que a FAPESP, criada em 1962, tenha tido um papel neste crescimento. Também não é difícil supor que a FAPESP não seja a única responsável: a ciência no Brasil e em São Paulo tem crescido e progredido graças à contribuição combinada de agências de fomento estaduais e federais e graças ao desenvolvimento de algumas excelentes universidades.

Não se pode esquecer que as agências financiam equipamento, material e formação de recursos humanos, mas quem faz e lidera a pesquisa são professores, pesquisadores e estudantes de universidades e institutos de pesquisa.

No Brasil, na década de 1966 a 1976 foi estruturada a pós-graduação, o que deu enorme impulso à capacidade científica. Em São Paulo, a USP e algumas escolas, então isoladas e que viriam a dar origem à Unesp, organizaram seus sistemas de pós e no mesmo período o governo estadual criou a Unicamp.

A implantação da FAPESP se deu em meio a uma comunidade científica crescente, mais qualificada, exigente e zelosa quanto à qualidade do apoio oferecido pela Fundação, conforme estabelecido na Constituição paulista.

Em 1962, a FAPESP recebeu 428 solicitações de financiamento e aprovou 329. Destas, 57 foram bolsas de várias modalidades; as demais foram para auxílios à pesquisa. Os dados dos relatórios anuais elaborados pelo Conselho Técnico Administrativo da Fundação e sua análise mostram uma evolução notável: em 2011 foram recebidas 20.600 solicitações de apoio, das quais 12.356 foram aprovadas.

Usando como referência o relatório comemorativo de 10 anos, publicado em 1973 por iniciativa do então diretor científico, professor Oscar Sala, e coordenado pelo professor Tamás Szmrecsányi, verifica-se que na sua primeira década toda a FAPESP recebeu 10.500 solicitações, aproximadamente a metade da quantidade que recebeu apenas em 2011. A Tabela ao lado* mostra a mudança no número de

solicitações concedidas anualmente entre a média verificada nos primeiros 10 anos da FAPESP e o valor realizado em 2011.

Média de concessões anuais entre 1962 a 1971 comparada com as de 2011, classificadas segundo a área do conhecimento

Área do conhecimento	Média anual de 1962 a 1971	2011
Saúde	100	3.813
CHS	98	2.174
Engenharias	70	1.476
Ciências biológicas	128	1.364
Agronomia	58	1.285
Química	54	513
Física	72	422
Ciência e engenharia da computação	0	309
Matemática e estatística	28	298
Geologia	25	268
Arquitetura	7	198
Economia	6	145
Astronomia e ciência espacial	8	57
Interdisciplinar		34

Além dos artigos publicados por cientistas paulistas em revistas internacionais terem crescido de 83 em 1972 para 15.202 em 2007, seu impacto também aumentou. Os de 1972 receberam, até 1977, 0,18 citação por artigo por ano (o mais citado recebeu 44 citações até hoje). Já os de 2007 têm recebido 1,5 citação por artigo por ano (78 deles com mais de 78 citações e o mais citado de 2007 com 582).

A ciência em São Paulo tem crescido em quantidade e qualidade. Os 50 anos de existência da FAPESP contribuem para isso, e ao comemorarmos é bom lembrar que o desenvolvimento científico no estado se deve à cooperação entre muitas instituições. Se os 50 anos de FAPESP são fundamentais, é bom repetir que o desenvolvimento da ciência em São Paulo não poderia ter acontecido sem o apoio do CNPq, da Capes e da Finep, e sem o empenho da crescente comunidade de pesquisa ativa nas instituições de ensino superior e de pesquisa no estado.

* “Pesquisa e Desenvolvimento”, Tamás Smerecsányi (coord.), FAPESP, 1973.

Meio século de FAPESP

Celso Lafer, presidente

O conceito de estabelecer uma fonte permanente de recursos para fomentar a ciência e a tecnologia e, com isso, apoiar o desenvolvimento econômico e social do estado de São Paulo começou a ser germinado há 70 anos, quando cientistas paulistas mostraram sua competência para solucionar questões técnicas e científicas necessárias à defesa nacional quando chamados a colaborar no esforço de guerra brasileiro.

Com a democratização resultante do fim do Estado Novo, a comunidade acadêmica e a Assembleia Constituinte Estadual de 1946 foram capazes de se integrar para incluir na Constituição de 1947 dispositivo de apoio à pesquisa, patrocinado por deputados de partidos políticos com distintas perspectivas, em especial Lincoln Feliciano, do PSD, e Caio Prado Júnior, do PCB.

O artigo 123 da Constituição Paulista estabeleceu que “o amparo à pesquisa científica será propiciado pelo estado, por intermédio de uma fundação, organizada em moldes que forem estabelecidos por lei”.

O parágrafo único do dispositivo previa o fundamento que atribuiu à futura instituição autonomia para manter a regularidade no cumprimento de sua missão: “Anualmente, o Estado atribuirá a essa fundação, como renda de sua privativa administração, quantia não inferior a meio por cento do total de sua receita ordinária”.

A instituição efetiva da fundação foi incluída no Plano de Ação do Governo Carvalho Pinto (Page). Aprovado pela Assembleia Legislativa em 1959, o Page cumpriu essa meta com a Lei 5.918, de 18/10/1960, sancionada pelo governador. Dois anos mais tarde, a instituição começou a funcionar segundo os estatutos aprovados no Decreto 40.132, de 23/5/1962, assinado por Carvalho Pinto.

Ocorreu, então, novamente, um exemplar esforço de integração entre a comunidade científica e os Poderes Legislativo e Executivo de São Paulo, que resultaram em princípios de ação sólidos e republicanos, consubstanciados nos Estatutos da FAPESP, que continuam atuais e eficazes até agora.

Ao longo deste meio século, a FAPESP manteve as linhas básicas de ação dos que a conceberam e instalaram: apoiar a pesquisa de qualidade em todos os campos do conhecimento, sem distinção entre teórica e aplicada, por meio de processo decisório realizado pelo sistema

de “peer review”, com bolsas destinadas à formação de pesquisadores e financiamento a projetos regulares propostos por pesquisadores já formados.

Mas para “construir a autoridade” da FAPESP – no sentido que Hannah Arendt deu ao conceito – foi preciso agregar algo mais ao que já vinha sendo feito desde a sua criação. Assim, além do exponencial aumento na quantidade de projetos avaliados e selecionados, a atuação da Fundação passou por importantes mudanças nos paradigmas de organização da pesquisa.

Contribuiu para isto a decisão da Assembleia Constituinte Estadual de 1988, em novo exemplo de integração da comunidade acadêmica com o Legislativo, pela qual o percentual da receita anual do estado destinada à FAPESP passou de 0,5% para 1% e se adicionou à sua missão o desenvolvimento tecnológico, por iniciativa dos deputados Aloysio Nunes Ferreira e Fernando Leça, consubstanciada no artigo 271 da Constituição estadual de 1989.

Os Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepids) estabeleceram prazos para funcionamento autônomo de centros complexos em áreas estratégicas de pesquisa. Outros programas de pesquisa abrangentes, com estrutura organizacional complexa, foram criados. Alguns exemplos são o Biotá-FAPESP, para estudo da biodiversidade e proposição de políticas para seu uso sustentável; BIOEN, de pesquisas sobre bioenergia e o Programa FAPESP de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais. A aproximação com o setor empresarial para estimular a inovação na produção foi contemplada com os programas da pesquisa em parceria (Pite) e o da pesquisa inovativa em pequenas empresas (Pipe).

A internacionalização da FAPESP, por meio de acordos com entidades congêneres no mundo, tem sido uma constante nos últimos anos. É uma resposta ao desafio da importância, para o avanço do conhecimento, do potencial de interação entre pesquisadores nacionais e estrangeiros.

Com isso, a FAPESP, graças ao trabalho de todos os que participaram nesses 50 anos dos seus conselhos Superior e Técnico-Administrativo, de seus funcionários, da comunidade científica paulista, tem sido capaz de contribuir para que o estado de São Paulo se situe melhor no país e no mundo, com o conhecimento gerado pelas pesquisas que ela patrocina.



FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO

CELSO LAFER
PRESIDENTE

EDUARDO MOACYR KRIEGER
VICE-PRESIDENTE

CONSELHO SUPERIOR

ALEJANDRO SZANTO DE TOLEDO, CELSO LAFER, EDUARDO MOACYR KRIEGER, HORÁCIO LAFER PIVA, HERMAN JACOBUS CORNELIS VOORWALD, JOÃO GRANDINO RODAS, MARIA JOSÉ SOARES MENDES GIANNINI, JOSÉ DE SOUZA MARTINS, JOSÉ TADEU JORGE, LUIZ GONZAGA BELLUZZO, SUELY VILELA SAMPAIO, YOSHIKI NAKANAO

CONSELHO TÉCNICO-ADMINISTRATIVO

JOSÉ ARANA VARELA
DIRETOR PRESIDENTE

CARLOS HENRIQUE DE BRITO CRUZ
DIRETOR CIENTÍFICO

JOAQUIM J. DE CAMARGO ENGLER
DIRETOR ADMINISTRATIVO

Pesquisa
FAPESP
ISSN 1519-8774

CONSELHO EDITORIAL

Carlos Henrique de Brito Cruz (*Presidente*), Caio Túlio Costa, Eugênio Buccì, Fernando Reinach, José Eduardo Krieger, Luiz Davidovich, Marcelo Knobel, Marcelo Leite, Maria Hermínia Tavares de Almeida, Marisa Lajolo, Maurício Tuffani, Mônica Teixeira

COMITÊ CIENTÍFICO

Luiz Henrique Lopes dos Santos (*Presidente*), Cylon Gonçalves da Silva, Francisco Antônio Bezerra Coutinho, João Furtado, Joaquim J. de Camargo Engler, José Arana Varela, José Roberto Parra, Luís Augusto Barbosa Cortez, Luis Fernandez Lopez, Marie-Anne Van Sluys, Mário José Abdalla Saad, Paula Montero, Sérgio Queiroz, Wagner do Amaral, Walter Colli

COORDENADOR CIENTÍFICO

Luiz Henrique Lopes dos Santos

EDIÇÃO ESPECIAL 50 ANOS

EDITORA CHEFE

Mariluce Moura

EDITOR ASSISTENTE Carlos Fioravanti

ARTE Mayumi Okuyama (diretora), Jussara Fino (editora)

EDITORES Carlos Haag, Fabrício Marques, Jorge Luiz de Souza, Marcos de Oliveira, Marcos Pivetta, Neldson Marcolin, Ricardo Zorzetto

REPORTAGEM Carlos Fioravanti, Carlos Haag, Claudia Izique, Dimorah Ereno, Eduardo Geraque, Fabrício Marques, Francisco Bicudo, Igor Zolnerkevic, Jorge Luiz de Souza, Marcos Pivetta, Marcos de Oliveira, Maria Guimarães, Marili Ribeiro, Mariluce Moura, Ricardo Zorzetto, Salvador Nogueira e Yuri Vasconcelos

REVISÃO Mauro de Barros

FOTÓGRAFOS Eduardo Cesar, Léo Ramos

ILUSTRAÇÃO E INFOGRÁFICOS Abiuro, Daniel Bueno, Drùm, Guilherme Kramer, Guilherme Lepca, Tiago Cirillo

APOIO EDITORIAL Andressa Matias, Clair Marchetti, Ingrid Teodoro e Maria Paula Iliadis

É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DE TEXTOS E FOTOS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO

PARA FALAR COM A REDAÇÃO (11) 3087-4210
cartas@fapesp.br

PARA ANUNCIAR (11) 3087-4212 mpiliadis@fapesp.br
PARA ASSINAR (11) 3038-1434 fapesp@acsolucoes.com.br

TIRAGEM 47.000 exemplares
IMPRESSÃO Gráfica Burti
DISTRIBUIÇÃO DINAP

GESTÃO ADMINISTRATIVA INSTITUTO UNIEMP
PESQUISA FAPESP Rua Joaquim Antunes, nº 727,
10º andar, CEP 05415-012, Pinheiros, São Paulo-SP
FAPESP Rua Pio XI, nº 1.500, CEP 05468-901,
Alto da Lapa, São Paulo-SP

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO



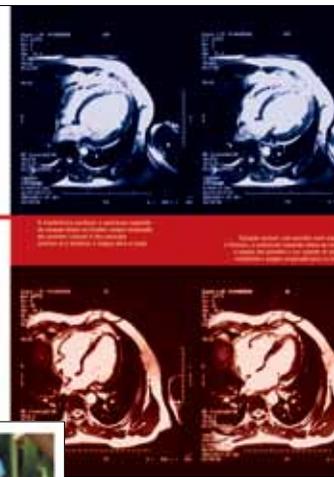
Para contar uma história exemplar

Mariluce Moura, diretora de redação

O planejamento desta edição especial de *Pesquisa FAPESP* foi inteiramente norteado por uma concepção amadurecida numa reunião do Conselho Técnico-Administrativo (CTA) da Fundação, no segundo semestre de 2011, quando se discutiam alguns detalhes das comemorações dos 50 anos da instituição, completados em 23 de maio de 2012. Estavam ali presentes o presidente da FAPESP, Celso Lafer, e os integrantes do Conselho, ou seja, o então diretor-presidente, Ricardo Renzo Brentani (falecido em 29 de novembro e substituído em fevereiro deste ano por José Arana Varela), o diretor científico, Carlos Henrique de Brito Cruz, e o diretor administrativo, Joaquim de Camargo Engler. Segundo essa concepção, a revista especial deveria ter 50 reportagens relativas a 50 projetos apoiados pela Fundação ao longo de sua história, escolhidos como representativos do sucesso da ação da FAPESP na construção do conhecimento científico em todas as áreas.

No passo seguinte, o diretor científico e seus coordenadores adjuntos teriam a tarefa nada fácil de bater o martelo sobre os 50 projetos que, a partir de uma lista de 100, elaborada pela equipe da revista, seriam efetivamente escolhidos para figurar na edição especial. Haveria que se considerar nesta seleção a mesma proporcionalidade entre instituições de origem dos projetos que, de fato, se observa na distribuição do apoio da FAPESP, por mérito, às propostas que lhe são submetidas.

Na verdade, esse era só o começo do trabalho que esta edição iria exigir dos assessores, todos eles integrantes, junto com



os três diretores da Fundação, do comitê científico da *Pesquisa FAPESP*. Até o fechamento final dos arquivos que seriam enviados à gráfica, o último dos quais em 22 de maio, eles não cessaram de receber – e atender sempre – as demandas sem fim dos jornalistas que elaboravam as reportagens por informações, entrevistas, dados, indicações de artigos científicos e, mais adiante, leituras críticas, resolução de dúvidas, luzes para a elaboração de complexos infográficos. Nomeá-los aqui, portanto, com os agradecimentos da equipe da revista, é indispensável e para isso mantenho a ordem em que seus nomes aparecem na rubrica “comitê científico” no expediente da revista. São eles: Luiz Henrique Lopes dos Santos (presidente), Cylon Gonçalves da Silva, Francisco Antônio Bezerra Coutinho, João Furtado, José Roberto Parra, Luís Augusto Barbosa Cortez, Luís Fernando Lopez, Marie-Anne Van Sluys, Mário José Abdalla Saad, Paula Montero, Sérgio Queiroz, Wagner do Amaral e Walter Colli. Vale aproveitar a oportunidade para reiterar aos leitores

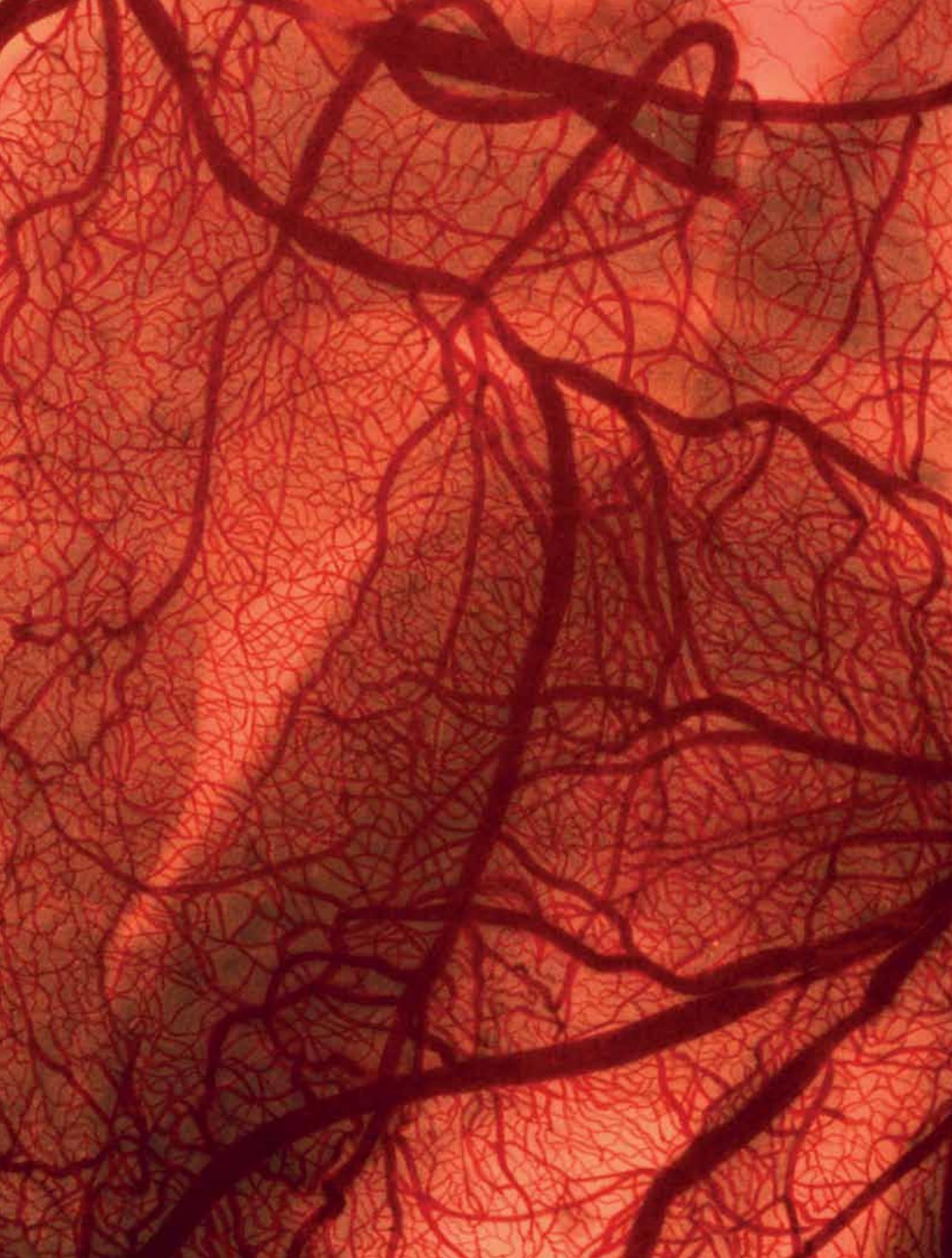
que *Pesquisa FAPESP* resulta sempre de um trabalho de cooperação intensa e criativa entre pesquisadores, nossas fontes principais, e jornalistas, mediadores da informação, para que se produzam os textos mais claros que conseguirmos sobre a produção científica mais relevante deste país. Não foi diferente com esta edição.

Cabe, por fim, dizer algo aqui sobre o imenso trabalho jornalístico e de arte mobilizado por esta edição especial. Primeiro, será preciso lembrar que ele se fez dentro da mais estreita cooperação com a gerência de comunicação da Fundação, Graça Mascarenhas à frente, a quem desde janeiro solicitamos ininterruptamente informações, dados, textos e imagens, entregues sempre com a maior eficiência. E também com o suporte diário do consultor de comunicação da FAPESP, Carlos Eduardo Lins da Silva, que, além disso, nos brindou vezes sem conta com excelentes ideias para aperfeiçoarmos a qualidade do produto. E, por último, é preciso assinalar o quanto foi gratificante, prazeroso mes-

mo, liderar um bom time dos melhores jornalistas brasileiros de ciência, entre os que fazem parte da equipe regular de *Pesquisa FAPESP* e os colaboradores que convocamos de outros veículos, para compor esta alentada edição – não os nomeio aqui porque são muitos, mas seus nomes constam da assinatura de cada texto a que se dedicaram. Destaco o trabalho excelente de Carlos Fioravanti como meu assistente direto nesta tarefa e, na arte, o belo trabalho da *designer* Mayumi Okuyama, que já fora a editora de arte da revista e busquei para esta missão especial. Explico: esta edição ia sendo preparada enquanto corria o processo normal de elaboração das edições regulares da revista, portanto, era crucial valer-se de recursos externos. Esperamos que a edição especial da revista para comemorar os 50 anos da FAPESP se mantenha duradouramente na condição de um testemunho vivo e impresso do quanto esta Fundação contribuiu para o avanço do conhecimento em seus 50 anos de existência.

MEDI CINA

ENTREVISTA **Virando o jogo da malária 12** BIOLOGIA MOLECULAR **Previsões otimistas 20**
HIPERTENSÃO **Genes bailarinos 24** DEFESAS ORGÂNICAS **Quando o organismo se destrói**
30 METABOLISMO DO AÇÚCAR **A trama por trás do diabetes 34** DOENÇAS MENTAIS **Desarmonia**
celular 38



Virando o jogo da malária

Investigação científica, controle de áreas endêmicas e ação coordenada de instituições reduzem os casos da doença em Rondônia

Claudia Izique

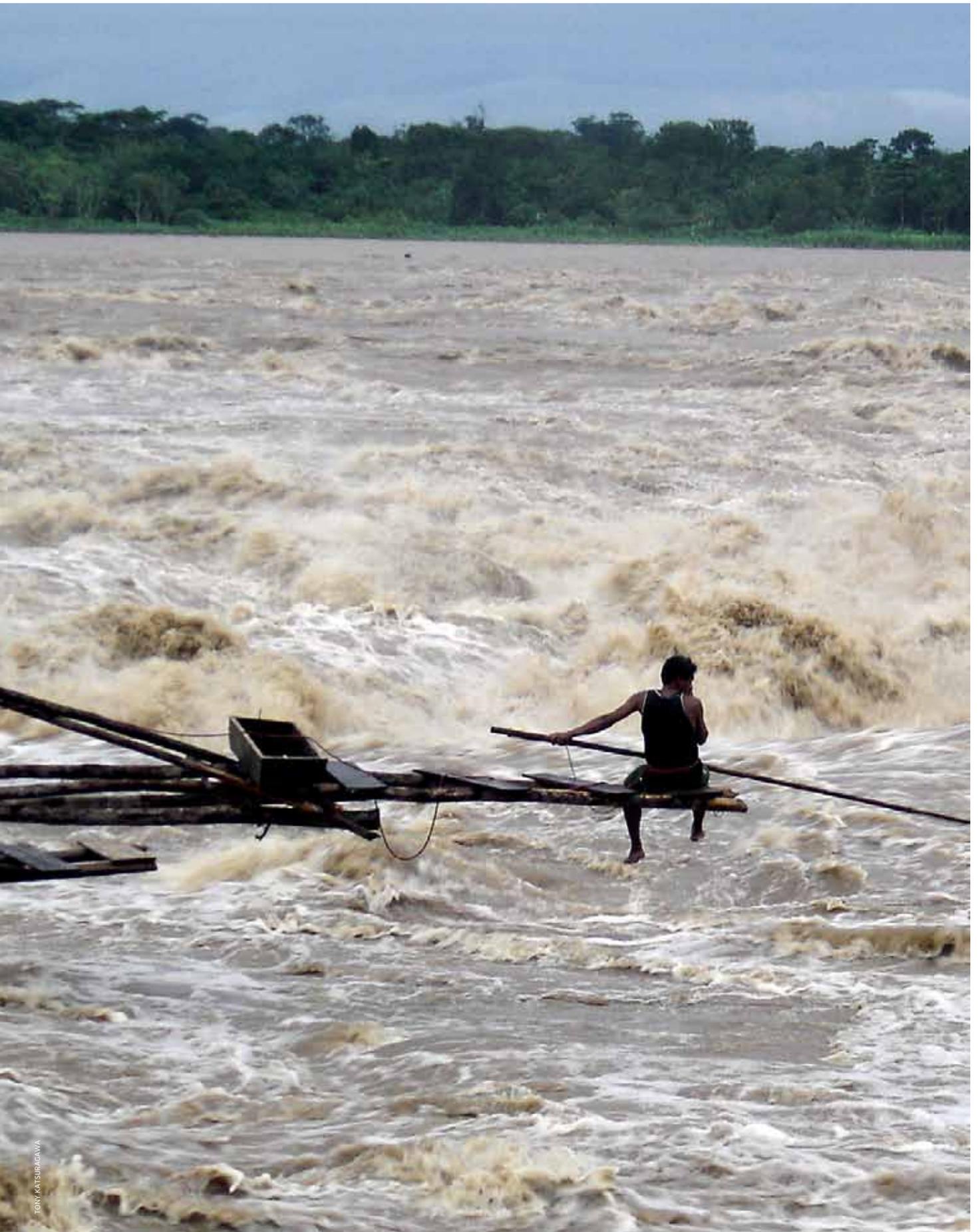
A incidência da malária em Rondônia reduziu-se acentuadamente nas duas últimas décadas em ritmo mais acelerado que no resto da Amazônia. Mas no município de Porto Velho, capital do estado, ao contrário, o número de casos tem se mantido e mesmo sofrido ligeiros aumentos nos últimos anos. Como explicar essas contradições? Deve-se registrar que no conjunto da região amazônica passou-se de mais de 600 mil casos em 1999 a menos de 300 mil em 2011. Em Rondônia, nas décadas de 1980 e 1990, o número de casos representava 40% do total de registros na Amazônia e hoje equivale a 12%. Esse resultado deve ser creditado às medidas de controle, que melhoraram sensivelmente nos últimos anos, à introdução de novos medicamentos como o Artesunato, à assessoria técnico-científica das autoridades sanitárias, à atuação do Centro de Pesquisas em Medicina Tropical (Cepem), da Secretaria da Saúde do Estado, de um núcleo avançado do Instituto de Ciências Biomédicas (ICB) da Universidade de São Paulo (USP), do Instituto de Pesquisa em Patologias Tropicais de Rondônia (Ipepatro), e à obstinação de Luiz Hildebrando Pereira da Silva.

A FAPESP participou desse esforço em combater a malária, apoiando projetos de pesquisa de Hildebrando e de dois pesquisadores do ICB-USP, Erney Plessmann de Camargo e Fabiana

Piovesan Alves. Ela desenvolveu de outubro de 1999 a dezembro de 2002, como projeto de doutorado, um estudo sobre a presença de malária assintomática vivax em áreas hipoendêmicas da Amazônia, orientado por Erney, professor titular na USP. E ele ampliou sua pesquisa de doenças tropicais negligenciadas para o levantamento da fauna de carrapatos de Rondônia e determinação da prevalência nesses artrópodes dos micro-organismos *Rickettsia*, *Erlichia* e *Borrelia*, que podem causar infecções em seres humanos. O projeto de Erney, que se estendeu de 2000 a 2004, envolveu também o diagnóstico dessas infecções e o estabelecimento de um sistema de vigilância sanitária em Monte Negro. Quanto a Hildebrando, seu projeto apoiado pela FAPESP nesta área foi o estudo de antígenos variantes de *Plasmodium falciparum* e sua relação com formas graves de malária, de 1999 a 2001. Em valores da época, os dois auxílios à pesquisa mais a bolsa de doutoramento concedidos pela Fundação para esses estudos totalizaram um investimento de R\$ 876 mil.

Luiz Hildebrando estuda doenças tropicais desde a década de 1950, publicou 80 artigos científicos sobre malária e foi responsável pela criação do Cepem e do Ipepatro. Ele foi professor de parasitologia na Faculdade de Medicina da USP e, ao longo de 32 anos, exilado na França, dirigiu as unidades de diferenciação celular e de parasitolo-





TONY KATSUBAGAWA



gia experimental do Instituto Pasteur e investigou a biologia molecular do parasita da malária na Guiana Francesa, em Madagascar e no Senegal. Aposentou-se em 1997 e no ano seguinte voltou ao Brasil e se fixou em Rondônia, onde até hoje, aos 84 anos, estuda a imunologia e a epidemiologia da doença.

Pesquisa FAPESP o entrevistou duas vezes nos últimos dez anos: em 2002, quando o repórter Marcos Pivetta o visitou em Porto Velho, e em 2007 em São Paulo. Agora, Hildebrando poupou o trabalho da repórter e respondeu de próprio punho às perguntas que seriam utilizadas em reportagem que pretendia atualizar o avanço das pesquisas com malária em Rondônia. Ele nos conta que resultados recentes de pesquisas das equipes de Rondônia em inovações nos métodos de controle o fazem pensar que é mesmo possível erradicar a malária amazônica na próxima década. Autor do livro *Crônicas Subversivas de um Cientista*, recentemente lançado, Luiz Hildebrando é senhor absoluto de suas histórias.

Em março de 2002, o senhor contou que o Cepem identificara que vítimas do *P. vivax*, sem

“A mobilidade das populações amazônicas é o fator essencial na manutenção e difusão da malária”

das áreas endêmicas da malária. Além de mostrar que os portadores assintomáticos de parasitas são fontes de infecção na manutenção da endemia, demonstrou-se o papel das recaídas de malária *vivax*, mesmo após a utilização da Primaquina no tratamento completo. Foi analisado o papel de anofelinos de diferentes espécies na transmissão, concluindo-se pelo papel dominante, quase exclusivo do *Anopheles darlingi* na transmissão da endemia e foram descritos os ciclos de variação sazonal da densidade dos vetores.

sintoma de malária, podem transmitir a doença. Isso se confirmou?

Esse trabalho foi publicado na inglesa *Lancet*, em 1999, e referia-se a portadores assintomáticos da malária *vivax*. Os estudos avançaram bastante nos últimos anos. Infelizmente, em 1997, a USP decidiu retirar o ICB de Porto Velho e implantá-lo no interior do estado de Rondônia. Ao mesmo tempo foi criado em Porto Velho o Instituto de Pesquisa em Patologias Tropicais (Ipepatro), que obteve recursos do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) para desenvolver pesquisas em malária com o Cepem. Foram mantidas as colaborações com pesquisadores do departamento de parasitologia e com vários outros da USP de São Paulo e de Ribeirão Preto e com as universidades federais do Rio de Janeiro (UFRJ) e de Mato Grosso (UFMT). Verificou-se, nessa nova fase, que havia, nas áreas endêmicas de Rondônia, em particular nas áreas ribeirinhas, portadores assintomáticos de parasitas da malária *vivax* e da malária *falciparum*. As pesquisas de 2005 para cá deram origem a 16 publicações, três teses de doutorado e 12 de mestrado no programa de pós-graduação em biologia experimental mantido com a Universidade Federal de Rondônia. Demonstrou-se o papel importante da mobilidade das populações amazônicas na manutenção e disseminação

Atualmente, qual é a pauta de pesquisa?

Nos últimos anos, temos nos concentrado no estudo de dois fatores relacionados ao processo de manutenção dos níveis elevados de incidência da malária na região: 1) o papel dos portadores assintomáticos de parasitas, tanto na malária *falciparum* como na malária *vivax*; e 2) no problema das recaídas na malária *vivax*. Nos últimos cinco anos, assiste-se a uma queda apreciável no número total de casos de malária, em particular da malária *falciparum*, que representava, até o fim da década de 1990, cerca de 20 a 25% do total de casos e que, atualmente, está representando apenas 10% a 15%. Esse sucesso se deu graças aos esforços do Ministério da Saúde e à introdução do tratamento com dois medicamentos associados derivados do Artesunato. A partir dessa tendência, nossas pesquisas demonstraram o efeito positivo suplementar do tratamento de pacientes assintomáticos portadores de *Plasmodium falciparum* em um projeto-piloto em localidades em que a transmissão de malária *falciparum* foi zerrada por cerca de um ano e reintroduzida apenas por contaminação externa. O mesmo sucesso, no entanto, não foi obtido com a malária *vivax*. Ao contrário: não houve variação significativa da incidência após tratamento dos portadores

assintomáticos devido, essencialmente, a recaídas clínicas (sintomáticas), observadas mesmo entre portadores assintomáticos tratados. Essa verificação levou à demonstração original de que a imunidade clínica em malária *vivax* é variante específica e não espécie específica, devido essencialmente ao caráter policlonal da população de hipnozoítas hepáticos (formas latentes de *P. vivax* no fígado dos pacientes infectados). Finalmente, nos últimos anos foi possível desenvolver novo procedimento na prevenção das recaídas: o tratamento de pacientes com formas clínicas assintomáticas e sintomáticas é associado a um curto período de tratamento preventivo das recaídas por cloroquina, que age não sobre os hipnozoítas hepáticos, mas sobre as formas assexuadas sanguíneas oriundas do fígado na primeira infecção ou nas recaídas. Com esse procedimento, inspirado em ações realizadas na Nova Guiné e na África subsaariana denominadas IPT (*Intermittent preventive treatment*), realizamos uma adaptação às condições amazônicas que denominamos SIPT (*Selective interrupted preventive treatment*) e obtivemos grande sucesso, reduzindo a transmissão da malária a níveis extremamente baixos em localidades ribeirinhas piloto. Trata-se agora de reproduzir esse procedimento em áreas mais extensas e, simultaneamente, em um maior número de localidades. Registre-se que o sucesso da operação é dependente do bom funcionamento das estruturas do Programa de Saúde da Família (PSF) nas localidades em que é aplicado.

Vitória progressiva contra a malária

Ano	Total de exames	Total positivos (%)
EXAMES REALIZADOS NO CEPEN		
2006	26.518	9.324 (35,2)
2007	26.956	7.671 (28,5)
2008	18.465	4.038 (21,9)
2009	18.319	3.299 (18,0)
2010	17.001	3.627 (21,3)
2011	13.202	3.047 (23,1)
PORTO VELHO		
2006	142.188	34.865 (24,5)
2007	137.529	32.932 (23,9)
2008	119.635	23.647 (19,8)
2009	141.469	20.591 (14,6)
2010	152.191	23.257 (15,3)
2011	122.531	19.266 (15,7)
RONDÔNIA		
2006	407.997	101.646 (24,9)
2007	372.167	81.929 (22,0)
2008	269.364	49.807 (18,5)
2009	277.289	41.366 (14,9)
2010	262.070	43.576 (16,6)
2011	212.146	35.120 (16,6)
BRASIL		
2006	2.959.134	549.379 (18,6)
2007	2.983.535	457.433 (15,3)
2008	2.724.433	314.879 (11,6)
2009	2.618.715	308.407 (11,8)
2010	2.710.800	333.404 (12,3)
2011	2.562.497	293.520 (11,5)

Qual a taxa atual da malária assintomática?

Nas localidades ribeirinhas estudadas do rio Madeira e do rio Machado, elas variaram de 10% a 40% dos residentes adultos.

Quais são as áreas pesquisadas?

Em trabalhos anteriores mostramos que a incidência de malária é particularmente elevada em áreas ribeirinhas, onde a população anofélica, na estação chuvosa, sobe a níveis elevados de densidade HBR (*Hour biting rate*) superiores a 20 ou 30 (picadas por pessoa por hora). O desenvolvimento da imunidade clínica natural, responsável pela condição de portador assintomático, está diretamente relacionado à frequência da exposição a picadas infectantes e, portanto, ao tempo de residência nas áreas de transmissão. É, portanto, essencialmente nas áreas ribeirinhas de Rondônia que temos realizado os estudos sobre portadores assintomáticos de parasitas da malária. Estas áreas se situam ao longo do município de Porto Velho (35 mil quilômetros quadrados), que ocupa uma nesga de terra de 500 quilômetros de extensão e cerca de 60 quilômetros de largura ao longo do rio Madeira, da fronteira de Rondônia com Mato Grosso até a fronteira com o estado do Amazonas.

Quantos exames o Cepem realiz anualmente?

Os exames de malária são realizados por nossa equipe de microscopistas instalada na unidade de atendimento do Cepem para diagnóstico e tratamento da malária, situada em anexo ao Hospital Cemotron, uma unidade da Secretaria de Saúde do Estado (Sesau) especializada em patologias infecciosas e parasitárias e que funciona 365 dias por ano, 24 horas por dia, incluindo domingos e feriados. Essa atividade de prestação de serviços e assistência à população também é útil para as pesquisas em fisiopatologia, imunopatologia e quimioterapia da malária desenvolvida em colaboração direta e financiamento do Ipepatro/Fiocruz-Rondônia. Nesse caso, são selecionados pacientes voluntários, que participam de vários programas de pesquisa, atendidos por médicos e técnicos que dispõem de equipamentos para exames hematológicos, bioquímicos, sorológicos, imunológicos e moleculares como FACS (*fluorescent cell sorter*), microscópio de fluorescência, equipamentos para análises por Elisa, PCR e PCR em tempo real. O Cepem dispõe de uma equipe especial de controle ético de estudos envolvendo seres humanos.

Houve nos últimos anos uma redução de 50% no número de casos de malária atendidos no Cepem e de mais de 85% no número de casos de malária *falciparum*. Isso reflete a situação geral de evolução da malária no conjunto da Amazônia, em Rondônia e em Porto Velho em particular. O número de casos em Rondônia, que nas décadas de 1980-90 chegou a representar mais de 40% do total de casos da Amazônia, passou a representar em 2006 apenas 18,5%, caindo ainda mais em 2011, para 12%. Entretanto, os dados do Sivep Malária registram uma situação particular de aumento relativo da incidência da malária em Porto Velho, que representava 34,3 % do total de casos do estado de Rondônia em 2006, passando em 2009, 2010 e 2011 a representar, progressivamente, 49,8%, 53,4% e 54,9% do total de casos no estado. Essa situação se deve em grande parte ao movimento de populações provocado nos últimos anos pelas obras das hidrelétricas do rio Madeira.

Além dos exames no Cepem, são realizados exames nos trabalhos campo, essencialmente nas áreas ribeirinhas do rio Madeira para estudos epidemiológicos e de controle. Equipes de microscopistas são instaladas nas localidades

de Vila Amazonas, Cachoeira de Teotônio e São Sebastião. As amostras de sangue são transportadas para o Cepem, onde são processadas, por meio de frota de viaturas, utilizada igualmente para os trabalhos de campo em entomologia e que foi bastante ampliada após a integração do Ipepatro à Fiocruz.

Em 2007, o senhor estava preocupado com o efeito da migração para a expansão da doença. Essa preocupação se confirmou?

Em 2009, publicamos na *PLoS ONE* um artigo sobre a dinâmica da transmissão e a distribuição espacial da malária nas áreas ribeirinhas de Porto Velho. Chegamos a conclusões importantes: 1) apesar

da transmissão poder ocorrer intra e extradomicílio, a manutenção da malária nas áreas endêmicas é essencialmente dependente da transmissão intradomiciliar na constituição, entre os residentes do foco da endemia, reforçado pela presença das fontes de infecção permanente (assintomáticos); 2) a mobilidade das populações amazônicas é o fator essencial da difusão e extensão da endemia malárica. No caso de duas localidades ribeirinhas, visitantes e moradores temporários (pescadores sazonais) eram responsáveis por um aumento de 2,6 vezes no número de casos registrados. Em 2007 tinha havido 102 casos de malária entre os 379 residentes e 265 casos entre visitantes e resi-

dententes provisórios (pescadores), em particular nos meses de piracema, quando os peixes sobem o rio para desovar e são mais facilmente pescados. Ora, esses pescadores eram moradores da periferia de Porto Velho e veiculadores de malária para as áreas periféricas da cidade. Os resultados nos colocaram em posição de contestar as proposições do programa Global Malária da OMS que, com base no mapa mundial elaborado pelas equipes da Universidade de Oxford e considerando a “baixa incidência da malária *falciparum* na Amazônia”, propunham a utilização dos meios tradicionais para o controle, em particular o uso de mosquiteiros impregnados associado ao tratamento da malária sintomática. Passamos a defender uma proposição diversa para o controle, a de identificar os focos de alta endemicidade para concentrar os instrumentos de controle tanto vetorial nos domicílios, como o tratamento dos residentes permanentes dos focos, incluindo os portadores assintomáticos de parasitas.

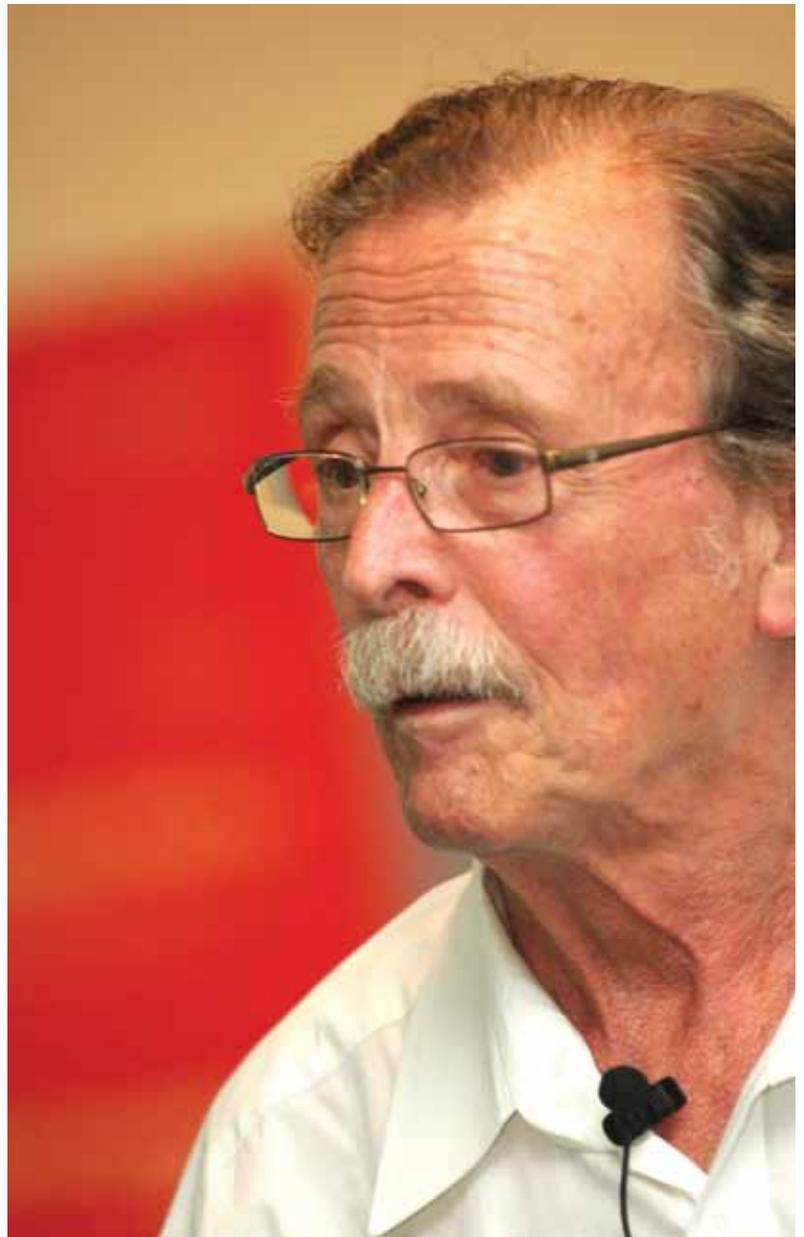
“Houve nos últimos anos uma redução de 50% no número de casos de malária atendidos no Cepem”

Com a construção da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio, no rio Madeira, e a consequente migração, a incidência da doença cresceu?

Na verdade, o conteúdo do artigo da *PLoS ONE* foi fruto dos estudos e pesquisas que realizamos de 2006 a 2007, já com a preocupação das obras da construção da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio. Fizemos o mapeamento das localidades ribeirinhas em toda a área de impacto da hidrelétrica, com residências e residentes identificados e projetamos a instalação das unidades de vigilância e controle que julgávamos necessárias para as operações de controle na área. Em meados de 2007, preparamos um longo documento, com 10 proposições para prevenir o possível agravamento e difusão da malária na região ribeirinha de Porto Velho e arredores. Convencidos de que o perigo provinha dos focos de alta endemicidade existentes nas localidades ribeirinhas da área de impacto das hidrelétricas, o documento propunha a instalação de cinco unidades de atendimento e vigilância ao longo da área ribeirinha do Madeira, com equipes PSF, além de uma unidade denominada Centro de Coordenação Operacional, com unidades móveis, centro de formação, laboratório de entomologia para vetores e anexos operacionais. A proposta sugeria a constituição de um processo legitimando um mecanismo multiinstitucional de cooperação técnica e corresponsabilidade executiva, reunindo os serviços de saúde do município, do estado e das empresas construtoras, a partir do qual seria o constituído o setor puramente técnico de supervisão da saúde na área de impacto da hidrelétrica. Infelizmente, a proposta não foi adiante porque cada setor via interesses políticos ou financeiros prioritários. Evoluiu-se para uma fragmentação da autoridade e dos instrumentos de ação. O consórcio da hidrelétrica ficou com a autoridade sobre o canteiro de obras; o município, a título de compensações, solicitou recursos para a implantação de serviços de saúde básica, dentro e fora da área de impacto; o estado, com os mesmos argumentos, solicitou recursos para obras hospitalares fora da área de impacto; o ministério designou responsável para “supervisionar” as ações de controle que, pela dispersão de atores e responsáveis, se tornou difícil de realizar. Isso sem falar do direito à extraterritorialidade dos atores, conferido às empresas privadas (as hidrelétricas), de decidir no domínio da saúde, além do que iriam fazer com seus empregados (o que é legítimo), ficar livre para utilizar as medidas de controle vetorial em áreas de residências das populações locais, utilizando métodos que não são adotados pelo controle vetorial do Ministério da Saúde. Com a dispersão da autoridade, ninguém ficou responsável pelo saneamento, medida que devia ter sido prioritária para o controle de vetores nas áreas de impacto, urbanas, suburbanas e

rurais vizinhas, que teria permitido o controle da malária nessa área e igualmente das patologias de transmissão hídrica como as diarreias infantis, a febre tifóide, a amebíase, a leptospirose, a hepatite A, entre outras endêmicas na área.

Essa situação de falta de coordenação entre as instâncias federais, estaduais e municipais em saúde, como também sua interação com o setor privado, que deveriam atuar inteiramente coordenadas segundo a política do SUS, continua a dar origem a desacertos. Quando obtivemos do Fundo Global da OMS, em 2010, recursos para o controle da malária, fomos forçados pelo doador – o Fundo – a reservar US\$ 20 milhões do auxílio para a compra e instalação de mosquiteiros impregnados de inseticidas nas campanhas de controle. Ora, o uso de mosquiteiros impregnados, tão apreciados pelo Fundo Global da OMS,



não tem nenhuma comprovação de utilidade para o tipo de malária que temos na Amazônia. Independentemente disso, receber auxílio financeiro carimbado com o tipo de medida a ser financiada e utilizada contraria os mais básicos princípios de autonomia administrativa da República. Mais grave ainda é o fato de a OMS exigir que a gestão dos recursos fosse feita não pelo Ministério da Saúde, mas por uma entidade privada que foi montada e credenciada. Curiosamente, depois de transferir uma primeira parcela do auxílio, a OMS descobriu que o Brasil era a sexta potência mundial em termos de PIB e não devia receber auxílios; rompeu o acordo e não transferiu a segunda parcela. Entretanto, o setor correspondente do Ministério da Saúde já estava organizando a distribuição de mosquiteiros impregnados e agora pretende obter recursos públicos (inclusive do fundo setorial de CT&I do MS) para averiguar se os muitos milhares de mosquiteiros impregnados, comprados, distribuídos e instalados, serviram para alguma coisa em relação à malária, sendo que, por outro lado, a larga utilização de luz elétrica atrai toda a entomofauna circulante. Com efeito, não se sabe o impacto deste equipamento na entomofauna da Amazônia. Os mosquiteiros impregnados estão sendo instalados sem prévio estudo de impacto no interior da maior biodiversidade do planeta. Durma-se com um barulho desses.

Em 2007, o senhor contou que estava prestes a registrar a patente de um quimioterápico baseado em drogas desenvolvidas a partir da biodiversidade. A patente foi depositada?

Existem duas linhas de pesquisa. A primeira delas é a produção de anticorpos a partir de camelídeos e a segunda busca fonte, a partir da biodiversidade brasileira – principalmente da amazônica –, para a identificação de protótipos/ produtos para prevenção e tratamento das doenças negligenciadas. Neste último caso, estamos concentrando nossos esforços em malária, leishmaniose e Chagas. Temos dois pedidos de patentes aceitos pelo nosso núcleo de gestão da tecnologia, mas para ser registrada definitivamente exigem-se ainda detalhes relativos à toxicidade da droga. Existem duas substâncias ativas promissoras contra *Leishmania* sp, extraídas de plantas regionais, que se mostraram ativas tanto contra formas epimastigotas como

“Produzimos anticorpos isolados de lhamas e alpacas contra os vírus da febre amarela e da raiva e toxinas de serpentes”

contra as formas amastigotas intracelulares. As pesquisas mostram que essas substâncias inibem enzimas da via de biossíntese de ácidos nucleicos do parasita. Essas substâncias estão sendo nanomontadas em nanoestruturas para dispersão controlada e os resultados são muito promissores, principalmente para as lesões cutâneas. Num futuro próximo, teremos o prazer de anunciá-los. Com relação ao estudo dos anticorpos de camelídeos, há resultados promissores para neutralização da raiva e efeito local de envenenamento de toxinas animais. As pesquisas sobre novos compostos ativos obtidos a partir da biodiversidade, contra agentes de doenças negligenciadas, tiveram um grande desenvolvimento a partir da implantação

do Centro de Estudos de Biomoléculas Aplicadas à Medicina (Cebio), sob direção de Rodrigo Stabeli. Criado com recursos obtidos inicialmente pelo Ipepatro e pela Finep, foi instalado em colaboração, com a Universidade Federal de Rondônia. Quando o Ipepatro foi transformado em Fiocruz-Rondônia, essa linha de pesquisa se tornou estratégica, coordenando assim um conjunto de pesquisas sobre a biodiversidade para o isolamento e o desenvolvimento de protótipos de fármacos e insumos imunológicos ativos contra malária, leishmaniose, Chagas, raiva e outras patologias negligenciadas como as produzidas por arbovírus

e toxinas animais. O Cebio desenvolveu uma série de novas tecnologias, utilizando aparelhos de nanossensoriamento, espectrometria de massa e eletroforese bidimensional, contra alvos moleculares definidos para o isolamento e identificação de produtos naturais bioativos ou imunobiológicos. Já produzimos enzimas recombinantes por engenharia genética, correspondendo a três enzimas-chave como alvos moleculares de *Plasmodium falciparum* para o isolamento de produtos naturais ativos. Produzimos enzimas recombinantes de *Leishmania amazonensis* com a mesma finalidade. O Cebio é o único a demonstrar resultados de nanossensoriamento a partir de enzimas triméricas no Biacore (dados ainda em fase de proteção patente). A partir da técnica de *Phage display*, temos produzido anticorpos do tipo monomérico VHH, isolados a partir de camelídeos (lhamas e alpacas) contra os vírus da febre amarela e da raiva e contra toxinas de serpentes. As pesquisas dos anticorpos se concentram sobre a capacidade dos anticorpos VHH isolados de inativar os vírus e as toxinas *in vivo*.



Em Candeias, Rondônia, o pano vermelho é o sinal de que há um caso suspeito de malária

Alguns desses resultados têm perspectivas de chegar ao mercado?

Respondo citando o exemplo da Spirodolona, uma das únicas novas

drogas que a indústria farmacêutica internacional está propondo contra a malária para entrar em fase de ensaios clínicos, com a previsão de um mínimo de três a quatro anos para chegar ao mercado, se tudo der certo. Uma publicação na *Science*, em dezembro de 2011, descreve o processo no qual colaboraram 29 signatários, entre os quais vários especialistas em malária, de 12 conceituadas instituições suíças, inglesas, americanas, tailandesa e singapurana, além de pesquisadores da Novartis. Para chegar à Spirodolona, partiu-se de 12 mil produtos sintéticos e naturais com indícios de atividade antimalárica, dos quais foram selecionados, num primeiro ciclo, 275 com toxicidade menor que 50% contra células humanas na concentração de 10 μ M e com atividade antimalárica a uma concentração menor que 1 μ M. Dos 275 produtos, foram isolados 17 mais ativos, a partir dos quais foram sintetizados 200 análogos, com pequenas variações de estrutura, testados *in vitro* e *in vivo* para chegar à Spirodolona, que inibe seletivamente a síntese proteica de *Plasmodium falciparum*. Em várias publicações recentes verifica-se que, entre as indústrias farmacêuticas de ponta, um produto novo demora em média 13,5 anos, desde a primeira descoberta até a proposição no mercado, e necessita de dezenas ou centenas de técnicos e

especialistas para estudos seletivos progressivos, consome centenas (ou milhares) de animais de laboratórios e exige a utilização de equipamentos extremamente dispendiosos de última geração

Essa digressão tem por objetivo destacar as dificuldades das instituições científicas e acadêmicas de desenvolver, no Brasil, estudos equivalentes, contando apenas com alunos e estagiários que preparam memórias de graduação ou de pós-graduação e a quem os orientadores não podem dar como tema atividades de rotina para selecionar nas diferentes etapas, através de manipulações repetitivas as moléculas sobreviventes dos *screenings* progressivos. Como nossa indústria farmacêutica não tem recursos suficientes para investir em pesquisa “prometedora” e as instituições de fomento financiam, em geral, apenas a formação de iniciação científica e de mestres e doutores, esse problema tem que encontrar soluções por meio do desenvolvimento de bolsistas e cargos permanentes de apoio técnico. Sem isso, nossas descobertas de produtos promissores ficarão sempre no nível da primeira descrição e, obviamente, quem sofrerá as consequências seremos nós mesmos, uma vez que os insumos relacionados às doenças locais ficaram cada vez mais escassos, até que o surto desta ou daquela doença hoje negligenciada comece a dar lucro. Não podemos seguir ou ficarmos reféns do mercado farmacêutico diagnóstico local. O Brasil possui ótimas cabeças ligadas ao desenvolvimento de insumos para a saúde pública. É necessária uma política pública estratégica para o desenvolvimento coordenado desta área. ■

OS PROJETOS

1. Antígenos variantes de *Plasmodium falciparum*: participação no fenômeno de citoaderência e repercussões na patogenia da malária grave – nº 1998/12107-2 (1999-2001)
2. Levantamento da fauna de carrapatos de Rondônia e determinação da prevalência de *Rickettsia*, *Ehrlichia* e *Borrelia* nesses artrópodes n. 1999/08589-4 (2000-2004)
3. Estudo de malária vivax assintomática em áreas hipoendêmicas da Amazônia Brasileira nº 1999/06603-0 (1999-2002)

MODALIDADE

1. Linha regular a auxílio a projeto de pesquisa
2. Projeto temático
3. Bolsa de doutorado

COORDENADORES

1. Luiz Hildebrando Pereira da Silva – ICB/USP
2. Erney Felício Plessmann de Camargo – ICB/USP
3. Fabiana Piovesan Alves – ICB/USP

INVESTIMENTOS

1. R\$ 392.269,81
2. R\$ 398.242,50
3. R\$ 85.459,53

ARTIGOS CIENTÍFICOS

ALVES, F.P. et al. Asymptomatic carriers of *Plasmodium* spp. as infection source for malaria vector mosquitoes in the Brazilian Amazon. *Journal of Medical Entomology*. v. 42, p. 777-9, 2005.

LABRUNA, M.B. et al. *Rickettsia belli* and *Rickettsia amblyommi* in *Amblyoma* ticks from the state of Rondônia. *Journal of Medical Entomology*. v. 41, p. 1073-81, 2004.

GBOTOSHO, G. O. et al. Different Patterns of *pfcr1* and *pfmdr1* Polymorphisms in *P. falciparum* Isolates from Nigeria and Brazil: The Potential Role of Antimalarial Drug Selection Pressure. *The Am J Trop Med and Hyg*. v. 86, p. 211-13, 2012.

DE NOSSO ARQUIVO

Da malária às doenças emergentes
Edição nº 73 – março de 2002

Previsões otimistas

Pesquisadores apostam no surgimento de um fármaco nacional eficiente contra o mal de Chagas em médio prazo

Eduardo Geraque

Um bom candidato a fármaco contra a centenária doença de Chagas poderá surgir em quatro anos, segundo uma visão otimista dos pesquisadores do Centro de Biologia Molecular Estrutural – um dos Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid) da FAPESP.

“Se um dia existir um medicamento eficiente contra a doença de Chagas, ele será feito a partir de uma tecnologia que é 100% nacional”, afirma Adriano Andricopulo, um dos coordenadores do centro da USP de São Carlos.

O caminho tem muitos obstáculos, e os bons resultados obtidos nos últimos anos não são garantia de que o tempo previsto para a chegada do fármaco será realmente curto.

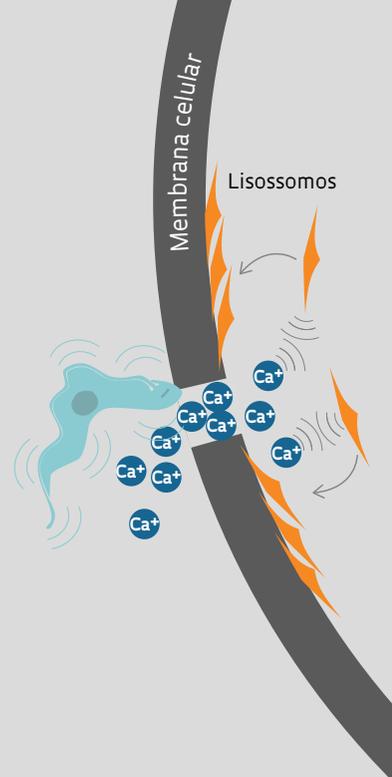
Apesar de vários avanços no conhecimento biológico do problema nas últimas décadas, o comportamento do *Trypanosoma cruzi* ainda impõe grandes desafios aos cientistas que se debruçam sobre o mal.

O estágio atual das pesquisas para domar o parasita que causa a doença reforça a importância de um casamento entre a biologia molecular estrutural, no campo da ciência básica, e a química medicinal para o desenvolvimento de novos fármacos, do lado da chamada ciência aplicada.

Desde os anos 1970, quando as pesquisas moleculares começaram com mais ênfase, poucos avanços no campo prático ocorreram. Fármacos foram descobertos. Mas eles, até hoje, são considerados bastante tóxicos. Os remédios no mercado também não funcionam para a fase crônica da doença, a que mais preocupa os responsáveis pelos setores da saúde. A maior parte dos pacientes registrados hoje está neste grupo.

Dentro dos laboratórios, o processo é tentar identificar as proteínas que possam ser vitais para a proliferação da doença. Depois de conhecida esta etapa, então, será preciso tentar desligar bioquimicamente este mecanismo. O que, na prática, poderá cessar a infecção causada pelo parasita.

Entre todas as proteínas-alvo testadas pela equipe de São Carlos, a cruzaina, até agora, mostrou-se a mais promissora. Ela tem importância vital para o *T. cruzi*. As pesquisas mostram que a proteína tem a ver, por exemplo, com a replicação do parasita. Desestruturá-la, então, pela ação de um composto químico, pode ser uma forma eficiente de controle da doença. Números da Organização Mundial da Saúde (OMS) mostram que 18 milhões de pessoas têm Chagas. A maioria deste contingente está na América Latina.



O início da infecção

Hipótese sobre como o parasita se instala no organismo

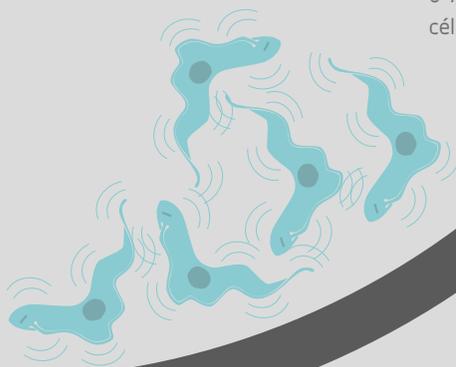
1 O *T. cruzi* provoca uma lesão na membrana celular. Íons de cálcio entram na célula e fundem os lisossomos – organelas responsáveis por destruir corpos estranhos – com a membrana celular

2

Os lisossomos soltam uma enzima que ativa a ceramida, um lipídeo presente na estrutura celular. Ao reparar a membrana, a ceramida ajuda o *T. cruzi* a entrar na célula

3

Uma vez na célula o *T. cruzi* multiplica-se até rompê-la



Ceramida

Depois de a pesquisa básica mostrar que o candidato a fármaco realmente atinge o alvo já validado pelos pesquisadores, é que novos desafios serão vencidos. Um fármaco, para ser usado do ponto de vista clínico, precisa ser absorvido, metabolizado e distribuído no organismo. Ele precisa agir tanto em nível molecular quanto em escala sistêmica. Ou seja, matar realmente o *T. cruzi*. E não provocar, junto, a intoxicação do paciente.

A importância da biologia molecular nas pesquisas de Chagas está sedimentada desde os anos 1970, quando avanços importantes neste campo começaram a ocorrer porque os grupos de pesquisa paulistas passaram a focá-lo com bastante ênfase. O objetivo desse olhar voltado mais ao nível molecular era tentar barrar a proliferação de protozoários dentro das células hospedeiras, no caso, humanas.

Projetos e programas de pesquisa voltados ao tema começaram a ser criados e incentivados pelos órgãos de fomento, como a FAPESP. Os resultados científicos gerados nas bancadas dos laboratórios paulistas desde aquela época podem ser divididos em dois grandes grupos, de acordo com o médico Walter Colli, professor titular do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP) e um dos protago-

nistas da história da pesquisa sobre Chagas no país nestas últimas quatro décadas.

“No Brasil, o enfoque molecular começou a ser dado realmente em São Paulo, nos anos 1970. O *Trypanosoma cruzi* é um modelo para estudos biológicos. Nesse período, houve muita evolução no campo da pesquisa básica. Mesmo assim, estamos muito longe de ter um conhecimento completo da biologia do *cruzi*”, afirma, convicto, o cientista.

A busca pelo entendimento de como a relação entre parasita agente transmissor e hospedeiro ocorre gerou muito conhecimento em pesquisa básica ao longo dos anos, diz Colli. Além de formar muitos profissionais qualificados nas áreas da bioquímica e da genômica, principalmente. Um olhar mais molecular para o problema sucedeu a visão morfológica, que era antes predominante.

O próprio grupo de Colli, no Instituto de Química da USP, acabou, indiretamente, contribuindo para a descoberta de uma molécula nova, que acabou totalmente conhecida em 1979. A doutoranda Maria Júlia Manso Alves chegou à estrutura a partir de achados do próprio grupo. Ela demonstrou que o *cruzi* era repleto de açúcares em sua forma. O pesquisador Michael Ferguson, da Escócia, repetiu o trabalho. E depois comunicou aos brasileiros que as âncoras proteicas que ele



O cientista Carlos Chagas sobre as águas do rio Negro, em expedição à Amazônia (1913)

começara a estudar tinham propriedades muito parecidas com a molécula descrita no Brasil. O encontro de informações contribuiu para a identificação das âncoras. Estruturas glicolípídicas que prendem as proteínas às membranas.

As descobertas no campo molecular, que cresceram ainda mais depois de as técnicas genômicas ficarem mais sólidas, paradoxalmente, dificultam o avanço no segundo grande grupo, o da biologia aplicada. As pesquisas básicas vêm mostrando que o *T. cruzi* é muito complexo. Por isso, combatê-lo, dentro da célula, é um desafio e tanto.

Uma informação instigante, diz Colli, decifrada nas últimas décadas, é de como o protozoário lê as informações contidas em seu DNA. Na maioria dos seres vivos, a transcrição (processo em que o RNA é feito a partir da fita de DNA) é onde ocorre a regulação gênica. Mas, no caso do causador do mal de Chagas, estudos feitos em vários grupos de pesquisa, como os da equipe do Instituto de Biologia Molecular do Paraná, vinculado à Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), indica algo diferente. Grande parte da regulação da expressão gênica do *T. cruzi* ocorre depois da transcrição. O que seria um mecanismo novo de síntese de proteína a partir do DNA.

Vários grupos concordam que essa diferença importante entre o protozoário e outros seres vivos no campo molecular pode ser uma ferramenta poderosa que explicaria boa parte do sucesso do parasita em invadir as células de seus hospedeiros.

A investigação minuciosa da genética do *T. cruzi* é algo que pode contribuir bastante, explicam os pesquisadores, para o avanço das pesquisas em biologia aplicada. Muitos defendem que este caminho, na verdade, é o grande atalho para combater o parasita e a sua invasão.

Saber que o sistema de leitura do DNA até a síntese de proteína, por exemplo, é diferente no protozoário causador de Chagas em relação aos seres humanos tem uma grande importância. Fármacos que venham interferir em um dos processos não devem, em tese, atrapalhar o outro.

O caminho do desenvolvimento de compostos mais certos, trilhado, por exemplo, pelo grupo de São Carlos, é o mais viável para os próximos anos, diz Colli. A explicação para isso é o avanço das pesquisas em genética molecular, área do conhecimento biológico em franca expansão.

Uma outra possibilidade, o desenvolvimento de vacinas contra Chagas, já foi praticamente descartada pela comunidade científica. “Não vai ser possível, por essa via, obter uma imunização 100%. Existe uma questão de logística. Em quem aplicar, por exemplo, a vacina? Em todos os 190 milhões de brasileiros?”

Como a transmissão pelo inseto barbeiro praticamente acabou, diz Colli, não se tem um público-alvo bem delimitado para receber a vacina. A forma de transmissão ativa hoje é por meio da ingestão de alimentos contaminados pelas fezes do barbeiro. Os últimos casos, por exemplo,

O *T. cruzi* vem se revelando muito complexo. Por isso, combatê-lo dentro da célula é um desafio e tanto

estiveram relacionados com o consumo de garapa (caldo de cana) ou de açai. Mas, neste caso, todos precisariam ser vacinados. “E não há, também, como medir a eficiência desta vacina.”

Se os estudos sobre vacinas são escassos (nenhum grupo científico dedica 100% do seu tempo a isso hoje), o desenvolvimento de novos fármacos também é bastante complexo, por causa da falta de verbas para este tipo de pesquisa.

O mal de Chagas faz parte das chamadas doenças negligenciadas. Como a maioria das pessoas com a doença é de países ou regiões pobres, sem poder aquisitivo para comprar medicamentos caros, a própria indústria farmacêutica não faz investimentos maciços neste campo da saúde pública.

Estimativas indicam que um medicamento, para ser colocado na praça, custa para uma empresa algo ao redor de US\$ 1 bilhão. E o tempo para ele ficar pronto é algo em torno de 20 anos. Outros dez anos devem se passar até o remédio começar a dar retorno comercial. Ninguém, diz Colli, está disposto a fazer isso no caso do mal de Chagas. A maioria das pesquisas em biologia aplicada neste campo, nos últimos anos, é feita a partir de instituições sem fins lucrativos, que investem grande quantidade de dinheiro a fundo perdido.

A busca de medicamentos mais eficazes para adultos é apenas parte do problema. Remédios para crianças, por exemplo, que sejam seguros, também são raros. Mas, em nível sul-americano, a própria transmissão da doença, da forma tradicional, via barbeiro, ainda é um realidade em várias regiões. O pior caso é na Bolívia, onde cerca de dez mil casos novos são registrados a cada ano. Mesmo no Brasil, existem indícios de que a doença pode estar se instalando em algumas regiões da Amazônia.

A aproximação do ser humano de áreas vegetadas é que fez surgir a doença, como ocorreu no interior de Minas Gerais.

A descoberta da relação entre parasita e hospedeiro é do início do século passado. Na época, na distante Lassance, no interior de Minas Gerais, o médico Carlos Chagas (1879-1943) elucidou o mecanismo do mal que leva seu nome. Ele concluiu o estudo em 14 de abril de 1909 (o artigo da publicação científica é de 22 de abril do mesmo ano), descoberta considerada até hoje a mais importante feita por um cientista brasileiro.

Ao contrário de outras doenças transmitidas por insetos, como a dengue ou a malária, no caso de Chagas não é a picada do transmissor o problema principal. O protozoário que causa o mal entra na corrente sanguínea dos seres humanos por meio das fezes. Ao coçar a pele, por causa da picada, as fezes contaminadas entram em contato com a ferida. O *T. cruzi* vive no intestino do barbeiro. No ser humano, ele vai atacar principalmente órgãos vitais, como o coração e o fígado.

O fato de a doença ocorrer em países pobres desmotiva os investimentos na pesquisa de novos fármacos

A doença pode matar na sua fase aguda. Ou então arrastar-se por décadas e causar problemas crônicos significativos nas pessoas. Nem sempre ela mata. O caso emblemático de Berenice Soares de Moura mostra bem isso. Carlos Chagas descreveu toda a doença com base em amostras de sangue retiradas de Berenice, quando ela tinha dois anos de idade. A mulher, que vivia em um ambiente rural quando criança, morreu aos 74 anos, de isquemia cerebral.

As estimativas indicam que, ainda hoje, cerca de 5 milhões de brasileiros sofrem de Chagas. Na América do Sul, o número sobe para 12 milhões a 13 milhões de doentes. No berço da descoberta científica da doença de Chagas, por exemplo, centenas de casos são detectados todos os anos. Não é que a transmissão esteja ativa. Mas são casos antigos, que começam a aparecer agora.

Depois de o ciclo da doença ficar conhecido, as formas de combater a doença passaram a ser mais ou menos delineadas. Ficou claro que eliminar o barbeiro, para cortar a transmissão por completo, seria certamente o método mais eficaz de frear o mal. Ou então, por meio da biologia dos agentes envolvidos, impedir que o protozoário saísse do intestino do barbeiro para invadir as células hospedeiras humanas poderia ser outra boa estratégia de combate ao mal de Chagas. ■

O PROJETO

Centro de Biologia Molecular Estrutural – nº 1998/14138-2 (2000-2012)

MODALIDADE

Programa Centros de Pesquisa (Cepid)

COORDENADOR

Gláucius Oliva – IFSC/USP

INVESTIMENTO

R\$ 28.449.954,27

ARTIGOS CIENTÍFICOS

DIAS, L. C. *et al.* Quimioterapia da Doença de Chagas: Estado da Arte e Perspectivas no Desenvolvimento de Novos Fármacos. *Química Nova*. v. 32, p. 2444-57, 2009.

BALLIANO, T. *et al.* Kinetic and Crystallographic Studies on Glycerdehyde-3-Phosphate Dehydrogenase from *Trypanosoma cruzi* in Complex with Iodoacetate. *Letters in Drug Design & Discovery*. v. 6, p. 210-14, 2009.

DE NOSSO ARQUIVO

O parasita discreto

Edição nº 188 – outubro de 2011

Livre do barbeiro, não de Chagas

Edição nº 151 – setembro de 2008

Reprodução desvendada

Edição nº 118 – dezembro de 2005

Identidades reveladas

Edição nº 76 – junho de 2002

Genes bailarinos

Equipe do Incor reduz de 2 mil para 80 os fragmentos de DNA candidatos a explicar a origem da hipertensão

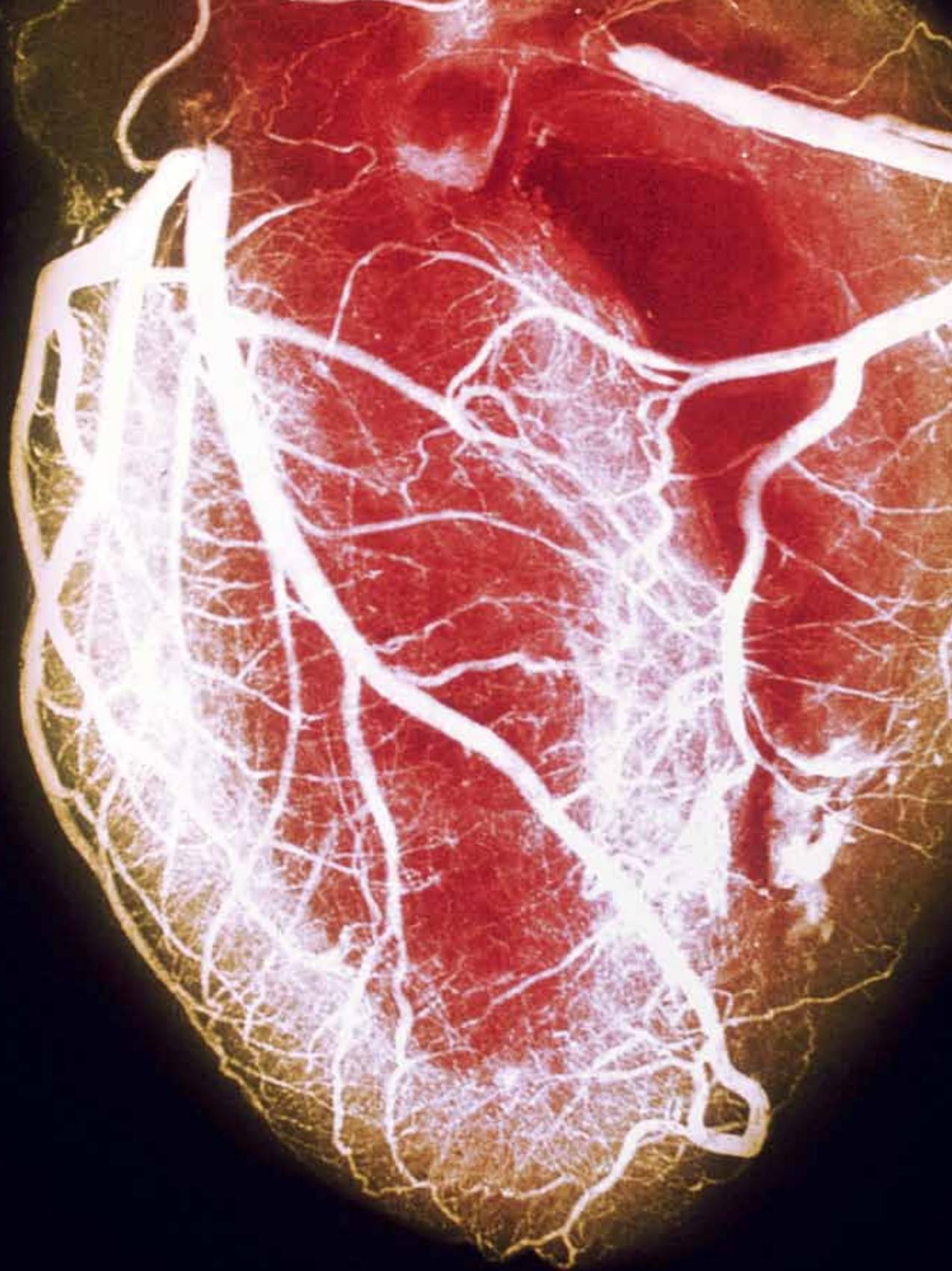
Mariluce Moura e Ricardo Zorzetto

Numa entrevista pingue-pongue concedida em maio para a edição de junho de 2012 de *Pesquisa FAPESP*, o professor Eduardo Moacyr Krieger, que em 1985 organizou a Unidade de Hipertensão do Instituto do Coração (Incor) da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FM-USP), origem de um dos mais importantes grupos de pesquisa de hipertensão do país e com respeitada inserção internacional, voltou a lembrar que o sistema de regulação da pressão arterial está intimamente ligado aos genes. “Recebemos como carga genética os mecanismos controladores da pressão, eles fazem a síntese dos mecanismos pressores e depressores. Essa carga pode facilitar a produção de substâncias pressoras ou formar menos substâncias hipotensoras. Aí começa a história: temos de saída alguma predisposição para ser hipertenso ou não”, disse.

Essa predisposição, entretanto, não basta. Para o problema eclodir, há que se ter o concurso decisivo do meio ambiente, “que está o tempo todo suscitando regulação da pressão arterial”. E esse meio ambiente, Krieger detalhou, “é o sal, a inatividade, a obesidade, o estresse, todas essas coisas que de uma forma ou de outra mexem com o sistema de regulação”. Alguém com um sistema de regulação muito bom pode ser submetido a todas as pressões ambientais e seguir com a pressão normal. “Mas outro, com um sistema muito ruim, pode ficar sem comer um grama de sal, deitado

numa rede, e vai ficar hipertenso.” É esse “o estado da arte atual” sobre a hipertensão essencial ou primária. Sabe-se dessa “combinação do terreno com o meio ambiente” e não se sabe “mexer no terreno” preventivamente, mas é o que se quer conseguir. Se os genes envolvidos na hipertensão forem identificados, se for possível saber a carga genética de cada um e com base nisso trabalhar com aconselhamento genético, talvez a hipertensão essencial que atinge 50% dos adultos acima de 60 anos se torne uma epidemia do passado.

Muitos anos antes, em 1999, outro Krieger, o professor José Eduardo, diretor do Laboratório de Genética e Cardiologia Molecular do Incor, integrante da equipe e filho do professor Eduardo Moacyr, dissera a *Pesquisa FAPESP* (edição 47, outubro): “Não temos a ilusão de explicar a hipertensão por um único defeito genético”. Coordenador de toda a parte de genética do projeto temático *Bases fisiológicas da hipertensão: estudo integrado*, apoiado pela FAPESP desde 1995, ele observou na época que, em nenhum problema biológico complexo ou, mais exatamente, em nenhuma das doenças complexas que normalmente correspondem a grandes linhas dos programas de saúde pública, caso de diabetes, câncer, asma, aterosclerose, epilepsia e esquizofrenia, encontra-se um único gene responsável pelo mal. “O que as explicam são defeitos em vários genes que, sob a influência de diferentes fatores ambientais, determinam as manifestações da doença”, disse.



Angiografia mostra em finos detalhes as artérias que irrigam o coração

Fisiologia e genética da hipertensão

SUBSTÂNCIAS NATURAIS

VASOATIVAS Maurício Rocha e Silva, Eduardo Braun-Menéndez e Irvine Page identificam, respectivamente, a bradicinina, a angiotensina e a renina



1940/
1950

FISIOLOGIA DA HIPERTENSÃO

BIOLOGIA MOLECULAR

A DUPLA HÉLICE

Francis Crick e James Watson definem a estrutura tridimensional do DNA

Quase 13 anos de estudos sistemáticos e mais de 200 artigos científicos depois, publicados nas mais importantes revistas da área – relatando avanços na compreensão teórica da fisiologia e da genética de doenças cardiovasculares, apresentando dados novos para um perfil epidemiológico cardiovascular dos brasileiros ou explorando os resultados da produção de linhagens cada vez mais refinadas de ratos hipertensos –, ainda não livraram o grupo do Incor, nem qualquer outro do mundo, de uma questão central e implacável que se mantém como desafio no campo das doenças cardiovasculares: quais são os determinantes genéticos da hipertensão primária, essa doença que atinge 22% da população brasileira adulta e um total de 970 milhões de pessoas no mundo?

“Já reduzimos para quatro as cinco regiões cromossômicas em que buscávamos experimentalmente os genes candidatos a desempenhar um papel claro na emergência da hipertensão, após o desenvolvimento de 12 gerações de ratos hipertensos, ou seja, de modelos animais para investigação, em nosso laboratório”, diz José Eduardo Krieger, professor titular de medicina molecular na USP. E valendo-se de todo o sofisticado arsenal de ferramentas que a biologia molecular hoje coloca à disposição para essa procura por genes, cruzando-as com estudos de fenótipos cardíacos e de fenótipos vasculares que os dados diretos de pacientes do Incor e mais estudos epidemiológicos em diferentes grupos populacionais lhe

forneçam, a equipe de Krieger continua buscando “o endereço”, como ele diz, ou endereços da origem da hipertensão.

Supõe-se hoje que a emergência da hipertensão primária resulta de vários defeitos pequenos em múltiplos genes ligados às vias de regulação homeostática do organismo (que mantém o equilíbrio da temperatura, pressão, nível de glicose no sangue etc.). Há, em paralelo, um consenso de que, em 90% dos casos, essa epidemia contemporânea resulta de uma estreita interação entre fatores ambientais e genéticos. Diferentemente, nos 10% restantes, em que se situam as formas mais resistentes da hipertensão e aquelas produzidas por doenças raras, encontram-se casos sem nenhuma relação com fatores ambientais e nos quais, tanto múltiplos genes quanto um só defeito, num único gene, podem determinar a condição patológica da pressão arterial.

É surpreendente e um pouco frustrante, diz Krieger, que a busca incessante desde os anos 1990 pelos componentes genéticos da hipertensão tenha levado a achados mais definitivos justamente nessas situações de doenças raras e não relativamente às manifestações mais gerais e comuns do problema. “Há estudos nesses casos de um só defeito descrito em todos os detalhes”. Por exemplo, Richard Lifton, do Departamento de Genética da Universidade Yale, e colegas descreveram nos últimos 15 anos uma série de alterações genéticas que desencadeiam a hipertensão dependente da retenção indesejável de sal e água no organismo.

No terreno dos casos alheios à hipertensão primária estão também aqueles que têm causa

ANTI-HIPERTENSIVO TROPICAL

Sergio Henrique Ferreira, estudando a inflamação, identifica no veneno da jararaca o fator potenciador da bradicinina (BPF)

O CONTROLE AVANÇA

A Squibb desenvolve e começa a testar os primeiros fármacos inibidores da enzima conversora de angiotensina (ECA)

1960

1970

COLAS E TESOURAS GENÉTICAS

Identificação e isolamento de enzimas de restrição e de ligases que permitem cortar e colar o DNA, abrindo caminho para a engenharia genética

renal muito bem determinada. “Quando a razão da hipertensão é a estenose renal, por exemplo, ela é curável. Corrige-se o defeito simplesmente com um *stent*, semelhante àquele que se aplica em casos de estreitamento da artéria coronária”. Mas o fato, segundo Krieger, é que a condição *sine qua non* para que a hipertensão seja controlável é o rim estar preservado. Seguidor em termos teóricos do famoso fisiologista norte-americano Arthur Guyton (1919-2003), Krieger defende que o sistema nervoso e o estresse, por exemplo, só terão um papel permanente na manutenção da hipertensão se o sistema renal estiver alterado. “O rim preservado possibilita ganho infinito na batalha pelo controle da pressão”, diz. Essa visão nem sempre foi tranquila e consensual entre os componentes do grupo do Incor e, pragmaticamente, o chefe do Laboratório de Genética e Cardiologia Molecular diz que “visões teóricas conflitantes são muito saudáveis, até porque ampliam as possibilidades de avançar”.

Por mais que não se tenha posto a mão, digamos assim, nos genes que desde regiões celulares remotas supostamente ajudam a empurrar a coluna de mercúrio dos tensiômetros para além dos 90 milímetros, no movimento de diástole, e acima dos 140 milímetros, na sístole, o inventário do trabalho científico do grupo dos Kriegers mostra avanços contínuos e consistentes desde que se instalou no Incor. Isso engloba os muitos trabalhos teóricos e experimentais em torno dos mecanismos de controle da pressão arterial e,

mais adiante, também em genética da hipertensão, mas inclui ainda a investigação da remodelagem por que passam as veias usadas para substituir artérias bloqueadas por placas de gordura, caso do implante de ponte de safena, e a linha de pesquisa com células-tronco para recuperação do músculo cardíaco.

Utilizar veias, vasos especializados no transporte de sangue sob condições de baixo fluxo e pressão, no lugar de artérias, que transportam sangue sob pressões até 20 vezes mais elevadas, limita a cerca de uma década a durabilidade de parte das pontes de safena. Ocorre o entupimento, ainda que parcial, do implante de segmentos dessa veia retirada da perna usado para restabelecer o suprimento de sangue do coração. Em uma série de experimentos com ratos e vasos sanguíneos humanos, o grupo de Krieger observou que a pressão do sangue sobre as paredes do vaso altera a programação das células de veias submetidas às condições de funcionamento das artérias. Como resultado, as paredes das veias se tornam excessivamente espessas alguns anos depois da cirurgia de revascularização do coração. Essa investigação já resultou na identificação de várias proteínas envolvidas no espessamento dos implantes, duas delas caracterizadas completamente pela equipe do Incor: a proteína produzida pelo gene p21, que inibe a reprodução celular e em geral está menos ativa nessas condições; e a produzida pelo gene CRP3, em geral ativo apenas nas artérias, mas que também é produzida pelas veias usadas na função de artérias, conforme relatou Krieger à *Pesquisa FAPESP* em junho de 2009 (edição 160).

O professor Eduardo Moacyr assumiu a chefia da Unidade de Hipertensão do Incor depois de 28 anos de uma respeitada carreira de professor e pesquisador na Faculdade de Medicina da USP de Ribeirão Preto. Ali sua principal linha de pesquisa fora estudar em modelos de hipertensão expe-

NOVOS VASOATIVOS

Identificação de novas substâncias vasoativas, como o óxido nítrico, a endotelina e o fator natriurético atrial

1980

BIOLOGIA DE SISTEMAS

O conceito de sistemas vasoativos (e não de moléculas vasoativas) permite avançar na compreensão do desequilíbrio no controle da pressão

1990

rimental (ratos, pioneiramente) os mecanismos de regulação da pressão arterial, principalmente os mecanismos neurogênicos. Assim, ao chegar ao Incor, ele trazia uma *expertise* considerável para iniciar a formação de um grupo multidisciplinar de pesquisa que se tornaria um dos mais respeitados do mundo em seu campo. Em 1995, liderando uma equipe de 11 pesquisadores, entre biólogos moleculares, fisiologistas e médicos clínicos, ele submeteu à FAPESP o temático *Bases fisiológicas da hipertensão*, que se articulava a um esforço internacional pelo estabelecimento das bases genéticas da pressão arterial. Em alguns estudos específicos, a pesquisa brasileira contava com a colaboração de pesquisadores do Medical College de Wisconsin e das universidades Harvard e da Carolina do Norte.

Em 1999, reportagem de *Pesquisa FAPESP* (edição 47, outubro) informava que se havia chegado a “alguns resultados muito concretos”. O primeiro, publicado em 1995 em artigo na *Genome Research*, fora “a identificação de cinco regiões cromossômicas em animais de experimentação (ratos), que explicavam em grande parte o aumento da pressão arterial nessas cobaias”. Parecia haver nessas regiões genes diretamente envolvidos com a hipertensão e eles seriam buscados por meio de múltiplas abordagens. Nos ratos, duas das regiões se encontravam no cromossomo 2 e as demais nos cromossomos 4, 8 (que estudos posteriores descartaram) e 16. Havia então uma forte disposição para buscar as regiões cromossômicas humanas correspondentes.

Chegou-se às cinco e, adiante, às quatro regiões cromossômicas num trabalho contínuo de cruzamentos e caracterização fenotípica das cobaias, além da caracterização dos marcadores moleculares usados na busca dos genes. Conforme a reportagem de 1999, “o cruzamento entre hipertensos e normotensos (com pressão arterial normal) visou à obtenção de netos, isto é, de uma segunda geração de animais cuja carga genética

A TRANSIÇÃO

Ferramentas e produtos da biologia molecular, como o PCR, começam a se tornar *commodities* e toda a biologia passa a incorporar conceitos de genética e biologia molecular

apresentasse uma distribuição aleatória dos genes de cada um dos dois tipos”. Ao todo, o grupo obteve 12 gerações de ratos e múltiplas sublinhagens de animais congênicos. E nas experiências com essa geração procurou-se determinar com precisão, via marcadores moleculares, quais regiões cromossômicas os netos hipertensos haviam herdado de seus avós hipertensos.

A busca por genes vinculados à hipertensão não é uma aventura meio determinista como pode parecer. Encontrá-los aumenta as chances de uma descrição precisa dos vários sistemas de controle da pressão arterial, a exemplo do renina-angiotensina, descrito ainda em 1949, e amplia as possibilidades de compreensão dos fundamentos das diferenças no comportamento dos sistemas de controle em pessoas igualmente hipertensas. Por fim, permitiria estabelecer prevenção e terapias mais adequadas a cada paciente.

Apesar de o trabalho do grupo do Incor fechar o cerco aos genes candidatos a explicar a hipertensão, o universo a ser descartado ainda é grande, pois cada uma das quatro regiões que identificaram abriga cerca de 500 genes. Desde que chegou a essas regiões, Krieger já conseguiu restringir o número de genes de interesse de quase 2 mil para cerca de 80. E continua um trabalho ativo com ferramentas exploratórias variadas (*chip* de DNA, transcriptoma, micro RNA e outras) para selecionar genes candidatos nos ratos, aliadas aos estudos de genótipos e fenótipos possibilitados pela observação e exames dos pacientes do Incor e do material dos grandes estudos epidemiológicos como o estudo transversal da população de Baipendi, em Minas Gerais, realizado com 1.700 pessoas (14% da população adulta) de 100 famílias. “Se chegarmos a um ou dois genes candidatos em cada um dos quatro modelos animais e, trabalhando com técnicas de genômica comparativa, testaremos no genoma humano se existe a alteração dos mesmos genes ou ao menos das vias bioquímicas com a qual esses genes estão implicados”, diz Krieger, “vamos dar um grande passo”. ■

NOVO STATUS PARA A BIOLOGIA

O início do sequenciamento do genoma humano trouxe a biologia para o campo da *big science*

O GENOMA HUMANO

Saem os primeiros rascunhos do sequenciamento do genoma humano e de outras espécies

OS GENES DA HIPERTENSÃO

A partir de 2 mil genes candidatos, chega-se a 80 genes possivelmente envolvidos no controle da pressão arterial

2000

2010

MAPEAMENTO DE SÍNDROMES

São identificadas várias regiões cromossômicas em animais de laboratórios, associadas à gênese de doenças complexas

OS PROJETOS

Estudo integrado da hipertensão arterial: caracterização molecular e funcional do sistema cardiovascular – nº 2001/00009-0 (2001-2006)

Da bancada à clínica: desenvolvimento de biomarcadores como preditores da resposta à terapêutica e lesão de órgãos-alvo na hipertensão arterial sistêmica – nº 2007/58942-0 (2009-2012)

Mapeamento genético de fatores de risco cardiovascular na população brasileira – projeto corações de Baependi – nº 2007/58150-7 (2008-2012)

MODALIDADE

1. e 2. Projeto Temático
3. Auxílio regular a projeto de pesquisa

COORDENADOR

1. e 2. Eduardo Moacyr Krieger – Incor/FMUSP
3. José Eduardo Krieger – Incor/FMUSP

INVESTIMENTO

R\$ 6.110.874,19
R\$ 3.306.336,56
R\$ 1.832.181,66

ARTIGOS CIENTÍFICOS

STORCK, N.J. *et al.* A biometrical genome search in rats reveals the multigenic basis of blood pressure variation. *Genome Research*. 1995.

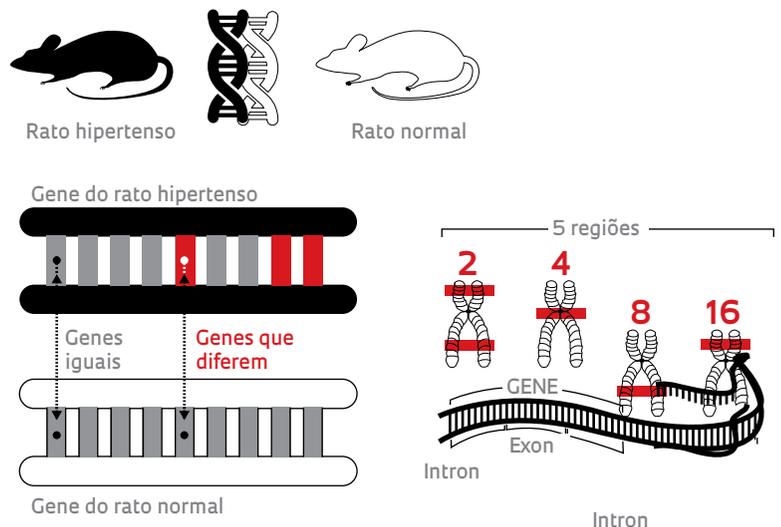
CAMPOS, L.C. *et al.* Induction of CRP3/MLP expression during vein arterIALIZATION is dependent on stretch rather than shear stress. *Cardiovascular Research*. 2009.

DE NOSSO ARQUIVO

Cerco à matadora silenciosa Ed. nº 47 – out. de 1999
Alarme molecular Ed. nº 69 – out. de 2001
Coração reconectado Ed. nº 160 – jun. de 2009
Efeito inesperado Ed. nº 171 – mar. de 2010

Garimpagem genética

Pesquisadores combinam genética e biologia molecular em busca dos genes possivelmente envolvidos na hipertensão



EM BUSCA DE UMA LINHAGEM IDEAL O acasalamento de ratos com pressão normal e outros hipertensos por sucessivas gerações permitiu identificar cinco regiões cromossômicas ligadas à hipertensão



400 a 500 genes candidatos em cada região cromossômica

MISTURA DE GENOMAS Animais das linhagens portadoras de cada região foram cruzados novamente com ratos hipertensos, o que possibilitou reduzir o número de genes suspeitos



20 genes candidatos para cada animal

FECHANDO O CERCO Por meio de técnicas moleculares, os pesquisadores buscam identificar no tecido renal evidências de participação dos genes na hipertensão arterial

Quando o organismo se destrói

Amplia-se o conhecimento de mecanismos moleculares da sepse, reação inflamatória fatal produzida pelo sistema imunológico

Salvador Nogueira

Imagem obtida por microscópio eletrônico de *Capnocytophaga canimorsus*, uma das causas de sepse

Imagine que, para expulsar um inimigo de seu território, um exército empregue tanta força e selvageria que acaba por destruir também a própria população que desejava defender. Isso é basicamente o que acontece quando alguém sofre de sepse. Trata-se de uma reação inflamatória aguda causada pelo próprio sistema imunológico, ao reagir a uma infecção. Conhecida também como septicemia (termo que está caindo em desuso), a doença costuma ser fatal, afetando múltiplos órgãos e levando-os à exaustão em pouco tempo.

Aos poucos, os cientistas têm decifrado o que acontece com o corpo quando há essa reação imunológica exagerada e desesperada. Isso está levando ao desenvolvimento de novos tratamentos, que têm sido eficazes em aumentar a sobrevivência dos pacientes. Contudo, ainda continua sendo muito difícil salvá-los, uma vez que a sepse se instaura.

“Os pacientes seguem morrendo, mas não nas fases iniciais da infecção”, afirma José Carlos Alves Filho, da Faculdade de Medicina da USP em Ribeirão Preto. “O que estamos vendo é que a fase tardia é bem diferente da fase inicial.”

Alves Filho faz parte do grupo liderado por Fernando de Queiróz Cunha, que trabalha há anos na decifração de vários dos mistérios da sepse em escala biomolecular. A equipe se concentra nos mecanismos que ocorrem nas células e tecidos para levar o corpo a essa reação deletéria ao identificar a presença de um patógeno. E eles descobriram que a sepse, quando o paciente sobrevive por tempo suficiente, leva a um desligamento do sistema imunológico.

DOENÇA DA UTI

Não é toda infecção que causa a sepse. Na verdade, a maioria das invasões de bactérias no organismo é repelida com relativa facilidade pelo sistema imunológico. A infecção e a inflamação generalizadas só costumam acontecer quando há algo errado com a rede de defesa do corpo. Por isso, normalmente a sepse acomete quem já está hospitalizado, sobretudo nas Unidades de Terapia Intensiva (UTIs).

“Normalmente é uma infecção secundária que leva à morte dos pacientes”, diz Alves Filho. “Primeiro a pessoa é internada com uma infecção, é tratada, e aí pega uma segunda, no próprio hospital.”

Quando o quadro se instala, o resultado é devastador. Nos Estados Unidos, por exemplo, é a segunda causa de morte nas UTIs. São mais de 700 mil casos por ano, e cerca de 30% deles levam à morte. No mundo inteiro, são 18 milhões de ocorrências anuais. Por essa razão, o tema se tornou um exemplo clássico de um novo ramo de pesquisa denominado “medicina translacional”.

É o nome que se dá a uma linha de estudos que nasce da necessidade imediata dos médicos, volta à bancada do laboratório e então tenta retornar à origem, trazendo novas soluções. No caso, Queiróz Cunha e Alves Filho buscam, ao desvendar os enigmas moleculares da sepse, identificar intervenções medicamentosas eficazes para cortar o processo antes que ele leve à fatalidade.

No laboratório, a sepse é induzida em roedores, tentando de certo modo mimetizar o que acontece nos hospitais. Então, primeiro os animais são submetidos a uma perfuração intestinal, que causa a infecção primária. Surge uma peritonite. Depois, os pesquisadores provocam o ataque secundário – uma pneumonia. O resultado é um rato acometido pela sepse. A partir daí começam as investigações do que está havendo e como conter o problema.

SISTEMA IMUNE

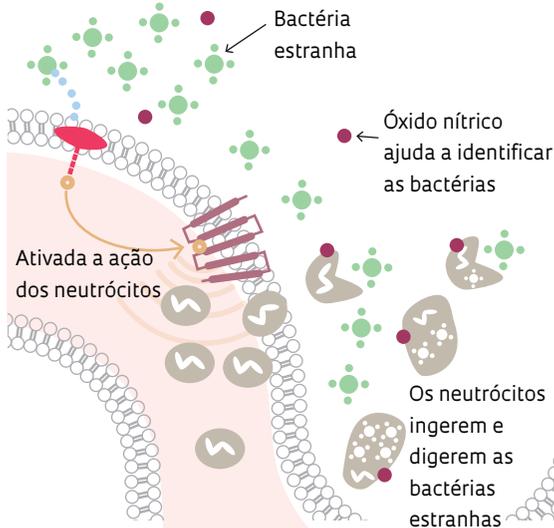
Na sepse, já está claro há mais de uma década que o grande problema não é a infecção em si, mas a resposta imunológica exagerada, que não só fracassa em conter as bactérias invasoras como se espalha pelo corpo de forma generalizada e provoca falência múltipla dos órgãos. Mas, ao intervir nesse problema, trata-se de uma escolha de Sofia: se os médicos atacam o sistema imune, a infecção corre desimpedida. Se deixam que ele atue, ele mesmo destrói o organismo.

É preciso, portanto, uma estratégia mais fina, que manipule de forma mais sutil o sistema sem desligar nada. É na busca desse conhecimento que está o grupo de Queiróz Cunha.

Destruição celular

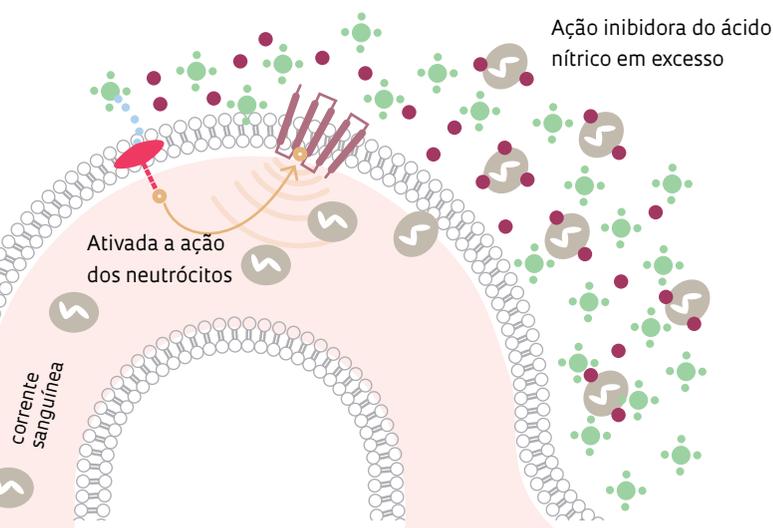
RESPOSTA INFLAMATÓRIA

Num cenário de inflamação normal, os neutrófilos, com a ajuda do ácido nítrico, atacam as bactérias estranhas ao organismo



SEPSE

A produção de óxido nítrico dispara e inibe a ação dos neutrófilos, deixando a infecção sem controle



Eles descobriram, por exemplo, que o óxido nítrico é um componente importante da rede de relações químicas que levam à sepse. Em circunstâncias normais, ele é usado pelos leucócitos (em particular por uma classe deles, os neutrófilos) para atacar e destruir as bactérias. Além disso, o óxido nítrico tem um papel importante ao induzir o relaxamento vascular. Ele permite um aumento no volume de sangue em circulação e leva mais células de defesa ao foco infeccioso.

Contudo, é como bem sabe a sabedoria médica, a diferença entre o remédio e o veneno costuma estar na dose. Num quadro de sepse, a produção de óxido nítrico vai às alturas. Chega a ser mil vezes maior que o normal. Aí a pressão arterial cai drasticamente. E o pior: qualquer tentativa de inibir a produção da substância no corpo do paciente elimina a principal arma dos leucócitos contra as bactérias invasoras.

Para completar o drama, Queiróz Cunha e seus colegas descobriram que óxido nítrico em excesso também inibe a migração das células de defesa, o que ajuda a explicar como o quadro se torna generalizado. Os detalhes desse processo foram publicados em artigos

O óxido nítrico em excesso inibe a migração das células de defesa, o que ajuda a explicar como o quadro se generaliza

nas revistas científicas *Shock*, *Blood* e *Critical Care Medicine*, em 2006. No ano seguinte, o grupo demonstrou por que o óxido nítrico inibe a ação dos neutrófilos: eles deixam de expressar certos receptores que os tornam sensíveis à inflamação. A migração das células é interrompida, e é como se o exército de defesa do organismo declarasse unilateralmente um cessar-fogo. Enquanto o inimigo ainda avança.

CORAÇÃO FLÁCIDO

Um desenvolvimento interessante aconteceu quando a linha de pesquisa de Queiróz Cunha encontrou a de Marcos Rossi, patologista da Faculdade de Medicina da USP em Ribeirão Preto. Rossi havia percebido, ao longo de muitos anos realizando necrópsias em pacientes que morreram com sepse, que o coração deles havia passado por mudanças radicais. “Era diferente, meio flácido, o que indicava que em vida havia apresentado problema de funcionamento”, diz Rossi, que contou com um projeto de equipamentos multiusuários no valor de R\$ 850 mil.

Rossi e Cunha investigaram o que levava a essa devastação do músculo cardíaco. Adotaram o camundongo como modelo

animal para os estudos e constataram que, sob a sepse, havia uma redução expressiva na quantidade de proteínas responsáveis por manter as células do coração fortemente unidas. Como resultado, as células se desconectavam umas das outras.

Mais uma vez, o óxido nítrico em excesso apareceu como o vilão. Liberado em excesso durante o processo inflamatório, ele danifica a parede das células cardíacas, tornando-as mais permeáveis ao cálcio. Em consequência, o excesso de óxido nítrico leva à morte celular. Quanto mais células são afetadas, mais se reduz a capacidade de o coração bombear sangue.

O achado foi publicado em 2010 na revista científica *Shock* e levou a uma estratégia promissora. Como diversos medicamentos bloqueiam a absorção do cálcio e são usados no controle da pressão arterial e na regulação do ritmo cardíaco, Rossi e Cunha tiveram a ideia de tentar usá-los, em animais, para ver se havia como protegê-los da sepse. Os resultados, em colaboração com pesquisadores do Albert Einstein College of Medicine, em Nova York, foram muito expressivos.

O grupo demonstrou conclusivamente que há um aumento dramático de cálcio nas células cardíacas quando o organismo passa por um quadro de sepse. Apenas dois minutos depois da instituição do choque séptico, o cálcio aumenta 60%. Passadas 24 horas, ele continua aumentado em 20%. Mas, quando há tratamento, a história é outra.

“Mostramos que há extrema melhora quando os animais são tratados com bloqueadores de cálcio”, diz Rossi. Enquanto no grupo controle (camundongos sem nenhum tratamento), após 72 horas, a mortalidade era de 90%, nos tratados

o número caiu para 50%. “Alguém pode dizer, ‘ainda assim morreu muito’. Mas o ponto é que melhoramos a sobrevivência em cinco vezes.”

O principal problema é que a sepse é um quadro generalizado. Ela afeta drasticamente o coração, mas também outros órgãos. Os pesquisadores desenvolveram um meio de proteger o músculo cardíaco, mas ainda assim, em boa parte dos casos, os animais continuam a morrer – desta vez pela falência de outro órgão.

VOLTA AO HOSPITAL

Para Rossi, ainda há muito que aprender sobre os mecanismos da sepse. Entretanto, ele vê o trabalho específico com bloqueadores de cálcio pronto para testes clínicos. Uma vez que essas drogas já foram aprovadas para alguns usos, seria possível encurtar bastante o tempo de teste para convertê-los numa ferramenta útil na proteção ao coração durante um quadro de sepse – o que, por si só, já reduziria significativamente a mortalidade, pelo menos na fase inicial da doença.

Apesar desse potencial, nenhum grupo especializado em pesquisa com seres humanos o procurou para colocar a estratégia em prática. “Fala-se muito na tal medicina translacional, mas não se pratica. A gente conduz a coisa no laboratório, mas falta quem pegue dali e leve de volta ao hospital. E no Brasil são ainda mais temerosos”, critica.

Enquanto a transferência não acontece, Rossi e Cunha continuam trabalhando para desvendar todos os mecanismos moleculares envolvidos nesse conflito do organismo contra si mesmo. E seus estudos seguem apresentando potenciais alvos para intervenção médica no grande desafio que é vencer a sepse. ■

OS PROJETOS

1. Mediadores envolvidos na gênese da dor e na migração de leucócitos e na sepse – nº 2007/51247-5 (2007-2012)
2. Sepse e choque séptico: alterações funcionais e morfológicas do coração: estudo experimental em camundongos – nº 2004/14578-5 (2005-2007)
3. Avaliação *in vitro* da expressão de distrofina em cardiomiócitos submetidos a diferentes estímulos – nº 2009/53544-2 (2010-2012)

MODALIDADES

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

COORDENADORES

1. e 2. Sergio Henrique Ferreira – FMRP-USP
3. Marcos Antonio Rossi – FMRP-USP

INVESTIMENTO

1. R\$ 2.303.227,35
2. R\$ 153.565,78
3. R\$ 310.920,30

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. ROSSI, M. A. *et al.* Myocardial structural changes in long-term human sepsis/septic shock may be responsible for cardiac dysfunction. *Shock*. v. 27, n. 1, p. 1-18, 2007.
2. CELES, M. R. *et al.* Disruption of sarcolemmal dystrophin and beta-dystroglycan may be a potential mechanism for myocardial dysfunction in severe sepsis. *Laboratory Investigation*. v. 90, p. 531-42, 2010.
3. CELES, M. R. *et al.* Reduction of gap and adherens junction proteins and intercalated disc structural remodeling in the hearts of mice submitted to severe cecal ligation and puncture sepsis. *Critical Care Medicine*. v. 9, p. 2176-85, 2007.
4. CELES, M. R. *et al.* Increased sarcolemmal permeability as an early event in experimental septic cardiomyopathy: a potential role for oxidative damage to lipids and proteins. *Shock*. v. 33, n. 3, p. 322-31, 2010.

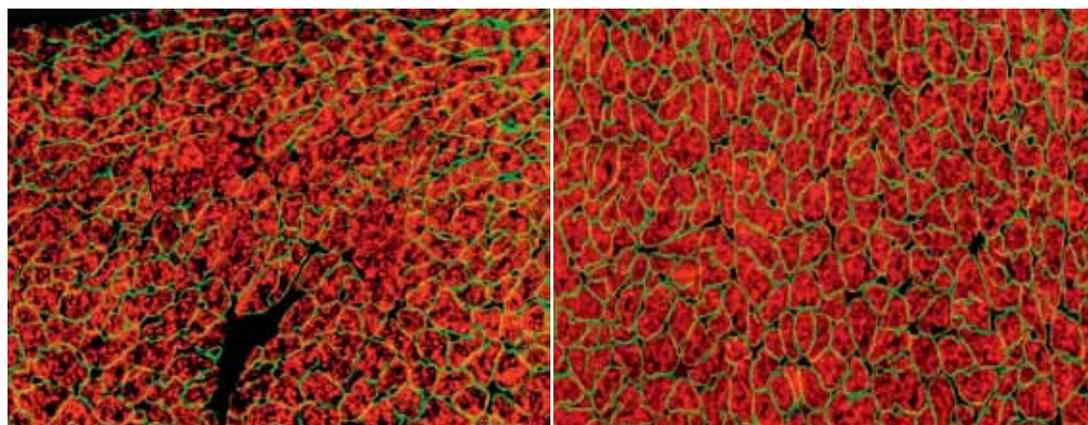
DE NOSSO ARQUIVO

Fora de controle

Edição nº 172 – junho de 2010

Resposta controlada

Edição nº 160 – junho de 2009



A sepse altera a estrutura da proteína distrofina (em verde, à esquerda) e prejudica o funcionamento das células do coração (situação normal, à direita)

A trama por trás do diabetes

Ao longo de vinte anos, projeto desvenda as conexões entre dieta e resistência à insulina no organismo

Maria Guimarães

Há vinte anos esmiuçando o funcionamento bioquímico de organismos que desenvolvem diabetes tipo 2, o médico Mario Saad, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), descobriu que a genética talvez seja a parte menos importante.

“Nós somos o que comemos, menos a quantidade de exercício que fazemos, além do tipo de bactéria que temos no intestino”, resume. Uma boa máxima, ele admite, para um médico que pode assim aconselhar aos pacientes um estilo de vida que os proteja contra a doença – que atinge 350 milhões de pessoas no mundo todo e causa problemas como obesidade, risco de amputações e até a morte – ou diminua sua progressão.

Mas não se trata de invenção para convencer pacientes: a convicção de que o ambiente externo e as bactérias intestinais sobrepujam a proteção genética no surgimento de obesidade e diabetes está fundada em sólida pesquisa. O grupo de Saad revelou, em artigo publicado em dezembro de 2011 na *PLoS Biology*, que a população bacteriana inerente a qualquer intestino humano, além de benefícios à digestão, também pode contribuir para a resistência ao hormônio insulina pelas células, a condição precursora do diabetes. Quando o problema se instala, a insulina – mesmo que presente em altas concentrações – deixa de conseguir indicar às células dos músculos e de outros tecidos que retirem a glicose do sangue para estocá-la ou transformar em energia. Em experimentos com camundongos, a equipe da Unicamp verificou que o problema pode ser causado por uma proporção atipicamente alta





Vilão quando em excesso,
o açúcar precisa ser
removido do sangue

de bactérias do filo Firmicutes, grupo que reúne dezenas de espécies e, ao lado de outros grupos de bactérias, constitui a microbiota intestinal. Parte do doutorado da bióloga Andrea Caricilli, os resultados chamaram tanto a atenção que, nos quatro meses em seguida à sua publicação, foi acessado mais de 13.500 vezes no site da revista.

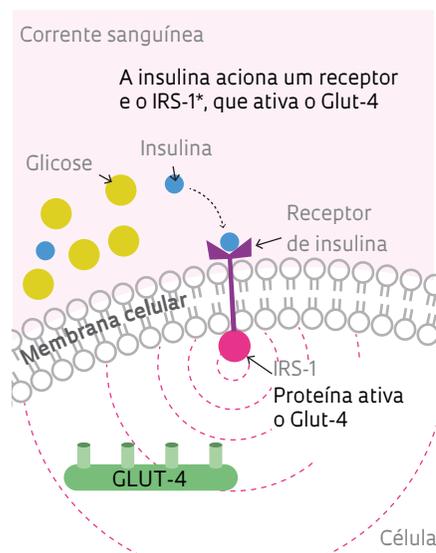
“A microbiota intestinal não é a única causa do diabetes e da obesidade, nem provavelmente a mais importante”, comenta Saad. “Mas constatamos que ela contribui para gerar uma inflamação no tecido adiposo que inicia um processo de ganho anormal de peso que depois se perpetua.” As firmicutes parecem facilitar a passagem pela parede do intestino de moléculas que se soltam quando outras bactérias se rompem. São os lipopolissacarídeos (LPS), compostos por açúcares e gorduras, que acionam no resto do organismo sinais bioquímicos que ativam o sistema imunológico, causando uma inflamação subclínica (não acusada por sintomas) típica de obesos. Quando a obesidade se instala, alterações na parede do intestino aumentam ainda mais a permeabilidade a LPS, reforçando a reação imunológica que, nas células do fígado, dos músculos e do tecido adiposo, também desencadeia a resistência à insulina, reforçando assim a ligação entre diabetes e obesidade.

A protagonista da história é uma proteína da família dos receptores celulares *toll-like* (TLR), que identificam moléculas estranhas ao organismo e estimulam a reação do sistema imunológico. Neste caso, os experimentos foram feitos com camundongos sem TLR-2. Num experimento feito por pesquisadores do Canadá e da Suíça, esses camundongos, criados em ambiente estéril, não engordavam nem desenvolviam diabetes, mesmo com uma dieta supercalórica. Já no laboratório de Saad, aconteceu o contrário: eles ficaram obesos e diabéticos, mesmo recebendo a mesma ração dos outros roedores. A diferença estava no ambiente, que não era esterilizado – uma situação mais semelhante à da maior parte dos organismos que vivem fora de laboratórios, pessoas inclusive.

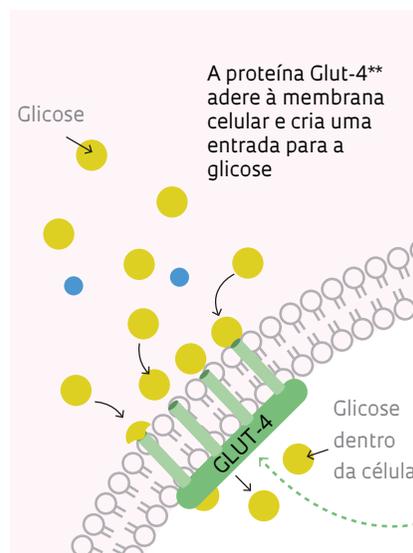
Análises genéticas das fezes desses camundongos revelaram uma microbiota muito diferente, em que quase metade eram bactérias Firmicutes. Nos outros animais, essa proporção era de 14%. “Os receptores *toll-like* predispõem a microbiota intestinal a um ou outro tipo de bactéria”, explica o médico, que já tinha obtido resultados diferentes com o TLR-4. Quando tratados com antibióticos, os camundongos voltaram a ter uma proporção normal de tipos bacterianos e recuperaram a função da insulina. “Achávamos que encontraríamos todas as

Como o organismo aproveita os açúcares

Por meio da insulina, o organismo captura a glicose da corrente sanguínea e a converte em energia ou em gordura



* Substrato do receptor de insulina-1



** Transportador de glicose-4

respostas no Projeto Genoma Humano, mas agora precisamos sequenciar o genoma das bactérias para ver como elas interagem com o organismo humano.”

REBELIÕES INTERNAS

A contribuição das bactérias para o desenvolvimento de diabetes lembra a ação de alienígenas que invadem o corpo, mas esses microrganismos na verdade estão dentro de um contexto muito mais amplo de controle bioquímico do metabolismo do açúcar, que pode dar errado por uma longa série de motivos que vem recheando a carreira de Saad. “O que se sabia era que a insulina se encaixava nos receptores das células e alguma coisa acontecia para causar um efeito biológico”, brinca, resumindo o conhecimento no começo dos anos 1990, época de seu pós-doutorado no Centro Joslin de Diabetes, parte da Escola Médica de Harvard, nos Estados Unidos. Foi lá mesmo, durante a estadia do médico brasileiro, que foi identificado o substrato do receptor de insulina (IRS-1), primeiro passo para entender o mecanismo molecular de resistência ao hormônio responsável pelo equilíbrio da glicose no organismo.

Em parte, são defeitos nesse mecanismo que causam o diabetes do tipo 2, aquele em que o pâncreas produz uma quantidade suficiente de insulina, mas ela não consegue acionar a maquinaria celular responsável por capturar a glicose. Parte do problema acontece nos receptores de insulina nas células do cérebro, mais especificamente no hipotálamo. Problemas de sinalização nessa parte do corpo podem desregular, por exemplo, o apetite, causando uma tendência a comer sem medidas. O que hoje é uma falha no funcionamento pode já ter sido importante na evolução do homem, explica Saad. “A fome e as epidemias causadas por doenças infecciosas, que foram as grandes causas de morte de nossos ancestrais, podem ter selecionado os genes que favoreçam o armazenamento de energia e respostas rápidas às infecções.” O próprio acúmulo de gordura pode ser visto como um mecanismo de defesa caso falte alimento, como era comum nos tempos em que a espécie humana vivia em cavernas. Hoje, porém, o organismo mantém a ordem de comer muito, mesmo que nem sempre a comida seja escassa.

O mais grave é que a ordem para armazenar acaba se tornando crônica, em parte porque os mecanismos vão muito além do que acontece no cérebro, conforme mostrou ao longo dos anos o trabalho da equipe de Saad, que hoje inclui grupos liderados pelos pesquisadores Lício Velloso e José Barreto Carvalheira, também da Unicamp. Assim como acontece no hipotálamo, num prazo de dez dias as células dos músculos se tornam resistentes à insulina em camundongos que recebem uma dieta rica em gorduras. Em seguida, o problema atinge o fígado e os vasos sanguíneos, também danificados pelos altos níveis de glicose circulante. Mas não basta o chamado “pé na jaca” das comilanças de Natal ou de umas férias gastronômicas para que a incapacidade de responder ao hormônio e capturar glicose do sangue se alastre mais e atinja o tecido adiposo – formado por células especializadas em acumular gordura. Para isso, ratos em experimento no laboratório da Unicamp precisaram de cinco meses da dieta que simula maus hábitos ocidentais, com alto consumo calórico. Daí surge a obesidade com frequência associada ao diabetes.

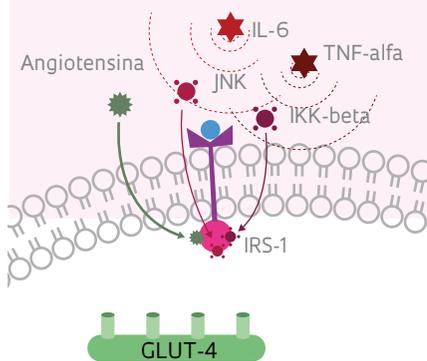
A obesidade, os estudos reforçam cada vez mais, é um fator importante que age de várias formas no desenvolvimento do diabetes. Um desses elos é o angiotensinogênio produzido nas células adiposas. Essa proteína é precursora da angiotensina, molécula que tem função central no controle da pressão arterial. Em 1995, durante pós-doutorado com Saad, Lício Velloso se embrenhou no problema e acabou por mostrar que a angiotensina também é um empecilho à ação da insulina, por meio de alterações na IRS-1. Estava estabelecida uma conexão clara entre obesidade, diabetes e hipertensão, um trio que costuma andar de mãos dadas. Mais do que isso, o grupo mostrou também – no trabalho de Carla Carvalho, outra pós-doutoranda – que drogas anti-hipertensivas que reduzem os teores de angiotensina também contribuem para um melhor funcionamento da insulina, causando uma melhora no quadro de diabetes. A importância da descoberta passou longe de despercebida pela comunidade científica. Foi divulgada em 1996 na *PNAS* e é hoje o artigo do grupo de Saad mais citado em publicações acadêmicas.

Onde surge o diabetes

São várias as origens da resistência à insulina

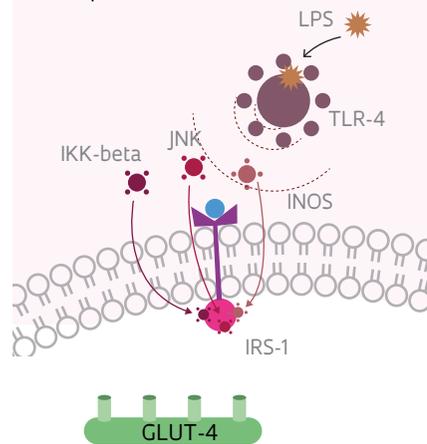
TECIDO ADIPOSITO

Fatores inflamatórios (IL-6 e TNF-alfa) ativam proteínas que prejudicam o funcionamento da IRS-1. A angiotensina contribui para a inativação dos receptores.



INTESTINO

Os LPS* liberados por bactérias acionam o TLR-4**, que ativa proteínas que alteram os receptores de insulina.



* Lipopolissacarídeos ** Receptor *toll like*

As células de gordura também se caracterizam por serem palco de embates do sistema imunológico que geram a inflamação característica do obeso. “Você está com um leve quadro inflamatório’ poderia ser uma forma politicamente correta de dizer a um paciente que está obeso”, brinca Saad. Ele detalha que o tecido adiposo produz citocinas – fatores inflamatórios como a interleucina-6 e o TNF-alfa – que atraem os macrófagos, as células do sistema imunológico responsáveis por dar cabo de partículas invasoras por meio da fagocitose (em termos genéricos, eles engolem e digerem esses visitantes indesejados). Apesar de não causarem alterações de temperatura detectáveis nem dor, sintomas comuns das reações inflamatórias, essas substâncias ativam as enzimas JNK e IKK-beta, que por sua vez alteram a configuração da IRS1. Outro fator a causar resistência à insulina.

Mostrando que essas relações nunca são lineares e que o organismo funciona como uma rede altamente complexa, essas enzimas – assim como a óxido nítrico sintase induzível (iNOS) – também são acionadas pelas proteínas de membrana celular TLR-4. Estas, por sua vez, respondem aos lipopolissacarídeos liberados pela microbiota intestinal dominada por Firmicutes, aquela mesma que contribui para a obesidade e o diabetes. O grupo da Unicamp demonstrou o protagonismo do TLR-4 com experimentos usando camundongos mutantes em que o receptor para essa proteína não é funcional: esses animais podiam se esbaldar numa dieta gordurosa, e mesmo assim não engordavam. Exatamente o contrário do que aconteceu no mesmo laboratório, anos depois, com animais mutantes para o TLR-2. O LPS, mesmo produzido em grandes quantidades, não causava problemas. Essa importância do TLR-4 na conexão entre dietas cheias de frituras e o desenvolvimento de diabetes foi parte do trabalho de doutorado de Daniela Tsukumo. Publicados em 2007 na *Diabetes*, os resultados renderam ao grupo de Saad uma de suas publicações mais citadas em artigos científicos.

Revelar esse papel dos receptores da família *toll like* é importante para a compreensão de como a doença funciona, mas ainda não chega perto de dar origem a terapias para controlar o diabetes.

“Um bloqueador de TLR-4 pode ajudar, mas como essa molécula tem uma função importante no controle de infecções, não podemos bloqueá-lo por inteiro”, explica Saad. Por enquanto, o médico celebra uma realização mais simples, mas que traz alívio real aos pacientes: uma pomada à base de insulina que acelera a cicatrização, reduzindo os riscos de amputação comuns em casos avançados de diabetes. A descrição está prestes a ser publicada na *PLoS One*.

Saad compara essa trama intrincada ao poema “Verdade”, de Carlos Drummond de Andrade. A verdade está sempre dividida em metades que não se encaixam perfeitamente. Cada pessoa que a procura só tem acesso a uma dessas metades, e se tentar escolher a mais bonita nunca poderá fazer uma escolha isenta. Não conformado, o (também mineiro) médico continua encaixando as peças da verdade que compõem o metabolismo do diabetes, para quem sabe um dia encontrar mais soluções. ■

PROJETOS

1. Mecanismos moleculares de resistência à insulina em hipotálamo e tecidos periféricos – nº 2001/03176-5 (2002-2006)
2. Instituto Nacional de Obesidade e Diabetes – nº 2008/57952-5 (2009-2014)

MODALIDADE

1. e 2. Projeto Temático

COORDENADOR

1. e 2. Mario José Abdalla Saad – FCM/Unicamp

INVESTIMENTO

1. R\$ 1.116.696,66
2. R\$ 3.241.614,71

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. VELLOSO, L. A. *et al.* Cross-talk between the insulin and angiotensin signaling systems. *PNAS*. v. 93, n. 22, p. 12490, 1996.
2. TSUKUMO, D. M. L. *et al.* Loss-of-function mutation in Toll-like receptor 4 prevents diet-induced obesity and insulin resistance. *Diabetes*. v. 56, n. 8. p. 1986-98, 2007.
3. CARICILLI, A.M. *et al.* Gut microbiota is a key modulator of insulin resistance in TLR2 knockout mice. *PLoS Biology*. v. 9, n. 12, e1001212, 2011.

DE NOSSO ARQUIVO

Da obesidade ao diabetes
Edição nº 82 – dezembro de 2002

Dieta de alto risco
Edição nº 140 – outubro de 2007

Conexões viscerais
Edição nº 193 – março de 2012

Desarmonia *celular*

Mais de 300 alterações genéticas e funcionais estão agora associadas à esquizofrenia

Ricardo Zorzetto

O psiquiatra suíço Eugen Bleuler balançou o pensamento de sua época ao propor em 1911 o termo esquizofrenia para nomear as enfermidades mentais marcadas por uma dificuldade intensa de estruturar o pensamento e estabelecer laços afetivos. Para Bleuler, fragilidades emocionais estariam na origem da esquizofrenia, até então vista como um problema de causa exclusivamente biológica. Desde que apresentou suas ideias, a explicação de como e por que surge a esquizofrenia mudou outras vezes. Depois de as opiniões oscilarem entre extremos, hoje, cem anos mais tarde, aparentemente se chegou a um meio-termo, que concilia a visão psicológica e biológica. Acredita-se que essa enfermidade, que se manifesta em 1% da população, seja o resultado do desenvolvimento – e consequentemente do funcionamento – inadequado das células do cérebro, agravado ou amenizado por características emocionais do indivíduo ou por fatores sociais e ambientais. Agora há sinais de que na esquizofrenia há uma alteração no processamento da glicose. Essa alteração é a possível razão por que o diabetes é mais comum entre quem tem esquizofrenia do que no restante da população.

Pesquisadores brasileiros trabalhando no país e no exterior participam dessa revisão conceitual ao analisar a atividade de genes e a produção de proteínas em diferentes áreas do cérebro e

em outras partes do organismo. E identificaram modificações na estrutura e no funcionamento das células cerebrais que contribuem para uma compreensão mais abrangente da origem da esquizofrenia. Somados a trabalhos de grupos estrangeiros, esses resultados deixam cada vez mais evidente que, assim como em outras doenças mentais, são vários os fatores biológicos que influenciam a suscetibilidade e o desenvolvimento dessa enfermidade que faz as pessoas sentirem um profundo vazio emocional e provoca delírios e alucinações. E, à medida que as investigações avançam, mais elementos aparecem.

O grupo do psiquiatra Wagner Farid Gattaz na Universidade de São Paulo (USP) detectou cerca de 300 alterações genéticas que podem comprometer o desempenho do cérebro e caracterizar a esquizofrenia; 25% desses genes estão ligados à produção de energia e 20%, ao crescimento celular. “Esses dados tornam a compreensão da esquizofrenia mais realista”, afirma Gattaz.

Talvez já fosse esperado encontrar tantos fatores biológicos. Há diferentes níveis de gravidade na esquizofrenia, em que os sinais clínicos podem ir da desorganização do pensamento à convicção de que se está sendo perseguido ou das alucinações visuais e auditivas à completa paralisia (catatonia). Muita coisa pode dar errado desde que as células que vão originar o cérebro começam a se formar no embrião até o momento em que se tornam especialistas, por





Fragmentação
mental, um
dos sinais da
esquizofrenia

exemplo, em transportar e armazenar informações, caso dos neurônios. Alterações genéticas herdadas dos pais ou surgidas ao acaso – somadas a fatores sociais, como migrações, ou ambientais, a exemplo de violência e abusos sofridos na infância – podem interferir na produção de proteínas essenciais para o funcionamento adequado dos neurônios e de outras células que formam o cérebro e outros órgãos do sistema nervoso central.

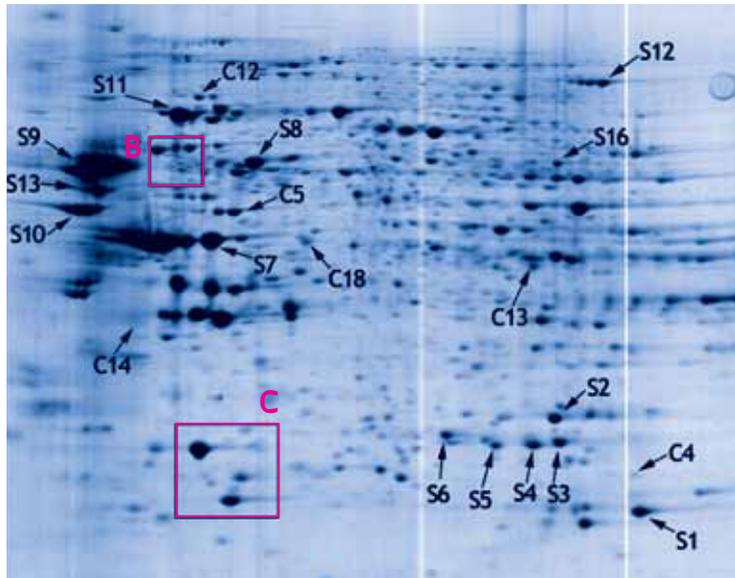
Uma diferença entre as células cerebrais de pessoas saudáveis e as das com esquizofrenia é a consistência da membrana externa dos neurônios, formada por uma dupla camada de lipídios. Quando trabalhou no laboratório de Gattaz, o pesquisador alemão Gunter Eckert analisou a maleabilidade da membrana dos neurônios de pessoas com e sem esquizofrenia, extraídos após a morte. A superfície das células do córtex pré-frontal, área que coordena o raciocínio e cujo funcionamento está alterado na esquizofrenia, se apresentou mais fluida do que o normal. “O aumento da fluidez da membrana pode alterar o funcionamento da célula”, comenta Evelin Schaeffer, psicofarmacologista da equipe de Gattaz.

Esse achado ajuda a explicar algumas modificações anatômicas e fisiológicas observadas nos últimos tempos por meio de exames de imagens no cérebro de pessoas com esquizofrenia. E parece decorrer de um efeito observado quase 30 anos antes por Gattaz, quando fazia seu doutorado na Universidade de Heidelberg, Alemanha. Naquela época ele verificou que a enzima fosfolipase A2, responsável pela reciclagem de lipídios da membrana, se encontra mais ativa do que o normal nos neurônios de quem tem esquizofrenia – essa hiperatividade da fosfolipase pode alterar a composição da membrana e contribuir para que se torne mais flexível. Mais maleável, a membrana pode abrigar uma concentração maior de receptores D2, proteína que extrai do meio extracelular o mensageiro químico dopamina.

Esse resultado favorece a hipótese mais antiga e mais difundida para explicar os sinais clínicos da esquizofrenia. A apatia e o embotamento das emoções ou ainda os surtos de psicose seriam consequência de alterações nos níveis de dopami-

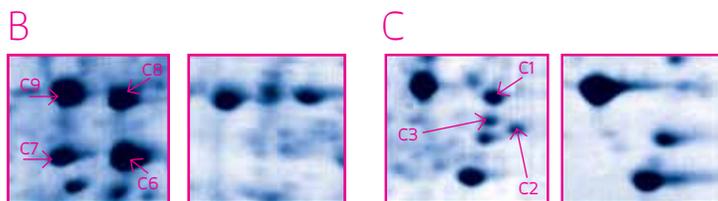
Os rastros da esquizofrenia

As células do cérebro, quando alteradas, produzem proteínas em maior ou menor quantidade que o normal



Cada ponto na imagem representa um aglomerado de proteínas iguais (separadas em um gel segundo a massa e as cargas elétricas) de uma região do cérebro de uma pessoa com esquizofrenia.

Pessoas não esquizofrênicas produzem mais proteínas identificadas pela letra C (de controle) e as com esquizofrenia produzem mais S (de *Schizophrenia*)



Acima, sinais da expressão intensa das proteínas 1 alfa da tubulina (C6 e C7) e a 5 beta da tubulina (C8 e C9), menos abundantes nas pessoas com esquizofrenia (ao lado).

Acima, três proteínas do grupo controle (C1, supressora de metástase de câncer de mama; C2, tropomiosina 3; e C3, ribonucleoproteínas heterogêneas), produzidas mais intensamente que nas pessoas com esquizofrenia (ao lado)

na no espaço entre as células, que provocaria um desajuste na comunicação entre os neurônios. O excesso de dopamina no meio intercelular, que as medicações que controlam a esquizofrenia tentam reverter, diminuiria a atividade de regiões cerebrais como o córtex pré-frontal, situado na parte anterior da cabeça, logo acima dos olhos, e responsável pelo raciocínio complexo, a capacidade de expressão e a tomada de decisões.

Estão se acumulando evidências de que na esquizofrenia não é só a transmissão de informação de uma célula a outra que está prejudicada. O funcionamento celular parece estar comprometido, segundo estudos de proteômica do biólogo Daniel Martins-de-Souza, atualmente no Instituto Max Planck de Psiquiatria, na Alemanha. Daniel comparou o funcionamento do cérebro de pessoas com e sem esquizofrenia e verificou que algumas regiões cerebrais associadas à doença parecem não processar adequadamente a glicose, principal fonte de energia do cérebro. “A proteômica permite ver não apenas o que está diferente na produção de proteínas, mas também como, juntas, elas afetam caminhos bioquímicos relacionados”, diz ele.

Daniel já descreveu potenciais alterações no metabolismo da glicose em células do córtex pré-frontal e no tálamo, região cerebral que integra informações sensoriais à consciência, e na área de Wernicke, ligada à compreensão da linguagem escrita. Quase sempre ele encontrou níveis alterados – maiores ou menores que o normal – de enzimas que participam do primeiro estágio de conversão da glicose em energia. “Todo o metabolismo dessas regiões pode estar mais lento”, suspeita Daniel, que iniciou em seu doutorado os estudos de proteômica no laboratório de Gattaz em 2004, sob a orientação do biólogo Emmanuel Dias-Neto.

O que Daniel viu até agora nas células cerebrais pode ser uma característica da esquizofrenia com repercussão mais ampla no organismo e estar na origem de um fenômeno que há pouco mais de 90 anos intrigou o neurologista Frans Hieronymus Kooy. Na Holanda, Kooy havia submetido a exames de sangue e urina 10 pacientes com esquizofrenia, na época mais conhecida como demência precoce, do hospital em que trabalhava. Ele notou que essas pessoas apresentavam níveis elevados de glicose no sangue ou hiperglicemia, um dos sinais típicos do diabetes. Em um artigo publicado na revista *Brain* em 1919, Kooy afirmou estar “inclinado a pensar que as emoções eram responsáveis pelo aumento do açúcar no sangue”. Mas ficou a dúvida: não se sabia se ela era causa ou consequência do transtorno mental.

A ideia de Kooy começa a ser reinterpretada agora, ante os estudos que investigam as cone-

xões entre diabetes e esquizofrenia em número maior de pessoas. Mais frequente em quem tem o transtorno psiquiátrico do que no restante da população, o diabetes parece não ser causa. Nem apenas efeito colateral de algumas das medicações, que aumentam o ganho de peso, uma vez que estudos feitos na última década com pessoas antes do início do tratamento também mostraram alteração no processamento da glicose. Vistos em conjunto, esses dados mostram a resistência à insulina e o diabetes como uma das manifestações da esquizofrenia.

Após verificar alterações no metabolismo em diferentes regiões do cérebro, Daniel vale-se agora da análise de proteínas para investigar como está o processamento da glicose nos tipos distintos de células cerebrais. Suspeita-se de que os neurônios não sejam as únicas células com problemas na esquizofrenia. Os astrócitos e os oligodendrócitos, dois dos três tipos de célula da glia, também parecem não funcionar bem. Daniel faz testes com células em cultura em que acrescenta o composto MK-801, que provoca sinais semelhantes aos da esquizofrenia em animais de laboratório.

Os resultados preliminares indicaram expressão alterada de proteínas nos astrócitos, células que nutrem os neurônios

e atuam como células de defesa, e nos oligodendrócitos, que se enrolam em torno do principal prolongamento do neurônio e o isola eletricamente. Em abril, em um congresso na Itália, ele descobriu que ganha força a hipótese de que na esquizofrenia ocorra algum grau de degeneração, ideia que havia sido posta de lado porque exames de imagem não identificam alterações anatômicas no cérebro.

“Pode haver alguma perda, e não necessariamente de neurônios”, comenta Daniel. No congresso, a pesquisadora russa Natalya Uranova relatou uma redução no número de oligodendrócitos em algumas regiões do cérebro de pessoas com esquizofrenia. E Daniel já observou no

tálamo e no líquido alterações no nível de proteínas que são marcadores clássicos de esclerose múltipla, doença neurodegenerativa associada à perda do isolamento elétrico promovido pelos oligodendrócitos. “Se surgirem mais evidências de que essas células não funcionam bem na esquizofrenia, ela pode se caracterizar como uma doença das células da glia, e não dos neurônios”, diz.

Esses achados podem ser relevantes para a compreensão da esquizofrenia, mas, como lembra Gattaz, não será fácil demonstrar se são causa ou consequência dessa doença complexa e devastadora. ■

O metabolismo das células nervosas pode ser mais lento nas pessoas com esquizofrenia



OS PROJETOS

1. Metabolismo dos fosfolípidos na esquizofrenia e na doença de Alzheimer – proc. nº 1997/11083-0 (1998-2002)
2. Metabolismo de fosfolípidos em doenças neuropsiquiátricas – proc. nº 2002/13633-7 (2003-2007)

MODALIDADE

1. e 2. Projeto temático

COORDENADOR

1. e 2. Wagner Farid Gattaz – IPQ/FMUSP

INVESTIMENTO

1. R\$ 1.655.007,34
2. R\$ 1.803.528,52

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. MARTINS-DE-SOUZA, D. *et al.* Proteome analysis of schizophrenia patients Wernicke's area reveals an energy metabolism dysregulation. *BMC Psychiatry*. v. 9, n. 17, 2009.
2. MARTINS-DE-SOUZA, D. *et al.* The role of energy metabolism dysfunction and oxidative stress in schizophrenia revealed by proteomics. *Antiox Redox Signal*. v. 15, n. 7, p. 2067-79, 2011.
3. ECKERT, G. P. *et al.* Increased Brain Membrane Fluidity in Schizophrenia. *Pharmacopsychiatry*. v. 44, n. 4, p. 161-62, 2001.

DE NOSSO ARQUIVO

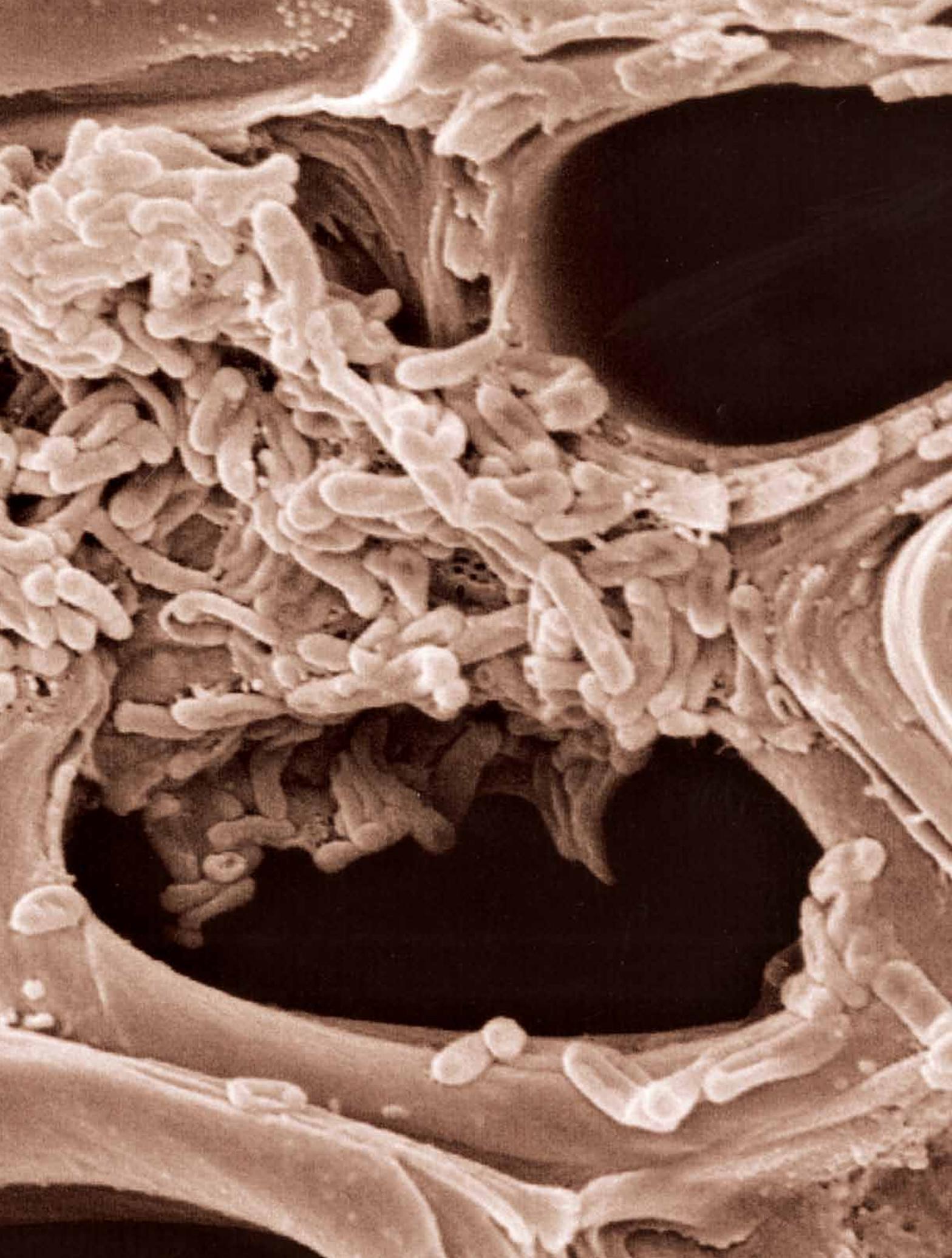
Um quebra-cabeça em construção
Edição nº 163 – setembro de 2009

O peso do mundo
Edição nº 95 – janeiro de 2004

Um oligodendrócito, cuja membrana se expande, envolve e protege os prolongamentos de neurônios

GENÔMICA

XYLELLA **Afirmção tropical** 30 **GENÉTICA DE PLANTAS** **O mapa da cana** 54 **DOENÇAS TROPICAIS** **A batalha contra um verme** 58 **REPARO DE DNA** **Os sutis danos do sol** 62 **BIOLOGIA ESTRUTURAL** **Para entender as proteínas** 66 **BIOLOGIA ESTRUTURAL** **A essência das moléculas** 70 **DOENÇAS NEURODEGENERATIVAS** **O porteiro das células** 74 **GENÉTICA HUMANA** **O centro das distrofias** 78 **CÂNCER DE MAMA** **Coadjuvantes inesperados** 84



Afirmação tropical

O empreendimento pioneiro da genômica nacional desvelou ao país sua face de produtor científico competente e continua a gerar conhecimento

Mariluce Moura

A *Xylella fastidiosa* é a essa altura uma velha conhecida dos biólogos e dos brasileiros que acompanham as narrativas da produção científica nacional, independentemente de seu campo de atuação. Mas a bem pesquisada doença que essa bactéria produz em laranjeiras e outras plantas cítricas no Brasil, a clorose variegada dos citros (CVC), mais conhecida por praga do amarelinho, ainda resiste às investidas dos cientistas que insistem há mais de uma década em decifrá-la integralmente. “Sabemos como começa a doença e como a bactéria ocupa os vasos da planta e neles se expande, porém não somos capazes de controlar eficazmente o estabelecimento da doença”, diz Marie-Anne Van Sluys, professora titular no Departamento de Botânica da Universidade de São Paulo (USP) e chefe do Laboratório de Genômica e Elementos de Transposição (GaTE-Lab) da mesma universidade. Entretanto, como o método científico não se deixa paralisar pelo desconhecimento e faculta a quem o segue a proposição simultânea de diferentes hipóteses para um mesmo problema – ou o cerco a um mesmo objeto por distintas abordagens –, há hoje, em paralelo, “uma forte percepção de que o momento-chave para o controle da doença é quando a bactéria co-

Plantação no interior paulista: a citricultura é uma das bases da economia do estado mais rico do país







Capa da *Nature* de 13 de julho de 2000: reconhecimento internacional ao empreendimento brasileiro

tanto, de fazer ciência na fronteira do conhecimento, levando a bom termo um projeto de biologia molecular.

O segundo objetivo era formar pesquisadores altamente qualificados, em grande escala e em curto intervalo de tempo, ampliando em muito a competência da pesquisa paulista e brasileira em biologia molecular. E o terceiro era mobilizar a comunidade científica para estudar problemas socioeconômicos significativos que ela poderia ajudar a resolver, como a preocupante praga do amarelinho, àquela altura. Mal se poderia supor ali, entre as falas que se sucediam no quarto andar da sede da Fundação, a boa dose de ousadia, autoconfiança e persistência que seria requerida nos próximos meses das pessoas e instituições que iriam se embrenhar pelo indevassado terreno da genômica no Brasil. “As chances de dar errado eram enormes”, lembra sorrindo o hoje empresário e então diretor científico da FAPESP, o físico José Fernando Perez, um dos principais artífices do belo voo da biologia molecular no país que o projeto da *X. fastidiosa* representa. “Aposto que foi o projeto de sequenciamento de genoma que começou pior preparado no mundo”, disse depois de tudo concluído, com muito humor, o coordenador de DNA do projeto, o inglês Andrew Simpson.

Passados 28 meses dessa solenidade de lançamento, em 21 de fevereiro de 2000 os 192 pesquisadores que tinham recém-concluído com sucesso e explosões de alegria o sequenciamento do genoma da *X. fastidiosa* viram-se aplaudidos com estonteante entusiasmo por mais de mil pessoas reunidas numa festa na bela Sala São Paulo, enquanto recebiam troféus, medalhas e diplomas do mérito científico e tecnológico instituídos especialmente para a ocasião pelo governo do estado de São Paulo (é bem verdade, registre-se, que a mais prolongada ovação da noite foi endereçada a Perez, espécie de regente titular da obra).

Já em 13 de julho de 2000, dois anos e nove meses após o lançamento do projeto que ao longo desse período levantara algumas críticas acerbas de quem achava que sequenciar genoma não era fazer ciência, em meio aos mais numerosos comentários sobre o salto científico que ele poderia representar para

meça a produzir o biofilme”, prossegue Marie-Anne.

Esse biofilme, pouco ressaltado quando a *X. fastidiosa* viveu seu grande momento de estrela, no centro do projeto pioneiro das pesquisas genômicas no Brasil, em 2000, é um material de aparência gelatinosa que se deposita junto à parede do vaso da planta, encostado a uma outra substância que ela também produz: a goma xantana. Esta, sim, por seu visível papel no entupimento dos vasos e consequente impedimento da livre passagem da seiva no xilema da planta, foi destacada como elemento importante para a caracterização da CVC no artigo científico que tornou público o genoma completo da *X. fastidiosa*. “A sensação que temos hoje é de que, se for rompida a produção do biofilme no momento em que a bactéria começa a produzi-lo ou se essa produção for afetada de algum modo, teremos uma boa condição para o controle da doença”, comenta Marie-Anne, hoje coordenadora adjunta da FAPESP na área de Ciências da Vida.

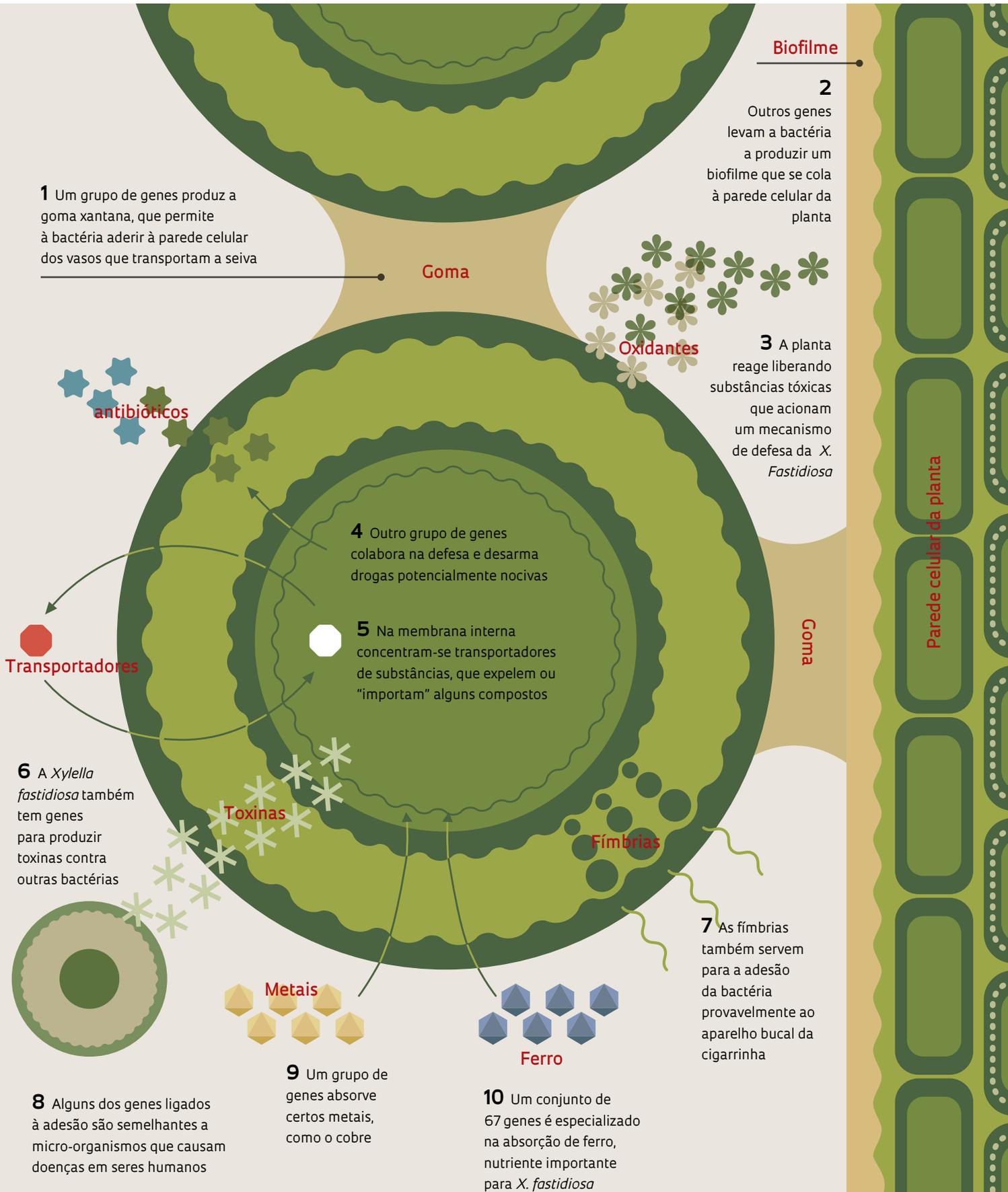
O controle *stricto sensu*, diga-se, era um alvo desejável, espécie de cereja do bolo, mas não estava entre os objetivos centrais do projeto de sequenciamento do genoma da *Xylella fastidiosa*, apresentado com justiça em seu lançamento como um empreendimento destinado

O momento-chave para o controle da doença é possivelmente quando a bactéria começa a produzir o biofilme

a revolucionar a ciência brasileira. Naquela manhã de 14 de outubro de 1997, o público de professores, pesquisadores e empresários que superlotava o auditório da FAPESP soube com detalhes que a ambiciosa iniciativa na qual a Fundação investiria US\$ 12 milhões, valor espantoso para o financiamento de um projeto de pesquisa na época e para o qual o Fundo de Desenvolvimento da Citricultura (Fundecitrus) aportaria mais US\$650 mil, tinha como primeira meta sequenciar o genoma completo do patógeno e descrever os novos achados científicos obtidos nesse processo. Tratava-se, por-

A *Xylella fastidiosa* e a laranjeira

A bactéria tem 2,7 milhões de pares de base e 2.904 genes, dos quais os pesquisadores brasileiros conseguiram identificar as funções de 47%





A cigarrinha transmissora do amarelinho

o país, a *Nature* destinou sua capa ao projeto da *Xylella*. A revista publicou na edição 6.792, volume 406, além do artigo científico de sete páginas com os achados originais da pesquisa, assinado por 116 cientistas, uma notícia detalhada a respeito do estudo na seção *News and Views* e um editorial no qual sintetizou o projeto pioneiro da genômica brasileira como “uma realização política tanto quanto científica”.

É uma definição precisa. Primeiro, o projeto da *X. fastidiosa* inequivocamente gerou conhecimento científico que continua se desdobrando, 12 anos depois de concluído o sequenciamento da bactéria. E, em paralelo, ele cumpriu seu objetivo anunciado de ampliar rapidamente a capacitação brasileira em biologia molecular, ao mesmo tempo que serviu de âncora a vários outros projetos em genômica que vieram a compor o Programa Genoma FAPESP. Mais: o projeto ajudou a ressituar o Brasil no mapa da produção científica internacional e contribuiu decisivamente para um redesenho da imagem do país na mídia interna e externa quanto à sua competência para criar conhecimento científico. Não bastassem esses dividendos políticos, a arquitetura do projeto, o ritmo em que foi tocado e o uso de um novo meio pelo qual se fariam as trocas de informações e dados entre pesquisadores de três dezenas de laboratórios (a

Acima de tudo, o projeto ajudou a ressituar o Brasil no mapa da produção científica internacional

internet) tiveram um impacto evidente no modo de se produzir ciência em São Paulo desde então, trazendo-o para a velocidade contemporânea. E, por fim, o projeto foi o ponto de partida para a criação de empresas relacionadas ao negócio da genômica, *spin-offs* hoje absorvidas pelo mercado.

Um bom roteiro para resgatar a partir deste ponto alguns traços essenciais da experiência da *Xylella* pode começar pelas contribuições à genômica contidas no artigo publicado pela *Nature* e ressaltadas na edição 55 de *Pesquisa FAPESP*, de julho de 2000. Nele está registrado que ali se trata do 24º geno-

ma completo de bactéria conhecido pela ciência e do primeiro de um fitopatógeno. O sequenciamento mostrou que o micro-organismo investigado possui 2.679.305 pares de bases nitrogenadas ou nucleotídeos em seu cromossomo. O cromossomo carrega 2.904 genes, regiões codificadoras de proteínas, dos quais um terço era novo para a ciência em 2000. Do total, 47% dos genes tiveram suas funções precisamente descritas pelo grupo brasileiro, percentual que se situou um pouco abaixo daqueles que outros grupos de pesquisa de genoma de bactéria haviam obtido – por exemplo, 54% dos genes com funções descritas na *Thermotoga marítima*, 52,5% na *Deinococcus radiodurans* e 53,7% na *Neisseria meningitidis*. Os autores atribuíram o resultado mais baixo à inexistência prévia de qualquer outra sequência completa de genoma de bactéria fitopatogênica.

Na virada do século, quando o Brasil era produtor de quase metade do suco de laranja concentrado distribuído no mercado internacional, a receita nacional da citricultura alcançava US\$2 bilhões anuais; as receitas de exportações giravam em torno de US\$ 1,6 bilhão por ano e a atividade gerava no estado de São Paulo 400 mil empregos diretos e indiretos. Nesse cenário, o adoecimento das laranjeiras por CVC, que já atingia 34% dos laranjais paulistas, produzia prejuízos estimados em US\$ 100 milhões

Tratava-se de aliar ciência à produção e aproximá-la do PIB, da riqueza nacional e do desenvolvimento social e econômico

anuais. Os dados de 2009 mostram uma receita total da atividade ampliada para US\$ 6,9 bilhões anuais, exportações em torno de US\$ 3,15 bilhões, um número bem menor de empregos diretos e indiretos, ou seja, 230 mil postos de trabalho e a CVC atingindo proporção idêntica dos laranjais paulistas, isto é, 35% deles.

No artigo da *Nature* abordava-se o metabolismo refinado *X. fastidiosa*, com sua adaptação para o uso de açúcares encontrados livres na seiva do xilema e da glicose derivada da quebra da celulose das paredes das células vegetais. Descoberta de peso do projeto foi a identificação dos genes que codificam moléculas envolvidas na adesão da célula. Tais moléculas, anteriormente só vistas em patógenos de humanos e de outros animais, encontram-se na superfície celular da bactéria, respondem pela aderência ao tecido epitelial nos hospedeiros, e encontrá-las na *X. fastidiosa* ampliou a evidência de que os mecanismos de patogenicidade das bactérias são os mesmos, infectem elas plantas, animais ou seres humanos.

Os desdobramentos atuais das hipóteses e observações daquele momento

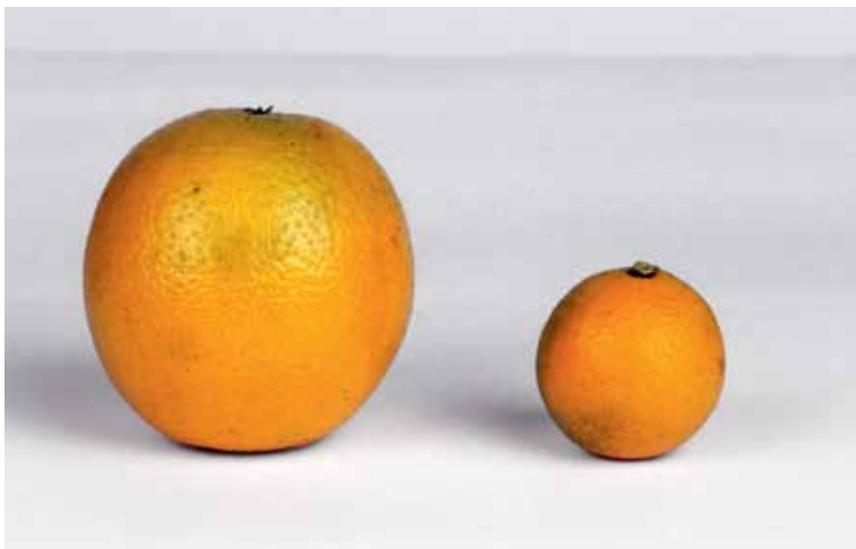
provaram que elas estavam corretas, e novas descobertas foram feitas. O grupo de pesquisa liderado por Marcos Machado e Alessandra de Souza, da Agência Paulista de Tecnologia Agrícola - Instituto Agrônomo de Campinas (Apta-IAC) identificou a existência de células persistentes nos vasos, o que resulta em parte na dificuldade de controle e persistência da doença no campo. Eles também demonstraram a ocorrência de duas formas de vida da bactéria: a fase planctônica e a fase de biofilme. A eles se juntam os trabalhos realizados pelo grupo de Aline Silva, do Instituto de Química (IQ) da USP, que demonstram a importância da adesão da bactéria aos vasos e da sinalização por ferro, reforçando a observação da existência de 67 genes dedicados à retirada de ferro e outros metais da seiva da planta.

A síntese do que fizeram os pesquisadores brasileiros está clara nas conclusões finais do artigo da *Nature*. Eles determinaram “não só o metabolismo básico e as características de replicação da bactéria, mas também numerosos mecanismos potenciais de patogenicidade. Alguns jamais tiveram sua ocorrên-

cia antes postulada para fitopatógenos, fornecendo novas percepções para a generalidade desses processos”. Os resultados obtidos permitirão, diz o artigo, o começo de uma detalhada comparação entre patógenos animais e vegetais. E, para completar, “as novas informações deverão fornecer bases para uma investigação experimental, acelerada e racional das interações entre a *X. fastidiosa* e seus hospedeiros, que devem conduzir a novos achados nas abordagens para o controle da CVC, a famosa praga do amarelinho”.

Essa terminologia do *paper* estava ainda no lugar do sonho quando ao abrir a solenidade do dia 14 de outubro de 1997, o então presidente da FAPESP e hoje seu diretor científico, o físico Carlos Henrique de Brito Cruz, classificou o genoma da *Xylella* como “um projeto singular, destinado a marcar um lugar na história da ciência e da tecnologia no estado de São Paulo e no Brasil”. Justificou essa visão antecipatória valendo-se de argumentos que integram um pensamento que vem refinando ao longo dos anos sobre a construção das sociedades do conhecimento. Assim, observou que o projeto iria reunir aspectos da ciência básica e estudos na fronteira do conhecimento teórico com trabalhos de pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico. “Com esse projeto vai se fazer o que tem sido uma das grandes preocupações da FAPESP e de outras instituições de ciência e tecnologia em São Paulo e no Brasil: aliar a ciência à produção, aproximar a ciência do PIB, da riqueza nacional, do desenvolvimento social e econômico”, disse. Seguiu por essa via até qualificar o projeto como “revolucionário”.

As origens e a arquitetura do empreendimento da *X. fastidiosa* foram apresentadas ao público pelo diretor científico, José Fernando Perez, não sem ele antes recorrer a alguns números para dar suporte à sua visão de que se tornara urgente e imprescindível a montagem de projeto com tal dimensão. Divulga-



A laranja menor foi colhida de uma laranjeira infectada pela *Xylella*

A *Xylella mapeada*



dos havia pouco tempo pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, tais números indicavam que, enquanto a participação brasileira em geral na produção científica mundial, registrada na base de dados do Institute of Scientific Informations (ISI), praticamente dobrara entre 1981 e 1995, passando de 0,44% para 0,82%, o desempenho em biologia molecular mostrara um avanço muito lento. Em outros termos, se o número total de artigos brasileiros indexados crescera a um fator de 2,12, ante 1,35 para a produção científica mundial, em biologia molecular a relação entre os dois fatores estava longe de confortável: 1,69 para a produção brasileira e 1,89 para a produção mundial. Observe-se já aqui, a propósito, que se em 1996 os artigos de biologia molecular correspondiam a 4,20% do total de artigos científicos brasileiros registrados na base de dados Scopus, em 2007 eles representavam 6,68%, com sua produção apresentando crescimento contínuo a partir de 2002.

Os números exibidos por Perez, articulados ao argumento de que barra-

ria o desenvolvimento desejável para o país deixar que se ampliasse a defasagem brasileira numa área científica essencial a várias outras, ditas pura ou aplicada, pareciam destinados a refrear de saída as críticas que grupos da comunidade científica ensaiavam contra o novo investimento da FAPESP. Não refrearam. Por um bom período a Fundação teve que entrar em debates exibindo outros números para provar que não havia concentração perversa de seus investimentos na pesquisa genômica, em detrimento dos demais campos científicos.

Uma década mais tarde, em palestra num ciclo organizado por *Pesquisa FAPESP* paralelamente à exposição “Revolução Genômica”, montada pelo Instituto Sangari no atual Pavilhão das Culturas Brasileiras, no Parque do Ibirapuera (ver *Pesquisa FAPESP*, suplemento especial de setembro de 2008), Perez observou que de 1997 a 2003, a FAPESP investiu, no conjunto dos 20 projetos que integraram seu Programa Genoma, US\$ 39 milhões. “O

investimento nunca passou de 2,4% do orçamento da Fundação”, enfatizou. Por outro lado, as contrapartidas aportadas por instituições e empresas parceiras das diferentes iniciativas do programa atingiram US\$11,7 milhões. Isso incluiu os aportes do Fundecitros, na *Xylella*, da Coopersucar, no genoma da cana (ver reportagem na página 54), do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, na *Xylella* da uva, do Instituto Ludwig, no genoma do câncer, além das empresas Suzano, Ripasa, Votorantim e Duraflora, no projeto genoma do eucalipto, Embrapa, no genoma do café, e Central Bela Vista, no projeto genoma do boi.

Há quem veja por outro ângulo as críticas dirigidas ao projeto da *X. fastidiosa*, caso de seu primeiro mentor, ao lado de Perez, e depois um de seus coordenadores, o biólogo Fernando Reinach. “O projeto era revolucionário”, disse em longa entrevista pingue-pongue na edição 100 da *Pesquisa FAPESP*. “Encontrou uma resistência muito grande do pessoal mais velho (...). Dizia-se que não era ciência. Era, enfim, a resistência à mudança. E



só conseguimos fazer o projeto porque os jovens que tinham conseguido entrar no sistema já não estavam sob o domínio do pessoal mais velho. Quando lançamos o edital para a seleção dos laboratórios, foi esse pessoal novo que disse ‘eu faço’. Quando os mais velhos disseram ‘nós não vamos entrar’, isso foi muito sintomático do que estava ocorrendo.”

Detalhes saborosos sobre a gênese do projeto da *X. fastidiosa*, ilustrativos de como se dá no mundo real o processo de decisões que impulsionam a produção do conhecimento ou as mudanças no ambiente da produção científica, apareceram *en passant* na solenidade de lançamento. Só mais adiante, contados por Perez ou Reinach, eles se tornariam elementos da história do aparentemente mais narrado projeto de pesquisa brasileira, dentro e fora do país.

“Precisávamos de uma ideia nova que proporcionasse uma mudança na biotecnologia brasileira, criando competência”, lembrou Perez na palestra de 2008. Ele a percebia como uma área

Buscava-se uma ideia que mudasse a biotecnologia, criando competência

estratégica com capacidade para responder “às características econômicas, à biodiversidade, à agricultura, à pecuária e a problemas de saúde pública específicos do país”. Eram nesse sentido suas conversas com os assessores no começo de 1997, em especial com Fernando Reinach, então professor titular de bioquímica na Universidade de São Paulo (USP) e um dos coordenadores de área da diretoria científica da Fundação. E foi como continuação dessas conversas que ocorreu um telefonema decisivo de Reinach para Perez.

“Num final de semana, em 1º de maio de 1997, eu estava no sítio em Piracaia e pensei: em vez de fazer um projeto de

infraestrutura, vamos fazer um projeto de genoma, juntar todo mundo num objetivo único. Era uma ideia, para mim, muito estranha. Eu liguei para o Perez, que estava em Santos, e ele veio até o sítio. Conversamos e a ideia se cristalizou.”

Já na semana mesmo após o feriado, Perez iniciou as gestões para organizar o projeto. O micro-organismo a ser sequenciado ainda não estava escolhido, mas com certeza seria uma bactéria, com um genoma grande o suficiente para permitir o envolvimento de muita gente no trabalho e pequeno o bastante para não inviabilizá-lo. Dos Estados Unidos, onde então trabalhava três meses por ano, Reinach enviou pouco tempo depois a Perez, a seu pedido, o primeiro rascunho do projeto. Segundo o ex-diretor científico da FAPESP, todas as ideias fundamentais que seriam usadas na estrutura que sustentaria o projeto já estavam lá.

As discussões sobre o projeto foram incorporando novos protagonistas, ao mesmo tempo que o assunto era levado a debate no conselho superior da FAPESP. Paulo Arruda, biólogo, professor da Universidade Estadual de Campi-

nas (Unicamp) e Marcos Machado, do Centro de Citricultura Sylvio Moreira, estavam entre os primeiros participantes das discussões. Mais adiante Ricardo Brentani sugeriu a Perez que incorporasse ao grupo

o pesquisador Andrew Simpson, inglês que estava há alguns anos no Brasil. Era preciso ter consultores internacionais de peso já na fase da discussão das características do projeto e Paulo Arruda levou à FAPESP Goffeau, entre outras qualificações, muito experiente em bioinformática. Aliás, essa era uma área-chave num projeto genoma e poderia se tornar crítica, dada a experiência praticamente nula do país em suas técnicas. Uma das ideias propostas por Goffeau foi que se fizesse essa parte do trabalho na França. Mas Reinach sugeriu uma conversa do grupo com dois jovens do Instituto de Computação da Unicamp, João Setúbal e João Meidanis, que já vinham lidando

com bioinformática em simulação de genomas e tinham publicado um livro sobre o assunto, ainda que nunca houvessem trabalhado com genoma real. “Por isso havia uma insegurança no ar. Os assessores internacionais não acreditavam que conseguiríamos resolver os problemas da bioinformática, mas foi ela um dos grandes sucessos do projeto”, comentou Perez numa de suas avaliações posteriores do empreendimento da *Xylella*.

O grupo desses assessores externos, o *steering committee*, era composto, além de Goffeau, por Steve Oliver e John Sgouros, também britânico. E foi numa reunião com Oliver, na FAPESP, que se definiu a estrutura de comando do projeto: haveria dois laboratórios centrais a que se remeteriam todos os laboratórios envolvidos no trabalho de sequenciamento, mais o laboratório de bioinformática e um coordenador geral. O edital de chamada aos laboratórios, publicado pouco depois do lançamento do projeto, seguiu exatamente essa orientação ao definir as vagas. Foi assim que Andrew Simpson tornou-se o coordenador geral de DNA do projeto, com a responsabilidade inclusive de garantir clones da bactéria para todos os laboratórios, Reinach e Arruda foram escolhidos coordenadores de sequenciamento e Meidanis e Setúbal, coordenadores de bioinformática.

A seleção dos 30 laboratórios, de quase uma centena que atendeu à chamada do edital, considerou, segundo Reinach, que 10 deles precisavam ter algum conhecimento prévio de sequenciamento, outros 10 deveriam ter pesquisadores ligados à agricultura, com alguma noção sobre a *Xylella*, e mais 10 poderiam ser comandados por pesquisadores que nem conheciam a bactéria nem tinham prática de sequenciamento, “mas eram pessoas inquestionavelmente competentes em termos científicos, sempre com vontade de aprender mais, perfil, por exemplo, de José Eduardo Krieger”.

Na entrevista que concedeu à *Pesquisa FAPESP* depois de concluído o sequenciamento (Especial “O futuro da genômica no Brasil”, edição 51, março de 2000), Simpson, que tinha orgulho de seu papel no projeto e já comemorara muito o fato de o Brasil ter “entrado numa festa seleta sem ter sido convidado e ter feito bonito”, detalhou como foi difícil superar o desconhecimento geral em relação à *X. fastidiosa* e lembrou, sempre com fino

humor, outros obstáculos que tiveram de ser superados, uma vez começado o trabalho. “Havia um coordenador que nunca sequenciara um genoma, não trabalhara com bactéria e sequer sabia o que era a *Xylella fastidiosa*. Havia um coordenador de informática que nunca havia lidado com um projeto de DNA na vida e uma equipe espalhada por todo o estado de São Paulo. Vários não sabiam quase nada de biologia molecular. Pior: ninguém no estado tinha a bactéria viva, muito menos DNA, muito menos ainda a biblioteca de DNA. Começamos sem qualquer evidência de que o trabalho iria funcionar”. Segundo Simpson, foi a promessa de Bové de fornecer a bactéria e o DNA necessário que deu confiança para começar. “No final, Marcos Machado, do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), deu todo o DNA que eu logo usei no projeto.”

Mesmo admitindo a falta de condições prévias para fazer o que tinha sido anunciado, Simpson não considerava uma “loucura de brasileiro” esse começo, onde até a ligação por internet para desenvolver um projeto que dependia crucialmente dela apresentava ainda uma enorme precariedade. “Foi confiança na habilidade da comunidade de executar qualquer tarefa dada. Não há nada de loucura.” Para Simpson, o momento mais difícil entre todos foi a fase final, em que era preciso vencer os *gaps* que restavam na sequência montada. “Primeiro, eu não tinha a menor ideia de como fazer. Nunca havia feito e os *papers* não contam exatamente como fazer. Era preciso inventar uma solução. Segundo, tínhamos muito pouca informação sobre a *Xylella* antes de começar o sequenciamento. Não sabíamos sequer o tamanho dos *gaps*, porque não sabíamos o tamanho total do genoma”. Por isso, como na época observou Marie-Anne, encaixadas em 6 de janeiro de 2000 as

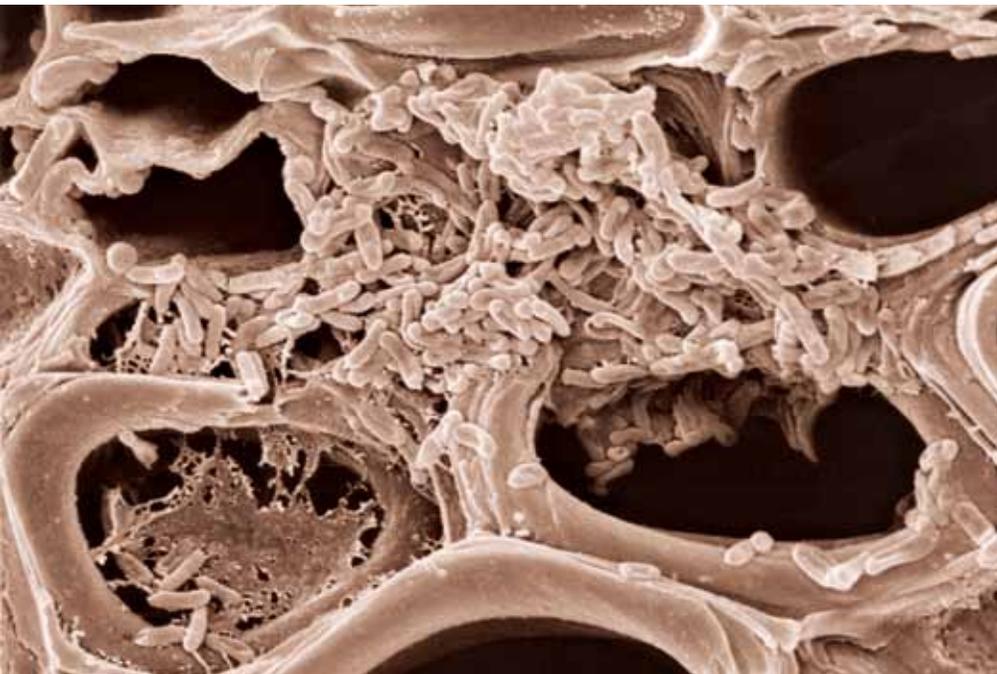
Uma busca na PubMed traz mais de 300 artigos que citam a *X. fastidiosa*, dos quais mais de 100 são do Brasil

últimas peças do gigantesco quebra-cabeça, uma palavra, espécie de senha repetida ao telefone, marcou sobre todas a comemoração que se repetiu por 35 laboratórios espalhados pelo território paulista: “Fechou!”.

O salto imenso que deixava definitivamente no passado os dias de manejo desajeitado e lento dos sequenciadores importados no começo de 1998 se completara quando o pesquisador Luís Eduardo Aranha Camargo enviou o *read* (parte da biblioteca de clones) que fechou o genoma. E tornou-se público quando Simpson anunciou esse fechamento aos cientistas reunidos no I Encontro de Genomas Microbianos Relevantes para a Agricultura, promovido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, em San Diego, Califórnia, nos dias 8 e 9 de janeiro. O Brasil ganhara uma expertise até então dominada apenas por 14 outros grupos de pesquisa nos Estados Unidos, Europa e Japão.

Hoje, uma busca simples pela *X. fastidiosa* para o período 1995/maio de 2012 na base de dados PubMed, referência em publicações de qualidade na área de medicina, faz retornar 343 artigos que a citam, dos quais 330 publicados depois do *paper* dos brasileiros na *Nature*. Desses, 110 artigos, ou seja, um terço do total, têm como endereço o Brasil. Trata-se de contribuição notável para o conhecimento do tema.

“As predições e hipóteses elaboradas naquele nosso primeiro artigo foram sendo demonstradas ao longo dos anos”, comenta Marie-Anne Van Sluys. Hoje se indaga sobre a origem da CVC e o papel do biofilme na doença. “Há razões fortes para suspeitarmos de que o controle pode se dar pela intervenção na formação do biofilme – retoma o raciocínio Marie-Anne –, há uma patente depositada pelo grupo coordenado por Marcos Machado e Alessandra Alves (INPI: 018110011623 PCT: BR/2012/000003 Data depósito:



Colônia de bactérias *Xylella infesta* e entope a parede de vasos que transportam a seiva da laranjeira

ELLIOT W. KITAJIMA/USP

INPI 31/03/2011 PCT: 9/1/2012) que faz uso de um análogo de cisteína para bloquear esse processo, estratégia já utilizada com sucesso para patógenos de humanos. Por outro lado, dada a enorme quantidade de vírus que são encontrados nos genomas das várias linhagens de *Xylella*, resultados observados a partir dos estudos de expressão por *microarray* realizados pelos grupos da doutora Suely Gomes (IQ-USP) e doutora Marilis do Vale Marques (ICB-USP), em conjunto com o sequenciamento de múltiplas linhagens de *Xylella* coordenado pela doutora Aline Silva, sugerem que condições ambientais possam induzir a multiplicação das partículas virais até matar a bactéria. “Se o vírus sair do genoma e se propagar formando capsídeos virais, ele pode explodir a célula, matando a bactéria”, ela imagina.

No ambiente bem fecundado pelo projeto pioneiro da genômica, grupos de pesquisa que ali se consolidaram formaram novas lideranças e estabeleceram sólidas colaborações internacionais, indagam-se hoje sobre isso e muito mais: o grupo original de Marcos Machado, no IAC, agora com Alessandra Alves de Souza na coordenação da linha de pesquisa com a famosa bactéria, por exemplo, debruça-se sobre a interação com a planta. O grupo de Marilis do Valle Marques tem trabalhado na obtenção de mutantes da *X. fastidiosa*, úteis para Aline Maria da Silva, do Departamento de Bioquímica da USP, e lidera o estudo

genômico de diferentes cepas da *X. fastidiosa* na América do Sul, três das quais infestam citros e as demais, cafeeiros, ameixeira e hibiscos, respectivamente, avançando na pesquisa de genes patogênicos da bactéria.

Além da continuidade da pesquisa, vale citar como outros atestados do sucesso do empreendimento da *Xylella*, a criação, por pesquisadores ligados ao projeto, das empresas Alellyx, que levou tanto os recursos dos genomas como outras ferramentas da biotecnologia para a agricultura, Scylla, que presta serviços em bioinformática, e CanaVialis, especializada em novas variedades de cana-de-açúcar. A primeira e a terceira foram compradas a seu principal investidor, o fundo Votorantim Novos Negócios, também formado na esteira do projeto pioneiro da genômica e dirigido por Reinach, e em 2008 pela Monsanto.

O editorial da *Nature* sobre a *X. fastidiosa* em 2000 observou, entre outros pontos, que o sucesso do projeto da *X. fastidiosa*, somado ao fato incomum de uma agência do mundo avançado e industrializado – o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – ter contratado a pesquisa genômica de uma variante da *Xylella* de um país em desenvolvimento, “endossa a determinação do Brasil de entrar na idade pós-genômica de mãos dadas com os cientistas dos países mais ricos”. ■

OS PROJETOS

1. 2. 3. e 4. Projeto Genoma – Fapesp: Laboratório de Sequenciamento – nºs 1997/13451-6, 1997/13457-4, 1997/13475-2 e 1997/13463-4 (1997-2000)

MODALIDADE

1. a 4. Programa Genoma

COORDENADORES

1. Andrew John George Simpson – Instituto Ludwig
2. Fernando de Castro Reinach – USP
3. Paulo Arruda – Unicamp
4. Jesus Aparecido Ferro – Unesp

INVESTIMENTO

1. R\$ 1.329.975,72
2. R\$ 1.535.926,46
3. R\$ 932.244,71
4. R\$ 1.534.700,66

ARTIGO CIENTÍFICO

SIMPSON, A.J. *et al.* The genome sequence of the plant pathogen *Xylella fastidiosa*. The *Xylella fastidiosa* Consortium of the Organization for Nucleotide Sequencing and Analysis. *Nature*. v. 406, n. 6792, p.151-59, 2000.

SILVA, A.C. R. da *et al.* Comparison of the genomes of two *Xanthomonas* pathogens with differing host specificities. *Nature*. v. 417, n. 6887, p. 459-63, 2002.

DE NOSSO ARQUIVO

O salto quântico da ciência brasileira
Edição nº 100 – junho de 2004

Da Xylella à Alellyx
Edição nº 74 – abril de 2002

As descobertas se multiplicam
Edição nº 60 – dezembro de 2000

Resultado da cooperação
Dificuldades superadas pela coragem de arriscar
O futuro da genômica no Brasil
Bravo, cientistas!
Edição nº 51 – março de 2000

Xylella – concluído o genoma da bactéria
Edição nº 50 – janeiro e fevereiro de 2000

Brasil se afirma no seleto clube da genômica mundial
Edição nº 48 – novembro de 1999

Os primeiros resultados
Edição nº 29 – março de 1998

Um projeto para revolucionar a ciência brasileira
Edição nº 25 – outubro de 1997

O mapa da cana

Projeto Genoma pavimentou caminho para o desenvolvimento de novas variedades da planta

Fabício Marques





A corrida em busca de novas variedades de cana adaptadas aos diversos climas e solos brasileiros se beneficia de uma grande articulação que reuniu 240 pesquisadores de 22 instituições, entre 1999 e 2002. O

Projeto Genoma Cana, responsável pelo mapeamento de 238 mil fragmentos de genes funcionais da cana-de-açúcar, pavimentou o caminho para o uso de marcadores moleculares no melhoramento da cultura. A identificação dos fragmentos, chamados de ESTs (ou Etiquetas de Sequências Expressas), foi seguida por um trabalho de prospecção de dados relacionados ao metabolismo da cana, de modo a obter variedades mais produtivas e resistentes à seca ou a solos pobres. “Chegamos a 238 mil fragmentos de transcritos, partimos para a identificação da função dos genes, estudamos as características agrônômicas associadas e fizemos a análise do transcriptoma para ajudar na geração de plantas transgênicas mais eficientes”, resume Gláucia Souza, professora do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, uma das participantes do Genoma Cana.



Glauca hoje é coordenadora do Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia, o Bioen (ver reportagem à página 140), voltado para aprimorar a produtividade do etanol brasileiro e avançar em ciência básica e tecnologia relacionadas à geração de energia de biomassa. Uma das vertentes do Bioen agrega pesquisas desenvolvidas a partir do Genoma Cana. As informações obtidas pelo genoma funcional da cana também fertilizaram outros estudos, como a identificação da canacostatina, uma proteína com propriedades antifúngicas, estudada como possível inibidor de patógenos que atacam plantas por um grupo liderado pelo geneticista Flávio Henrique da Silva, do Centro de Biotecnologia Molecular e Estrutural (CBME) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Conhecido oficialmente como Projeto FAPESP Sucest (Sugar Cane EST), o Genoma Cana foi um dos projetos vinculados à Rede Onsa, sigla para Organization for Nucleotide Sequencing and Analysis, infraestrutura de laboratórios espalhados por várias cidades, dotados de sequenciadores novos e outros equipamentos. A rede, uma espécie de instituto virtual de pesquisa, foi criada

240
pesquisadores
de 22
instituições
trabalharam
em conjunto
no projeto

Estufa com mudas do Centro de Tecnologia Canavieira: interesse da indústria estimulou o Genoma Cana

em 1997 e teve como primeiro desdobramento o sequenciamento do genoma da bactéria *Xylella fastidiosa*, em 2000 (ver reportagem à página 44). Mas logo se engajou em outros projetos no âmbito do Programa Genoma da FAPESP – já em 1998, a rede mergulhou em temas de grande interesse social e econômico, como o mapeamento de genes associados ao câncer e ao genoma expresso da cana-de-açúcar.

O Genoma Cana se caracterizou por uma forte interação entre as universidades e o setor privado, que marca o esforço de pesquisa em bioenergia até hoje. Paulo Arruda, professor da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e coordenador do projeto, lembra que foi convidado a liderar o projeto depois que a Cooperativa dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (Copersucar) e seu braço de pesquisa, o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), procuraram a diretoria científica da FAPESP e propuseram uma parceria entre universidades e indústria a fim de sequenciar o genoma da cana. “O professor José Fernando Perez, diretor científico à época, me perguntou o que eu achava. Eu observei que a cana tem um genoma muito complexo e sugeri o mapeamento dos fragmentos funcionais do genoma”, diz Arruda, que hoje é um dos coordenadores da área de Pesquisa para Inovação da FAPESP. A cana é mesmo um organismo complexo. Seu genoma chega a ser três vezes maior do que o humano, com o agravante de que, em vez de duas cópias de cada cromossomo, há de oito a doze cópias, nem sempre iguais. Essa peculiaridade fez com que o sequenciamento integral do genoma fosse descartado, pois o processo seria desgastante e demorado.

O projeto teve um financiamento da ordem de US\$ 4 milhões da FAPESP e outros US\$ 400 mil da Copersucar. Reuniu, pela primeira vez numa empreitada comum, laboratórios de São Paulo, Pernambuco, Bahia, Rio de Janeiro, Paraná, Rio Grande do Norte, Minas Gerais e Alagoas. “Todos os laboratórios tiveram acesso ao banco de dados e puderam estudar os genes identificados”, diz Arruda. “Foi realmente inovador. Centrado em gente muito jovem, que tinha mais facilidade de lidar com tecnologia que os pesquisadores mais experientes, o Genoma Cana mostrou que é possível identificar grandes desafios e reunir talentos para resolvê-los”, afirma o professor. “A repercussão do projeto foi enorme. Reunimos resultados de pesquisa numa edição especial da revista da Sociedade Brasileira de Genética, que foi a mais citada da história da publicação”, afirma o professor. Em setembro de 2003, um artigo na revista científica *Genome Research* apresentou o principal fruto do programa: a descrição minuciosa da constituição genética da cana-de-açúcar, a planta cultivada há

mais tempo em larga escala no Brasil. O artigo mostrou que o genoma da cana é constituído por 33.620 possíveis genes, dos quais cerca de 2 mil parecem estar associados à produção de açúcar.

Felipe Rodrigues da Silva, biólogo, e Guilherme Pimentel Telles, formado em computação, sabem como foi difícil chegar a esses números finais, que encerraram a aventura iniciada em abril de 1999. Para determinar inicialmente o número de genes, informação básica sobre qualquer genoma, Silva, então um doutorando com 29 anos, e Telles, com 27, tiveram de resolver o que ainda não havia sido solucionado em nenhum outro laboratório do mundo: descobrir como eliminar as repetições e aproveitar do melhor modo possível as informações contidas em cerca de 300 mil fragmentos de genes. O Genoma Cana foi um dos primeiros projetos de planta no mundo a adotar essa técnica de identificação de genes. Até acertarem o passo, trabalharam pelo menos 12 horas por dia, durante quatro meses, com programas segundo os quais a cana teria ora nove mil genes, ora mais de cem mil, ora um valor intermediário qualquer, que variava de acordo com critérios diferentes sobre o que é um gene. Num dos momentos cruciais, descobriram que estavam sendo jogados fora trechos de genes que poderiam ser aproveitados.

Fundamentalmente, o Genoma Cana deu início ao esforço, ainda em curso, de aprofundar o conhecimento sobre o metabolismo da cana, de modo a obter mais rapidamente variedades mais produtivas e resistentes à seca ou a solos pobres. Pelas técnicas atuais de melhoramento genético, uma nova variedade consome dez anos de trabalho, dos primeiros testes à aprovação para uso no campo. “Ainda estamos na infância na compreensão do genoma da cana”, diz Arruda. “A planta tem um potencial de produtividade três vezes maior, mas a gente ainda não sabe até que ponto o genoma representa um entrave para o aproveitamento desse potencial. De todo modo, o projeto mostrou que é possível enfrentar esse desafio”, afirma.

A conclusão do projeto não arrefeceu o interesse dos pesquisadores e da indústria em seguir buscando conhecimento sobre a planta. Depois de 2003, Gláucia Souza assumiu a coordenação do Sucest e iniciou o Projeto Sucest-FUN, composto por uma rede de pesquisadores dedicados à análise dos genes da cana. A identificação de genes associados ao teor de açúcar foi realizada em um projeto entre o Centro de Tecnologia Canavieira, a Usina Central de Álcool Lucélia

e pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) e da Unicamp, financiados pela FAPESP, num projeto liderado por Gláucia. Outro projeto importante foi a identificação de marcadores moleculares a partir das sequências do Sucest, sob a liderança da pesquisadora Anete Pereira de Souza, do Instituto de Biologia da Unicamp. Os marcadores podem ser usados na identificação de um gene específico, por exemplo, que esteja ligado à produção de sacarose. “Os projetos da Gláucia e da Anete foram dois marcos, porque

O artigo da *Genome Research* mostrou que o genoma da cana tem cerca de 2 mil genes associados à produção de açúcar

demonstraram haver uma comunidade de pesquisadores preparada a investir no tema. Seus avanços viabilizaram mapear efetivamente o genoma da cana, o que não era viável na época do Sucest”, diz a geneticista Marie-Anne Van Sluys, professora do Instituto de Biociências da USP. ■

OS PROJETOS

1. Proposal for DNA coordinator of the Sugarcane EST Project (SucEST) – nº 1998/12250-0 (1998-2004)
2. Bioinformática para projeto EST cana-de-açúcar – nº 1999/02837-6 (1999-2002)
3. SucEST – data mining – nº 1999/02840-7 (1999-2002)

MODALIDADE

1. 2. 3. Auxílio a Projeto de Pesquisa – Programa Genoma

COORDENADORES

1. Paulo Arruda – CBMEG-Unicamp
2. João Meidanis – IC-Unicamp
3. Antonio Vargas de Oliveira Figueira – Cena-USP

INVESTIMENTO

1. R\$ 2.324.381,81
2. R\$ 576.439,24
3. R\$ 52.496,22

ARTIGO CIENTÍFICO

VETTORE, A. L. *et al.* Analysis and Functional Annotation of an Expressed Sequence Tag Collection for Tropical Crop Sugarcane. *Genome Research*. v. 13, p. 2725-35. 2003.

DE NOSSO ARQUIVO

Os arquitetos da nova cana
Edição nº 59 – novembro de 2000

Farta colheita
Edição nº 91 – setembro de 2003

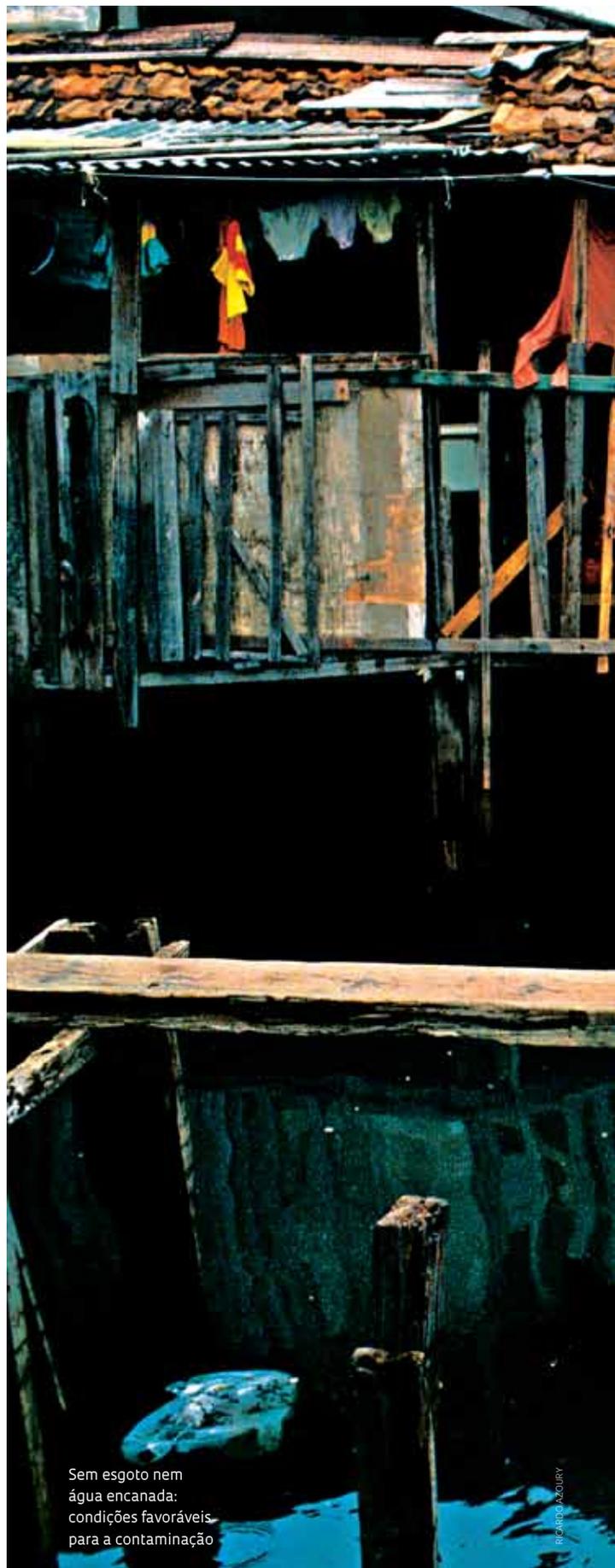
A batalha contra um verme

Genes identificados por método criado no país são alvos promissores para novos medicamentos contra esquistossomose

Salvador Nogueira

Como resultado da pesquisa genômica, iniciada no país há cerca de 15 anos, pesquisadores brasileiros encontraram alvos promissores para o desenvolvimento de uma vacina contra a esquistossomose, doença que atinge mais de 200 milhões de pessoas no mundo. Uma equipe da Universidade de São Paulo (USP) e do Instituto Butantan identificou um conjunto de nove genes que mostraram uma capacidade de reduzir em até 28% a quantidade de vermes em 22% no organismo de camundongos inoculados, se comparado a um grupo de animais não tratados.

Os agentes causadores da esquistossomose são três vermes do gênero *Schistosoma*: *S. haematobium*, *S. japonicum* e *S. mansoni*. O terceiro é o parasita encontrado no Brasil, trazido da África com os escravos durante a colonização portuguesa. Até hoje, tudo que se conseguiu para combatê-la foram estratégias paliativas, não totalmente eficazes. Os medicamentos reduzem à metade o risco de morte trazido pelo parasita, mas é pouco



Sem esgoto nem água encanada: condições favoráveis para a contaminação

© SALVADOR NOGUEIRA



para conter o avanço da doença, o que, na visão dos pesquisadores, justifica o desenvolvimento de outras estratégias. A vacinação é, em tese, uma das mais promissoras.

Um dos desafios à identificação de formas de combate é o complexo ciclo de vida do organismo.

Os ovos microscópicos partem das fezes de um hospedeiro humano infectado e, em água doce, eclodem e originam a forma larvária denominada miracídio, que infecta caramujos e origina outra forma do verme, as cercárias. Cada miracídio pode produzir 10 mil cercárias, que voltam à água e procuram hospedeiros vertebrados – as pessoas.

Dotada de uma cauda bifurcada, a cercária entra pela pele e, em menos de 15 minutos, está na corrente sanguínea. Ao entrar no organismo, perde a cauda, passa a ser chamada esquistossômulo e se aloja nas veias do intestino, onde desenvolve sua forma de verme e põe ovos. Alguns se acomodam no fígado e outros atravessam a parede do intestino e saem pela fezes, reiniciando o ciclo de transmissão.

Com tantas transformações ao longo do caminho, a rota escolhida pelo grupo liderado por Sergio Verjovski-Almeida, pesquisador do Instituto de Química da USP, para investigar os genes do *Schistosoma mansoni* foi a do chamado transcriptoma. A expressão é derivada de transcrição, pois somente os genes que estão sendo replicados (transcritos) na forma de RNA para assumir um papel ativo no metabolismo é que serão investigados. Dessa maneira, não só é possível identificar uma parcela significativa dos genes da criatura como também se podem efetuar correlações sobre quais genes são ativados em quais fases do complexo ciclo de vida do verme.

Em 2003, o grupo registrou um avanço ao publicar os resultados de dois anos de trabalho decifrando o transcriptoma do *Schistosoma mansoni*, determinando, de forma integral ou parcial, as seqüências de 92% dos cerca de

Um dos genes aumentou em 28% a resposta à infecção causada pelo verme

14 mil genes do parasita. O trabalho, publicado na revista *Nature Genetics*, entrou numa lista recente de *artigos quentes* da ciência brasileira preparada por Marco Antonio Zago, pró-reitor de pesquisa da USP.

DA GENÔMICA À APLICAÇÃO

O transcriptoma produzido em 2003 foi possível graças a um método de identificação de genes conhecido pela sigla Orestes (de *Open Reading frame ESTs*), desenvolvido por Emmanuel Dias Neto e Andrew Simpson, então trabalhando na filial brasileira do Instituto Ludwig de Pesquisa sobre o Câncer. A partir daí a equipe de Verjovski-Almeida e seus colaboradores têm garimpado os dados em busca de informações que ajudem a compreender, em termos moleculares, como o parasita age para burlar os sistemas de defesa do organismo.

Em 2003, o grupo da USP já havia conseguido identificar funções de 45% dos genes sequenciados do verme. O processo de identificá-las foi feito basicamente comparando os genes do *S. mansoni* ao de outros organismos cujos genes já

havam sido caracterizados em bases de dados públicas. Para metade dos genes não se conhecia equivalente em outros organismos.

Trabalhando com esses trechos exclusivos do parasita – e supõe-se que sejam porque são importantes do ponto de vista evolutivo –, a equipe de Verjovski-Almeida, em colaboração com o grupo de Luciana Leite, do Instituto Butantan, encontrou alvos promissores para o desenvolvimento de vacinas. O trabalho, publicado no ano passado na revista científica *Parasitology Research*, ainda não representa uma solução certa para a doença, mas um caminho que vale a pena ser investigado.

NA FASE CERTA

Sabe-se que uma vacina contra o *Schistosoma* é possível em princípio pelo simples fato de que há certos indivíduos que naturalmente mostram resistência à infecção – sinal de que seu sistema imunológico consegue lidar com os invasores e vencê-los. Baseando-se em estudos que tentam desvendar de que maneira os organismos resistentes debelam o ataque,

A propagação e o contágio



Eliminados com as fezes humanas, ovos do *Schistosoma mansoni* chegam a rios e lagos

O ovo libera miracídeos, larvas que se alojam em caramujos de lagoas e riachos

Os seis principais estágios do ciclo de vida do parasita



O miracídio origina milhares de células germinativas, outra forma do verme



As larvas assumem a forma jovem do parasita, a cercária, que contamina o homem



Ao atravessar a pele, a cercária perde as caudas e migra para o fígado, onde se torna adulta



Alojados no intestino, os vermes põem ovos, que serão liberados com as fezes

o grupo apostou na busca por genes que estejam especialmente ativos numa das fases do ciclo de vida do parasita, a de esquistossômulo. É justamente nessa forma que, uma vez invadido o corpo, o patógeno passa a se desenvolver dentro do hospedeiro.

Garimpando os dados do transcriptoma em busca de alvos genéticos que fossem exclusivos do *Schistosoma* e que estivessem sendo mais expressados nessa fase, o grupo chegou a um conjunto de nove genes. O passo seguinte foi testar o potencial protetor deles – ver se, ao serem injetados no organismo, eles poderiam indicar ao sistema imune como reconhecer e destruir o *S. mansoni*. Para isso, o grupo do Butantan usou o protocolo conhecido como vacina de DNA, em que os genes são injetados no organismo e então replicados pelo maquinário celular, amplificando a produção de proteínas que então são reconhecidas pelas defesas do corpo.

Em testes em camundongos, os pesquisadores constataram que dois dos genes podem, sim, ter um efeito protetor. O gene designado Dif 5 mostrou

uma capacidade de reduzir a quantidade de vermes em 22% no organismo de camundongos inoculados, se comparado a um grupo de animais não tratados. Mas o mais importante achado foi o gene Dif 4, que reduziu o nível de infecção em 25%. E o número para esse gene específico melhorou quando eles usaram um segundo protocolo, encapsulando o material em microsferas, indo a 28%. Ainda não é o suficiente para dizer que teremos uma vacina, mas é um sinal promissor, por demonstrar que há resposta imune aumentada.

Para Sergio Verjovski-Almeida e seus colegas, as perspectivas são boas, a despeito dos números relativamente modestos. “Na busca por vacinas contra o *Schistosoma*, muitos estudos que usam vacinas de DNA começam com valores de proteção baixos, que depois são aumentados pelo uso de adjuvantes ou outras estratégias de reforço.” E um aspecto interessante do trabalho é que ele acabou sendo possível a um menor custo, uma vez que sua base primária de dados vem do transcriptoma de 2003, analisado por técnicas de bioinformática. ■

OS PROJETOS

1. Genoma/transcriptoma do *Schistosoma* – nº 2001/04248-0 (2001-2004)
2. *Schistosoma mansoni*: caracterização molecular da interação entre parasitas e entre estes e o seu hospedeiro humano – nº 2010/51687-8 (2010-2012)

MODALIDADE

Linha regular de auxílio a projeto de pesquisa – Programa Genoma

COORDENADOR

Sergio Verjovski-Almeida – USP

INVESTIMENTO

1. R\$ 564.829,31
2. R\$ 429.444,90

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. VERJOVSKI-ALMEIDA, S. *et al.* Transcriptome analysis of the acelomate human parasite *Schistosoma mansoni*. *Nature Genetics*. v. 35, n. 2, p. 148-57, 2003.
2. FARIAS, L. P. *et al.* Screening the *Schistosoma mansoni* transcriptome for genes differentially expressed in the schistosomulum stage in search for vaccine candidates. *Parasitology Research*. v. 108, p. 123-35, 2011.

DE NOSSO ARQUIVO

Por dentro do parasita
Edição nº 92 – outubro de 2003

Os sutis danos do Sol

Sensor detecta as lesões nos genes causadas pela radiação solar

Carlos Fioravanti

Enquanto construía um sensor de lesões da molécula de DNA em um dos laboratórios do Instituto de Ciências Biomédicas (ICB) da Universidade de São Paulo (USP), o biólogo gaúcho André Schuch sentiu-se como quando era menino e desmontava seus carrinhos para tirar os motores e criar outros brinquedos em Santa Maria, interior do Rio Grande do Sul. Nos primeiros três anos, projetou, construiu e testou três protótipos que lhe mostraram apenas o que não devia fazer. Depois ele acertou a mão com o quarto protótipo, que está indicando que temos boas razões para nos preocuparmos com o excesso de radiação solar que chega à pele normalmente pouco protegida e para não confiarmos tanto – principalmente quem tem pele clara – no efeito dos cremes de proteção solar ao sair para curtir um dia de praia no verão.

Nos testes iniciais, o sensor – ou dosímetro – indicou que a radiação ultravioleta do tipo A (UV-A), que os protetores solares protegem bem menos que a do tipo B (UV-B), mais energética que a A, também pode causar lesões no DNA, a molécula que guarda o material genético de cada ser vivo. Milhares de vezes por dia a molécula

de DNA é rompida e refeita, por meio de proteína de reparo, em cada célula do corpo humano. As lesões, quando não são consertadas, podem levar a mutações genéticas indesejadas. E essas mutações, por sua vez, na medida em que geram células defeituosas que se multiplicam incessantemente, podem levar a várias formas de câncer, principalmente o de pele, responsável por um em cada quatro tumores malignos detectados no país. O Instituto Nacional do Câncer (Inca) estima que 134 mil brasileiros apresentem câncer de pele em 2012.

Outra verificação é que as regiões com maior incidência de UV-B são as de latitude mais baixa – e não as mais próximas dos polos, como seria esperado, já que o buraco da camada de ozônio na alta atmosfera deixaria passar mais radiação ultravioleta do tipo B da luz solar que nas proximidades do equador. Em 2006, 2007 e 2008, Schuch expôs os sensores à luz natural, das 10h às 14h, quando a radiação solar é mais intensa, em Punta Arenas, cidade do extremo sul do Chile a 55 graus de latitude, em Santa Maria, em São Paulo e em Natal, capital do Rio Grande do Norte.



Pele frágil: nos dias mais quentes, filtros solares podem não proteger tanto quanto gostaríamos

De modo inesperado, foi em Natal que ele registrou uma intensidade de radiação UV-B 13 vezes maior – e uma quantidade proporcional de danos ao DNA – do que em Punta Arenas, mesmo tendo observado um afinamento de 50% da camada de ozônio durante três dos sete dias em que fez as medições no Chile. “Temos de proteger a pele das pessoas no Brasil, como já fazem na Austrália e no Chile”, diz o geneticista Carlos Menck, coordenador do laboratório de reparo de DNA do ICB da USP.

Menck conta que recebeu Schuch com muito gosto, em 2003, inicialmente para um estágio de férias. Desde seu próprio doutorado, concluído em 1982, Menck estuda as lesões e os mecanismos de reparo de DNA. Há muitos anos ele queria encontrar uma forma de medir as lesões nessa molécula, mas não estava conseguindo. Mandou amostras para a Antártida, mas não deu certo. O erro básico, que ele viu ao começar a trabalhar com Schuch, é que usava DNA seco, cuja estrutura se altera e não reproduz com precisão o que acontece com a molécula normalmente imersa em água.

Schuch não sabia ainda como, mas, já como parte de seu doutorado, queria fazer algo que funcio-

nasse à luz natural – havia apenas experimentos de lesões em células, plantas e animais usando luz artificial – e com mais precisão que os similares dos Estados Unidos e do Japão. Já tinha, é verdade, experiência em medir radiação solar por meio de aparelhos chamados radiômetros, com que trabalhara no Centro Regional de Pesquisas Espaciais de Santa Maria. Como resultado de uma cooperação com pesquisadores do Japão, os mesmos que instalaram os equipamentos no sul, dois radiômetros estão instalados no teto de um dos prédios do ICB. “Já temos três anos de monitoramento”, diz ele. “Nossa base de dados está ficando consistente.”

Aos 29 anos, voltando para Santa Maria com a esperança de prosseguir a linha de pesquisa materializada em seu doutorado, ele acredita que as leituras dos sensores poderão complementar as de radiômetros específicos, como os que indicam as mínimas doses de radiação capazes de causar queimaduras de pele conhecidas como eritemas. As perspectivas lhe parecem animadoras. “Criamos mais do que o protótipo de um dosímetro”, diz ele. “Agora podemos avaliar os eventuais danos ao DNA submetido à radiação

do espaço extraterrestre.” Seu próximo passo é medir as lesões da luz solar diretamente em culturas de células, não apenas em DNA.

A versão atual dos sensores – feita com um silicone especial, transparente e arredondado, com dois ou três furos centrais, lembrando botões de casacos antigos – indica a quantidade de cinco tipos de lesão de DNA causadas pela radiação UV-A ou UV-B na molécula de DNA. Uma solução com DNA circular, chamado plasmídeo, preenche os orifícios do sensor. Exposto à luz natural, o DNA absorve a radiação que provoca as lesões, avaliadas depois em laboratório por meio de reações com enzimas de reparo de DNA.

Menck e Schuch estão usando o sensor de lesões de DNA para avaliar a eficácia dos protetores solares. “A maior parte dos protetores protege bem contra UV-B, mas não tão bem contra UV-A”, diz Menck. Sem esperar, eles viram que um tipo de lesão do DNA, a 6-4 pirimidina-pirimidona, uma das causas de mutações, também pode ser causada pelo UV-A, de menos energia, e não apenas pelo UV-B, como já se sabia. Por essa razão, provavelmente vão sugerir um reforço no índice de bloqueio dos raios UV-A para a equipe de pesquisa e desenvolvimento de uma empresa fabricante de cosméticos, ainda mantida em sigilo, com a qual estão colaborando.

Eles querem também encontrar o fator de proteção solar mais adequado para as pessoas com hipersensibilidade à luz solar, como as que possuem uma doença chamada *Xeroderma pigmentosum* (XP), causada por falhas em genes de reparo de DNA. As pessoas com XP apresentam um risco cem vezes maior de desenvolver tumores de pele que as pessoas sem esse problema. Para se protegerem, têm de usar roupas com mangas longas, até mesmo dentro de casa, e passar protetor solar sobre o corpo todos os dias. Para evitar inflama-

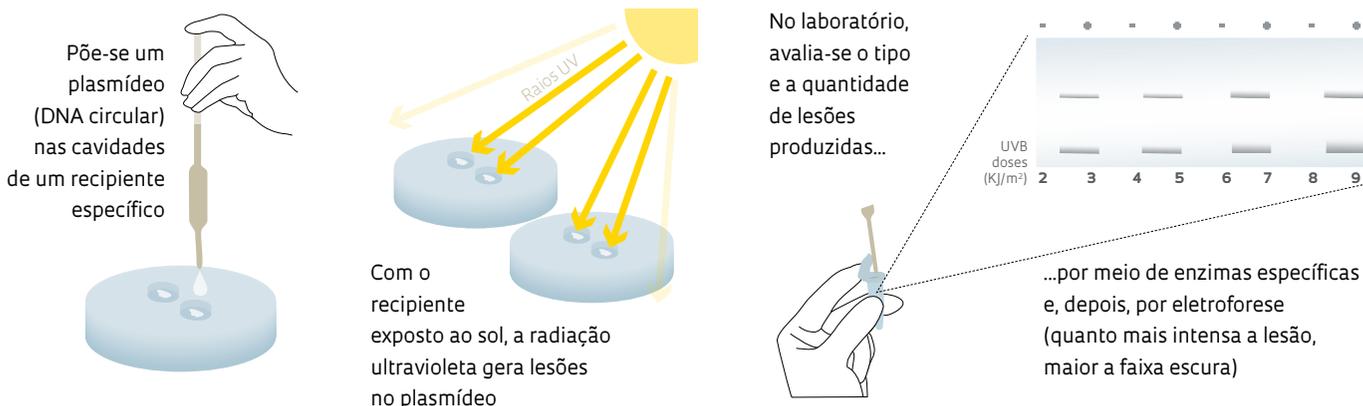
ções e tumores nos olhos, comuns em pessoas com essa deficiência genética, têm de usar óculos escuros, até mesmo para assistir televisão.

Em julho de 2010, Menck visitou pela primeira vez o povoado de Araras, a 242 quilômetros de Goiânia (GO), que reúne um número elevado de pessoas com XP: 22 já diagnosticadas, em uma população de cerca de mil pessoas da cidade de Faina, a que o povoado pertence. Nos últimos 50 anos, cerca de 20 haviam morrido por causa dessa doença, que ali apresenta uma alta prevalência provavelmente por causa de casamentos entre parentes. No Brasil, o total de pessoas com XP não deve passar de mil, dispersas pelo país. Schuch também esteve lá, com os sensores de DNA, e registrou níveis impressionantes altos de radiação e de lesões, mesmo para pessoas comuns – uma constatação esperada, diante do vasto céu azul do cerrado do Brasil central. Parte da equipe de pesquisadores de seu laboratório também foi a Araras e se impressionou com a fragilidade da pele dos moradores com XP, que, mesmo assim, continuam trabalhando no campo sob o sol.

Uma série de reportagens publicadas no *Correio Braziliense* em outubro de 2009 deu visibilidade às pessoas que não podiam tomar sol, embora trabalhassem no campo durante o dia, chamou atenção para o desamparo em que viviam, reconheceu lideranças locais como Gleice Machado, presidente da Associação dos Portadores de Xeroderma Pigmentoso do Estado de Goiás, e o trabalho de médicos como a dermatologista Sulamita Chaibub, coordenadora do projeto de atendimento multidisciplinar aos portadores de XP de Araras no Hospital Geral de Goiânia,

Agora uma prioridade da equipe do laboratório de reparo de DNA é ajudar as pessoas com Xeroderma pigmentosum que vivem em Araras

Método para medir os danos no DNA





Da esquerda para a direita, Geni, Claudia e Vanda Jardim: em Araras, Goiás, muitos têm hipersensibilidade à luz

e Rafael Souto, professor da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Sensibilizado pela situação, o farmacêutico Evandro Tokarski, proprietário de uma farmácia artesanal em Goiânia, há nove meses começou a enviar, sem custos, um creme com alto poder de proteção solar, que ele próprio desenvolveu, para os moradores de Araras com XP. “Envio mensalmente, para que não falte”, ele diz. “Se temos condições de apoiar, por que não apoiar?” Ele conta que está preparando, e pretende apresentar em breve aos médicos à frente do atendimento àquela população, um creme hidratante que ajude a tratar a pele ressecada das pessoas com essa deficiência genética.

A senadora Lúcia Vânia (PSDB-GO), por sua vez, apresentou um projeto de lei prevendo a concessão de auxílio-doença e aposentadoria por invalidez para os moradores de Araras com XP. Aprovado por uma das comissões do Senado em novembro de 2011, o projeto de lei deve agora seguir para a Câmara dos Deputados. Também motivados pelas reportagens dos jornais, pesquisadores de universidades em Goiás, do Distrito Federal e de São Paulo intensificaram o estudo das formas de prevenir o crescimento dos tumores nas pessoas com XP de Araras. A prevenção implica adaptar os vidros e outros materiais das casas e de outras edificações para receberem o mínimo possível de luz solar. Ou mesmo construir quadras cobertas para as crianças das escolas.

Os cuidados são muitos, e muitas vezes imperceptíveis. Quando estava lá, Menck pediu aos fo-

tógrafos dos jornais que não usassem *flash* diante das pessoas com XP, explicando que poderia ser prejudicial para elas. Ele se comprometeu a voltar em julho para apresentar um conjunto de trechos específicos de DNA – ou *primers* – capazes de detectar as mutações nos genes de reparo do DNA dos moradores de Araras. “Está quase pronto”, contou, animado, no início de março. “Ajudar aquelas pessoas e entender por que elas têm câncer e não têm envelhecimento precoce é agora nossa prioridade total.”

Ele e sua equipe acreditam que poderão encontrar mutações novas nos genes causadores de XP. “Descrever uma nova mutação é uma contribuição científica pequena, mas cada nova mutação permite compreender melhor por que as coisas acontecem nos seres humanos”, diz Menck. Por vezes, ele acrescenta, os genes de reparo de DNA ajudam a provocar a resistência dos tumores aos medicamentos que deveriam destruí-los. Nesses casos, o que se deseja é reduzir a ação desses genes, intencionalmente, para que os medicamentos sejam mais eficazes; é o que ele também está tentando, em uma linha de trabalho de resultados mais distantes.

Menck reconhece que avançou bastante e montou uma equipe produtiva e criativa, que não hesita diante de propósitos ousados como ajudar os moradores de Araras a sofrer menos. Às vezes ele volta às origens, tira da estante e folheia um volume encadernado com capas cor de vinho – sua tese de doutorado, “Sobrevivência e Sistemas de reparo em células de mamíferos”, com 95 páginas, que o colocou na trilha de trabalho em que está até hoje – e diz: “Tem coisas aqui que ainda não foram bem resolvidas”. ■

OS PROJETOS

1. Reparo de DNA lesado e consequências biológicas – nº 1998/11119-7 (1999-2004)
2. Genes de reparo de DNA: análise funcional e evolução – nº 2003/13255-5 (2004-2009)
3. Respostas celulares a lesões no genoma – nº 2003/13255-5 (2011-2014)

MODALIDADE

1. 2. e 3. Projeto Temático

COORDENADOR

1. 2. e 3. Carlos Frederico Martins Menck – ICB/USP

INVESTIMENTO

1. R\$ 979.444,88
2. R\$ 1.442.484,59
3. R\$ 1.532.835,80

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. SCHUCH, A. P., MENCK, C. F. The genotoxic effects of DNA lesions induced by artificial UV-radiation and sunlight. *Journal of Photochemistry and Photobiology B*. v. 99, n. 3, p. 111-16, 2010.
2. Menck, C. F. *et al.* Development of a DNA-dosimeter system for monitoring the effects of solar-ultraviolet radiation. *Photochemical & Photobiological Science*. v. 8, n. 1, p. 111-20, 2009.

DE NOSSO ARQUIVO

À prova de luz
Edição nº 106 –
dezembro de 2004

Soldando o DNA
Edição nº 82 –
dezembro de 2002

Para entender as proteínas

Rede reuniu 20 grupos que definiram a estrutura e a função de 200 moléculas essenciais aos organismos

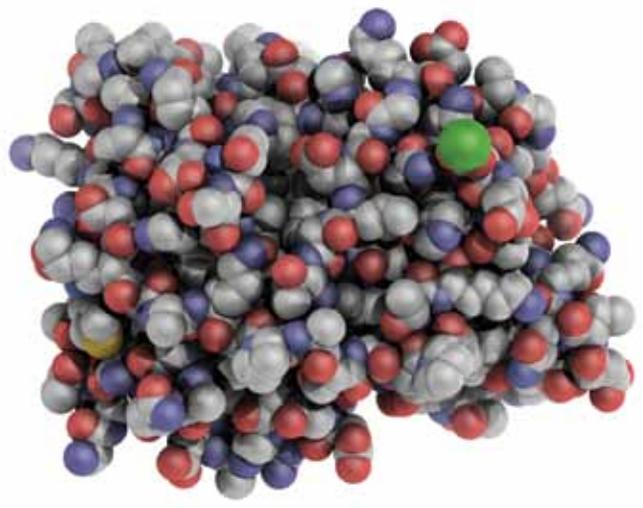
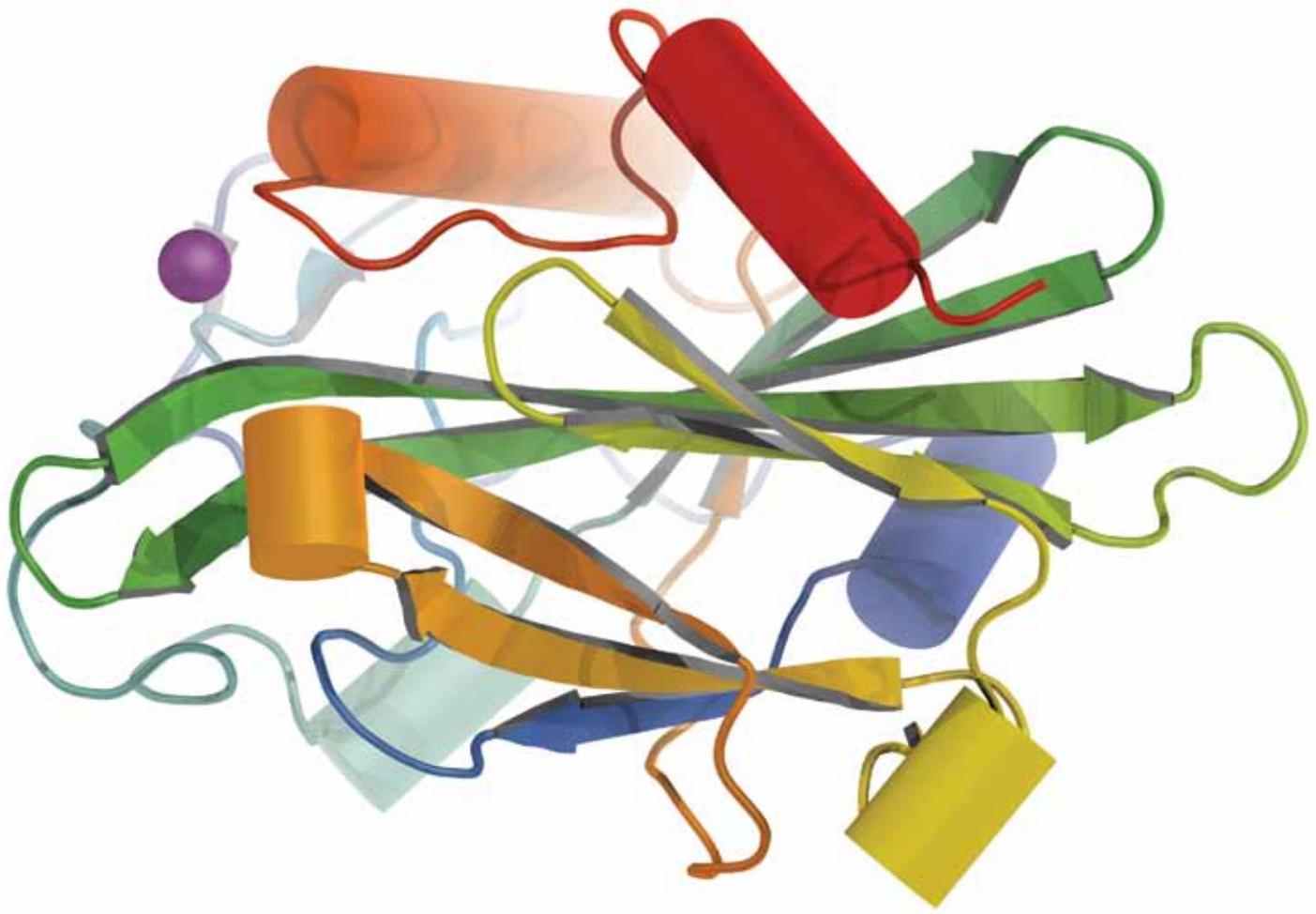
Em 1989, o *Moniliophthora perniciosa*, um fungo originário da bacia amazônica, chegou à Bahia e infectou a plantação de cacau da região de Ilhéus e Itabuna. Na década seguinte, a produção anual caiu de 320 mil toneladas para algo em torno de 100 mil toneladas, derrubando a participação do Brasil no mercado internacional de 15% para 4%. A força da doença é avassaladora: o fungo invade as células do cacau, secreta proteínas que interagem com outras proteínas da planta e o ramo da planta seca e hipertrofia. Este processo fisiológico consome o cacauzeiro e, no caso da Bahia, também exaure a vida de mais de dois milhões de pessoas. A solução para deter o avanço da doença, do ponto de vista da ciência, é compreender a interação entre o fungo e a planta.

Em 2000, um consórcio liderado pela Universidade de Campinas (Unicamp), apoiado pelo governo da Bahia e pelo Conselho Nacional

de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), mapeou o genoma do *Moniliophthora perniciosa*. Nos anos seguintes, um grupo de pesquisadores da Unicamp, entre eles Gonçalo Amarante Guimarães Pereira, e Jorge Mondago, do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), identificaram 27 proteínas do fungo com potencial para reduzir ou paralisar o efeito da doença na planta.

Atualmente, essas 27 proteínas-alvo são objeto do projeto *Estudos estruturais de proteínas-chave para as doenças fúngicas do cacau – vas-soura-de-bruxa e monilíase – , desenvolvimento de estratégia de controle e entendimento de modelos de patogenicidade*, aprovado no âmbito da Rede de Biologia Estrutural em Tópicos Avançados de Ciências da Vida, o SMOLBnet 2.0, lançado pela FAPESP em 2010.

Esta rede de pesquisa, a rigor, começou a ser formada em 2001, quando a FAPESP apoiou a



Representações da estrutura tridimensional da proteína MpNEP2 (*necrosis-and ethylene-inducing peptide 2*), extraída do fungo causador da vassoura-de-bruxa, obtida por meio de uma linha de luz especial do LNLS. Na imagem maior, a graduação de tons de cores indica a sequência de enovelamento da estrutura da proteína, do início, em azul, ao final, em vermelho. Na imagem menor as esferas coloridas correspondem aos átomos de carbono, nitrogênio e oxigênio, que constituem a molécula

criação da Rede de Biologia Molecular Estrutural (SMOLBnet), formada então por 20 grupos de pesquisa e constituída com a missão de ampliar o conhecimento sobre os genes mapeados nos projetos Genoma Humano do Câncer, Genoma da Cana e nos genomas das bactérias *Xylella fastidiosa* e *Xanthomonas citri*, entre outros. A missão envolvia o estudo da estrutura tridimensional e a função de 200 proteínas, com o objetivo de comparar suas manifestações em células normais e em células doentes e buscar pistas para novos diagnósticos e tratamentos.

A Rede SMOLBnet reuniu equipes de pesquisadores de laboratórios que já realizavam a clonagem do gene até a sua expressão em proteínas. Com a implantação do programa, puderam também desvendar a sua estrutura tridimensional. “A estrutura das proteínas está diretamente ligada à sua função. É ela, aliás, quem define a sua função, e essa é uma informação crucial para saber como age nos organismos vivos”, explica Rogério Meneghini, que coordenou a rede SMOLBnet desde o seu início até 2004, quando assumiu a coordenação científica do Programa SciELO, também apoiado pela FAPESP.

Esses grupos puderam contar com uma ferramenta poderosa: o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), em Campinas – único na América Latina e aberto à comunidade científica –, que, na época, além de uma linha de luz Síncrotron de difração de raios X dedicada à realização de cristalografia de macromoléculas, contava com um laboratório especializado nessa modalidade de investigação, o Centro de Biologia Molecular Estrutural (Cebime) – inaugura-

do em 1999 e dirigido na época por Meneghini –, que dispunha de equipamentos de ressonância magnética nuclear e espectrômetros de massas para a cristalização de proteínas.

O Cebime treinou biólogos, bioquímicos, químicos e médicos dos 20 laboratórios paulistas nas técnicas utilizadas. “Nosso objetivo era ensinar o processo de investigação da forma tridimensional das proteínas às equipes de pesquisadores que frequentemente se deparam com a necessidade de conhecer a estrutura dessas moléculas”, contou Meneghini ao repórter Ricardo Zorzetto, em reportagem publicada na edição 113 da revista *Pesquisa FAPESP* de julho de 2005.

A constituição da rede, explica Marie-Anne Van Sluys, do Instituto de Biociências da USP e coordenadora adjunta da área de ciências da vida da FAPESP, instigou a formação de “massa crítica” em biologia estrutural, uma área de pesquisa que ganhou reconhecimento em todo o mundo, principalmente a partir dos resultados dos projetos Genoma. “O SMOLBnet se constituiu numa espécie de rede de contatos que, aos poucos, foi ganhando movimento próprio”, diz ela.

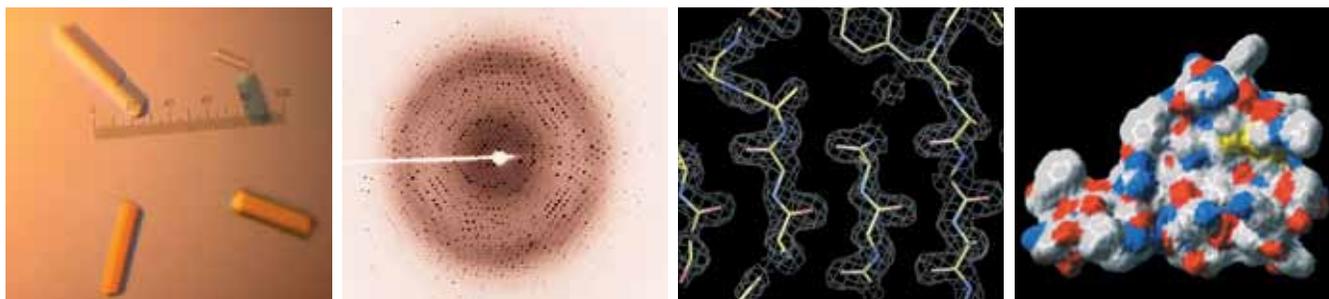
Shaker Chuck Farah, bioquímico do Instituto de Química da USP, estudou proteínas envolvidas em sistemas de secreção e sinalização entre bactérias. “Incorporei técnicas de biologia estru-

A rede permitiu a formação de especialistas em biologia estrutural, uma área estratégica da ciência mundial

Propostas selecionadas para a SMOLBnet 2.0

PROJETO	COORDENAÇÃO	INVESTIMENTO
Estudos estruturais de proteínas-chave para as doenças fúngicas do cacau – vassoura-de-bruxa e monilíase –, desenvolvimento de estratégias de controle e entendimento de modelos de patogenicidade – nº 2010/51884-8 (2011-2012)	André Luis Berteli Ambrósio, ABTLuS	R\$ 382.051,42
Determinação de estrutura tridimensional de inibidores de proteases e moléculas anti-hemostáticas identificados em animais hematófagos, vetores de doenças – nº 2010/51868-2 (2011-2013)	Aparecida Sadae Tanaka, Unifesp	R\$ 155.542,56
Estudos estruturais de proteínas associadas à infecção de tripanossomatídeos, bem como de seus complexos com moléculas que participam na infecção – nº 2010/51867-6 (2011-2012)	Eduardo Horjales Reboledo, IFSC/USP	R\$ 281.738,33
Combinando genética e RMN para dissecar interações proteína-proteína fundamentais para o funcionamento do complexo de divisão bacteriana – nº 2010/51866-0 (2011-2012)	Frederico José Gueiros Filho, IQ/USP	R\$ 280.305,09
Estudos funcionais e estruturais de proteínas quinases envolvidas em câncer e doenças negligenciadas, visando ao desenvolvimento de novos inibidores – nº 2010/51730-0 (2011-2012)	Jorg Kobarg, ABTLuS	R\$ 642.928,67
Caracterização estrutural da proteína alfa-importina e de complexos proteicos importina – fatores de transcrição do fungo <i>Neurospora crassa</i> – nº 2010/51889-0 (2011-2013)	Marcos Roberto de Mattos Fontes, IB/Unesp Botucatu	R\$ 307.249,38
Estudos estruturais de fatores de transcrição reguladores dos genes de enzimas hidrolíticas e de “swollenin” em <i>Aspergillus niger</i> e <i>Aspergillus fumigatus</i> – nº 2010/51890-8 (2011-2012)	Mario Tiago Murakami, ABTLuS	R\$ 341.802,40
Estudo de estrutura de proteínas componentes e reguladoras do exossomo de Archaea e de levedura – nº 2010/51842-3 (2011-2014)	Carla Columbano De Oliveira, IQ/USP	R\$ 693.392,06
Determinação por cristalografia e ressonância magnética nuclear, da estrutura das proteínas das famílias NEP (<i>Necrosis and Ethylene inducing Peptides</i>) e taumatina, além da oxidase alternativa – nº 2010/51891-4 (2011-2012)	André Luis Berteli Ambrósio, ABTLuS	R\$ 148.691,20

Quatro cenas de uma longa jornada



Etapas da identificação da estrutura espacial de um anticoagulante, o inibidor do fator XIIIa: da esquerda para a direita, cristais vistos por lupa (na escala, 100 = 1 mm) e por difração de raios X antecedem a reconstituição da molécula átomo a átomo

tural em minha linha de pesquisa, tive orientação de pesquisadores experientes e formei pessoas”, conta.

Decidido a investigar a forma espacial de proteínas com que trabalhava havia anos, Sérgio Schenkman, com sua equipe da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), detalhou a estrutura de duas proteínas do inseto transmissor do protozoário *Trypanosoma cruzi*, causador da doença de Chagas. As proteínas atuam em fases distintas da coagulação do sangue: uma inibe a ação da trombina e outra impede o funcionamento do fator XIIa. Ambas apresentam potencial aplicação no tratamento de problemas provocados pelo aumento da coagulação do sangue, como a trombose (veja ilustração acima).

Em outubro de 2004, uma avaliação internacional dos resultados da SMOLBnet, realizada por uma comissão independente formada por especialistas do Instituto Pasteur, da França, da Universidade de Oxford, Inglaterra, e do Laboratório Nacional de Brookhaven, Estados Unidos, mostrou que o esforço compensou. “A taxa de sucesso desde a obtenção de clones até a determinação das estruturas é comparável à de projetos internacionais”, afirmaram os especialistas. Eles recomendaram a instalação de mais uma linha de luz síncrotron dedicada à cristalografia de macromoléculas para experimentos que demandem o uso de SAD/MAD (*Single and Multiple-wavelength Anomalous Diffraction*), aberta aos usuários em 2006.

A formação de especialistas, como resultado da rede, permitiu a constituição do SMOLBnet 2.0, em 2010. Nessa segunda chamada, o objetivo era estabelecer parcerias entre grupos de pesquisa em biologia estrutural e grupos de pesquisa em biologia molecular. Foram aprovadas 23 propostas e, desta vez, não há uma coordenação geral. “Os grupos estão emancipados e as

pesquisas podem estar vinculadas aos demais programas da instituição”, explica Marie-Anne.

A pesquisa sobre o fungo *Moniliophthora perniciosa* que ataca o cacaueteiro é prova disso. O projeto é coordenado por André Ambrósio, do Laboratório Nacional de Biociências (LNBio). Junto com Sandra Dias e Ana Zeri, também do LNBio, Ambrósio é responsável pelas investigações com foco em biologia molecular estrutural, por meio de combinação de técnicas de cristalografia, ressonância magnética nuclear, bioquímica e biofísica, com o objetivo de entender a patogenicidade da doença. O projeto teve início com o estudo das 27 proteínas-alvo identificadas por Gonçalo Guimarães Pereira e Jorge Mondego e já resultou em um artigo publicado na revista *Biochemistry* em 2011. Várias outras das proteínas inicialmente propostas já tiveram suas estruturas resolvidas e estão sendo estudadas funcionalmente. Outras publicações estão sendo preparadas.

O LNBio, aliás, teve origem no Cebime. Constituído como laboratório nacional em 2009, integra hoje o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) e opera as duas linhas de luz de cristalografia de macromoléculas do LNLS e um conjunto de equipamentos de apoio à pesquisa em biologia molecular estrutural.

Determinadas as estruturas das proteínas e definidos os mecanismos de ação, o passo seguinte no projeto é o desenho racional de moléculas que permitam inibir a ação dessas proteínas, desta feita com o apoio de Rafael Guido, do Instituto de Física de São Carlos, e de Ronaldo Pilli, da Unicamp, especialistas, respectivamente, na identificação e síntese de pequenas moléculas, explica Ambrósio. “Estamos ainda tentando estudar, do ponto de vista estrutural, uma proteína associada à membrana mitocondrial de fungos, processo desafiador que, pelo que se sabe, até então é inédito no País”, afirma Ambrósio. ■

O PROJETO

Structural Molecular Biology Network (SMOLBnet)

COORDENADOR
Rogerio Meneghini – LNLS

INVESTIMENTO
R\$ 13.036.329,12

ARTIGO CIENTÍFICO

ZAPAROLI, G. *et al.* The Crystal Structure of Necrosis- and Ethylene-Inducing Protein 2 from the Causal Agent of Cacao's Witches Broom Disease Reveals Key Elements for Its Activity. *Biochemistry*. v. 50, p. 9901-10, 2011.

DE NOSSO ARQUIVO

Mapeamento de proteínas
Edição nº 65 –
junho de 2001

Ourivesaria Molecular
Edição nº 113 –
julho de 2005

A essência das moléculas

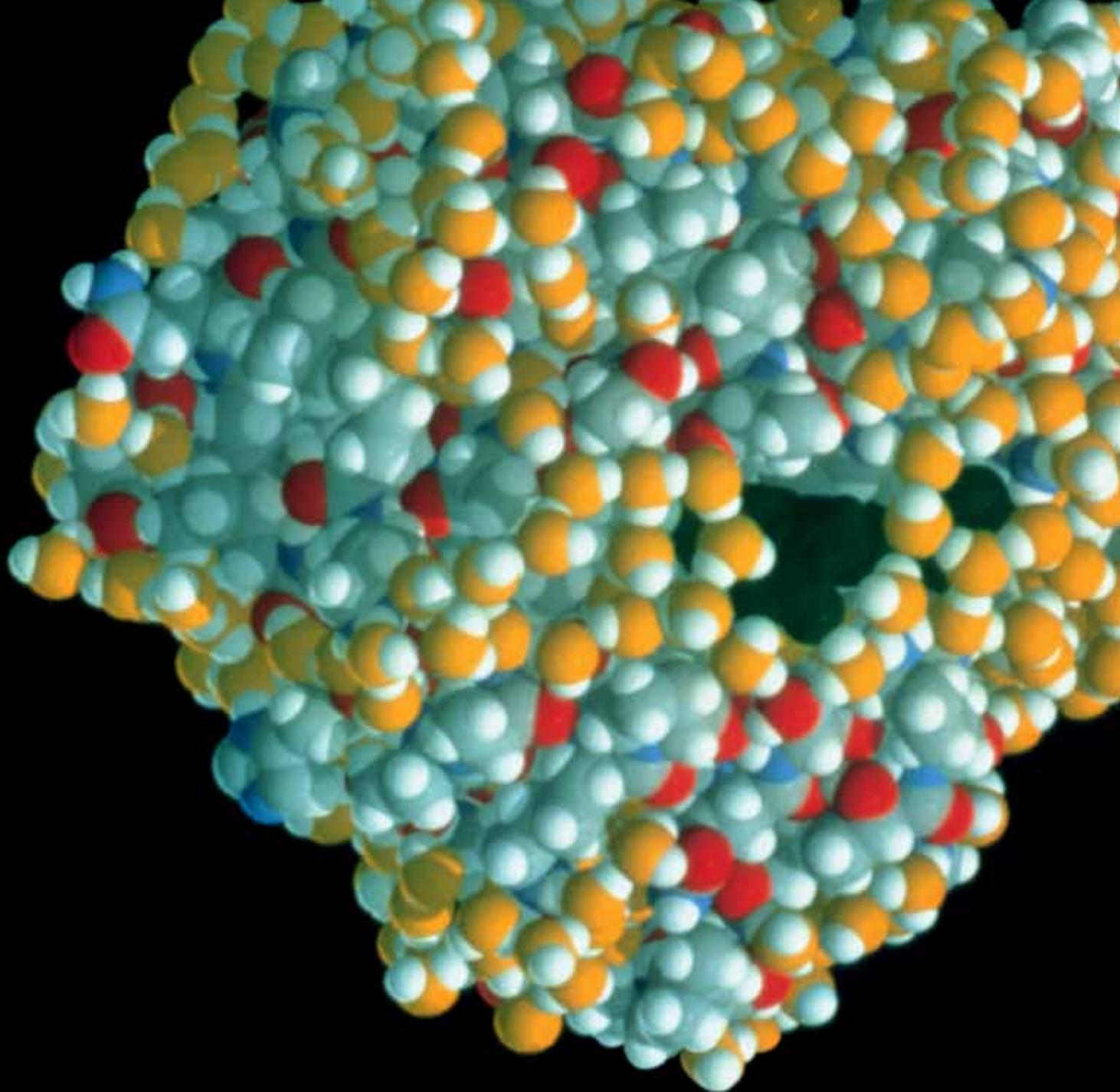
Cristalografia facilita o desenvolvimento de medicamentos

Eduardo Geraque

Se há 20 anos eram poucos os laboratórios que usavam a cristalografia no Brasil, hoje são dezenas de centros de pesquisa que dominam esta técnica usada para desvendar a estrutura tridimensional das proteínas. Em São Paulo, o uso da cristalografia deu um salto em 2000 e 2001, com o lançamento do projeto Genoma Estrutural, lançado em conjunto pela FAPESP e pelo Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), ligado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. O projeto Genoma Estrutural injetou US\$ 3,5 milhões em dezenas de laboratórios. Com os recursos, os grupos de pesquisa puderam financiar a compra de equipamentos para expressão, purificação e cristalização de proteínas.

O Centro de Biologia Molecular Estrutural, do Instituto de Física de São Carlos (IFSC) da Universidade de São Paulo (USP), rapidamente se destacou como um dos protagonistas do setor. O grupo já havia elucidado a estrutura molecular de aproximadamente 20 proteínas, usando cristalografia por difração de raio X. As macromoléculas estudadas eram potenciais alvos de inibidores de doenças como hepatite B, malária e alguns tipos de câncer.

Os primeiros passos do centro de cristalografia em São Carlos ocorreram em 1989. “A área estava passando por um *boom* em todo mundo, com muitos centros sendo criados.



A imagem acima representa o oxigênio carregando a mioglobina, uma das primeiras proteínas a serem examinadas por meio da cristalografia; as esferas coloridas representam os aminoácidos da mioglobina, que ajuda a estocar oxigênio nos músculos

Resolvemos fazer algo nosso. O laboratório tinha uma pia de azulejo e 16 metros quadrados, ante uns mil que temos hoje”, conta Glaucius Oliva, coordenador do núcleo da USP de São Carlos. Atual presidente do Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica (CNPq), ele começou nessa área há trinta anos, durante a graduação em física, sob a orientação da professora Yvonne Mascarenhas, que iniciou os trabalhos com cristalografia em São Carlos. Em 2000, seu grupo ganhou o *status* de um Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid) e, mais recentemente, de um Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT), com apoio do governo federal e da FAPESP.

Em 1992, pela primeira vez, uma proteína, a glucosamina-6-fosfato desaminase da bactéria *Escherichia coli*, foi inteiramente caracterizada no país por meio da cristalografia. Em 1997, mesmo ano em que o grupo do Instituto de Física da USP em São Carlos fez crescer cristais em gravidade zero a bordo de ônibus espaciais norte-americanos, uma linha de luz específica para estudos de cristalografia começou a funcionar no LNLS, em Campinas. De acordo com Oliva, além de ter crescido muito a formação de recursos humanos no setor a partir dos anos 1990, pessoas que hoje lideram grupos de pesquisa em vários estados do Brasil, a cristalografia passou por uma “evolução metodológica e tecnológica muito grande nesse período”.

Se antes todas as soluções usadas para fazer um cristal de uma proteína crescer precisavam ser feitas de forma manual, hoje existem robôs que praticamente montam todo o experimento. A velocidade e o rendimento são muito maiores, dizem os especialistas. “Apesar disso tudo, a técnica ainda é bastante experimental. Não existe teoria para a cristalografia. Você não consegue antever se vai dar certo ou não”, afirma Oliva.

Em paralelo ao amadurecimento do centro de pesquisas em São Carlos, no início dos anos 2000, também com a coordenação do LNLS, começou a funcionar a Rede de Biologia Molecular Estrutural (SMOLBnet), facilitando o trabalho de equipes de dezenas de laboratórios, que identificaram a estrutura tridimensional de 52 proteínas em dois anos (*ver reportagem à página 66*). Nessa época a

A técnica da cristalografia é usada para planejar novos fármacos e decifrar a estrutura das moléculas do veneno de serpentes

equipe de Oliva fez outro experimento pioneiro, ao elucidar as vias bioquímicas de produção de glicose pelo *Trypanosoma cruzi*, o protozoário da doença de Chagas (*ver reportagem à página 20*).

A Biblioteca Virtual da FAPESP, que registra os projetos apoiados pela instituição desde 1992, cataloga 93 projetos de pesquisa, dos quais 17 estão em andamento e 76 concluídos. Os pesquisadores usam a cristalografia para estudar proteínas que possam levar a novos fármacos ou esclarecer o desenvolvimento de alguns tipos de câncer.

O peso das técnicas modernas de cristalografia é bem percebido por meio de um simples exercício de inverter a logística da produção de um fármaco. Um remédio, para ser eficiente, precisa agir, como no caso da doença de Chagas, na relação entre parasita e hospedeiro. A medicação precisa funcionar e, de preferência, matar o primeiro, sem interferir no segundo.

Mas como enxergar todas estas interações biológicas, em nível molecular? Só por meio de verdadeiras dissecações moleculares de todo o processo. Este é o papel da cristalografia, conjunto de técnicas que detalham a estrutura de proteínas, por exemplo, por meio da difração (espalhamento) dos raios X em um cristal formado pelas proteínas que se deseja estudar.

Quanto mais as pesquisas avançam, mais proteínas são identificadas e validadas pela cristalografia, ampliando o banco de dados biológicos sobre determinado problema. Assim, o número de opções que se terá em mãos para resolver certos desafios em nível molecular tende a ser maior.

Este trabalho de montar e desmontar, em nível molecular, não existe apenas para a doença de Chagas, mas para várias moléstias, além de permitir outras aplicações dentro da biologia em geral. O objetivo é sempre identificar macromoléculas e, em laboratório, tentar sintetizar outros compostos que se ligam aos chamados alvos biológicos. O que se pretende é bloquear aquele caminho, para que alguns desdobramentos normalmente desejáveis, como a morte do *T. cruzi*, ocorram.

Outra prova de que as técnicas de cristalografia são vitais para o desenvolvimento científico vem do mundo

das serpentes. Vários projetos em curso no estado de São Paulo nos últimos anos usam exatamente esta ferramenta para decifrar os venenos desses animais.

A analogia que pode ser feita é fácil de entender. Os componentes da peçonha – e vários projetos de pesquisa contribuíram para essas descobertas recentemente – não são adequados para ser usados clinicamente. Mas, se suas estruturas moleculares forem bem conhecidas, os especialistas acreditam que poderiam trocar uma parte da molécula para alterar sua ação sobre o organismo. Essa modificação planejada na estrutura original de uma molécula poderá, acredita-se, ter um uso terapêutico em muitas doenças.

Um grupo de pesquisa da Fundação Hermínio Ometto, de Araras, está trilhando este exato caminho. Os pesquisadores estão interessados em isolar um grupo de enzimas do veneno da serpente *Crotalus durissus terrificus*, a bem conhecida cascavel. Além de outras ferramentas, a cristalografia por difração de raios X está sendo usada para elucidar as estruturas tridimensionais das proteínas selecionadas.

De acordo com o grupo, as enzimas L-aminoácido-oxidases (LAAOs), que conferem ao veneno da serpente uma tonalidade amarelo-âmbar, apresentaram potencial citotóxico, bactericida e antiparasitário *in vitro*. Elas têm sido

descritas como indutoras de uma série de efeitos tóxicos em sistemas biológicos, como agregação plaquetária, hemorragia, edema e apoptose.

A evolução dessas técnicas e dos bancos de dados de estruturas de proteínas, com suas informações moleculares conhecidas, é apenas parte do problema. Também existem lacunas do lado da pesquisa aplicada.

Desde que a mioglobina, uma das primeiras estruturas de uma proteína totalmente conhecida por meio da cristalografia, foi validada nos Estados Unidos em 1960, começou uma evolução paralela no setor empresarial, embora no Brasil poucas empresas invistam em pesquisa de novos fármacos, a principal área em que a cristalografia tem sido aplicada.

As consequências dos avanços na biologia estrutural apenas conseguirão ter um escoamento esperado, em termos de saúde, se os processos de inovação tecnológica e desenvolvimento de fármacos estiverem totalmente azeitados, alertam os pesquisadores. Eles acreditam que o desenvolvimento de moléculas que realmente poderão atingir os alvos biológicos para os quais elas foram desenhadas vai ocorrer só se as universidades e as empresas conseguirem trabalhar em conjunto. Só um produto classificado como rentável pelas empresas poderá receber apoio financeiro e ser fabricado em escala comercial. ■

OS PROJETOS

1. Instituto Nacional de Biotecnologia Estrutural e Química Medicinal em Doenças Infecciosas – INBEQMeDI – nº 2008/57910-0 (2009-2014)
2. Cristalografia, modelagem molecular e planejamento de substâncias de interesse biológico II – nº 1994/00587-9 (1995-1998)
3. Centro de Biotecnologia Molecular Estrutural – nº 1998/14138-2 (2000-2012)
4. Caracterização bioquímica, estrutural e funcional de L-aminoácido-oxidase isolada do veneno amarelo da serpente *Crotalus durissus terrificus* – nº 2011/12267-6 (2012-2013)

MODALIDADE

- 1 e 2 Temático
3. Programa Centros de Pesquisa – Cepid
4. Linha regular de auxílio a projeto de pesquisa

COORDENADORES

1. a 3. Glaucius Oliva – IFSC/USP
4. Maurício Ventura Mazzi – Centro Universitário Hermínio Ometto (UniAraras)

INVESTIMENTO

1. R\$ 1.340.213,83
2. R\$ 257.249,99
3. R\$ 28.449.954,27
4. R\$ 301.426,83

DE NOSSO ARQUIVO

Quebra-cabeças da vida

Edição especial Cepids – maio de 2007

A chave para novos medicamentos

Edição nº 57 – setembro de 2000

Genes identificados podem ter relação

com a CVC

Edição nº 38 – dezembro de 1998

Cooperação no espaço

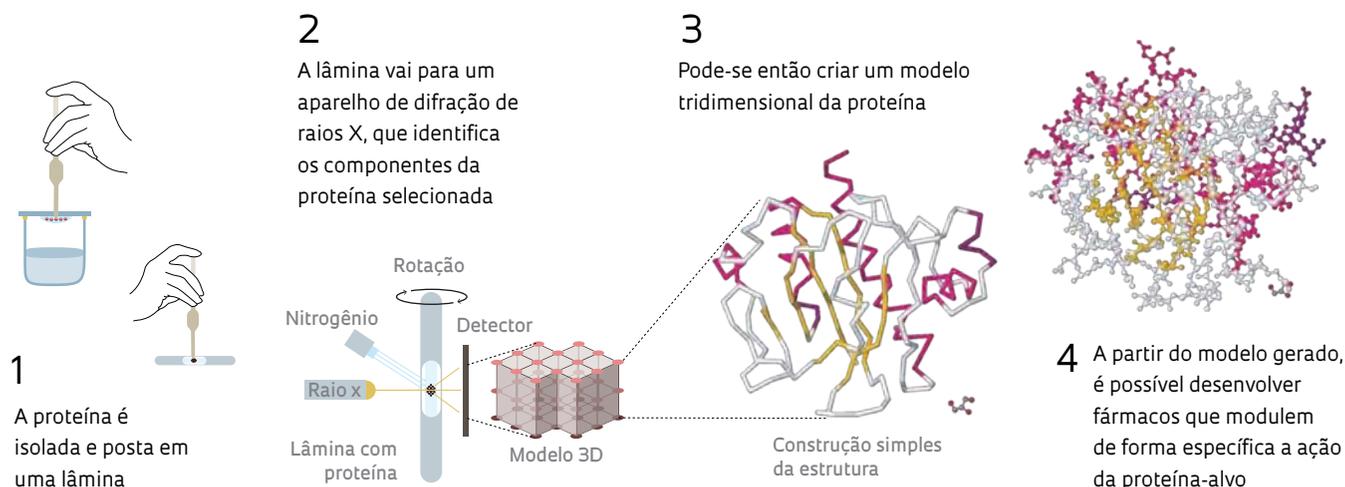
Edição nº 21 – junho de 1997

Viagem de reconhecimento

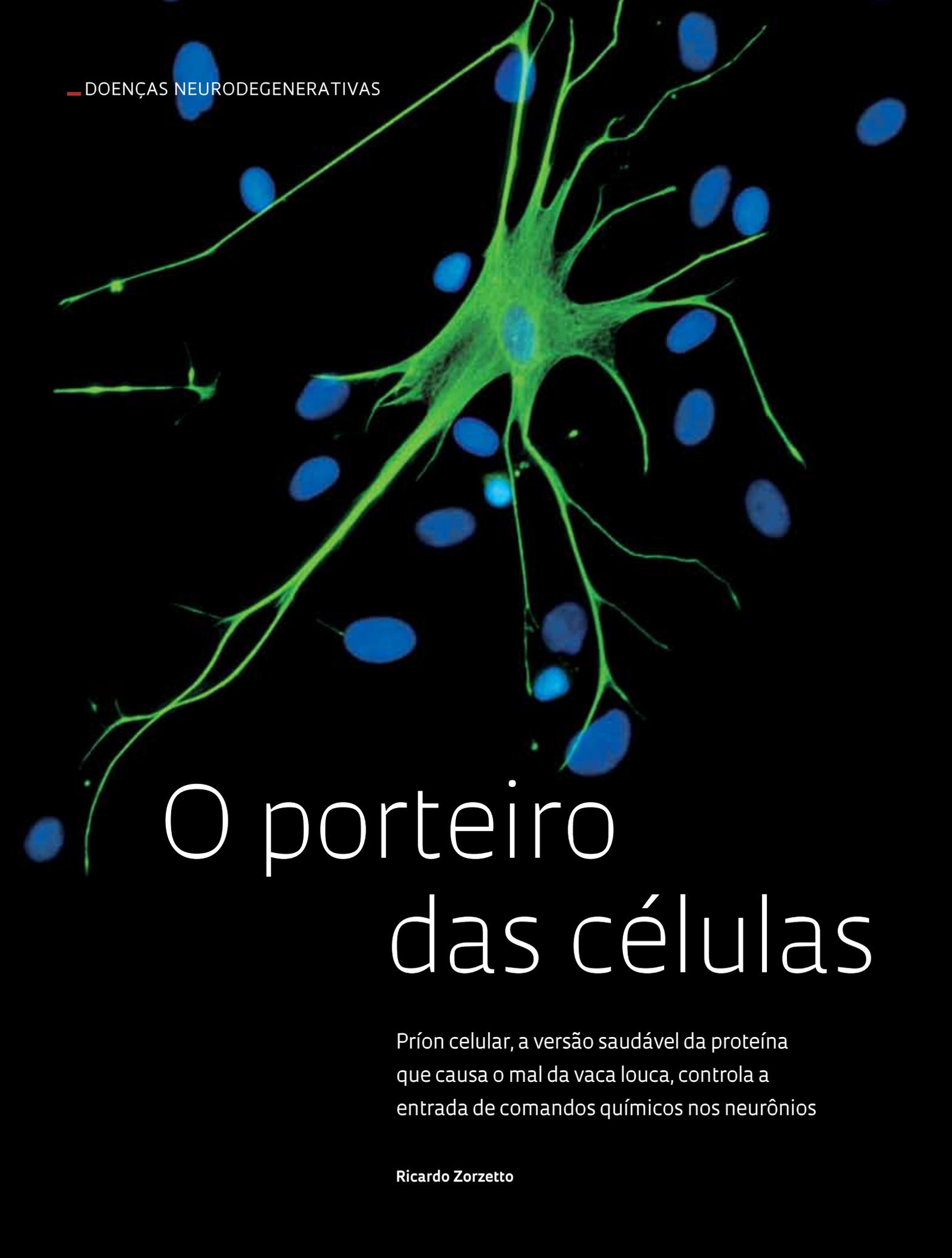
Edição nº 19 – abril de 1997

Em três dimensões

Passo a passo da criação dos modelos espaciais de proteínas



— DOENÇAS NEURODEGENERATIVAS



O porteiro das células

Príon celular, a versão saudável da proteína que causa o mal da vaca louca, controla a entrada de comandos químicos nos neurônios

Ricardo Zorzetto

Nada é gratuito na natureza, acreditava o médico Ricardo Renzo Brentani. Esta certeza e uma intuição aguçada levaram o oncologista, um dos pioneiros da biologia molecular no Brasil, morto em novembro de 2011, a iniciar os estudos sobre uma proteína essencial para o desenvolvimento das células cerebrais e o equilíbrio do sistema de defesa quando poucos a consideravam importante.

A proteína que Brentani e seus colaboradores começaram a investigar há 15 anos é o príon celular ou PrP^C. Produzida pelo organismo, essa proteína está na superfície de quase todas as células – em maior abundância no sistema nervoso central e no imunológico. Graças ao trabalho dos pesquisadores brasileiros, sabe-se agora que o PrP^C é uma espécie de porteiro das células: ele organiza e controla a passagem de informações do meio externo para o interno. É uma função bastante nobre para uma proteína que, até pouco anos atrás, se imaginava não ter importância. “A natureza não desperdiçaria tempo nem energia para gerar uma proteína sem atividade biológica”, comentou Brentani em 2008, pouco depois de publicar, com parceiros de São Paulo, do Rio de Janeiro, de Minas Gerais e do Rio Grande do Sul, a mais abrangente análise sobre o funcionamento do príon celular.

Como um ímã seletivo ancorado no lado de fora das células, o PrP^C atrai determinadas proteínas do meio extracelular – em alguns casos, mais de uma ao mesmo tempo – e repassa para o interior a informação que elas codificam. De modo simplificado, a transferência de informação ocorre de duas maneiras. Em uma delas, a proteína extracelular adere ao PrP^C, que aciona uma proteína atravessada na membrana da célula e dispara sinais químicos em seu interior. Na outra, o PrP^C desliza para áreas mais delgadas da membrana e é tragado para o interior de vesículas, onde se conecta a outras proteínas e envia comandos para o núcleo ou outras regiões da célula. Nas células cerebrais, em especial nos neurônios, os sinais

químicos disparados pelo príon celular orientam a se manter viva ou a emitir os prolongamentos que a conectam a outros neurônios (*ver infográfico na página 76*).

Além da compreensão abrangente de como o príon celular age, o trabalho do grupo brasileiro proporcionou uma nova interpretação de como surgem e avançam as encefalopatias espongiformes, doenças ainda sem cura causadas por defeitos na estrutura do PrP^C. São enfermidades como a doença de Creutzfeldt-Jakob, que se instala no cérebro ao longo de décadas, mas evolui e mata em menos de um ano. A destruição que provocam deixa o cérebro poroso feito esponja.

O conhecimento gerado aqui, somado ao resultado de pesquisas de outros países, indicou ainda existir uma conexão inesperada entre essas enfermidades, raras e assustadoras, e outra bem mais frequente: a doença de Alzheimer, que atinge uma em cada três pessoas com mais de 85 anos.

O INÍCIO

Brentani viu a oportunidade de estudar o príon celular – e entrar em área de pesquisa muito competitiva – no início dos anos 1990. Na época, pesquisadores do mundo todo investigavam a versão deformada do PrP^C. Chamada apenas de príon, abreviação de *proteinaceous infectious particle*, a proteína danificada era o principal suspeito de causar uma doença que atingiu parte do rebanho bovino da Inglaterra e se tornou conhecida como o mal da vaca louca.

O risco de que fosse transmissível para seres humanos – os primeiros casos foram confirmados em 1996 – levou laboratórios mundo afora a iniciar uma corrida para desvendar o funcionamento da proteína infecciosa. Essa versão da molécula, que se propaga pelo contato com as proteínas saudáveis, causa nos seres humanos a forma de encefalopatia espongiforme descrita nos anos 1920 por Hans Gerhard Creutzfeldt e Alfons Maria Jakob. Mais estáveis que o príon celular, as moléculas deformadas aderem umas às outras, gerando longas fibras tóxicas para os neurônios.

Enquanto só se estudava a proteína defeituosa, Brentani decidiu investigar o que fazia o PrP^C. Ele suspeitava que não se avançaria na compreensão de como essas doenças se instalam e progridem, nem nas tentativas de as combater, sem que se soubesse como atua o príon celular. Havia até alguma indicação de que não fizesse falta para o organismo. Por volta de 1990 o biólogo molecular Charles Weissmann criou uma linhagem de camundongos que não produziam o PrP^C e aparentemente viviam sem prejuízo à saúde.

Mas Brentani não se convenceu. Anos antes ele havia proposto uma teoria segundo a qual a mesma região da dupla fita da molécula de DNA conteria a receita para a produção de duas proteínas – e não uma. Sua ideia era que as proteínas codificadas por trechos complementares das fitas de DNA também teriam papéis complementares e seriam capazes de interagir quimicamente. Mas era uma hipótese na qual poucos acreditavam.

Até que em 1991 um pesquisador norte-americano publicou uma carta na *Nature* dizendo que, se Brentani estivesse certo, o trecho do DNA complementar ao do gene do príon celular conteria informação sobre a proteína que possivelmente o acionaria. Estudioso de proteínas associadas ao câncer, Brentani resolveu analisar o príon celular e a molécula que funcionava como seu interruptor. Ele, a bioquímica Vilma Martins e o biólogo Sandro de Souza, na época pesquisadores do Instituto Ludwig de Pesquisa sobre o Câncer, mais o bioquímico Vivaldo Moura Neto, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), deduziram a estrutura dessa outra proteína e a descreveram em 1997 na *Nature Medicine*.

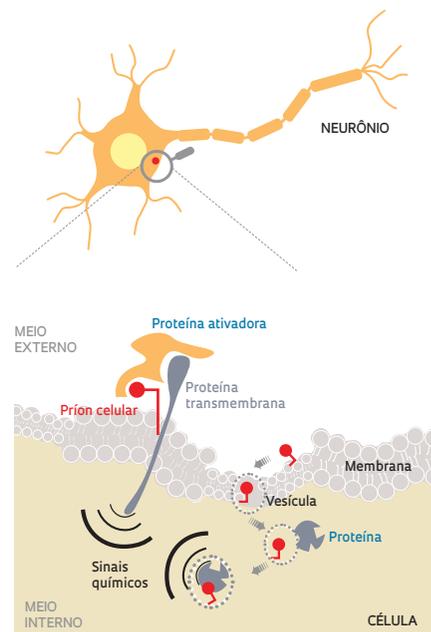
A proteína por eles apresentada – mais tarde identificada como STI-1, sigla de *stress inducible protein 1* – era quase duas vezes maior do que o príon celular. Mas não se sabia o que ambas faziam. Como não eram especialistas em neurônios, ele e Vilma convidaram o neurocientista Rafael Linden, da UFRJ, para colaborar nos testes seguintes. O complexo formado pelo príon celular e a STI-1 se mostrou essencial tanto para o amadurecimento e a formação dos prolongamentos dos neurônios como para protegê-los da morte (ver Pesquisa FAPESP n^o 94). Experimentos com camundongos feitos em parceria com Iván Izquierdo, pesquisador da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, revelaram ainda que o príon celular e a STI-1 eram também fundamentais para a formação da memória.

Já no sistema imunológico ele modulava a resposta às inflamações, ora aumentando, ora reduzindo a atividade das células de defesa, como demonstrou a equipe de Linden (ver Pesquisa FAPESP n^o 148). Outras evidências, como a de que o príon celular protege as células do coração contra agressões químicas, se somavam, mas ainda não se compreendia por que, em certas situações, o PrP^C protegia e em outras danificava os tecidos. Um passo importante era saber como essa proteína, que fica na superfície externa das células, se comunicava com o interior.

Bloquear atividade do príon celular pode deter avanço de doenças cerebrais

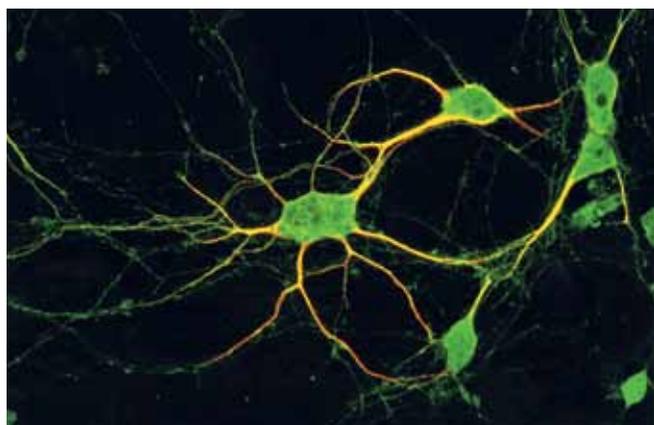
Ímã seletivo

Como o príon celular importa a informação para o neurônio



Vilma, Brentani e Linden recorreram então à ajuda de Marco Antonio Prado, à época professor na Universidade Federal de Minas Gerais, onde investigava o transporte de moléculas no interior das células. Em parceria com outros pesquisadores, eles marcaram o príon celular de neurônios com um corante fluorescente e acompanharam o caminho que percorria. Foi quando flagraram que, uma vez ativado por certas proteínas, como a STI-1, o príon celular desliza para áreas mais delgadas da membrana e faz um mergulho temporário na célula, durante o qual envia comandos para o núcleo ou outras regiões.

O papel de ímã seletivo ou plataforma de montagem de complexos de sinalização do PrP^C explicava resultados experimentais que pareciam contraditórios e alterava a compreensão de como surgem as doenças causadas por príons. Segundo a nova interpretação, na doença de Creutzfeldt-Jakob os neurônios não morreriam só porque a adesão dos príons gera aglomerados tóxicos. A morte celular ocorreria também pela perda do príon celular, que deixaria os neurônios desprotegidos contra agressões químicas.



Príon celular, marcado em verde na superfície de neurônios

FONTE: ADAPTADO DE LINDEN, R. ET AL.

FOTO: GLAUCIA HAJI, INFOGRÁFICOS TIAGO CIRILO

Soluções possíveis

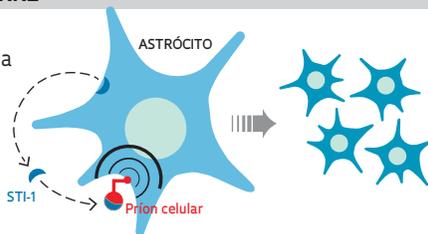
Duas estratégias para interromper a sinalização mediada pelo príon celular

GLIOBLASTOMA



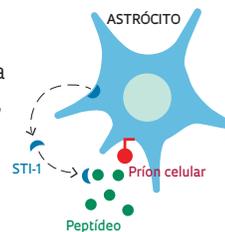
O QUE OCORRE

Produção de STI-1 estimula proliferação celular



ESTRATÉGIA DE AÇÃO

Usar peptídeo derivado da STI-1, que se liga ao príon celular, sem acionar a multiplicação dos astrócitos

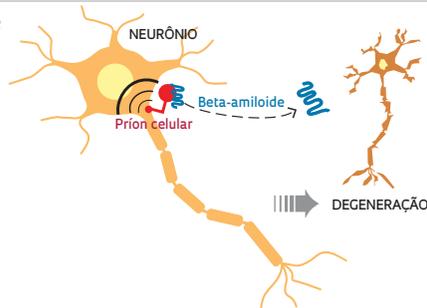


ALZHEIMER



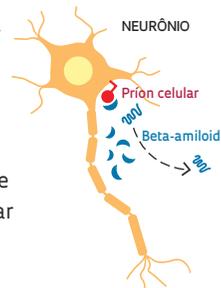
O QUE OCORRE

Beta-amiloide adere ao príon celular e bloqueia a sinalização protetora



ESTRATÉGIA DE AÇÃO

Usar molécula que compete com o beta-amiloide para impedir que se conecte ao príon celular



O que se imaginou para essas enfermidades, sugerem os brasileiros, parece ser aplicável aos estágios iniciais do Alzheimer. “Começamos estudando uma doença neurodegenerativa e encontramos conexões com outras”, comenta Marco Prado, hoje pesquisador da Universidade de Western Ontario, no Canadá.

O elo entre as doenças causadas por príons e a enfermidade que apaga a memória é que, em ambos os casos, a sinalização do PrP^C está truncada. No primeiro, por um defeito no próprio PrP^C. No segundo, por sua ação ser bloqueada pelo beta-amiloide. “Não estamos afirmando que a toxicidade não mata a célula”, explica Vilma, hoje pesquisadora do Hospital A. C. Camargo. “Acreditamos que, além desse processo, a célula morre também porque o príon celular deixa de protegê-la.”

Essa visão também abriu um novo caminho para a busca de estratégias para combater essas doenças. Em um estudo ainda não publicado, ela e Marco testaram novas maneiras de interferir na comunicação entre o PrP^C e o oligômero beta-amiloide, um aglomerado de fragmentos de proteína tóxica que se forma no começo do Alzheimer, impedindo o

avanço da doença. Os primeiros testes foram promissores e os pesquisadores depositaram um pedido de patente para o uso de um dos compostos que impedem a interação entre o oligômero e o príon celular (ver Pesquisa FAPESP nº 194).

Vilma também tenta combater o glioblastoma, um tumor cerebral agressivo, causado pela proliferação descontrolada de células derivadas dos astrócitos. Células que nutrem os neurônios e defendem o sistema nervoso central de invasores, os astrócitos lançam no meio extracelular a STI-1. Enquanto promove diferenciação dos neurônios e a autorrenovação de células precursoras neuronais, a STI-1 bloqueia a reprodução dos astrócitos no cérebro saudável. Mas dispara a proliferação tumoral no glioblastoma.

Para esse caso, a estratégia de Vilma é bloquear a atividade do príon celular com um fragmento sintético da STI-1 que adere ao PrP^C sem o ativar (ver *infográfico nesta página*). Testado em camundongos, o peptídeo retardou o crescimento do tumor e preservou a cognição dos animais. Por ora, no entanto, não é possível prever se essas estratégias levarão a um medicamento. “O que funciona com animais”, lembra Vilma, “nem sempre produz os mesmos efeitos nas pessoas”. ■

OS PROJETOS

1. Papel da proteína príon celular em processos fisiológicos e patológicos – nº 1999/07124-8 (2000-2004)
2. Papel da proteína príon celular em processos fisiológicos e patológicos II – nº 2003/13189-2 (2004-2009)
3. Mecanismos associados à função da proteína príon e seu ligante STI1/Hop: abordagens terapêuticas – nº 2009/14027-2 (2010-2014)

MODALIDADE

1. 2. e 3. Projeto Temático

COORDENADORAS

1. e 2. Vilma Regina Martins – Instituto Ludwig
3. Vilma Regina Martins – Hospital A. C. Camargo

INVESTIMENTO

1. R\$ 2.353.958,10
2. R\$ 1.738.518,72
3. R\$ 1.699.903,33

ARTIGO CIENTÍFICO

LINDEN, R. et al. Physiology of the prion protein. *Physiological Reviews*. v. 88, p. 673-728, 2008.

DE NOSSO ARQUIVO

A liga dos neurônios
Edição nº 94 – dezembro de 2003

Uma proteína fundamental
Edição nº 148 – junho de 2008

Comunicação interrompida
Edição nº 194 – abril de 2012

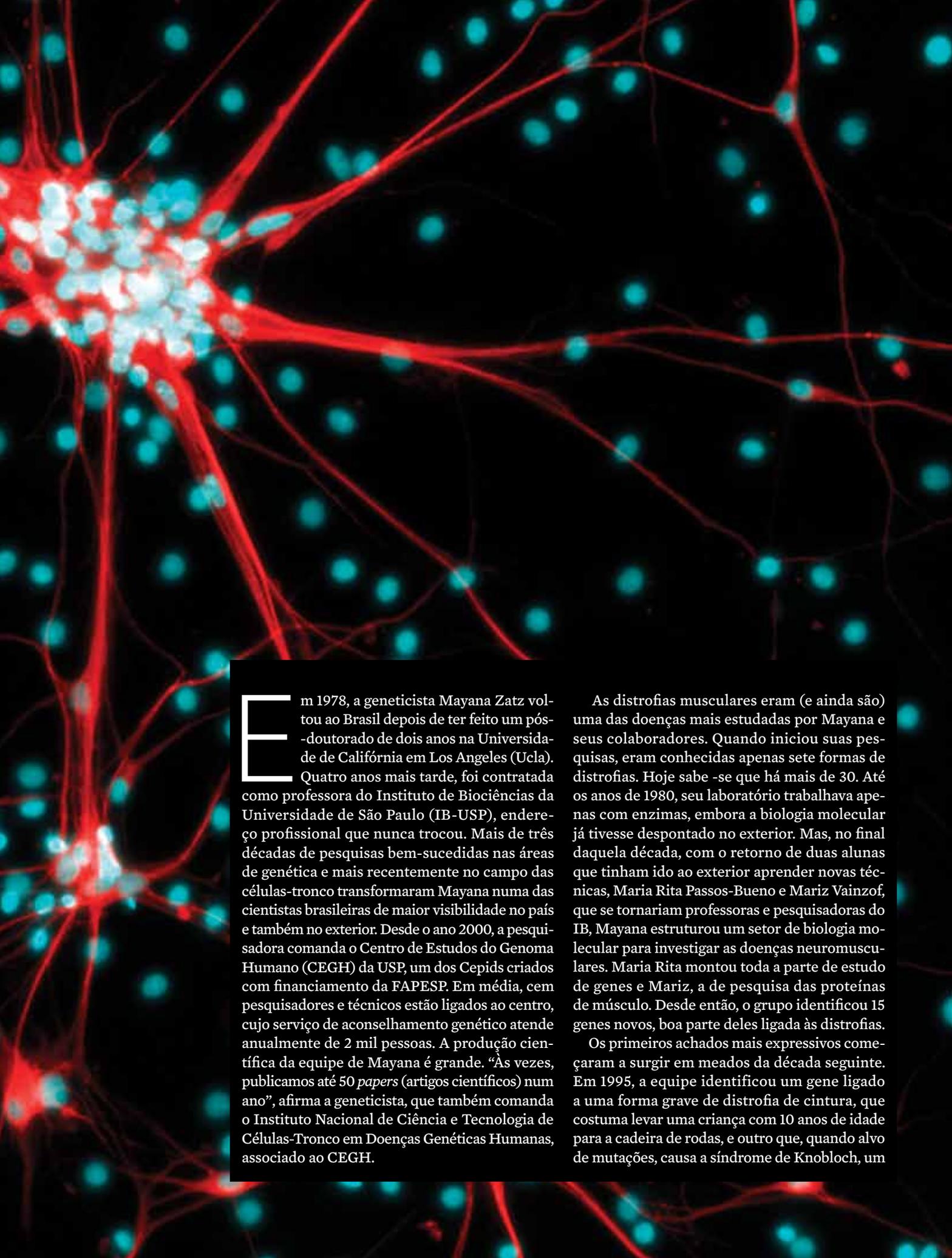
GENÉTICA HUMANA

O centro das distrofias

Grupo paulista identifica novos genes e formas de doenças neuromusculares no Brasil

Marcos Pivetta

Microscopia de fluorescência de células-tronco embrionárias neuronais formando redes neurais. Em vermelho a proteína tubulina e em azul o núcleo celular



Em 1978, a geneticista Mayana Zatz voltou ao Brasil depois de ter feito um pós-doutorado de dois anos na Universidade de Califórnia em Los Angeles (Ucla). Quatro anos mais tarde, foi contratada como professora do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IB-USP), endereço profissional que nunca trocou. Mais de três décadas de pesquisas bem-sucedidas nas áreas de genética e mais recentemente no campo das células-tronco transformaram Mayana numa das cientistas brasileiras de maior visibilidade no país e também no exterior. Desde o ano 2000, a pesquisadora comanda o Centro de Estudos do Genoma Humano (CEGH) da USP, um dos Cepids criados com financiamento da FAPESP. Em média, cem pesquisadores e técnicos estão ligados ao centro, cujo serviço de aconselhamento genético atende anualmente de 2 mil pessoas. A produção científica da equipe de Mayana é grande. “Às vezes, publicamos até 50 *papers* (artigos científicos) num ano”, afirma a geneticista, que também comanda o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Células-Tronco em Doenças Genéticas Humanas, associado ao CEGH.

As distrofias musculares eram (e ainda são) uma das doenças mais estudadas por Mayana e seus colaboradores. Quando iniciou suas pesquisas, eram conhecidas apenas sete formas de distrofias. Hoje sabe-se que há mais de 30. Até os anos de 1980, seu laboratório trabalhava apenas com enzimas, embora a biologia molecular já tivesse despontado no exterior. Mas, no final daquela década, com o retorno de duas alunas que tinham ido ao exterior aprender novas técnicas, Maria Rita Passos-Bueno e Mariz Vainzof, que se tornariam professoras e pesquisadoras do IB, Mayana estruturou um setor de biologia molecular para investigar as doenças neuromusculares. Maria Rita montou toda a parte de estudo de genes e Mariz, a de pesquisa das proteínas de músculo. Desde então, o grupo identificou 15 genes novos, boa parte deles ligada às distrofias.

Os primeiros achados mais expressivos começaram a surgir em meados da década seguinte. Em 1995, a equipe identificou um gene ligado a uma forma grave de distrofia de cintura, que costuma levar uma criança com 10 anos de idade para a cadeira de rodas, e outro que, quando alvo de mutações, causa a síndrome de Knobloch, um

tipo raro de cegueira progressiva. Até hoje, todas as mutações que provocam a síndrome ocorrem nas duas cópias do gene COL18A1, que foi identificado pela equipe do IB sob coordenação de Maria Rita. A história da descoberta da associação da doença ao COL18A1, gene localizado no cromossomo 21 que codifica uma proteína chamada colágeno XVIII, incluiu trabalho, paciência e uma dose de sorte, ingredientes essenciais para o avanço da ciência.

Ao se detectar uma família com distrofia de cintura no município de Euclides da Cunha, na Bahia, as pesquisadoras perceberam que havia também muitos casos de cegueira nesse grupo de pessoas, formado por casais consanguíneos. Para saber o que se passava com aqueles indivíduos, Maria Rita foi à cidade baiana, conversou com os familiares e coletou material para pesquisa. “Uma parte da família tem distrofia e a outra cegueira”, recordou Maria Rita em 1997 em reportagem do boletim *Notícias FAPESP*, embrião desta revista. Como é praxe nesses casos, todas as famílias envolvidas nas pesquisas da equipe de Mayana recebem aconselhamento genético para saber como lidar com a doença e serem informadas sobre o risco de transmissão de mutações para eventuais novos filhos.

Na busca por genes associados a doenças neurodegenerativas, a equipe da USP obteve alguns resultados surpreendentes. Esse foi o caso dos trabalhos com um gene denominado VAP-B, presente no cromossomo 20. Num artigo publicado em novembro de 2004 na revista *American Journal of Human Genetics*, pesquisadores do centro paulista mostraram que uma mutação nesse gene podia causar três tipos distintos de doença degenerativa nos neurônios motores: atrofia espinhal progressiva tardia, a forma clássica de esclerose lateral amiotrófica (ELA) e uma nova variante atípica de esclerose lateral amiotrófica,

Cachorros Ringo e Sufflair: cães têm mutação que causa distrofia muscular, mas surpreendentemente não manifestam a doença. Pesquisadores da USP estão tentando encontrar genes que evitam o surgimento da distrofia no zebrafish

Grupo localizou 15 novos genes, boa parte deles ligada ao surgimento de distrofias musculares

que recebeu o nome de ELA8. A disfunção no gene foi encontrada em 34 indivíduos, pertencentes a sete famílias: 16 pessoas tinham atrofia espinhal, 15 apresentavam ELA8 e três manifestavam a forma clássica de ELA. Posteriormente, foram identificadas centenas de portadores dessa mutação no Brasil e também no exterior.

As três enfermidades são parecidas e, em certos aspectos, se confundem. A semelhança talvez se deva à descoberta de que a mutação no gene VAP-B pode ser a causa das anomalias. De forma genérica, são classificadas debaixo do grande guarda-chuva das chamadas doenças dos neurônios motores. São lesões que afetam as células do cérebro e/ou da medula espinhal especializadas em enviar impulsos elétricos para os músculos. Estes contraem ou relaxam a partir de comandos transmitidos pelos neurônios motores superiores (cérebro) e inferiores (medula espinhal). No caso dos doentes com a ELA8, os primeiros sintomas costumam aparecer por volta da quarta década de vida e sua sobrevivência varia de cinco a 25 anos depois de feito o diagnóstico. A principal responsável pela descoberta e caracterização da nova forma de esclerose lateral amiotrófica, a pesquisadora Agnes Nishimura, que era do centro da USP e hoje é pesquisadora do King's College em Londres, ganhou em 2007 o Prêmio Paulo Gontijo na categoria Medicina pelos trabalhos com a doença.

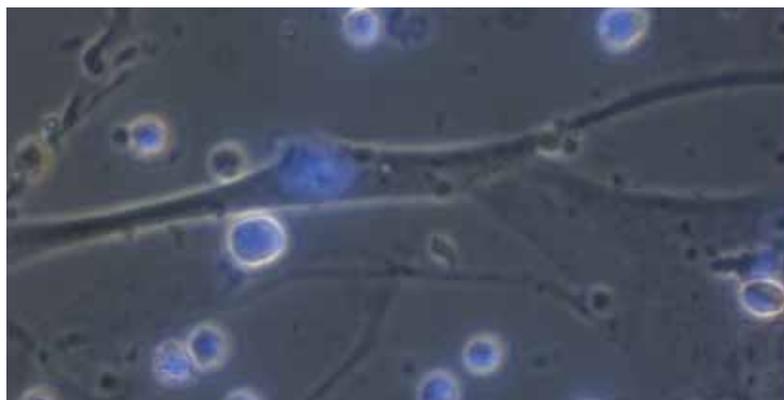
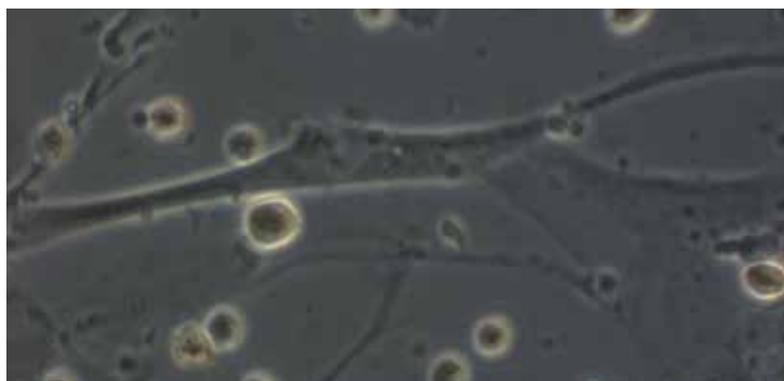
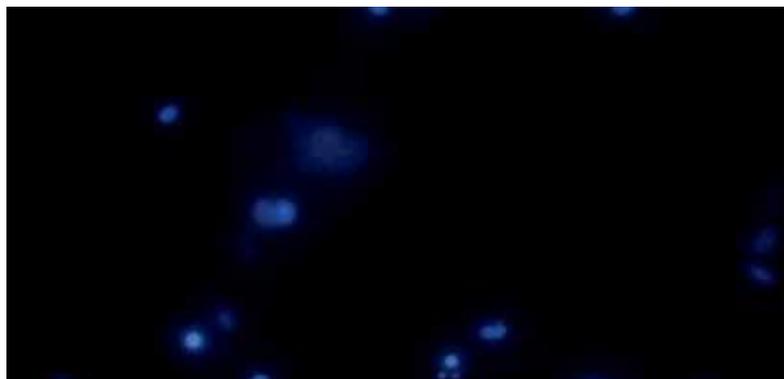


Células-tronco do cordão umbilical (em azul) se fundem com células de paciente com distrofia muscular (cinza). A fusão (última imagem) é necessária para a formação de células musculares

O gene VAP-B e a nova forma de esclerose lateral amiotrófica continuam sendo estudados até hoje pela equipe de Mayana – e resultados interessantes continuam surgindo. No ano passado, o mesmo grupo da USP, em colaboração com colegas brasileiros e estrangeiros de centros de estudos norte-americanos, encontrou uma pista do mecanismo que parece estar envolvido na destruição dos neurônios motores dos doentes. Os cientistas conseguiram gerar neurônios motores de pacientes com ELA8 e constataram que os níveis da proteína VAP-B se encontravam mais reduzidos nesse tipo de célula. “Foi a primeira vez que isso foi feito com essa forma hereditária de esclerose lateral amiotrófica”, diz Mayana, que publicou um artigo com os resultados do experimento em junho do ano passado na revista científica *Human Molecular Genetics*. Os neurônios motores foram derivados *in vitro* de células-tronco de pluripotência induzida (iPSC, na sigla em inglês) que, por sua vez, haviam sido geradas a partir de um tipo de célula da pele, os fibroblastos, de pacientes com a doença e comparados com seus parentes normais.

SPOAN E GOLDEN RETRIEVER

Em 2005, num feito cada vez mais difícil de ser obtido na pesquisa genética, uma equipe do centro e do Hospital das Clínicas da USP descobriu uma nova doença neurodegenerativa, batizada de síndrome Spooan (em inglês, o nome significa *spastic paraplegia, optic atrophy and neuropathy*), numa pequena cidade do interior do Rio Grande do Norte, Serrinha dos Pintos, onde há muitos casamentos entre pessoas aparentadas. Assim que tiveram certeza de que se tratava de uma condição clínica inédita na literatura científica, originada por uma mutação genética que se manifesta devido a casamentos consanguíneos entre primos, os pesquisadores da USP iniciaram um trabalho de divulgação sobre a patologia e noções de genética para os 4.300 habitantes do município potiguar. A descrição da patologia até então desconhecida saiu na revista americana *Annals of Neurology*. “Examinamos pacientes de várias idades com a síndrome, dos 10 aos 63 anos”, afirmou, na ocasião, a bióloga Silvana Santos, principal responsável pela descoberta da inédita pato-



logia, à revista *Pesquisa FAPESP*. “Podemos ver a evolução da doença. Com o tempo, as pessoas se fecham como uma flor.”

Sem cura, a doença em si não é fatal e mantém intacta a capacidade cognitiva dos doentes. Não provoca retardo mental, dor ou surdez. Mas seus efeitos sobre a qualidade de vida dos afetados, que se tornam deficientes físicos, são devastadores – sobretudo em populações rurais e carentes de serviços de saúde como a de Serrinha dos Pintos. Antes do trabalho dos pesquisadores, os moradores locais creditavam a origem da doença a uma sífilis hereditária que teria se espalhado pelo sangue da família por meio de um ancestral mulhherengo. Os pés entortam para fora e a cabeça cai e os doentes acabam em cadeiras de rodas.

Ainda não se sabe em qual gene está a mutação que causa a doença. Mas os cientistas analisaram amostras de DNA de dezenas de familiares que moram na cidade, entre doentes e sadios, e os re-

sultados dos estudos indicam que o gene da Spoman se encontra numa região do cromossomo 11. O problema é que, sete anos depois da descoberta da nova doença, os esforços ainda não resultaram na localização do gene responsável pela síndrome.

Notícias mais animadoras vieram de um estudo recente com uma dupla de cachorros da raça golden retriever, Ringo, de 9 anos, e seu filho Suflair, de 6 anos. Os cães parecem carregar genes ou mecanismos protetores que neutralizam total ou parcialmente os efeitos negativos da mutação causadora da distrofia muscular. A dupla de animais tem a alteração genética associada à doença, que os impede de produzir distrofina, proteína essencial para a manutenção da integridade dos músculos. No entanto, surpreendentemente nenhum deles apresenta os sinais clássicos da distrofia, como dificuldade para andar e deglutir, e hoje já deveriam estar mortos se tivessem desenvolvido a doença. Re-

Na cadeira de rodas um doente com a síndrome Spoman: nova doença neurodegenerativa foi descoberta em Serrinha dos Pintos (RN) pela equipe do CEGH da USP



centemente, Ringo teve um câncer de próstata, que não guarda relação com a falta de distrofina e é algo normal para um animal da sua idade. Suflair também não manifesta a distrofia. Apenas puxa um pouco as patas traseiras. Seus irmãos não tiveram a mesma sorte: morreram dias após nascer ou acabaram desenvolvendo distrofia muscular de forma severa.

Num experimento feito em colaboração com o laboratório de Sergio Verjovski-Almeida, do Instituto de Química da USP, os pesquisadores viram que alguns genes dos cães assintomáticos eram menos expressos (ativados) que os dos animais doentes. “Nossa hipótese é de que a menor expressão desses genes pode conferir alguma forma de proteção aos cães e talvez ser importante para encontrarmos uma forma de combater a doença”, afirma Mayana Zatz. “Estamos quebrando um paradigma e mostrando que nem sempre a falta da proteína leva à distrofia. A questão agora é descobrir o que os genes protetores fazem.” Nessa tarefa, o *zebrafish*, peixe modelo da biologia, também tem sido usado.

Na década passada, ao lado dos estudos genéticos mais tradicionais, Mayana direcionou uma parte dos esforços do CEGH para as pesquisas com células-tronco. “Por sermos um Cepid, tivemos agilidade administrativa e financeira para entrar muito rapidamente nessa área”, conta a geneticista, que também participou ativamente nos últimos anos na luta pela regulamentação das pesquisas nesse setor no Brasil. Não demorou muito tempo e os primeiros resultados apareceram. Num trabalho de 2009, pesquisadores do centro e também da equipe de Sergio Verjovski-Almeida, do IQ-USP, levantaram indícios de que as células-tronco presentes no sangue do cordão umbilical e na parede do cordão, tecidos que podem ser armazenados para o caso de futuras necessidades terapêuticas, têm perfis genéticos diferentes. Em 2008, a equipe já havia demonstrado que o cordão é muito mais rico que o sangue em células-tronco mesenquimais, um tipo especial de células com potencial de formar vários tecidos. A particularidade de cada tipo pode afetar o uso médico dessas células caso fique comprovado que as diferenças genéticas representam uma redução em sua versatilidade.

Em abril do ano passado, biólogos do CEGH, num trabalho coordenado por Oswaldo Keith Okamoto, e neurocientistas da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) publicaram um estudo na versão da revista científica *Stem Cell Reviews and Reports* mostrando que, em ratos com Parkinson induzido, a presença de fibroblastos humanos anula os possíveis efeitos positivos de um implante de células-tronco mesenquimais, obtidas do tecido do cordão umbilical de recém-nascidos.

PROJETO 80+

“Quando administramos apenas as células-tronco, os ratos melhoraram dos sintomas da doença”, diz Mayana. “Mas, quando injetamos também os fibroblastos, os efeitos benéficos desapareceram e houve até uma piora. É possível que muitos resultados ruins em trabalhos científicos com terapias celulares se devam a esse tipo de contaminação.” Os fibroblastos são um tipo de célula da pele extremamente parecido com algumas células-tronco, mas que tem propriedades totalmente diferentes. Eles são frequentemente usados como fontes de células-tronco de pluripotência induzida (iPSC), que têm propriedades parecidas com as das células-tronco embrionárias.

Além de representar um avanço no conhecimento básico sobre os eventuais benefícios das terapias celulares num órgão tão complexo e delicado como o cérebro, o resultado do trabalho serviu de alerta para os familiares de pessoas com Parkinson. Não há, em nenhum país do mundo, tratamento oficialmente aprovado à base de células-tronco para combater essa ou outras doenças neurodegenerativas. “É preciso olhar com cuidado as pesquisas com células-tronco e não fazer falsas promessas de cura”, afirmou outro autor do artigo, o neurocientista Esper Cavalheiro, da Unifesp, que encabeça os trabalhos do Instituto Nacional de Neurociência Translacional, um projeto conjunto da FAPESP e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). “Antes de propormos terapias, precisamos entender todo o mecanismo de diferenciação das células-tronco nos diversos tecidos do organismo e compreender como o cérebro faz para ‘conversar’ e direcionar a atuação dessas células.” Até hoje as únicas doenças que contam com um tratamento à base de células-tronco são as do sangue, em especial os cânceres (leucemias). Contra esse tipo de problema, os médicos lançam mão, há décadas, do transplante de medula óssea, rica em células-tronco hematopoéticas, precursoras do sangue.

Parkinson, alias, é uma das doenças que podem ser beneficiadas pelo mais recente projeto do CEGH. Trata-se da iniciativa 80+, que começou no ano passado e tem como objetivo sequenciar o genoma completo de mil pessoas com mais 80 anos que estejam bem de saúde a fim de eventualmente descobrir genes ou outros fatores favoráveis ao processo de envelhecimento com boa

qualidade de vida. Um banco de dados com o genoma dos octogenários está sendo constituído no CEGH. Amostras de DNA de 400 octogenários saudáveis já foram recolhidas e serão confrontadas com o material genético de outras mil pessoas saudáveis e doentes com mais de 60 anos. Com essa abordagem, Mayana espera identificar, por exemplo, mutações em genes que possam auxiliar os médicos nos prognósticos sobre o futuro de um paciente.

Se ficar, por exemplo, comprovado que todos ou boa parte dos octogenários saudáveis têm uma determinada alteração genética, que se mostrou inócua ou de efeito desprezível a longo prazo, não há por que um sexagenário ou uma pessoa mais jovem sadio ficar alarmado se essa mesma mutação for detectada nele. Provavelmente, a alteração não vai ser deletéria para esse indivíduo, assim como também não o foi para o de 80 anos. “A tecnologia de sequenciar um genoma está ficando cada vez mais barata”, comenta Mayana, que tem como parceiras na iniciativa Maria Lucia Lebrão e Yeda Duarte, da Faculdade de Saúde Pública da USP, especialistas em envelhecimento. “Esse barateamento vai permitir que analisemos um grande número de amostras.” O projeto 80+ também vai analisar a atividade cerebral de pessoas com mais de 60 anos por meio de exames de ressonância magnética numa parceria com o Instituto Israelita de Ensino e Pesquisa Albert Einstein. ■

Centro vai mapear genoma de octogenários em busca de genes que favorecem um envelhecimento mais saudável

O PROJETO

Centro de Estudos do Genoma Humano - nº 1998/14254-2 (2000-2012)

MODALIDADE

Programa Centros de Pesquisa (Cepid)

COORDENADORA

Mayana Zatz - IB-USP

INVESTIMENTO

R\$ 34.412.866,53

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. NIGRO, V. *et al.* Autosomal recessive limb-girdle muscular dystrophy, LGMD2F, is caused by a mutation. *Nature Genetics*. v. 14, n. 2, p. 195-98, 1996.
2. NISHIMUARA, A.L. *et al.* A mutation in the vesicle-trafficking protein VAPB causes late-onset spinal muscular atrophy and amyotrophic lateral sclerosis. *Am. J. Human Genet.* v. 75, n. 5, p. 822-31, 2004.
3. SECCO, M. *et al.* Multipotent stem cells from umbilical cord: cord is richer than blood! *Stem Cells*. v. 26, n. 1, p. 146-50, 2008.

DE NOSSO ARQUIVO

A fraqueza das células-tronco
Edição nº 183 - maio 2011

Spoan: uma nova doença
Edição nº 113 - julho 2005



Coadjuvantes inesperados

Células normais, como os fibroblastos, podem facilitar a evolução de tumores e dificultar o tratamento

Carlos Fioravanti e Salvador Nogueira

Há mais de um século, médicos e pesquisadores têm prestado uma imensa atenção nos tumores para diagnosticar, tratar e entender a origem e o possível desenvolvimento de dezenas de formas de câncer. As células tumorais continuam sendo os atores principais do câncer, mas há alguns anos o olhar está se ampliando e os coadjuvantes – células normais que podem beneficiar o desenvolvimento de tumores – começam a ganhar atenção, dando pistas sobre por que os tumores evoluem de modo diferente ou por que os tratamentos funcionam de modo distinto nas pessoas.

Em São Paulo, equipes de duas instituições – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP) e Hospital A.C. Camargo – estão verificando que células de suporte de vários tecidos, conhecidas como fibroblastos, podem ser encontradas no microambiente tumoral e produzir fatores que favorecem o crescimento desses tumores. “O microambiente tumoral pode ser decisivo na evolução do tumor”, diz Maria Aparecida Koike Folgueira, pesquisadora da USP. O microambiente é constituído pelas chamadas células estromais, principalmente fibroblastos, e pela matriz extracelular, que se encontram dentro ou ao redor do tumor. Em um dos

experimentos, as pesquisadoras da USP Maria Mitzi Brentani e Maria Aparecida avaliaram o perfil de expressão gênica por meio da cultura de células cancerosas e fibroblastos obtidos de tumor mamário e linfonodo (centro de produção de células de defesa) comprometido pela doença. Elas observaram uma influência recíproca entre as células, que resulta na alteração da expressão gênica tanto de fibroblastos quanto de células cancerosas. Verificaram, também, que os fibroblastos aumentam a proliferação e a invasividade das células do câncer de mama. As equipes paulistas investem agora no sequenciamento dos RNA mensageiros dos fibroblastos para desvendar alterações que possam ocorrer nestas células encontradas no microambiente e que possam estar envolvidas no prognóstico da doença. Em colaboração com o Hospital do Câncer de Barretos, avaliam também qual seria a influência das células estromais na resposta à quimioterapia.

Em outra linha de trabalho, investigam por que o câncer de mama, doença que se manifesta principalmente em mulheres idosas, pode em certos casos se apresentar em mulheres jovens. O câncer, por ser, entre outras causas, o resultado do acúmulo de mutações genéticas que fazem as células se proliferarem sem controle, está normalmente ligado ao envelhecimento, que por sua vez está ligado ao acúmulo de defeitos na molécula de DNA.

Chamados de supressores de tumor, os genes BRCA1 e BRCA2 participam do reparo do DNA lesado. Quando apresentam defeitos, esses genes respondem por até 10% dos tumores de mama e 15% dos ovarianos. Outro gene, denominado TP53, o chamado guardião do genoma, monitora a proliferação celular e a interrompe quando detecta algo anormal, ao menos até que o sistema de reparo de DNA possa entrar em ação e fazer as correções de rumo necessárias (*ver ilustração*). Mutações neste gene podem levar a falhas em seu funcionamento e originar vários tipos de câncer.

“Os fatores que influenciam o surgimento do tumor de mama em idade precoce ainda são pouco conhecidos”, comenta Maria Aparecida. “Estamos examinando as mutações e o perfil molecular do tumor, para ver se ele tem alguma característica que o diferencie e ajude a explicar seu surgimento mais cedo.” Dirce Carraro e Maria Isabel Achatz, do Hospital A. C. Camargo, e Maria Aparecida e Maria Mitzi Brentani, da USP, estão avaliando as mutações nos genes BRCA1, BRCA2 e TP53 em mulheres que tiveram câncer de mama entre os 20 e os 35

anos. Elas observaram que mutações de BRCA1 e BRCA2 são mais frequentemente encontradas em pacientes jovens que referem história familiar de câncer, mas que a mutação de TP53 é pouco frequente. Em uma extensão do estudo, em conjunto com o Instituto do Câncer do Estado de São Paulo (Icesp), Maria Aparecida está tentando identificar se hábitos, fatores ambientais e mutações somáticas (verificadas apenas no tumor e não hereditárias) poderiam ser outros fatores implicados no desenvolvimento da doença em jovens.

O outro braço da pesquisa tenta avaliar os efeitos hormonais no câncer de mama. Os hormônios sexuais, estrógeno e progesterona, agem como fatores promotores do câncer de mama, ao estimular a proliferação das células mamárias. Outro hormônio, a vitamina D, que é produzida na pele, a partir de 7-de-hidrocolesterol, pela ação de raios UVB, pode ter ação antiproliferativa. Este efeito, entretanto, foi demonstrado apenas em estudos *in vitro* com linhagens celulares expostas a concentrações elevadas do hormônio, as quais podem ter efeitos colaterais indesejáveis *in vivo*, como hipercalcemia. Em vista dessas evidências, o grupo da USP, em parceria com o Instituto Brasileiro de Controle do Câncer (IBCC), está estudando a ação do calcitriol, uma forma ativa da vitamina D, em concentrações não associadas a efeitos colaterais, na proliferação e expressão gênica do tumor.

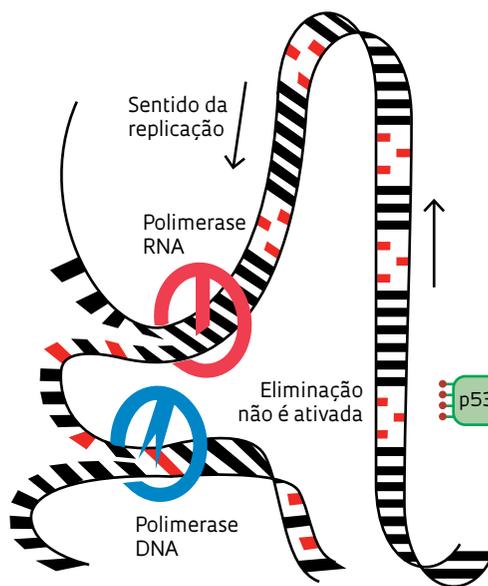
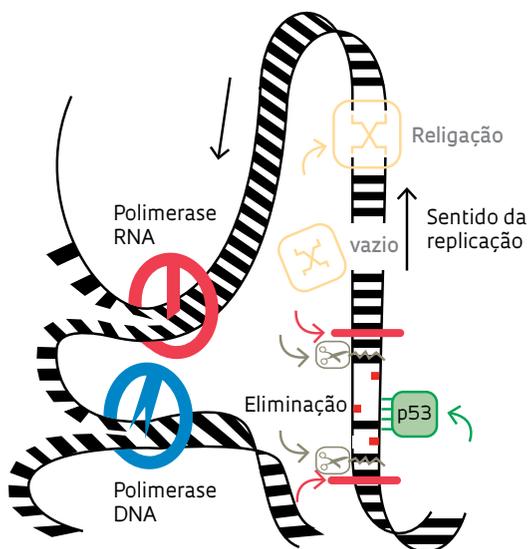
HORMÔNIOS E VITAMINAS

Após verificar que pacientes com câncer de mama apresentam tendência à insuficiência ou deficiência de vitamina D, as pesquisadoras analisaram a ação da suplementação de calcitriol por curto período (um mês) antes da cirurgia em mulheres com câncer de mama que já haviam entrado em menopausa. Nesse período a doença não progrediu – o tumor não cresceu. Entretanto, verificaram, a análise do tumor coletado antes e após esta suplementação indica que a ação da vitamina D na expressão gênica é muito sutil. O grupo avalia agora, em estudos de xenoenxerto (implante tumoral) em animais, se a injeção intratumoral de vitamina D poderia ter efeito antiproliferativo.

Marcadores genéticos poderiam avaliar previamente a eficácia da quimioterapia

Controle de qualidade

O gene p53 controla a qualidade da cadeia de DNA. Quando detecta um erro, interrompe a replicação do DNA e ativa a eliminação da parte defeituosa



Quando o p53 tem um defeito, o erro não é eliminado e a cadeia continua a ser replicada, o que leva à formação de células defeituosas

Um dos trabalhos de destaque do grupo é a busca por marcadores de resposta à quimioterapia. As equipes de São Paulo acreditam que poderiam avaliar previamente a eficácia da quimioterapia por meio de marcadores genéticos. A busca por marcadores moleculares de resposta ao tratamento se tornou mais fácil com os chamados *chips* – também denominados de microarranjos – de DNA, que permitem a análise da expressão de muitos genes simultaneamente.

Em 2005, com os *chips* de DNA desenvolvidos pelo Instituto Ludwig de Pesquisa sobre Câncer, Maria Mitzi e Maria Aparecida testaram 4.608 genes de uma vez só em amostras de RNA extraídos de tumores de mama de 51 mulheres entre 51 e 67 anos, em busca de diferenças que pudessem indicar algo novo sobre a evolução da doença. Em meio a todos esses dados, encontraram um conjunto de três genes – PRSS11, CLPTM1 e MTSS1 – que poderiam selecionar pacientes responsivas ou não ao tratamento quimioterápico, um dos grandes problemas enfrentados pelos oncologistas. Muitos tumores, nos exames, parecem perfeitamente tratáveis.

Uma das estratégias é começar pela quimioterapia, para reduzir o tamanho da massa a ser extraída cirurgicamente, e depois partir para a operação em si. Contudo, nem todas as pacien-

tes respondem da mesma maneira. Enquanto a maioria realmente apresenta uma redução da massa tumoral pelo uso da doxorubicina – o principal componente do coquetel usado na quimioterapia –, cerca de 20% parecem não reagir ao procedimento. E o mais dramático: não há como saber de antemão para quem o tratamento seria benéfico.

TESTE DE MENOR CUSTO

Dois anos atrás, Maria Mitzi e Maria Aparecida demonstraram que era possível substituir os microarranjos por uma técnica mais barata, chamada PCR (sigla para *polimerase chain-reaction*, ou reação em cadeia da polimerase), que amplifica o sinal de genes ativados por meio da multiplicação das moléculas de DNA, e apresenta um custo menor que os *chips*. Entretanto, neste estudo ainda utilizaram tumores frescos congelados.

Nos hospitais, porém, a amostra do câncer é colocada em parafina para então ser encaminhada para exames. Portanto, o próximo passo é demonstrar que é possível obter os mesmos resultados quando o RNA é extraído de material parafinado. Se conseguirem, será uma aplicação médica de um conhecimento gerado em laboratório para detectar e tratar com mais precisão uma doença complexa em seus detalhes e suas particularidades. ■

OS PROJETOS

1. Marcadores moleculares da resposta à quimioterapia neoadjuvante do câncer de mama – nº 2001/00146-8 (2001-2004)
2. Expressão gênica de fibroblastos associados a carcinomas de mama classificados em subtipos de acordo com receptores de estrógeno e progesterona e C-ERBB2 – nº 2009/10088-7 (2009-2012)
3. Sinalização heterotípica entre células epiteliais tumorais e fibroblastos no carcinoma de mama – nº 2004/04607-8 (2005-2008)

MODALIDADES

1. Linha regular de auxílio a projeto de pesquisa
2. e 3. Projeto Temático

COORDENADORA

Maria Mitzi Brentani – Faculdade de Medicina da USP

INVESTIMENTO

1. R\$ 515.088,21
2. R\$ 1.492.318,72
3. R\$ 755.501,06

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. BARROS FILHO, M. C. *et al.* Gene trio signatures as molecular markers to predict response to doxorubicin cyclophosphamide neoadjuvant chemotherapy in breast cancer patients. *Braz J Med Biol Res.* v.43, n. 12, p. 1225-31, 2010.
2. FOLGUEIRA, M. A. *et al.* Gene expression profile associated with response to doxorubicin-based therapy in breast cancer. *Clin Cancer Res.* v. 11, n. 20, p. 7434-43, 2005.
3. ROZENCHAN, P.B. *et al.* Reciprocal changes in gene expression profiles of cocultured breast epithelial cells and primary fibroblasts. *Int J Cancer.* v. 125, n. 12, p. 2767-77, 2009.

DE NOSSO ARQUIVO

Os primeiros sinais de alerta
Edição nº 115 – setembro de 2005

Mutação em gene pode definir prognóstico do câncer de mama
Edição nº 26 – novembro de 1997

BIOLOGIA

AMBIENTE **O fôlego de uma teoria 90** EVOLUÇÃO **A Galápagos brasileira 94** BIOLOGIA
EVOLUTIVA **Os pioneiros da América do Sul 98** ECOLOGIA **Jardineiras fiéis 100** AVES
BRASILEIRAS **Refrigerador natural 104** BIODIVERSIDADE **São Paulo na Amazônia 106**





Fontes de diversidade

-  Áreas de especiação
-  Refúgios (proposta do zoólogo brasileiro)
-  Refúgios (proposta do geólogo alemão)

O fôlego de uma teoria

Um lagarto da Amazônia estudado por Vanzolini reforçou a proposta de geólogo alemão sobre refúgios florestais

Eduardo Geraque

Elaborada há mais de 40 anos pelo geólogo alemão Jürgen Haffer e indiretamente pelo zoólogo brasileiro e sambista Paulo Vanzolini, a Teoria dos Refúgios, que associa a diversidade biológica na Amazônia aos períodos de clima seco e isolamento geográfico, acabou declarada como morta várias vezes ao longo destes anos por vários outros pesquisadores. Mas, como diz a música do próprio Vanzolini, ela deu a volta por cima e, com um certo grau de atualização, é considerada válida por vários grupos de pesquisa, não apenas para explicar o surgimento de espécies na Amazônia, mas também na floresta atlântica, onde tem sido aplicada.

Instalado em sua poltrona favorita na sala de seu sobrado em uma antiga vila do bairro da Aclimação, zona sul de São Paulo, Vanzolini, aos 88 anos, afirma que não fez teoria nenhuma: “Era apenas um trabalho com uma espécie de bicho. O que fiz acabou sendo trazer um exemplo prático, daquilo que o Haffer havia proposto do ponto de vista teórico. Nada

mais é do que um modelo [conceitual], que pode ser replicado, inclusive, para outras regiões”. Em, 1970, um ano depois de a revista *Science* ter publicado o artigo de Haffer propondo a teoria, Vanzolini e o pesquisador norte-americano Ernest Williams publicaram um estudo de cerca de 300 páginas sobre o surgimento de uma espécie de lagarto do gênero *Anolis* – e em momento algum usaram a expressão Teoria dos Refúgios.

Geólogo que havia estudado a distribuição geográfica das aves amazônicas, Haffer teorizava que as mudanças na vegetação seguiram reversões climáticas em virtude dos ciclos naturais durante algum período da história da Terra, causando fragmentação dos centros de origem das espécies e o isolamento de parte das respectivas biotas em refúgios ecológicos separados entre si. Na prática, o implacável curso das mudanças climáticas teria pulverizado zonas com floresta por áreas da Amazônia. Essas manchas, separadas por zonas sem vegetação serviram de palco para novas espécies e subespécies se desenvolverem. É provável que três processos tenham ocorrido nestas regiões: a especiação ou formação de novas espécies, a extinção de certas espécies e a adaptação de outras, que teriam passado sem mudanças genéticas importantes pelas alterações do ecossistema.

MANCHAS MENOS DEFINIDAS

Haffer, em uma entrevista que me concedeu em 2005 para uma reportagem no jornal *Folha de S.Paulo*, defendeu a Teoria dos Refúgios, mas não deixou de propor algumas correções de rota para o seu trabalho: “É provável que o tamanho dessas manchas de floresta úmida durante os períodos secos fosse maior e bem menos definido do que é mostrado em muitos mapas que ilustram a localização dos refúgios na floresta pluvial tropical”. Haffer morreu em 2010, aos 77 anos.

Uma das críticas feitas ao longo dos anos contra as propostas de Haffer e de Vanzolini é exatamente sobre a localização dessas tais áreas secas da Amazônia, que nunca teriam sido realmente registradas. Haffer diz que, ao longo dos anos, muitas interpretações erradas foram feitas sobre a ideia dos refúgios: “Nossos dados indicam alterações climáticas pelo menos em áreas localiza-

Teoria explica a grande biodiversidade da floresta amazônica como resultado de instabilidades climáticas há milhões de anos



Anolis chrysolepis, espécie em que Vanzolini se baseou para entender a especiação na Amazônia

das e razoavelmente regionais. É claro que extensas áreas de floresta pluvial, que é muito antiga, sempre existiram na Amazônia”.

Nos últimos anos, estudos realizados por grupos de pesquisa de São Paulo sobre o surgimento de novas espécies na mata atlântica ajudaram a reforçar a importância do modelo teórico proposto no final dos anos 1960. Pelo menos a ideia de Vanzolini e do seu colega alemão ainda pode ser considerada válida ou, no mínimo, é interessante para suscitar o debate.

Depois de trocarem correspondência sobre seus estudos por volta de 1970, eles ficaram amigos. Vanzolini gosta de dizer que Haffer mostrou generosidade, além de ser um cientista de primeiro time. “E, como bom alemão, gostava muito de cerveja”, diz. Vanzolini conta que recebeu o artigo do cientista alemão pelo correio quando seu artigo com Williams estava pronto. “Ernest, acharam que passaram a perna na gente”, disse Vanzolini, quando leu a publicação. Em pouco tempo, Vanzolini fez contato com Haffer, que imediatamente abandonou uma pesquisa de campo na África do Sul e veio ao Brasil para conhecer em detalhes os refúgios dos lagartos de Vanzolini.

Novos tempos e estudos seguem mais ou menos o mesmo caminho. Em um artigo sobre saúvas na Amazônia publicado em 2008 na revista *PLoS One*, cientistas brasileiros e norte-americanos propuseram uma espécie de reconsideração da teoria dos refúgios. Na Amazônia, segundo Maurício Bacci Jr., bioquímico da Universidade Estadual Paulista em Rio Claro, a grande explosão de diversidade das formigas ocorreu mesmo com a barreira geográfica imposta no momento em que os rios da região estavam em formação. Segundo ele, a superdiversificação de espécies de saúvas seria algo recente, ocorrida por volta de 2 milhões de anos atrás. Entre os rios da região, é possível que os ninhos de saúva tenham se deslocado boiando, sobre plantas.

As análises genéticas indicaram que, além da Teoria dos Refúgios, outro processo importante – e anterior – de mudança na paisagem amazônica foi determinante para a diversificação das formigas na região. Há 15 milhões de anos, antes de o rio Amazonas se for-



Aos 88 anos, Paulo Vanzolini está pessimista quanto à preservação da Amazônia

mar, o aumento do nível dos oceanos fez as águas marinhas invadirem a região, o que, para os cientistas, teria iniciado o isolamento de certas áreas amazônicas, que viraram verdadeiras ilhas. A fragmentação do ambiente, depois, teria então sido realçada pelos refúgios. De acordo com esse trabalho, a grande diversificação de espécies de formigas ocorreu entre 14 milhões e 8 milhões de anos atrás.

O modelo de áreas isoladas durante certo tempo proposto para a Amazônia, guardadas as devidas proporções, pode ajudar a explicar muito o porquê de a mata atlântica ser tão diversificada. A ecóloga Cinthia Brasileiro, da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), defende que vários centros de especiação, verdadeiros núcleos de fabricação de espécies, devem ter existido entre a Bahia e São Paulo.

A hipótese dos refúgios para a floresta atlântica ganhou forma com base na avaliação de dados genéticos de duas espécies de rãs. O estudo de filogeografia (mapeamento das diversidades genéticas de uma espécie ao longo do tempo) indica que realmente algumas áreas da mata permaneceram florestadas e mais ou menos estáveis do ponto de vista climático por milhões de anos. Nesses locais, não houve grandes secas, nem épocas de frio excessivo. O nível do oceano, também, não registrou grandes oscilações.

Ao longo dos últimos 12 milhões de anos, vários refúgios existiram em regiões geográficas diferentes do litoral brasileiro, portanto. No caso do litoral paulista, é provável que uma área tenha se formado entre São Sebastião e Cananeia. Quando, por exemplo, o mar desceu ao redor desse

Modelo proposto também é válido para a evolução observada em outras regiões, como a mata atlântica

centro, novas áreas secas surgiram. Elas passaram a ficar florestadas por mais tempo e, neste caso, a colonização por parte das espécies também começou a ocorrer nessas regiões. É mais ou menos como Vanzolini e Haffer pensaram para a questão da especiação que ocorreu na região amazônica.

Independentemente de o modelo proposto ser 100% válido, está claro que definições como fragmentos, isolamentos, alterações climáticas e estabilidade ambiental estão sempre envolvidas com o desenvolvimento de novas espécies. O que significa dizer que o debate levantado pelos refúgios passa a ser mais atual do que nunca. Como as atividades antrópicas estão aumentando a velocidade das mudanças climáticas e, também, diminuindo a área florestada em várias regiões do mundo, é provável que exista um processo, até certo ponto oculto, contra a especiação também em curso. Os resultados disso ainda são imprevisíveis.

Esses temas como mudança climática e extinção da biodiversidade deixam Vanzolini bastante pessimista com a preservação do ambiente amazônico, que ele conheceu tão bem em expedições quase anuais, durante décadas – cada vez ele ficava por lá no mínimo três meses. “A Amazônia acabou”, diz ele. “Tem muita soja e gado por lá. O povo amazônico, que precisa sobreviver, também é o maior interessado em que essas atividades econômicas entrem cada vez mais por lá.” ■

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. HAFER, J. e PRANCE, G. T. Impulsos climáticos da evolução na Amazônia durante o Cenozoico: sobre a Teoria dos Refúgios da diferenciação biótica, *Estudos Avançados*. v. 16, n. 46, 2002.
2. SCHULTZ T. R. e BRADY, S.G. Major evolutionary transitions in ant agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. Early Edition (March 24), 2008.
3. VANZOLINI, P. E. e WILLIAMS, E. E. South American anoles: the geographic differentiation and evolution of the *Anolis chrysolepis* species group (Sauria, Iguanidae). *Arq. Zool.* v.19, n. 1-2, p. 1-176, 1970.

DE NOSSO ARQUIVO

A obra de uma vida
Edição nº 175 – setembro de 2010

Refúgios abalados
Edição nº 129 – novembro de 2006

Um tesouro à beira do Velho Chico
Edição nº 57 – setembro de 2000



A Galápagos brasileira

Os lagartos das dunas do São Francisco – alguns parecendo cobras
– expressam histórias evolutivas próprias

TEXTO **Carlos Fioravanti** FOTOS **Miguel Rodrigues**

Trinta e dois anos depois da primeira expedição às dunas do rio São Francisco, o biólogo Miguel Trefaut Urbano Rodrigues, da Universidade de São Paulo (USP), ainda se surpreende com “aquela fauna maluca”, como ele diz. Em 1980, aos 27 anos, ainda mais magro que hoje, ele percorreu os arredores de Santo Inácio, município então com 200 moradores no norte da Bahia, sob um sol impiedoso, e se admirou com a diversidade de animais semelhantes: as espécies irmãs, com pequenas diferenças de aparência ou constituição genética. Os bichos quase iguais entre si viviam nas dunas de cada lado do rio, depois de terem se diferenciado a partir de um ancestral comum e seguido caminhos evolutivos próprios a partir do momento

em que o rio – ali, com 200 a 300 metros de largura – as separou.

Da primeira viagem já trouxe uma espécie nova de lagarto, hoje chamada de *Eurolophosaurus amathites*, que só vive ali. Em outras expedições, ele e sua equipe encontraram animais que ainda não haviam sido descritos, como uma cobra de duas cabeças e uma cobra subterrânea, ambas com espécies-irmãs do outro lado do rio. No Saara brasileiro, com 7 mil quilômetros quadrados ao longo de 120 quilômetros do rio, já identificaram quase 30 espécies e oito gêneros novos de lagartos exclusivos (endêmicos): é mais do que nos desertos norte-americanos ou africanos. Ali – e só ali – vive também um roedor de 20 centímetros, o rabo-de-facho, e um bacurau de 20 centímetros de altura igualmente adaptados às



dunas do São Francisco. As dunas exibem uma diversidade biológica comparável ao arquipélago de Galápagos, em cuja fauna Darwin se baseou para elaborar a teoria da evolução dos seres vivos.

Nos últimos anos, Rodrigues e sua equipe de 20 pesquisadores estão elucidando os mecanismos genéticos e evolutivos que nortearam a diferenciação de lagartos de no máximo 5 centímetros de comprimento. As espécies mais antigas de um mesmo gênero taxonômico de lagartos ainda parecem lagartos, com o corpo curto e membros, digamos, normais. As espécies que começaram a se formar nos últimos milhares de anos, porém, foram perdendo dedos, os membros encolheram ou desapareceram e o corpo se alongou, a ponto de algumas espécies de lagartos parecerem uma cobra apenas com pequenos apêndices do que teriam sido as patas dianteiras em seus ancestrais.

Os biólogos acreditavam que a perda de estruturas complexas como os membros não tinha volta – é a chamada lei da irreversibilidade da evolução ou Lei de Dollo, em homenagem ao naturalista belga Louis Dollo, que a apresentou em 1890. No entanto, uma das linhagens de lagartos com membros reduzidos mostrou que a volta é possível. Em colaboração com Rodrigues, Tiana Kohlsdorf, com sua equipe da USP de Ribeirão Preto, estudou 15 espécies de lagartos do gênero *Bachia*, que vivem por toda a América do Sul; as mais antigas tinham membros com cinco dedos e as mais recentes, com quatro, três, dois – e novamente três. “Há uma reversão, já que a informação genética não se perdeu, mas é como se fosse

uma evolução de novo, porque os dedos que reaparecem não são exatamente iguais”, diz Tiana.

Ela, Rodrigues e colegas da Universidade Yale, dos Estados Unidos, apresentaram essas conclusões em 2006 na revista *Evolution*. Receberam tantas críticas, que tiveram de contra-argumentar, em 2010, também na *Evolution*, acalmando o debate. “Com base nas ferramentas de análise estatística que desenvolvemos”, diz Tiana, “grupos de outros países começaram a mostrar reversão de asas em insetos e em outros animais”.

Enquanto o debate corria, os biólogos da USP verificaram que em pelo menos dois gêneros de lagartos exclusivos das dunas, *Calyptommatus* e *Nothobachia*, a perda de membros é irreversível: os animais guardam apenas minúsculos apêndices do que já foram membros anteriores e se parecem muito com cobras. “Não sabemos por que só as *Bachias* conseguem reverter a perda de membros”, reconhece Tiana.

Juliana Rossito, pesquisadora do grupo de Rodrigues, examinou embriões e adultos de *Calyptommatus* em vários estágios de desenvolvimento para entender como a perda de membros poderia ter ocorrido. Ela observou que o fêmur começa a se formar no embrião, entre o quinto e o décimo sexto dia, mas depois desaparece. Suas análises indicaram que os lagartos desse gênero estão prontos para nascer em um mês – e não seis, como os das espécies mais próximas –, talvez por efeito da temperatura ou da escassez de água. “Por meio da seleção natural”, diz Rodrigues, “essa espécie encontrou uma forma de acelerar o desenvolvimento”.

Seres das areias do norte da Bahia, com e sem patas (da esquerda para a direita): *Tropidurus amathites*, de Santo Inácio; *Nothobachia ablephara* e *Calyptommatus leirolepis*, de Alagoado; *Tropidurus pinima*, de Santo Inácio

Segundo ele, a redução de patas e o alongamento do corpo podem ter surgido na história evolutiva dos lagartos da família *Gymnophthalmidae*, com 45 gêneros, incluindo *Bachia* e *Calyptommatius*, como uma consequência de adaptações que lhes permitiram evitar temperaturas extremas. Desse processo resultaram espécies que conseguem se enterrar, fugindo de predadores, do frio ou do calor, que pode chegar a 50 graus sobre a areia. Estima-se que em toda a história dos lagartos essas transformações devem ter ocorrido pelo menos duas dezenas de vezes, favorecendo a origem de lagartos peculiares, às vezes um tanto repugnantes, e um grupo de animais com fama e hábitos próprios – as serpentes.

Para entender como e por que os lagartos estão se tornando capazes de viver enterrados em túneis ou cavernas, Agustín Camacho filmou e analisou centenas de testes comparando a locomoção, a capacidade de fuga e os hábitos alimentares de 12 espécies de lagartos da família *Gymnophthalmidae* em câmaras com areia em laboratório. “O corpo alongado e a ausência de patas parecem favorecer o desempenho dos lagartos fossoriais, que conseguem fugir de predadores mais rapidamente, se alimentam mais e se enterram mais facilmente que os com patas”, ele concluiu. “Mas ainda não é possível dizer qual o morfotipo mais adaptado à vida na areia, porque mesmo as espécies com quatro patas são abundantes, sobrevivem bem e podem ser vistas às dezenas nas dunas.” Segundo ele, lagartos de desertos da Austrália viveram uma história evolutiva semelhante.

Camacho representa a segunda geração de biólogos na trilha dos bichos esquisitos das areias do norte da Bahia. Ele estudou biologia na Andaluzia, Espanha, mas “estava louco para vir para os trópicos”, ele conta. Veio para um curso rápido sobre animais peçonhentos e lagartos em 2002 em São Paulo, voltou à Espanha, terminou o curso e no final de 2003 se mudou para Salvador para fazer o mestrado na Universidade Federal da Bahia. Seu orientador, Pedro Rocha, tinha feito o doutorado sobre ecologia de lagartos das dunas do São Francisco, orientado, por sua vez, por Rodrigues. No final de 2007, ele se mudou para São Paulo e agora trabalha em seu doutorado em um mezanino sobre a sala de Miguel Rodrigues.

Rodrigues mantém o mesmo método de trabalho de quando começou estudar cobras e lagartos, há 40 anos, comparando características externas como o número e a forma de escamas, o comprimento do corpo e a forma dos olhos, para reconhecer uma nova espécie e construir a filogenia – a ordem de aparecimento de um grupo de animais semelhantes, começando pelos mais antigos. Kátia Pellegrino, professora na Universidade Federal de São Paulo, se vale de outra abordagem e começou a ver o parentesco

entre os lagartos comparando 10 genes. Muitas vezes as análises de DNA indicam que as análises obtidas com base em caracteres externos precisam ser revistas.

Rodrigues e seu grupo de trabalho estão vendo como ambientes restritos podem limitar a formação de espécies novas, com características e hábitos únicos. Os bichos que vivem nas dunas são tão especializados que não sobrevivem – nem entram – na caatinga vizinha; os animais típicos da caatinga, por sua vez, só entram marginalmente nas dunas. Mesmo ali dentro os animais se especializaram em ambientes diferentes. Algumas espécies de lagartos vivem apenas sobre grupos de rochas e não atravessam as áreas de caatinga que separam os afloramentos rochosos.

DO OUTRO LADO DO ATLÂNTICO

Rodrigues observou o mesmo fenômeno – populações isoladas de *Platysaurus*, lagartos de outra família, mas muito parecidos com os de um dos grupos de *Tropidurus*, que também têm corpo achatado e só vivem entre pedras – em Moçambique, para onde foi pela primeira vez em 2007. Seu plano é voltar em 2013 e fazer um levantamento de lagartos e cobras de norte a sul do país, com outros biólogos brasileiros e moçambicanos. Querem ver se as populações de lagartos desse gênero na África teriam se originado na mesma época que os do Nordeste brasileiro; se sim, poderiam contar histórias paralelas de terras que estiveram próximas há milhões de anos.

Os lagartos da Bahia





As dunas em Santo Inácio: espaço único que abriga espécies-irmãs, com histórias evolutivas distintas

Bichos parecidos, porém, podem ter histórias bem diferentes. Em 2008, comparando trechos do DNA de 10 populações de lagartos do gênero *Eurolophosaurus*, José Carlos Passoni, Maria Lúcia Benozzati e Rodrigues, todos da USP, mostraram que uma das espécies, o *Eurolophosaurus divaricatus*, um lagarto de 25 centímetros de comprimento que vive na margem esquerda do São Francisco, teria surgido há 5,5 milhões de anos. Os habitantes da margem oposta seriam mais recentes, o *E. nanuzae* com 3,5 milhões de anos e o *E. amathites* com pelo menos 1,5 milhão de anos.

Os cálculos sobre a origem dessas espécies de lagartos superaram largamente os modestos 15 mil anos antes concluídos com base em dados geomorfológicos. Teria sido nessa época que o rio, à medida que o relevo se modificava, teria desviado seu curso do interior para o mar. As lagoas internas em cujas margens os lagartos tomavam sol podem ter se desfeito ou o rio incorporado parte da margem esquerda ao seguir para leste e não mais para oeste. Segundo Rodrigues, a separação entre as margens norte e sul deve ter se completado entre 10 milhões e 8 milhões de anos.

Agora lhe parece claro que os rios – e não só o São Francisco – funcionam como barreira geográfica para a formação de novas espécies de répteis e anfíbios. Anos atrás, Kátia, Rodrigues e outros biólogos mostraram a validade dessa idéia com uma espécie de lagartixa da mata atlântica, a *Gymnodactylus darwinii*. As populações dessa espécie encontradas ao norte e ao sul do rio Doce, que drena áreas de Minas Gerais e do Es-

pírito Santo, antes consideradas próximas, não se mostraram mais tão próximas, uma tem 38 e outra 40 cromossomos.

Antoine Fouquet, francês que fez o pós-doutorado com Rodrigues, concluiu que as florestas da Guiana foram um refúgio biológico importante para a diferenciação da fauna amazônica nos últimos milhares de anos. Curiosamente, veio das Guianas a primeira espécie de cobra que Rodrigues identificou, em 1978, quando ainda cursava biologia em Paris (ele fez a graduação no exterior e a pós-graduação no Brasil). A primeira espécie brasileira, em 1980. Foram quantas, no total? “Nunca contei”, desconsidera, entre a modéstia e a impaciência para cálculos. Em 2010, Peter Uetz, do J. Craig Venter Institute, dos Estados Unidos, teve paciência e contou. Resultado: em um artigo na revista *Zootaxa* sobre os 40 biólogos que mais descreveram espécies de répteis no mundo desde o século XVIII, Rodrigues é o único brasileiro da lista, em 35º lugar, com 53 espécies descritas – hoje são mais de 60.

Miguel Trefaut Rodrigues já pegou malária, dengue e muitas outras doenças por andar no mato, geralmente à noite, atrás dos bichos que o deixam feliz; uma parte das agruras das viagens e da produção intelectual desse grupo está no site do laboratório: www.ib.usp.br/trefaut. Ele sabe que fez muito, mas também se inquieta diante do que está por ser feito e do que já pode ter sido perdido. “Não sabemos nada. Cada vez mais percebe que somos completamente ignorantes”, ele diz. “Há espécies irmãs de lagartos nos Andes e na restinga da floresta atlântica. Cadê o resto? Desapareceu!” ■

OS PROJETOS

1. Estudos sobre a ecologia e diferenciação da fauna de répteis das dunas do médio rio São Francisco (*Lepidosauromorpha, squamata*) – nº 1996/03554-0 (1997-2002)
2. Sistemática e evolução da herpetofauna neotropical – nº 2003/10335-8 (2004-2011)
3. Filogeografia comparada, filogenia, modelagem paleoclimática e taxonomia e répteis e anfíbios neotropicais – nº 2011/50146-6 (2012-2016)

MODALIDADE

1. 2. e 3. Projeto Temático

COORDENADOR

1. 2. e 3. Miguel Trefaut Urbano Rodrigues – IB/USP

INVESTIMENTO

1. R\$ 388.398,04
2. R\$ 975.589,35
3. R\$ 1.747.802,04

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. KOHLSDORF T. e WAGNER G. P. Evidence for the reversibility of digit loss: a phylogenetic study of limb evolution in Bacteria (Gymnophthalmidae: Squamata). *Evolution*. v. 60, n. 9, p. 1896-912, 2006.
2. FOUQUET, A. *et al.* Molecular phylogeny and morphometric analyses reveal deep divergence between Amazonia and Atlantic Forest species of *Dendrophryniscus*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. v. 62, p. 826-38, 2012.
3. AMARO, R. C. *et al.* Demographic processes in the montane Atlantic rainforest: Molecular and cytogenetic evidence from the endemic frog *Proceratophrys boiei*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. v. 62, p. 880-88, 2012.

DE NOSSO ARQUIVO

Entre cobras e lagartos
Edição nº 169 –
março de 2010

Aos pés dos dinossauros
Edição nº 154 –
dezembro de 2008

Um tesouro à beira do Velho Chico
Edição nº 57 –
setembro de 2000

Os pioneiros da América do Sul

Gambás e outros marsupiais brasileiros antecedem os cangurus australianos na escala evolutiva

Francisco Bicudo

Entre levantamentos bibliográficos, análises em laboratório e coletas de campo, a jornada diária de trabalho pode chegar a 12 horas. É cansativo, mas o esforço extra se justifica: até o final de 2012, Ariovaldo Cruz Neto, pesquisador da Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Rio Claro, pretende recolher informações preciosas sobre o metabolismo energético – produção e gasto de energia, basicamente – de dez espécies de marsupiais que vivem na América do Sul. Do outro lado do planeta, pesquisadores australianos que participam do projeto aceleram o passo e querem contribuir com descrições de outras trinta espécies que vivem por lá.

“Na literatura internacional, já compilamos informações para um banco de dados com trabalhos sobre cerca de 70 espécies, feitos nas três últimas décadas. Com as novidades, vamos ultrapassar a centena”, comemora Cruz Neto. Ele explica que conhecer hábitos de consumo e identificar como os marsupiais acumulam e queimam energias é fundamental para compreender as relações que estabelecem com o meio em que vivem, como se adaptam a diferentes condições de clima, como respondem à disponibilidade de recursos naturais, de que maneira partilham seus nichos com espécies similares, além dos hábitos reprodutivos. A partir desses dados, torna-se possível simular como se comportariam em cenários de dificuldades e de rupturas, como mudanças climáticas, fragmentação do hábitat ou presença de predadores ou de espécies exóticas.

“O metabolismo energético é uma medida altamente integrativa e representativa, que exprime tanto a pressão que o ambiente exerce sobre o animal como as respostas que os bichos desenvolvem para sobreviver naquele hábitat”, define o



Catita (*Marmosa sp./ Thylamys*) na caatinga, no Parque Nacional da Serra da Capivara (PI)

pesquisador da Unesp. “Além disso, observando e comparando o funcionamento do metabolismo, conseguimos colaborar com o entendimento da história evolutiva das espécies e construímos relações de parentesco”, completa. Ainda que preliminares, os estudos desenvolvidos pelo grupo coordenado por ele sugerem que os marsupiais da América do Sul são os pioneiros na escala evolutiva – os australianos vieram depois e são parentes mais jovens daqueles que vivem no continente americano.

O enredo científico até aqui apurado pela equipe de Cruz Neto, sempre em parceria com os australianos, indica que os marsupiais surgiram na América do Sul, há aproximadamente 160 milhões de anos. Por conta da competição estabelecida com os vorazes roedores (ratos, esquilos, castores e até a capivara), procuraram refúgio em nichos chamados de baixa energia, onde desenvolveram dietas à base principalmente de pequenos insetos, o que foi suficiente para dar conta das necessidades de sobrevivência deles e para sustentar o metabolismo mais lento que caracteriza os marsupiais. A maioria das quase 90 espécies da América do Sul pesa entre 10 gramas e 1 quilograma e vive geralmente em florestas. Os mais conhecidos são o gambá, a cuíca e a catita.

Há 60 milhões de anos, por trechos da Antártida que foram usados como pontes (os continentes estavam ainda bem mais próximos), começaram a chegar à Austrália. Como não encontraram competidores que precisassem enfrentar por lá, tiveram liberdade para explorar outros ambientes, como túneis, florestas mais úmidas e até desertos, diversificando a dieta e alimentando-se, além de insetos, de açúcares, néctar, frutos e até de carne. A Austrália abriga atualmente quase 200 espécies de marsupiais. A mais conhecida é o canguru, que pode alcançar o tamanho de um homem adulto e pesar até 70 quilos. No entanto, explica Cruz Neto, essa diversificação morfológica não significou mudanças no metabolismo energético. “O padrão fisiológico de baixo consumo e gasto foi mantido como marca da espécie. Nesse sentido, não houve pressão de seleção”, reforça.

Na revista *Pesquisa FAPESP* nº 179, de janeiro de 2011, o pesquisador da Unesp conta que, depois de concluir as análises sobre os metabolismos de duas espécies de cuíca da América do Sul

(*Gracilinanus agilis* e *Micoureus paraguayanus*), constatou que a primeira apresentou temperatura corporal média de 33,5 graus Celsius; a outra, de 33,3 graus Celsius. Foi avaliada também a taxa metabólica basal, índice que mostra o nível mínimo de energia de que o animal necessita para manter em bom funcionamento as funções vitais do corpo. Para alcançar esse número, as espécies gastam, respectivamente, 4,8 quilocalorias (kcal) e 5,5 kcal por dia. Ao comparar os números encontrados, Cruz Neto confirmou que tanto a temperatura corporal quanto a taxa metabólica eram muito parecidas com as verificadas em marsupiais australianos que já tinham sido estudados e descritos. Segundo o pesquisador, é como se os marsupiais tivessem uma mala com roupas que lhes permitissem viver em diferentes ambientes. “Uma vez marsupial, sempre marsupial, apesar das evoluções diferentes”, sentencia.

Estudo feito por pesquisadores da universidade alemã de Münster e publicado pela *PLoS Biology* em julho de 2010 conseguiu revelar que o pequeno *monito del monte* (*Dromiciops gliroides*), que pesa apenas 25 gramas e vive nas matas do Chile e da Argentina, é provavelmente o ponto de encontro,

o ancestral vivo mais antigo e comum aos dois grupos – é encontrado na América do Sul, mas é fisicamente muito mais parecido com os representantes australianos do grupo.

A dispersão pelos continentes fez surgir ainda a exclusividade. A cuíca-d'água (*Chironectes minimus*), que mede 30 centímetros, tem cauda longa e manchas negras espalhadas pelo corpo acinzentado, é uma espécie aquática; já a cuíca-de-cauda-grossa (*Lutreolina crassicaudata*), parecida com a lontra, é semiaquática. As duas são encontradas apenas na América do Sul. Por outro lado, são endêmicas da Austrália a *Tarsipes rostratus*, popularmente conhecida como gambá do mel, por se alimentar de néctar, e o *Sarcophilus harrisi*, o famoso e temido demônio da Tasmânia, que é carnívoro e recebeu o apelido justamente por ameaçar os rebanhos domésticos das regiões onde vive. “Nenhum marsupial da América do Sul segue essas dietas”, diz Cruz Neto, reforçando que os dados são ainda preliminares e que detalhes ainda mais precisos poderão surgir até o final do ano, quando espera concluir e publicar os estudos. ■

Marsupiais procuraram refúgio em nichos de baixa energia e escaparam da competição com roedores

O PROJETO

Energética de morcegos e marsupiais: bases estruturais e significado funcional da taxa metabólica basal – nº 2000/09968-8 (2001-2004)

MODALIDADE
Jovem Pesquisador

COORDENADOR
Ariovaldo Pereira da Cruz Neto – Unesp

INVESTIMENTO
R\$ 441.455,78

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. ASTÚA, D. Cranial sexual dimorphism in New World marsupials and a test of Rensch's rule in Didelphidae. *Journal of Mammalogy*. v. 91, n. 4, p. 1011-24. 2010.
2. COOPER, C.E.; WITHERS, P.C.; CRUZ-NETO, A.P. Metabolic, ventilatory and hygric physiology of a South American marsupial, the long-furred woolly mouse opossum. *Journal of Mammalogy*. v. 91, p 1-10. 2010.

DE NOSSO ARQUIVO

Os mamíferos da discórdia
Edição nº 192 – fevereiro de 2012

Buenos días, cangurus
Edição nº 179 – janeiro de 2011

Jardineiras fiéis

Formigas ajudam sementes a germinar na mata atlântica e no cerrado

Maria Guimarães



Quando viu a polpa de um fruto de jatobá aberto ser devorada por formigas numa floresta, em meados dos anos 1990, o biólogo Paulo Oliveira, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), começou a duvidar da noção difundida de que esses insetos sociais têm um papel desprezível na ecologia das sementes. Cerca de 15 anos depois, o grupo de pesquisa imerso na intimidade das relações entre plantas e formigas mostra que os pequenos animais não só arrastam as sementes para locais mais propícios como as limpam, facilitando a germinação. “A dispersão de sementes nos trópicos é muito mais complexa do que se achava”, comenta Oliveira.

Quase todos os holofotes dos estudos sobre ecologia de dispersão de sementes estão voltados para aves, macacos e outros vertebrados atraídos pelos frutos coloridos e com polpa saborosa de nove entre dez espécies de árvores e arbustos de grande porte. Esses animais carregam os frutos por grandes distâncias e lançam as sementes ao solo. Se o fruto cai por acidente, ele ainda pode estar quase intacto, mas mesmo depois de passar pelo sistema digestivo muitas vezes ainda resta um bom tanto de polpa.

O que acontece no chão, entretanto, passou praticamente despercebido até Oliveira fincar aí um dos fios condutores de seu grupo de pesquisa. Um dos produtos vem do doutorado de Alexander Christianini, agora professor no *campus* de Sorocaba da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Ele e Oliveira mostram que no cerrado de Itirapina, no interior de São Paulo, formigas de cinco gêneros recolhem as sementes que chegam ao chão e sugerem, em artigo de 2009 na *Oecologia*, um papel importante para as formigas depois que as aves transportaram as sementes para bem longe da árvore-mãe: o serviço mais detalhado de jardinagem.

Aves e macacos costumam depositar as sementes debaixo de alguma árvore. Os restos de polpa então atraem as formigas, que levam nacos para dentro do formigueiro. “A semente fica limpinha no chão da floresta”, conta Oliveira, “impedindo que fungos se instalem e acabem por matar o embrião da planta”. Além disso, algumas formigas carregam as sementes até o formigueiro, que o pesquisador descreve como “uma ilha de nutrientes”, já que ali estão pedaços descartados de plantas e restos de formigas mortas e outros insetos.

Almoço bem pago: ataque a lagartas e transporte de frutos trazem benefícios às plantas



O jatobá (*Hymenaea courbaril*) despertou a curiosidade do pesquisador. Num experimento, com colegas da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Rio Claro e da Universidade Federal de Mato Grosso, ele mostrou que 70% das sementes limpas pelas formigas brotaram, o que só aconteceu com 20% das que não foram tratadas pelas pequenas jardineiras. De 1995 para cá, essa linha de pesquisa deu origem a seis doutorados que revelaram que essa relação é bastante generalizada na mata atlântica e no cerrado.

PRESAS FÁCEIS

Durante sua estadia no laboratório de Oliveira nos anos 1990, Marco Pizo se concentrou sobre interações entre plantas e formigas na mata atlântica e mostrou que o arilo nutritivo vermelho em torno das sementes da canjerana (*Cabralea canjerana*) atrai formigas carnívoras. “Para as formigas carnívoras os frutos ricos em proteínas e gorduras são como insetos que não brigam, não mordem e não saem correndo”, compara Oliveira. Pizo, agora na Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Rio Claro, espalhou sementes com e sem polpa pelo chão da floresta, protegidas

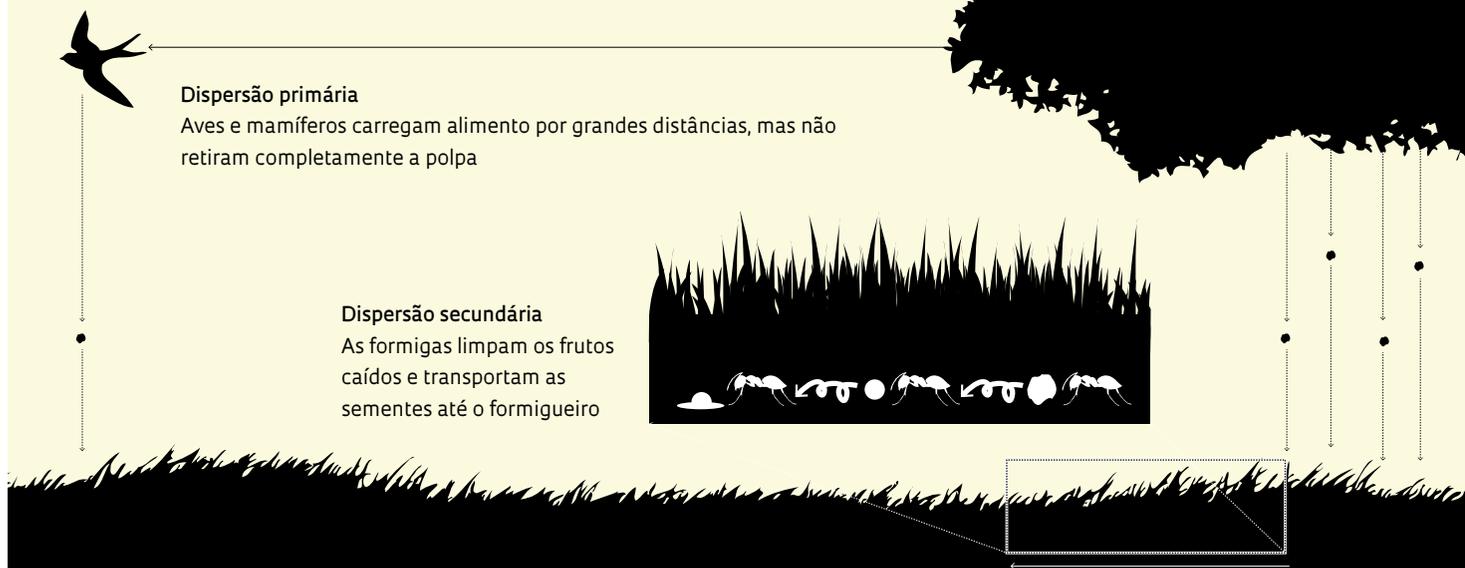
por pequenas gaiolas para evitar que fossem recolhidas por animais maiores. Ficou claro que as formigas preferem as sementes com polpa (71% da parte vermelha é gordura) e que essas sementes germinam muito mais depressa depois de semeadas pelos pequenos insetos, conforme artigo destacado na capa do *American Journal of Botany* em 1998.

Provado que as formigas transportam sementes, restava verificar se essa dispersão é direcionada ou aleatória. Durante o doutorado com Oliveira, Luciana Passos investigou as relações entre plantas e formigas na mata de restinga da Ilha do Cardoso, no litoral sul paulista. Parte da mata atlântica, essa floresta é menos exuberante por crescer em solo mais pobre e arenoso. Ela espalhou pedaços de sardinha pela ilha para atrair formigas carnívoras, que a conduziram de volta aos ninhos – 21 deles.

Em artigo publicado em 2002 no *Journal of Ecology*, Luciana conta o que acontece com os frutos ricos em óleo da árvore *Clusia criuva*, ou clúsia, que produz numa estação por volta de 5.800 frutos com, ao todo, 25 mil sementes. Boa parte delas (83%) acaba nas fezes de 14 espécies

Passos da sementeira

Frutos podem percorrer caminhos diversos da árvore ao solo



diferentes de aves. A pesquisadora viu que as sementes que caem ao chão são transportadas por até 10 metros pelas formigas *Odontomachus* e *Pachycondyla*, carnívoras da subfamília das poneríneas, que “têm uma picada dolorida como se fossem marimbondos”, conta Oliveira.

Mas a história não acaba aí. Luciana investigou mais a fundo e viu que essas formigas removem 98% das sementes que chegam às fezes das aves ainda não completamente digeridas. A bióloga então contou os jovens brotos de clúsias e encontrou um número desproporcional junto aos formigueiros – o dobro do que viu no resto da mata. Além disso, ela manteve o censo de plantas jovens ao longo de um ano e viu que ao redor dos formigueiros elas têm chances significativamente maiores de sobreviver. Luciana mandou amostras desse solo para análise no Instituto Agronômico de Campinas e verificou que ele é mais rico em nitrogênio e potássio do que o resto da floresta, graças aos detritos acumulados pelas formigas.

O mesmo acontece com a maria-faiceira (*Guapira opposita*), cujos frutos pretos de cabo vermelho atraem aves como o araçaripoca e a saíra-sete-cores e têm alto teor de proteínas (28%), de acordo com artigo de 2004 na *Oecologia*. As formigas *Odontomachus* carregam as sementes por até 4 metros e em

torno de seus ninhos – onde a terra é muito mais fofo, além de mais rica em potássio, fósforo e cálcio – se aglomeram brotos.

Alexander Christianini deu um passo além e demonstrou que o desmatamento do cerrado invalida o efeito positivo das formigas na ecologia das plantas. Já se sabe que o miolo das ilhas de floresta é mais fresco e úmido do que a fronteira com áreas desmatadas. O pesquisador mostrou que as formigas gran-

des também são mais comuns no interior do cerrado, onde o solo é mais rico em nutrientes e mais macio. Ao longo de um ano de monitoramento, 92% das colônias de formigas do interior da ma-

ta persistem, ante só 30% nas bordas. Como ali também as plantas germinam melhor junto aos formigueiros, jovens plantas nas bordas têm cerca de 0,2% de chances de sobreviver ao primeiro ano de vida. Esses resultados deixam claro que o desmatamento tem efeitos nocivos tanto sobre as formigas quanto sobre as plantas, e que esses efeitos se somam. Mas, com seu talento de jardineiras, as formigas podem ajudar a recuperar uma floresta alterada, contribuindo para a germinação das sementes.

Isso quando as condições adversas não impedem seu trabalho. Na mata atlântica, a fragmentação prejudica os benefícios da população de formigas sobre a regeneração da floresta, segundo tese de Gabriela Bieber defendida no início de 2012. “As formigas grandes são mais exigentes e não ficam nas bordas das florestas”, explica Oliveira. Além disso, o trabalho também mostrou que os insetos têm preferência por frutos já manuseados ou mordidos por animais maiores, cuja presença fica muito reduzida em trechos pequenos de mata.

O grupo da Unicamp vem descobrindo muito mais sobre as funções ecológicas desses soldados e operários em miniatura. Algumas plantas produzem substâncias para atrair formigas, que retribuem

70%
das sementes
limpas por
formigas
germinaram,
e sem o
tratamento,
só 20%



Para a predadora *Pachycondyla striata*, outras espécies, como o *Odontomachus chelifer*, servem de alimento

servindo como tropas de defesa. É o caso do pequi (*Caryocar brasiliense*), planta típica de cerrado que dá frutos muito apreciados na culinária da região central do país. As formigas se deliciam com o néctar que brota de glândulas nos botões das flores do pequi e atacam outros insetos, como lagartas. Sebastián Sendoya, aluno de Oliveira e André Freitas, mostrou que as borboletas *Eunica bechina*, especializadas em depositar seus ovos nas folhas do pequi, sobrevoam as plantas e detectam formigas predadoras. O trabalho, publicado em 2009 na *American Naturalist*, indica que a sofisticação visual das borboletas lhes permite pôr ovos em folhas seguras e até reconhecer formigas inofensivas.

Mas formigas e lagartas nem sempre são adversárias. Num exemplo da rica diversidade dessas relações, as borboletas *Parrhasius polibetes* escolhem pôr ovos em plantas repletas de formigas, segundo trabalho de Lucas Kaminski – outra coorientação de Oliveira com André Freitas – publicado em 2010 na *American Naturalist*. O trabalho foi feito numa área de cerrado na região de Campinas e mostrou que as borboletas escolhem pôr ovos em ramos onde há formigas pastoreando cigarrinhas (*Guayaquila xiphias*) produtoras de uma secreção açucarada. Ao proteger seu precioso gado, as formigas

criam ali uma zona protegida de outros inimigos, como aranhas ou vespas, o que para as borboletas em formação pode significar uma taxa de sobrevivência seis vezes maior.

Boa parte dessa história, com mais detalhes, está no que Oliveira considera o trabalho mais importante de sua vida: o livro *The ecology and evolution of ant-plant interactions*, que ele escreveu em parceria com seu colega mexicano Victor Rico-Gray. Publicado em 2007 pela Chicago University Press, o livro é uma ampla revisão das interações ecológicas que se conhece entre formigas e plantas. “As pessoas dão mais importância aos vertebrados porque são os animais que enxergam com mais facilidade”, protesta o biólogo da Unicamp, “mas na Amazônia o peso seco de invertebrados é quatro vezes maior do que o de vertebrados”. E as formigas, cujas colônias podem chegar a milhões de operárias, são os mais numerosos entre os invertebrados. ■

OS PROJETOS

1. Ecologia e comportamento de formigas neotropicais – nº 2008/54058-1 (2008-2011)
2. Estudos sobre formigas neotropicais: interações com insetos herbívoros, ecologia comportamental e organização social – nº 2011/18580-8 (2012-2013)

MODALIDADE

1. e 2. Auxílio Regular a Projeto de Pesquisa

COORDENADOR

1. e 2. Paulo S. Oliveira – Instituto de Biologia, Unicamp

INVESTIMENTO

1. R\$ 113.080,54
2. R\$ 145.747,07

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. KAMINSKI, L. A. *et al.* Interaction between mutualisms: Ant-tended butterflies exploit enemy-free space provided by ant-treehopper associations. *The American Naturalist*. v. 176, n. 3, p. 322-34. set. 2010.
2. CHRISTIANINI, A. V. e OLIVEIRA, P. S. The relevance of ants as seed rescuers of a primarily bird-dispersed tree in the Neotropical cerrado savanna. *Oecologia*. v. 160, n. 4, p. 735-45. jul. 2009.
3. SENDOYA, S. F. *et al.* Egg-laying butterflies distinguish predaceous ants by sight. *The American Naturalist*. v. 174, n. 1, p. 134-39. jul. 2009.

DE NOSSO ARQUIVO

Jardineiras fiéis
Edição nº 161 – julho de 2009





Refrigerador natural

O bico do tucano, quase do tamanho de seu corpo, é um eficiente dissipador de calor

Francisco Bicudo

Quando o calor é intenso, nos apressamos a escancarar as janelas e ficamos aliviados quando o vento sopra forte; no outro extremo, se a temperatura é baixa, corremos para fechar as janelas, agindo rapidamente para ajudar a esquentar o ambiente. É exatamente dessa maneira que funciona o bico do tucano, “uma eficiente janela térmica, quase do tamanho do recinto a ser climatizado”, como define o biólogo Augusto Abe, da Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Rio Claro, que compara o bico da ave a “um potente radiador de automóvel”. Essa capacidade de atuar para regular temperaturas foi anunciada em julho de 2009, em trabalho desenvolvido pela equipe coordenada por Abe, em parceria com o canadense Glenn Tattersall, da Universidade de Brock, e publicado na *Science*. Para chegar a esta conclusão, no entanto, foi preciso percorrer caminhos tortuosos – e curiosos.

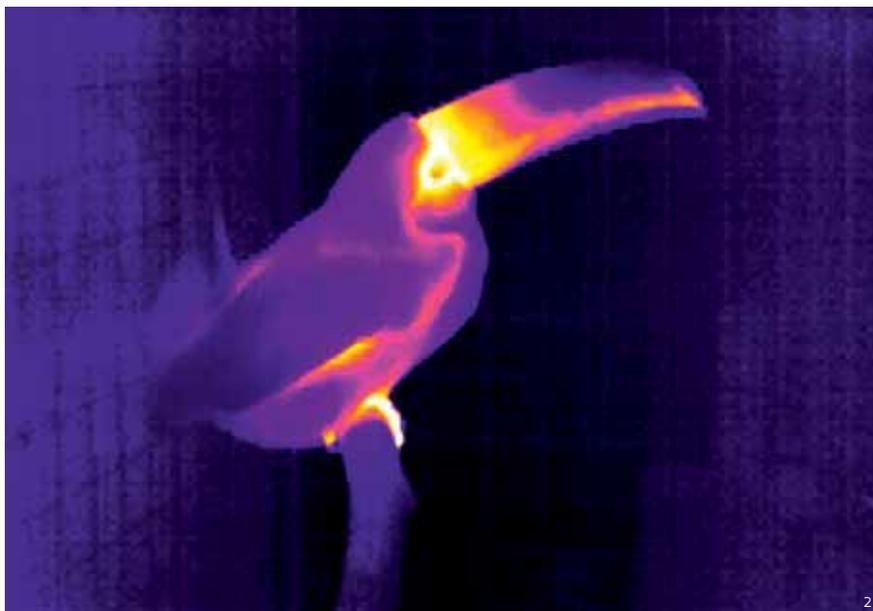
A história começou em 1985, quando Abe ganhou de presente um tucano, que não tinha nome oficial, mas era chamado de Amadeu por amigos mais próximos do biólogo. À noite, ao se ajeitar para dormir, a ave procurava esconder o bico com a

cauda, cabeça virada para trás, usando as asas como cobertores. A cena chamou a atenção do pesquisador, que, ao segurar o bico, o sentia aquecido. Logo imaginou que aquele esforço todo feito pelo tucano fosse um artifício que permitia manter o corpo todo quente. Naquela época, no entanto, não dispunha de equipamentos adequados para medir a temperatura do bico e para estudá-lo com mais detalhes. Mas a cena da ave se cobrindo e protegendo para dormir permaneceu guardada na memória do biólogo.

Em 2003, a equipe da Unesp recebeu a visita de Tattersall, com quem Abe já mantinha parcerias em vários trabalhos. O canadense trouxe na bagagem uma câmera de infravermelho, que naquela oportunidade seria usada para avaliar a produção de calor em serpentes após a alimentação. Abe teve um estalo e, sem perder tempo, carregou o colega canadense para o zoológico da cidade de Americana, no interior de São Paulo (região de Campinas), onde havia um viveiro de tucanos. Fizeram várias imagens da ave, usando a máquina especial. “O resultado foi frustrante, nada acontecia”, lembra Abe. Já indo embora, no caminho para a saída, decidiram, por desengano de consciência, arriscar uma última imagem. “Foi então que observamos que o bico esquentava e resfriava, com muita rapidez”, recorda o brasileiro. Combinaram assim de estudar o bico dos tucanos.

Em laboratório, os trabalhos começaram a ser desenvolvidos em 2005, em um recinto climatizado, com temperaturas entre 10 e 25 graus Celsius, e onde foi instalada uma máquina termográfica, que fotografava tucanos da espécie *Ramphastos toco*, característica do cerrado brasileiro, e era responsável por produzir imagens em espectros de cor que variavam do amarelo (mais quente) ao azul (mais frio). A temperatura era aumentada ou reduzida de forma bem lenta, durante 12 horas por dia.

As imagens mostraram com muita precisão – quando o ambiente estava frio, o tucano interrompia o fluxo de calor para o bico, que também resfriava, exatamente para manter o corpo aquecido; na situação inversa, quando o calor do viveiro no laboratório era intenso, o tucano aumentava o fluxo de sangue para o bico, que se responsabilizava por dispersar o



1. De perto, é possível enxergar os vasos que irrigam o bico

2. Imagem térmica mostra onde o calor se concentra (em amarelo)

calor excessivo para o ambiente. Dependendo da situação, o bico podia dissipar de 25% a 400% de todo o calor produzido pela ave em repouso. “Mudamos a percepção de que o bico serve apenas

para alimentação, para descascar frutos ou atacar outros ninhos, e revelamos que o órgão tem outras funções relevantes”, afirma o biólogo Denis Andrade, também autor do trabalho e pesquisador da Unesp de Rio Claro. Para ele, essa capacidade ainda precisa ser mais bem estudada, para que se possa avançar na compreensão mais detalhada da anatomia, da ecologia e da evolução do grupo.

O estudo foi financiado pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) em Fisiologia Comparada, criado e mantido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a FAPESP, que estabelece parcerias com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), com intuito de fomentar e articular grupos que atuam na fronteira do conhecimento científico e em áreas estratégicas para o país. Atualmente, há 128 institutos dessa natureza atuando nas diferentes regiões do Brasil.

Como desdobramento do trabalho original, a equipe de Rio Claro conseguiu mostrar que a capacidade de adaptação dos tucanos às mudanças de temperaturas é bastante rápida – em cerca de dez minutos, as aves conseguem se ajustar e responder a temperaturas que caem bruscamente de 25 para 10 graus Celsius. “É a confirmação de que o bico é de fato um regulador térmico muito bom”, reforça Andrade. Até o final do ano, o grupo espera publicar novidades alvissareiras a respeito da regulação térmica em vespas e moscas. ■

O PROJETO

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Fisiologia Comparada – nº 2008/57712-4 (2009-2014)

MODALIDADE
Projeto Temático

COORDENADOR
Augusto Shinya Abe – Unesp/Rio Claro

INVESTIMENTO
R\$ 1.084.648,98

ARTIGO CIENTÍFICO

TATTERSALL, G. J. *et al.* Heat Exchange from the Toucan Bill Reveals a Controllable Vascular Thermal Radiator. *Science*. v. 325, n. 5939, p. 468-70, 2009.

DO NOSSO ARQUIVO

Radiador eficiente
Edição nº 162 – agosto de 2009

Bico dos tucanos funciona como radiador
Edição Online – 23/07/2009

BIODIVERSIDADE

São Paulo na Amazônia

Equipes paulistas e paraenses colaboram na formação de novos pesquisadores e em estudos sobre animais venenosos da região Norte

Marili Ribeiro



Embora bem quando apresentei o projeto aqui no Butantan, em 2005, e um colega disse que, se conseguíssemos formar um doutor, a missão estaria cumprida”, rememora Ana Moura da Silva, responsável pela integração das equipes paraenses com os pesquisadores do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Toxinas (INCT-Tox), sediado no Instituto Butantan, e coordenadora do Subprograma Ações da Amazônia do Programa de Pesquisas Butantan na Amazônia. “Conseguimos formar novos pesquisadores e já estamos com uma perspectiva muito maior.”

Houve avanços notáveis nas áreas de biologia, bioquímica e farmacologia, entre os quais Ana Moura enumera: o levantamento da diversidade de serpentes e escorpiões da Floresta Nacional (Flona) do Tapajós, próxima de Santarém; uma revisão da classificação e a ampliação da diversidade de aranhas neotrópicas do grupo *Haplogynae*; o detalhamento dos efeitos farmacológicos do veneno do escorpião *Tityus paraensis*; o estudo de plantas usadas como antídotos contra picadas de cobras na Amazônia, vistas como possível matéria-prima para inibidores de toxinas animais; na área médica, a ampliação do conhecimento sobre os sintomas e a evolução do envenenamento por toxinas animais, por meio dos relatos e do acompanhamento de casos de pessoas atendidas no hospital municipal de Santarém, e estudo da história da saúde em Belterra, no Pará.

O trabalho chegou a esses resultados, mais do que se previa inicialmente, porque conseguiu aproximar experientes pesquisadores do Instituto Butantan e especialistas antes dispersos nos centros de pesquisa do Pará. Os pesquisadores

que agora trabalham em conjunto lembram que Otávio Mercadante, diretor do instituto e coordenador do programa na época de sua implantação, costuma repetir: “Não teria sentido fazer nada em paralelo, sem aproveitar as competências locais”.

Desde antes do primeiro encontro entre especialistas do Butantan com estudantes e profissionais de instituições do Pará, realizado em Santarém em 2006, Mercadante costurou o apoio de prefeituras, governo estadual, fundações de financiamento à pesquisa do Pará e de São Paulo e ainda dos ministérios da Educação e da Ciência e Tecnologia para levar adiante os estudos em três vertentes: a biodiversidade amazônica, a ação de toxinas de animais e a história da saúde na região. De modo complementar, vem sendo feito um trabalho com médicos e agentes de saúde locais sobre tratamentos de acidentes com animais venenosos. A equipe do Butantan, inclusive, já fez e distribuiu um livreto sobre animais venenosos na região.

A convivência das equipes dos dois estados tem se mostrado produtiva. “Neste ano, teremos a conclusão de uma pesquisa de doutorado, de Hipócrates Chalkidis, do programa de pós-graduação do Museu Goeldi, e uma de mestrado, de Valéria Moura Mourão, do programa de pós em recursos naturais da Amazônia da Universidade Federal do Pará (UFPA), que não é pouca coisa”, festeja Ana Moura, que, além de pesquisadora do Butantan, é professora do curso de pós-graduação em recursos naturais da Amazônia da UFPA em Santarém. Há outros quatro projetos de mestrado e três de especialização em andamento no Instituto Butantan, nas mãos de estudantes do Pará que podem fazer parte de seu trabalho em São Paulo e depois voltam para atuar em sua própria região.

A partir de 2009, os encontros com as comunidades e instituições do Pará avançaram com a entrada de verba específica do INCT-Tox e da FAPESP destinada a pesquisas e bolsas para estudantes de Santarém e de São Paulo”, diz Ana Moura. A cada ano o trabalho se tornou mais abrangente. “Acabamos de aprovar duas etapas de fôlego junto à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), com valores que somam mais de R\$ 7 milhões em projetos de pesquisa e bolsas de estudos, que terão a participação de outros centros de pesquisa do Rio de Janeiro e de Minas Gerais.”

Cada vez mais nacional e interinstitucional, atraindo o interesse até mesmo de grupos de pesquisa biomédica de outros países, o programa de pesquisas do Butantan na Amazônia reúne no momento mais de 50 profissionais qualificados e pelo menos 12 instituições federais, estaduais e municipais das áreas de ambiente, ciência e saúde pública.

A colaboração entre as equipes facilita a busca de novos medicamentos a partir de toxinas animais e de plantas da Amazônia, aproveitando os investimentos já feitos em prédios, equipamentos e recursos humanos em São Paulo. Alguns pesquisadores trabalham para conhecer melhor como os venenos de escorpiões podem agir no organismo humano e, a partir daí, desenvolver novas formas de evitar o envenenamento, enquanto outros pretendem chegar a

compostos químicos biodegradáveis que pudessem ser usados para combater escorpiões nas áreas em que são mais abundantes.

Das serpentes coletadas na Floresta Nacional do Tapajós, os pesquisadores extraíram venenos, cujos efeitos estão sendo mais bem conhecidos, por meio de estudos em animais de laboratório. Hoje, um dos grupos do Butantan avalia a eficácia dos soros produzidos regularmente no instituto contra os efeitos da picada dessas serpentes, especialmente sobre a coagulação do sangue. “Estamos aprofundando os estudos sobre as alterações na coagulação produzidas pelas toxinas animais”, diz Ana Moura.

COBRAS E ESCORPIÕES

O biólogo – e futuro doutor – Hipócrates Chalkidis começou sua trajetória nesse projeto com viagens frequentes à Floresta Nacional do Tapajós, há mais de dois anos, para coletar serpentes com estudantes de biologia das Faculdades Integradas do Tapajós (FIT), onde ele é professor. As armadilhas montadas para atrair cobras trouxeram também

escorpiões e aranhas, que se tornaram objeto de estudo e matéria-prima para ampliar o conhecimento sobre a riqueza biológica da região.

O trabalho de coleta de venenos para pesquisas sobre novas toxinas aproximou especialistas de São Paulo dos centros científicos e médicos do Pará. Chalkidis e sua equipe capturaram exemplares do escorpião-preto do Pará, o *Tityus obscurus*, que causa a maioria dos casos notificados de picadas de escorpiões na região Norte. Com mais bichos à mão, a equipe do Butantan ampliou as informações sobre os soros produzidos contra os seus venenos.

Em paralelo, também se aprofundando na pesquisa sobre a biodiversidade da Amazônia, Pedro Pardal, da Universidade Federal do Pará (UFPA), em Belém, começou a estudar os escorpiões dessa espécie, para ver o que os diferencia geneticamente, já que os escorpiões-pretos de diferentes regiões do Pará produzem venenos com maior ou menor grau de letalidade.

ARANHAS

Diferentemente dos escorpiões e das cobras, que prevalecem na região, as aranhas demoraram a entrar no projeto das toxinas da Amazônia porque não havia bichos vivos em quantidade suficiente para fornecer veneno e tornar as pesquisas viáveis. As coisas mudaram. O biólogo Antonio Brescovit, do Butantan, que percorreu as matas da região Norte há 20 anos, quando a viagem de Belém a Santarém só podia ser feita de barco e demorava uma semana, agora está estu-

O trabalho de coleta de venenos aproximou os paulistas dos médicos do Pará



1. Surucucu
(*Lachesis muta*)

2. Espécie nova de caranguejeira
(*Acanthoscurria geniculata*)





Escorpião-preto do Pará (*Tityus obscurus*)

As caranguejeiras são praticamente inofensivas quando comparadas às aranhas marrons

dando intensamente as aranhas do grupo haploginas de toda a América do Sul, por meio de um projeto temático aprovado no ano passado.

Prestando, com minha equipe, aprofundar o conhecimento sobre esse grupo das aranhas mais primitivas, que inclui a aranha-marrom, que causa problemas graves às pessoas e pode levar à morte”, diz Brescovit. “São bichos raros, difíceis de coletar e complexos de trabalhar, porque estudamos a minúscula genitália [para diferenciar as espécies]. Aliás, há poucos estudos sobre as aranhas desse grupo na América do Sul e muitas lacunas de conhecimento sobre as espécies da região Norte.”

Normalmente as pesquisas se concentram em espécies mais vistosas de aranhas, que fazem teias, e deixam de lado as de menor porte, como a marrom, o que Brescovit considera “um erro, já que é essa espécie que pode ser perigosa”. Ele evidencia um paradoxo: “A maioria das pessoas tem medo das aranhas-caranguejeiras, mas o veneno delas é

fraco, praticamente inofensivo, quando comparado ao das marrons”. Esse gênero de aranha é constituído por 11 espécies encontradas no Brasil – e a equipe do Butantan tem mais 14 ou 15 novas para descrever.

Parte desse trabalho depende do conhecimento das espécies de aranhas que vivem no Pará. Os pesquisadores já identificaram uma espécie nova de uma aranha-caranguejeira da região amazônica, de até 30 milímetros, do gênero *Acanthoscurria*, que deve ser batizada com o nome da cidade em que foi encontrada, Belterra, onde o Butantan deve instalar uma base avançada de pesquisas e laboratórios para atender estudantes e os professores.

Faz tempo que o Instituto Butantan tem contato com animais da floresta amazônica. Essa região permaneceu isolada das outras regiões do país até o início do século XX, por causa da dificuldade de comunicação e transporte. Mesmo assim, de acordo com um levantamento de Maria de Fátima Furtado e Myriam Calleffo, publicado nos *Cadernos de História da Ciência*, Emília Sneathlage, então diretora do Museu Goeldi, de Belém, enviou em 1914 uma coleção de serpentes do Pará ao Butantan para identificação e guarda. O envio de animais não parou mais, e hoje o instituto paulista reúne 6.625 exemplares de 213 localidades da região amazônica.

Em 1924, Vital Brazil Mineiro da Campanha, o primeiro diretor e que então reassumia a direção do instituto, contra-

tou o médico Jean Vellard para ajudar na identificação de aranhas venenosas. Vellard trabalhou com Vital Brazil no soro contra o veneno de uma aranha-de-grama, a *Lycosa raptor*, estudou a toxicidade de outras aranhas, identificou espécies novas e fez muitas expedições de coleta de animais à região amazônica.

Hoje, toda a Amazônia passa por um desmatamento intenso, que, supõe-se, está mudando as relações entre os animais e o ambiente. Para saber o que está se passando, em março Lisle Gibbs, professor de ecologia molecular da Universidade de Ohio, dos Estados Unidos, esteve em Santarém, participou dos trabalhos de campo, deu palestras e conversou com os pesquisadores do Pará e de São Paulo, que e continuam trabalhando juntos. “Entre outras coisas”, diz Ana Moura, “queremos saber que tipo de variação genética está se processando naquela área, que vem sendo intensamente desmatada há 30 anos, e como isso deve afetar as espécies.” ■

OS PROJETOS

1. Subprograma ações na Amazônia – nº 2008/57898-0 (2009-2014)
2. Sistemática de aranhas Haploginas heotropicais (*Arachnida, Araneae*) – nº 2011/50689-0 (2011-2016)

MODALIDADE

1. e 2. Projeto Temático

COORDENADORES

1. Ana Moura da Silva – Instituto Butantan
2. Antonio Domingos Brescovit – Instituto Butantan

INVESTIMENTO

1. R\$ 345.000,00
2. R\$ 814.653,03

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. CALVETE, J. J. *et al.* Snake population venomomics and antivenomics of *Bothrops atrox*: paedomorphism along its transamazonian dispersal and implications of geographic venom variability on snakebite management. *Journal of Proteomics*. v. 74, n. 4, p. 510-27, 2011.
2. LUCAS, S. M. *et al.* Redescription and new distribution records of *Acanthoscurria natalensis* (Araneae: Mygalomorphae: Theraphosidae). *Zoologia*. v. 28, n. 4, p. 525-30, 2011.

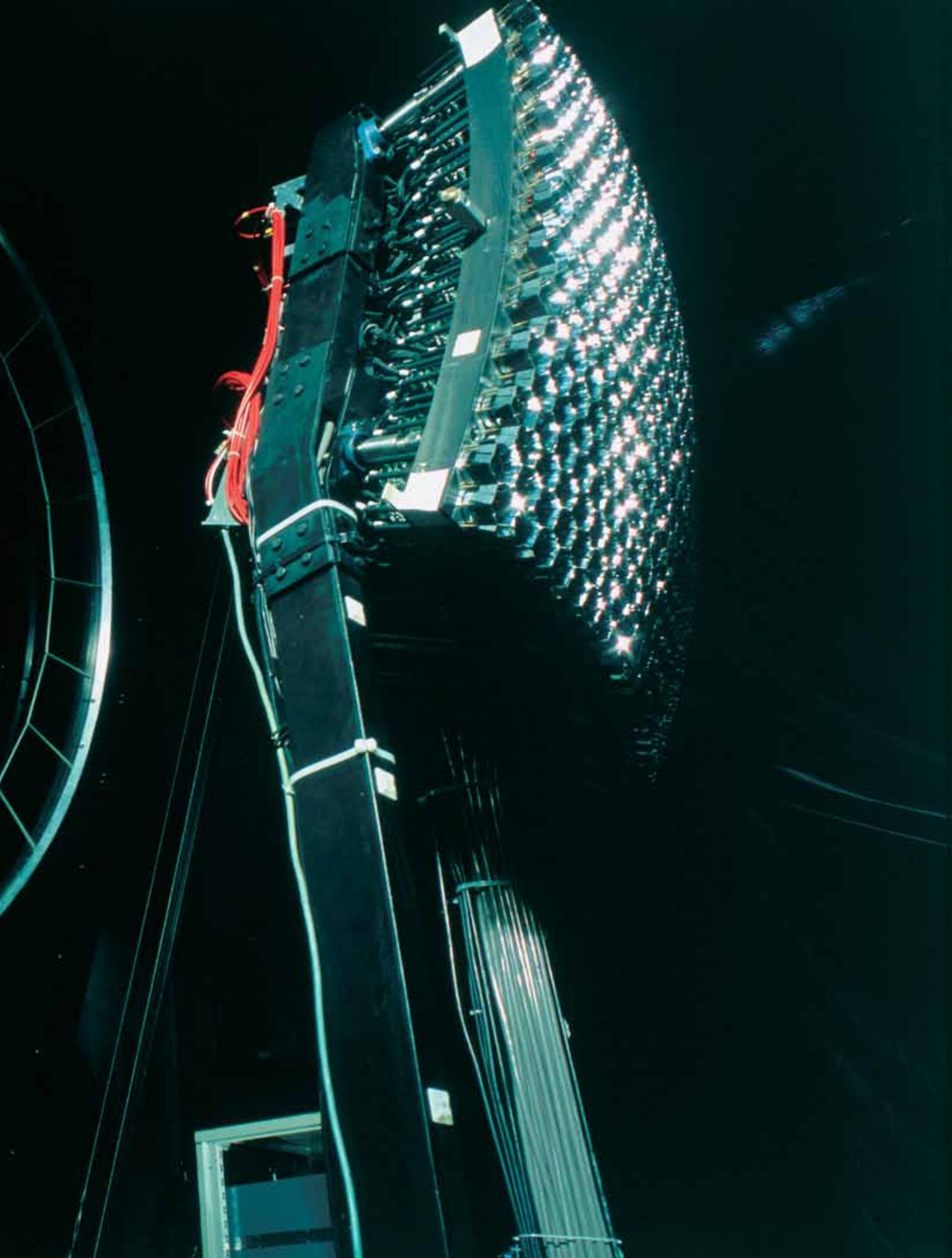
DE NOSSO ARQUIVO

Os venenos da floresta
Edição nº 167 – janeiro de 2010

Amazônia em foco
Edição Online – 11/01/2010

CIÊNCIAS EXATAS E DATA TERRA

MUDANÇAS CLIMÁTICAS **Em clima de globalização 112** OBSERVATÓRIO PIERRE AUGER **Raios
cósmicos, ainda um enigma 120** NANOCIÊNCIA **Ourivesaria em átomos 127** GEOLOGIA
Nasce um continente 132



Em clima de mobilização

Pesquisadores de várias áreas, das ciências naturais às humanidades, articulam-se para ampliar o conhecimento sobre as mudanças globais

Fabício Marques

No maior e mais articulado esforço multidisciplinar já feito no Brasil para ampliar o conhecimento a respeito das mudanças climáticas globais, cientistas do estado de São Paulo de múltiplas áreas – das ciências físicas e naturais às humanidades – engajaram-se no Programa FAPESP de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais (PFPMCG). Iniciada em agosto de 2008, a iniciativa prevê investimentos de R\$ 100 milhões ao longo de dez anos – ou cerca de R\$ 10 milhões anuais – em estudos básicos e aplicados sobre as mudanças climáticas globais em curso e de seus impactos sobre a vida da humanidade. É provável que este valor seja ainda maior, pois só nos três primeiros anos mais de R\$ 40 milhões já foram desembolsados.

O saldo dos três primeiros anos de programa contabiliza projetos de pesquisa em temas abrangentes que envolvem as ciências naturais, biológicas e sociais. Vários estudos envolvem a compreensão dos efeitos da ação do homem na alteração do padrão de chuvas e no aumento da concentração de gases na atmosfera. Também são estudados o impacto das queimadas na colheita da cana-de-açúcar e a influência de práticas de manejo agrícola nas emissões de gás carbônico oriundas do solo. Outros temas importantes, como a vulnerabilidade de municípios do litoral norte de

Enchente nas cidades de Navegantes e Itajaí, em Santa Catarina, em novembro de 2008: a população urbana será a mais atingida pelos efeitos das mudanças globais



São Paulo às mudanças climáticas e as alternativas na implantação da chamada “economia verde” também são investigados. O PFFMCG dispõe de 18 projetos de pesquisa e almeja chegar a mais de uma centena. Atualmente, estão sendo incorporados ao programa pelo menos duas dezenas de projetos do âmbito de convênios estabelecidos com as fundações de Amparo à Pesquisa do Rio de Janeiro (Faperj) e de Pernambuco (Facepe).

Uma das principais ambições do programa é a criação do Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global, um sistema capaz de fazer simulações sofisticadas sobre fenômenos do clima global. A necessidade de desenvolver competência nacional nesse campo se explica: hoje, para projetar os efeitos das mudanças climáticas, utilizam-se ferramentas computacionais que ainda são limitadas e não levam em conta processos importantes para o clima brasileiro. “Para a ciência abastecer a sociedade com informações fidedignas é essencial termos um modelo que não seja calcado nos que existem em outros países, mas contemple características e dados regionalizados”, diz Reynaldo Victoria, professor do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena), no *campus* da USP em Piracicaba, e coordenador executivo do programa.

Para utilizar e aperfeiçoar esse programa de modelagem foi adquirido, por R\$ 50 milhões (R\$ 15 milhões da FAPESP e R\$ 35 milhões do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação), um supercomputador da fabricante norte-americana Cray, 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 entrou em funcionamento no início de 2012. “O Tupã colocou a meteorologia brasileira no patamar dos principais centros mundiais”, diz Osvaldo Moraes, coordenador

geral do CPTEC. “Será utilizado para o nosso trabalho em previsões climáticas, mas também estará disponível a todos os grupos de pesquisa do programa da FAPESP”. Em 2011, o Tupã era o computador número 29 da lista dos 500 mais potentes do planeta.

EFITOS NOS SISTEMAS NATURAIS

Os projetos vinculados ao programa vão utilizar as simulações do supercomputador e aplicá-las em temas de diversas disciplinas, estudando o impacto das mudanças globais e as maneiras mais eficientes de mitigação de seus efeitos. Parte dos estudos aprovados na primeira chamada de projetos, realizada em 2009, busca entender os efeitos das mudanças climáticas nos sistemas naturais. Reynaldo Victoria, por exemplo, lidera um grupo de pesquisadores que analisa o papel dos rios nos ciclos regionais de carbono. Seu projeto tem interface com um outro, coordenado por Humberto Ribeiro da Rocha, professor do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP, voltado para quantificar os ciclos de carbono e da água na floresta amazônica, no cerrado e na mata atlântica, e em dois agroecossistemas, as plantações de cana e de eucalipto. “Na Amazônia, em projetos anteriores, realizamos medições de campo em sítios experimentais, de forma local. Agora queremos fazê-las em escala maior, integrando toda a bacia”, diz Rocha. “Estamos analisando o que entra, o que sai ou fica de carbono na Amazônia, por meio de uma série de abordagens, como medições das concentrações dos gases estufa com sensores a bordo de aeronaves, em áreas de rios, em áreas de terra firme, utilizando uma combinação de modelos calibrados assimilando os dados de campo”, afirma.



Já o projeto de Paulo Artaxo, professor do Instituto de Física da USP, intensifica uma linha de investigação a que se dedica há bastante tempo: os efeitos no clima regional e global das partículas de aerossóis emitidas no Brasil. Os aerossóis podem ser formados naturalmente pelas emissões da floresta ou gerados pela ação humana, como a queima de combustíveis fósseis ou o desmatamento – e tem forte influência no clima, em fenômenos como o da formação e desenvolvimento de nuvens. O projeto tem como enfoque as regiões amazônica e do pantanal. “Estamos estudando as propriedades físicas e químicas das partículas e seus efeitos no balanço de radiação atmosférica, na alteração dos mecanismos de formação e desenvolvimento de nuvens e os impactos no ciclo hidrológico”, diz Artaxo. Segundo ele, os dados estão sendo levantados utilizando medidas de satélite, modelamento atmosférico e por meio de estações de monitoramento em diferentes locais: uma próxima a Manaus, outra em Porto Velho, que é impactada por emissões de queimadas, e uma terceira no pantanal.

“Vamos medir com detalhes inéditos as propriedades ópticas e radiativas das partículas de aerossóis e seus efeitos na formação e desenvolvimento de nuvens”, afirma o pesquisador.

AS DIMENSÕES HUMANAS

Rendeu bons resultados a convocação feita a pesquisadores para que estudem as dimensões humanas das mudanças climáticas. Três dos projetos contemplados encaixam-se neste perfil. Um deles, apresentado por Daniel Hogan (1942-2010), um dos precursores dos estudos sobre dinâmicas sociodemográficas e ambientais na Unicamp e no Brasil, e posteriormente liderado pela ecóloga e socióloga Lúcia da Costa Ferreira, do Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais da Unicamp, está enfrentando um dos mais inquietantes dilemas impostos pelas mudanças climáticas no Brasil e no mundo. Como as zonas costeiras serão as primeiras e as mais afetadas pelos even-

Dados colhidos no Atlântico Sul vão abastecer o modelo climático brasileiro e apoiar a exploração do pré-sal

O navio oceanográfico Alpha Crucis, adquirido com apoio da FAPESP: impulso à pesquisa sobre a relação entre o oceano e o clima



tos climáticos extremos, como foi o caso do furacão Catarina, que atingiu a costa catarinense em 2004, Hogan decidiu se concentrar em cidades médias do litoral de São Paulo. “Isso porque elas estão menos preparadas para enfrentar o problema do que as grandes cidades”, disse Hogan à *Pesquisa FAPESP*, em maio de 2009. Segundo Lúcia, uma questão se coloca depois de vários anos de pesquisa. “Se as pesquisas apontam a percepção generalizada de que a influência da ação humana sobre as alterações climáticas é um fato; que a vulnerabilidade de municípios do litoral a eventos extremos e desastres ambientais é conhecida pela opinião pública, em especial as tão conhecidas áreas de risco; se há uma estrutura político-institucional mínima para enfrentar esses desafios, então por que as escolhas sociais, estejam elas no nível do comportamento individual ou coletivo, recaem sempre sobre as atividades humanas sustentadas no petróleo e gás, em ocupar áreas de risco, especialmente em áreas de proteção à biodiversidade? E por que ainda há tanta esperança nos planos de desenvolvimento regional sus-

tentados na alta emissão de carbono, entre outros gases de efeito estufa?”

Ainda segundo Lúcia, desde o projeto original apostou-se que essas respostas só poderão ser encontradas através de categorias relacionadas a problemas de escala – de tempo e espaço – e aos múltiplos níveis da organização humana nos processos decisórios do setor. Por isso houve um grande investimento na aquisição e tratamento de imagens de alta e média resolução e em pesquisas de terreno nos primeiros anos do projeto. “Já temos dados sobre biomassa, transição demográfica e florestal, sobre a estrutura institucional mínima já implantada na região, além do levantamento e caracterização dos atores e das arenas de decisão locais, regionais e nacionais.”

Também debruçado sobre as dimensões humanas, o professor Ricardo Abramovay, da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FEA) da USP, coordena um projeto que busca levantar os impactos socioeconômicos das mudanças climáticas, também com o objetivo de auxiliar na formulação de políticas públicas coerentes. A iniciativa tem várias frentes. Uma delas é a busca de ferramentas que ajudem a melhorar a capacidade de previsão dos efeitos sociais e econômicos das mudanças climáticas. Um segundo foco é a análise da disposição do setor privado de responder às mudanças climáticas. “Muitas empresas têm explicitado intenções de reduzir as emissões de carbono em seus processos produtivos. Queremos saber se essas intenções são verdadeiras e quais são seus desdobramentos”, afirma Abramovay. Outra frente é a análise dos processos de negociação que podem levar à formação de mercados de créditos de carbono, hoje instáveis. “Também nos debruçamos sobre questões decisivas, como a do consumo sustentável. A intenção é mapear como o modelo de produção e de consumo será afetado pelas mudanças climáticas”, afirma.

Um projeto liderado pelo pesquisador do Inpe Gilberto Câmara busca identificar os atores institucionais relacionados aos desmatamentos da Amazônia e estudar os seus comportamentos, para construir cenários mais eficientes de impactos de políticas públicas. “Chamamos de atores institucionais os grupos organizados da sociedade que têm influência na ocu-

pação e uso da terra na Amazônia. Esses atores incluem grupos como os grandes plantadores de soja e outras *commodities*, os criadores de gado, os pequenos agricultores, os madeireiros predadores, os madeireiros que cumprem regras de manejo, os trabalhadores na indústria de madeira, os ambientalistas, os cientistas e os assentados”, diz Câmara. “Cada um deles procura influenciar os governos federal, estadual e municipal para beneficiá-los, adotando políticas de seu interesse.” A hipótese é que todos eles estão representados na luta política. Dessa forma, a elaboração das leis que definem o uso da terra na Amazônia e seu cumprimento depende da força relativa de cada grupo. “A mudança no Código Florestal em 1994, que alterou a área de proteção de 50% para 80% em propriedades privadas na Amazônia, foi uma vitória dos ambientalistas, causada pela taxa de desmatamento ter chegado a 29 mil quilômetros quadrados nesse ano. No entanto, os ruralistas, organizados politicamente, impediram que a lei fosse aplicada”, diz Câmara. Segundo ele, a variação anual das taxas de desmatamento não é bem explicada por modelos estatísticos, que tentam correlacionar preços de mercadorias com áreas desmatadas. “Buscamos um entendimento socioantropológico sobre os atores institucionais na Amazônia e o desenvolvimento de modelos que usem esse conhecimento para construir cenários realistas.”

IMPACTOS NA AGRICULTURA E NA FAUNA

Alguns projetos seguem uma direção mais aplicada, buscando compreender como sistemas biológicos em áreas cultivadas, como cana-de-açúcar, soja e eucalipto, interferem nos padrões de emissões de gás carbônico. Siu Mui Tsai, pesquisadora do Cena-USP, é a responsável por um projeto que busca monitorar a diversidade e as atividades funcionais de micro-organismos impactados pelo desmatamento e as mudanças do uso da terra em cultivos de soja e de cana-de-açúcar. O impacto na atmosfera da região Sudeste do lançamento de material particulado – partículas muito finas de sólidos e líquidos suspensos no ar – é investigado pelo projeto do pesquisador Arnaldo Alves Cardoso, professor do Instituto de Química da Unesp de Araraquara. “Nossa região é muito impactada por queimadas de cana, mas ainda faltam estudos que mapeiem

o lançamento de material particulado na atmosfera proveniente de diferentes fontes, como cidades, indústrias e outras etapas do processo agroindustrial, e quais as possíveis consequências para o ambiente”, diz Cardoso.

O grupo de Newton La Scala Júnior, professor da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp de Jaboticabal, analisa o impacto de práticas de manejo agrícola nas emissões de CO₂ oriundas do solo em áreas de produção de cana-de-açúcar no interior paulista. “Há aspectos distintos na emissão de CO₂ do solo, principalmente nos sistemas agrícolas. Essa emissão varia no tempo e no espaço, é afetada pelo manejo, especialmente pelo preparo do solo. O objetivo é mapear o papel das diversas práticas de manejo sobre a emissão desse gás carbônico no solo”, afirma La Scala. O projeto é uma sequência de vários outros que o grupo de La Scala realizou na última década. São analisados solos utilizados para exploração agrícola no período em que ficam desprovidos de vegetação. Nessa etapa, o solo torna-se um emissor de CO₂, pois não há vegetação presente e não ocorre fotossíntese. “O objetivo é avançar nosso entendimento sobre as emissões de gases de efeito estufa do solo em práticas

agrícolas. Diversos sistemas de manejo interferem na perda de carbono e buscamos caracteri-

O supercomputador Tupã: simulações para abastecer o modelo climático brasileiro e previsões meteorológicas mais precisas

Investimento em pessoal e em infraestrutura nos anos 1990 formou lideranças no estudo das mudanças climáticas

zar de forma mais intensiva as emissões”, afirma.

Até que ponto a fauna silvestre é capaz de se ajustar aos regimes de chuvas e temperatura alterados pelas mudanças climáticas? Carlos Arturo Navas, professor do Instituto de Biociências da USP, coordena um projeto que busca identificar esse limite, particularmente da perspectiva dos eventos extremos do clima. Há tempos Navas investiga a plasticidade da fisiologia da fauna, ou seja, a sua capacidade de ajuste e adaptação ao longo de gradientes ambientais – para entender, por exemplo, como uma população típica da base de uma montanha pode dar origem a populações em zonas de maior altitude. No ano passado, Navas concluiu um projeto temático sobre esse assunto. “Há cerca de quatro anos me dei conta de que esse *know-how* de pesquisa teria utilidade também em relação às mudanças climáticas. E notei, ainda, que não estava sozinho, pois há pesquisadores dos Estados Unidos e da Europa debruçados sobre o mesmo desafio. A fisiologia animal desenvolveu ferramentas

que têm muito a contribuir com a pesquisa em conservação e mudanças climáticas”, afirma Navas. “Nosso objetivo é estudar fisiologia animal no contexto de extremos climáticos, por exemplo, de temperatura, para entender e até antecipar como populações animais poderiam responder às mudanças climáticas.”

MASSA CRÍTICA PARA A PESQUISA DO CLIMA

A criação do PFFPMCG foi possível graças à massa crítica formada nas últimas décadas na pesquisa climática no país – e a FAPESP teve um papel importante neste esforço. Na década de 1990, o apoio da Fundação 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 Inpe e membro da coordenação executiva do PFFPMCG, 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 segundo, em 1999, foi a criação de um sistema de dados e informações do Experimento de Grande 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 PFFPMCG e atualmente é secretário de políticas e programas de pesquisa e desenvolvimento do Ministério da Ciência,



Casas atingidas por deslizamento em Teresópolis (RJ), em janeiro de 2011: pesquisadores investigam a vulnerabilidade das cidades para propor políticas públicas

Tecnologia e Inovação (MCTI). “O sucesso foi tão grande que serviu de inspiração para bancos de dados de outros programas, como o Biota FAPESP e o PFPMCG”, 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 é gerenciado pelo MCTI e coordenado pelo Inpe e pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), mantendo parcerias com a Agência Espacial Norte-Americana, a Nasa (na sigla em inglês), e muitas outras instituições dos Estados Unidos e Europa.

A partir de 2000, a pesquisa sobre mudanças climáticas no Brasil ganhou mais volume e densidade, gerou um conjunto de contribuições originais e alcançou visibilidade internacional significativa. 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, da USP, Alberto Setzer e Karla 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 IAG-USP. O entendimento dos impactos ambientais nos ciclos biogeoquímicos das plantações de cana-de-açúcar, principalmente nos sistemas aquáticos, sob a liderança de Luiz Martinelli, do Cena-USP, e o balanço detalhado das emissões de carbono pelo





uso de biocombustíveis, notadamente o etanol, sob a liderança de Isaias Macedo, da Unicamp, também foram contribuições originais. Na oceanografia, houve avanços no entendimento da circulação de correntes oceânicas no Atlântico Sul, 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 com a corrente das Malvinas.

A compra de um novo navio oceanográfico para pesquisadores do estado de São Paulo, financiada pela FAPESP e pela USP, também foi incorporada recentemente ao programa. Batizado de Alpha Crucis, a embarcação será uma plataforma de pesquisas em alto-mar, com destaque para estudos sobre oceanografia, biodiversidade marinha e, é claro, as mudanças climáticas. “O uso do navio em diversos projetos de pesquisa permitirá explorarmos o papel do Atlântico Sul no clima brasileiro e global”, diz Reynaldo Victoria. O Alpha Crucis serviu até recentemente à Universidade do Havá e foi completamente reformado num estaleiro em Seattle após ser adquirido. Tem capacidade de levar 40 pessoas a bordo, sendo 25 pesquisadores e 15 tripulantes. Um projeto temático vinculado ao

PFPMCG, coordenado por Tércio Ambrizzi, do IAG-USP, usará o navio ainda neste ano. O objetivo é analisar o impacto do Atlântico no clima da América do Sul nos séculos XX e XXI.

DEBATE MUNDIAL

A consistência da produção científica brasileira já garante ao país um espaço maior no debate científico mundial sobre as mudanças climáticas. Na conferência Planet Under Pressure, realizada no final de março em Londres em preparação à Rio+20, foi assinado um memorando de entendimento para colaborações em pesquisa sobre mudanças climáticas globais entre as agências de financiamento à pesquisa de países signatários do chamado Belmont Forum. Um dos objetivos do grupo, integrado pela FAPESP e por algumas das principais agências financiadoras de projetos de pesquisa sobre mudanças climáticas no mundo, é tentar mudar os rumos da colaboração internacional em pesquisa sobre

Seca no rio Negro na região da cidade de Iranduba (AM), próxima a Manaus, em outubro de 2010: fenômenos climáticos extremos tornaram-se mais frequentes

Elaboração de leis ambientais depende da força relativa de fazendeiros, trabalhadores, cientistas e ecologistas

o tema por meio de chamadas conjuntas de pesquisas interdisciplinares. Lançada em abril, a primeira chamada de propostas conta com recursos da ordem de € 20 milhões, dos quais € 2,5 milhões serão investidos pela FAPESP, sendo € 1,5 milhão para projetos de pesquisa sobre segurança hídrica e € 1 milhão para pesquisas sobre vulnerabilidade costeira. Os projetos serão executados por pesquisadores do estado de São Paulo nessas áreas em parceria com cientistas de, pelos menos, outros dois países participantes do fórum.

Coordenado pelo International Group of Funding Agencies for Global Change Research (IGFA), o Belmont Forum foi criado em 2009 durante uma conferência realizada pela National Science Foundation (NSF), dos Estados Unidos, e pelo Natural Environment Research Council (Nerc), do Reino Unido, na cidade norte-americana de Belmont. Participaram do primeiro encontro representantes de

agências de financiamento à pesquisa de países que compõem o G8 (grupo dos sete países mais desenvolvidos mais a Rússia). A partir do segundo encontro, em Londres, em 2010, o grupo passou a contar com representantes de agências de países emergentes como o Brasil, representado pela FAPESP, China, Índia e África do Sul. “O PPFMCG é um marco importante de incentivo a pesquisas interdisciplinares em uma área estratégica para o Brasil”, afirma Paulo Artaxo. “Parcerias nacionais e internacionais estão sendo articuladas no programa, incentivando a internacionalização da pesquisa em São Paulo. O trabalho em conjunto com os programas Biota e o Bioen, da FAPESP, também é fundamental na estruturação de políticas públicas e no estabelecimento de estratégias de mitigação das mudanças climáticas que serão implantadas em nosso país. Tais estratégias necessitam de sólida base científica, e é papel da FAPESP promovê-las”, afirma. ■

DE NOSSO ARQUIVO

Clima de união
Edição nº 151 – setembro de 2008

Cardápio energético
Edição nº 157 – março de 2009

Elenco eclético
Edição nº 160 – junho de 2009

O futuro da natureza e da agricultura
Edição nº 164 – outubro de 2009

Para evitar novos flagelos
Edição nº 171 – maio de 2010

Rajendra Pachauri: O homem do clima
Edição nº 192 – fevereiro de 2012

A voz dos cientistas na Rio+20
Edição nº 193 – março de 2012

Projetos do Programa FAPESP de Pesquisa em Mudanças Climáticas Globais

PROJETO	COORDENAÇÃO	INVESTIMENTO
Effects of emissions on current and future rainfall patterns in Southeast Brazil – nº 2008/58073-5 (2009-2013)	Arnaldo Alves Cardoso IG/Unesp	R\$ 772.087,94
Effects of global climate change of the Brazilian fauna: a conservation physiology approach – nº 2008/57687-0 (2009-2013)	Carlos Arturo Navas Iannini IB/USP	R\$ 1.092.786,44
Urban growth, vulnerability and adaptation: social and ecological dimensions of climate change on the coast of São Paulo – nº 2008/58159-7 (2009-2013)	Lúcia da Costa Ferreira Nepam/Unicamp	R\$ 1.181.736,80
Land use change in Amazonia: institutional analysis and modeling at multiple temporal and spatial scales – nº 2008/58112-0 (2010-2014)	Gilberto Camara Neto Inpe/MCTI	R\$ 1.194.720,00
Carbon tracker and water availability: controls of land use and climate changes – nº 2008/58120-3 (2009-2013)	Humberto Ribeiro da Rocha IAG/USP	R\$ 1.884.704,99
Impact of management practices on soil CO ₂ emission in sugarcane production areas, Southern Brazil – nº 2008/58187-0 (2009-2012)	Newton La Scala Junior FCAV/Unesp	R\$ 528.986,32
Aeroclima – direct and indirect effects of aerosols on climate in Amazonia and Pantanal – nº 2008/58100-2 (2009-2013)	Paulo Eduardo Artaxo Netto IF/USP	R\$ 2.535.758,04
The role of rivers on the regional carbon cycle – nº 2008/58089-9 (2009-2013)	Reynaldo Luiz Victoria Cena/USP	R\$ 1.073.273,97
Socio-economic impacts of climate change in Brazil: quantitative inputs for the design of public policies nº 2008/58107-7 (2009-2013)	Ricardo Abramovay FEA/USP	R\$ 115.089,90
Monitoring the microbial diversity and functional activities in response to land-use changes and deforestation under soybean and sugarcane cultivations – nº 2008/58114-3 (2009-2013)	Siu Mui Tsai Cena/USP	R\$ 1.017.172,18
Geração de cenários de produção de álcool como apoio para a formulação de políticas públicas aplicadas à adaptação do setor sucroalcooleiro nacional às mudanças climáticas – nº 2008/58160-5 (2010-2014)	Jurandir Zullo Junior Cepagri/Unicamp	R\$ 547.722,00
Sistema de Alerta Precoce para Doenças Infecciosas Emergentes na Amazônia Ocidental: inovação tecnológica visando à adaptação a efeitos negativos da mudança climática global sobre a saúde humana – nº 2008/58156-8 (2010-2014)	Manuel J. C. M. Paiva Ferreira Unifran	R\$ 654.654,00
Assessment of impacts and vulnerability to climate change in Brazil and strategies for adaptation option – nº 2008/58161-1 (2010-2014)	José Antonio Marengo Orsini Inpe/MCTI	R\$ 1.021.109,52
The evaluation of energy efficiency and CO ₂ equivalent abatement potentials according to different technology dissemination policies: guidelines to policy-makers – nº 2008/58076-4 (2011-2013)	Gilberto De Martino Jannuzzi Cocen/Unicamp	R\$ 40.710,00
Narrowing the uncertainties on aerosol and climate changes in São Paulo State - nuances-SPS 2008/58104-8 (2011-2015)	Maria de Fatima Andrade IAG/USP	R\$ 1.646.883,47
The evaluation of energy efficiency and CO ₂ equivalent abatement potentials according to different technology dissemination policies: guidelines to policy-makers – nº 2008/58104-8 (2011-2015)	Maria de Fátima Andrade IAG/USP	R\$ 1.646.883,47
Brazilian Model of the Global Climate System nº 2009/50528-6 (2011-2015)	Carlos Afonso Nobre CPTEC/INPE	R\$ 571.200,00
Miniface climate-change impact experiment to analyze the effects of elevated CO ₂ and warming on photosynthesis, gene expression, biochemistry, growth, nutrient dynamics and yield of two contrasting tropical forage species – nº 2008/58075-8 (2011-2015)	Carlos A. Martinez y Huaman FFCLRP/USP	R\$ 1.154.426,05
Impact of the Southwestern Atlantic ocean on South American climate for the 20 th and 21 st centuries – nº 2008/58101-9 (2011-2015)	Tercio Ambrizzi IAG/USP	R\$ 3.034.727,23

— OBSERVATÓRIO PIERRE AUGER

Raios cósmicos, ainda um enigma

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

Carlos Fioravanti



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

RAIOS RAROS

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

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

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

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

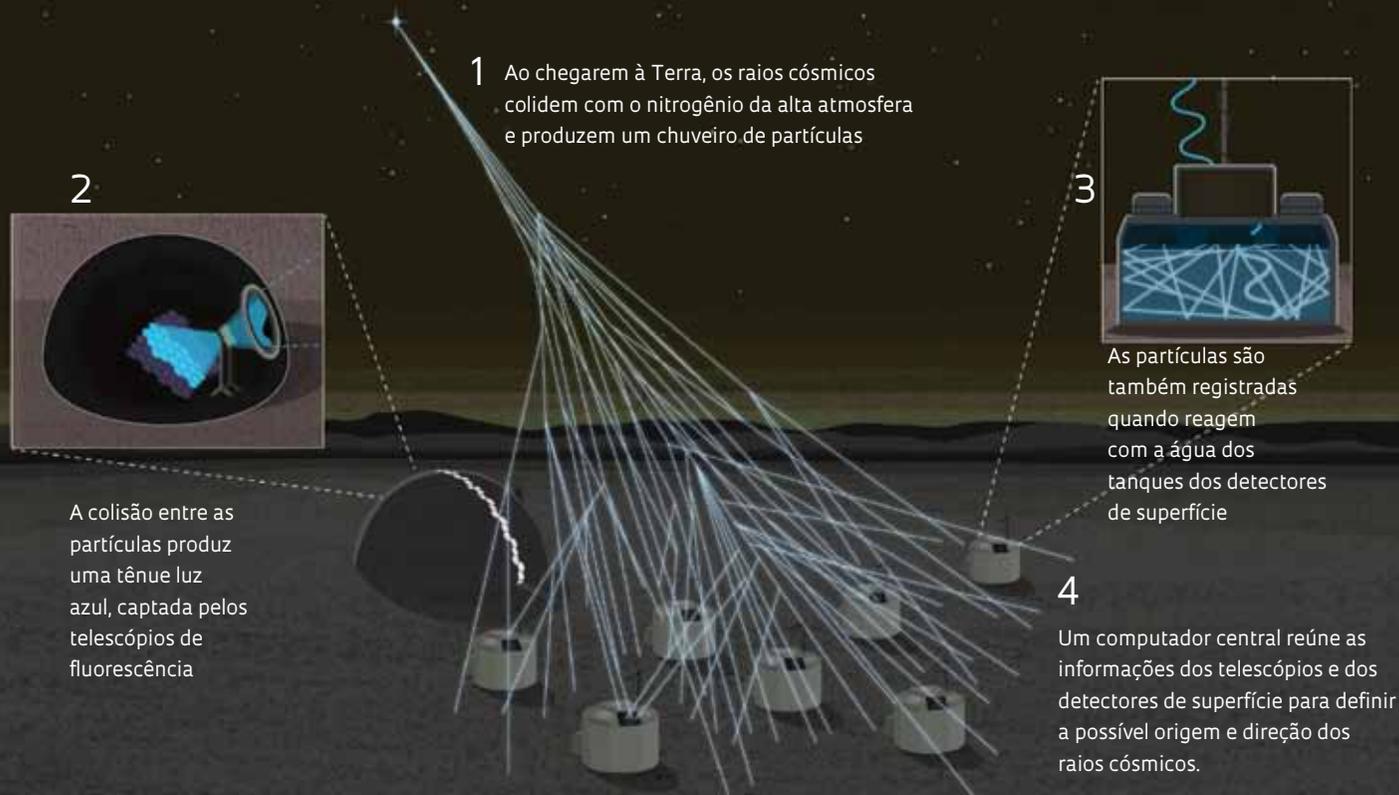
Detectores em campo

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



À espera das partículas

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



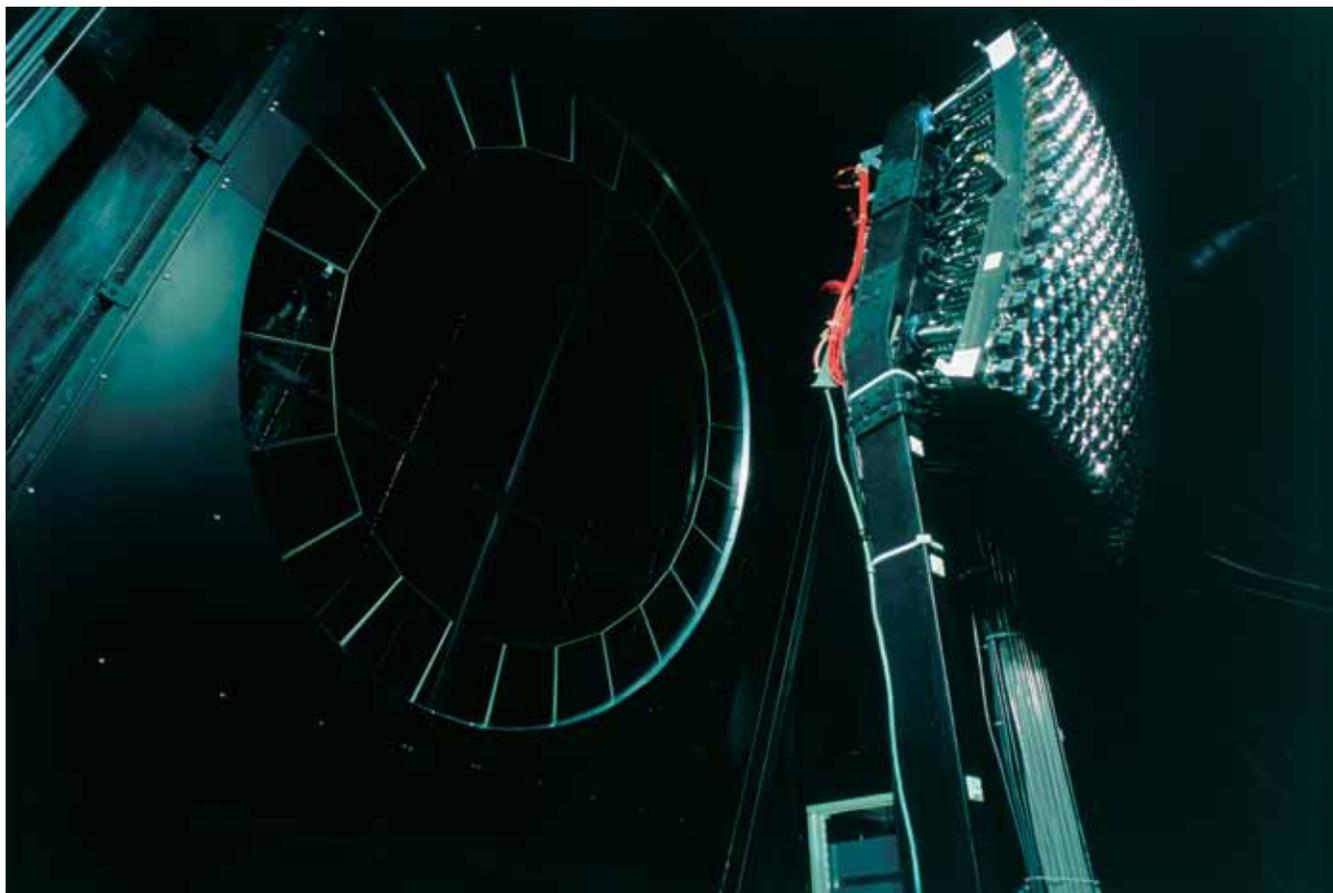
Para chegar a uma resposta menos dúbia, os físicos terão de ajustar, corrigir ou ampliar essas abordagens teóricas para elucidarem a identidade dos raios cósmicos. A física teórica não explica como os raios cósmicos podem adquirir uma energia 100 milhões de vezes superior à das partículas do mesmo tipo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

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

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

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

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



A participação brasileira no Observatório Pierre Auger

INVESTIMENTOS

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

INSTITUIÇÕES

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

EMPRESAS

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

OS PROJETOS

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

MODALIDADE

1. e 2. Projeto Temático

COORDENADORES

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

INVESTIMENTO

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

ARTIGO CIENTÍFICO

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

DE NOSSO ARQUIVO

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

Enigmas do espaço
Edição nº 167 – janeiro de 2010

Pierre Auger é inaugurado
Edição nº 154 – dezembro de 2008

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

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

Chuva de partículas
Edição nº 116 – outubro de 2005

Os olhos do deserto
Edição nº 90 – agosto de 2003

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

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

Ourivesaria em átomos

Um punhado de partículas de ouro e prata pode formar intrigantes joias nanométricas

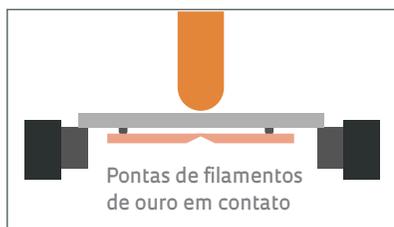
Igor Zolnerkevic

Um momento histórico para a ciência brasileira aconteceu no dia 17 de dezembro de 2001. A edição daquela semana da mais importante revista de física do mundo, a *Physical Review Letters (PRL)*, estampava pela primeira vez em sua capa uma pesquisa 100% tupiniquim. A simulação por computador descrita no artigo em destaque, assinado por Edison Zacarias da Silva, da Universidade de Campinas (Unicamp), e Adalberto Fazzio e Antônio José Roque da Silva, ambos da Universidade de São Paulo (USP), revelou pela primeira vez como um amontoado de 300 átomos de ouro esticado pelas pontas pode se distender formando um fio, que só se rompe após se afinar, até criar um colar feito de apenas cinco átomos enfileirados.

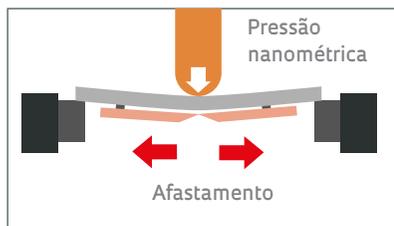
Esse trabalho teórico foi inspirado nos resultados de experimentos realizados em microscópios eletrônicos, na época sob administração do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), e que hoje fazem parte do Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano), em Campinas. Os experimentos foram idealizados pelo criativo físico argentino Daniel Ugarte. Desde que chegou ao Brasil em 1993, para trabalhar no LNLS, Ugarte, que atualmente é professor da Unicamp, formou uma equipe cuja pesquisa rende até hoje artigos na *PRL* e em outras revistas de alto impacto. Depois de observar os nanofios de ouro – uma façanha que outros grupos experimen-

A receita dos fios de ouro

ESTICANDO CONTATOS DE OURO

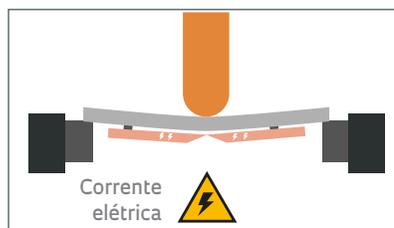


Pontas de filamentos de ouro em contato



Pressão nanométrica

Afastamento



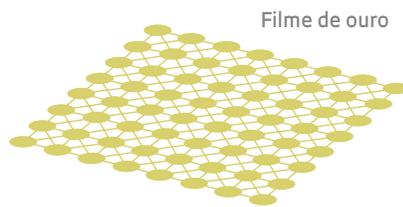
Corrente elétrica

Dois filamentos de ouro são postos em contato em ambiente de ultra-alto vácuo

Uma ponta metálica aplica uma pressão sobre o contato

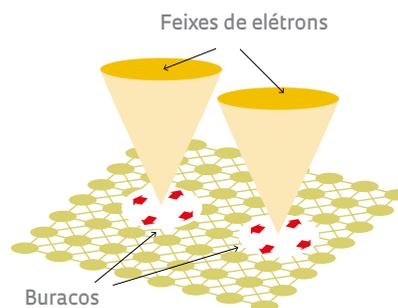
Corrente elétrica nos filamentos sinaliza a formação de nanofios

FURANDO FILMES DE OURO



Filme de ouro

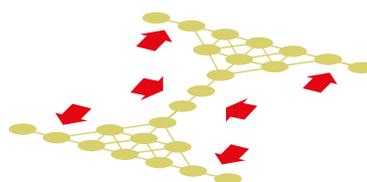
Filme de ouro é colocado em microscópio eletrônico



Feixes de elétrons

Feixes de elétrons abrem buracos no filme

Buracos



Os dois buracos se dilatam, esticando os átomos de ouro entre eles, formando os nanofios

tais no exterior já haviam conseguido – o time de Ugarte passou a última década descobrindo e explicando a formação de estruturas completamente inéditas, do tamanho de poucos nanômetros (isto é, de milionésimos de milímetros), feitas do encadeamento de átomos de metais nobres: as menores ligas metálicas já construídas e o menor nanotubo de prata possível na natureza.

Entender essas nanoestruturas metálicas se torna cada vez mais importante à medida que a miniaturização dos microchips dos dispositivos eletrônicos chega cada vez mais perto da escala atômica. É bem provável que nos próximos anos sejam construídos transistores feitos de uma única molécula. E para conectar uma série dessas moléculas em um microchip, os engenheiros precisarão de fios nanométricos que conduzam eletricidade bem e sejam resistentes.

NANOARTESANATO

Ugarte começou a estudar nanofios de cobre, ouro, prata e platina em 1996, com seu então estudante de mestrado e hoje colega professor na Unicamp, Varlei Ro-

drigues, que construiu um instrumento capaz de criar nanofios e medir suas propriedades elétricas, o chamado experimento de quebra mecânica controlada de junções. Para tanto, o maior desafio foi criar uma câmara de ultra-alto vácuo, um compartimento sem ar e extremamente limpo, onde puderam analisar as mais puras possíveis amostras de seus materiais.

No equipamento desenvolvido por Rodrigues, as pontas afinadas de dois filamentos metálicos de aproximadamente um décimo de milímetro de espessura são encostadas uma na outra. No ambiente de ultra-alto vácuo, as duas pontas ficam grudadas pela força atrativa entre seus átomos. Em seguida, os pesquisadores forçam de leve o contato entre elas. É nesse momento que os nanofios se formam, como o queijo derretido entre dois pedaços de pizza sendo separados, pendurados entre as pontas dos filamentos. O instrumento não permite ver os nanofios, o que é possível apenas por meio de microscópios eletrônicos. Para detectar sua presença, os pesquisadores monitoram a passagem de uma corrente

elétrica pelos filamentos. Diferentemente de um fio macroscópico, a corrente elétrica em um nanofio não diminui de maneira suave e linear à medida que seu diâmetro se reduz. Em vez disso, a corrente elétrica permanece constante em certas faixas de tamanho e cai em vários saltos abruptos. Cada tipo de nanofio tem um padrão de saltos diferente, que funciona como uma impressão digital.

Enxergar os nanofios só foi possível a partir de 1998, quando Ugarte começou a coordenar no LNLS a montagem do que seria, dentro de dez anos, o laboratório de microscopia eletrônica mais completo do país. Utilizados por centenas de pesquisadores de todo o Brasil, seus seis instrumentos, com poder de ampliação de mais de um milhão de vezes, custaram R\$ 8 milhões, financiados pela FAPESP. Ugarte supervisionou o projeto especial do prédio e das salas que abrigam os microscópios, construídos com R\$ 6 milhões da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), e que isolam ao máximo os delicados instrumentos de vibrações mecânicas, mudanças de temperatura e campos eletromagnéticos.

“Grosso modo, o microscópio eletrônico de transmissão funciona como um retroprojeto”, explica o pesquisador Jefferson Bettini, do LNNano. Em vez da luz de uma lâmpada, é um feixe de elétrons focalizado por lentes magnéticas que atravessa uma lâmina de material, interagindo com ele. O feixe resultante da interação é então projetado por outras lentes e registrado por uma câmera de vídeo. Soa fácil de usar, mas na verdade um estudante pode levar de dois a três anos para dominar o instrumento e obter imagens relevantes. “Microscopia não é apertar botão”, afirma Ugarte. “É você no comando, pilotando.”

Para criar os nanofios no microscópio eletrônico, Ugarte usou o próprio feixe de elétrons da máquina. Focalizado em sua máxima intensidade, o feixe é capaz de abrir buracos na superfície de lâminas metálicas finas, com apenas algumas dezenas de átomos de espessura. Depois de perfurar a lâmina até que ela ficasse como um queijo suíço, o físico ajustava rapidamente o feixe eletrônico para explorar sua superfície. É em pontes estreitas, na borda entre dois buracos muito próximos, em questão de segundos, que o metal se distende espontaneamente até formar os nanofios.

Ugarte e Rodrigues descobriram que, dependendo de sua orientação em relação à maneira como os átomos se organizam no metal, os nanofios podem se romper abruptamente ou aos poucos, se esticando até formarem cadeias de átomos enfileirados. Além disso, usando um modelo geométrico simples, foram os primeiros a conseguir relacionar as estruturas atômicas dos nanofios vistas ao microscópio com suas impressões digitais de condução elétrica. O resultado foi publicado em 2000, na *PRL*.

TEORIA NA PRÁTICA

Nenhum modelo teórico simples, entretanto, conseguia explicar como se formavam os fios de ouro com apenas um átomo de espessura, até que, incitados por Ugarte, Zacarias da Silva, Fazzio e José Roque decidiram realizar uma simulação extremamente detalhada, a partir de soluções exatas das equações da mecânica quântica. A simulação que saiu na capa da *PRL* finalmente conseguiu mostrar passo a passo os arranjos que assumem um conjunto de átomos de ouro sob ten-

são, se alongando até formar uma fileira de cinco átomos antes de arrebentar.

O trio de físicos teóricos descobriu ainda que, nas pontas dessa fileira atômica, os átomos de ouro formam uma estrutura muito estável que batizaram de chapéu francês, por lembrar a figura do chapéu de soldado de brincadeira que as crianças fazem com jornal. Em trabalhos posteriores de Fazzio e sua equipe, o grupo de Simulação Aplicada a Materiais e Propriedades Atômicas (Sampa), da USP, a nova estrutura foi usada para construir em simulações de computador as pontas conectando um transistor feito de uma única molécula com uma superfície de ouro. A descoberta também motivou Fazzio e sua equipe a desenvolver técnicas que simulam de maneira realista a passagem dos elétrons por moléculas orgânicas, nanofios metálicos, nanotubos, nanofitas e superfícies de carbono, que renderam várias publicações, inclusive na *PRL*.

Enquanto isso, o grupo de Ugarte iniciou uma parceria que perdura até hoje com a equipe do físico teórico Douglas Galvão, da Unicamp. “A gente se reúne com os alunos, os dele e os meus, e discute o que é possível medir e calcular”, conta Ugarte. “É uma colaboração extremamente frutífera”, diz Galvão. Além de realizar alguns cálculos similares aos da equipe de Fazzio, que simulam no máximo algumas centenas de átomos, Galvão desenvolveu junto com Fernando Sato, Pablo Coura e Sócrates Dantas, todos da Universidade Federal de Juiz de Fora, um método mais aproximado, que, no entanto, permite simular milhares de átomos e assim comparar o resultado dos cálculos diretamente com as medidas experimentais.

O primeiro desafio encarado em conjunto pelos grupos de Ugarte e Galvão foi tentar explicar as distâncias extremamente longas entre os átomos de ouro das cadeias atômicas. Enquanto em um pedaço de ouro qualquer os núcleos dos átomos se encontram 0,3 nanômetro distantes uns dos outros, Ugarte observou nas cadeias distâncias de até 0,5 nanômetro entre os átomos de ouro. A explicação proposta em 2002 em um artigo na *PRL* por Ugarte, Rodrigues, Galvão e Sérgio Le-

Um nanofio se forma e se rompe



A simulação publicada na revista *Physical Review Letters* em 2001 revelou, passo a passo (A a F), as ligações e posições dos átomos de ouro durante a formação e rompimento de um nanofio

goas, da Universidade Federal de Roraima, foi que átomos de carbono, com bem menos carga elétrica que o ouro, e, portanto, invisíveis ao microscópio eletrônico, teriam se infiltrado nas cadeias atômicas, se alojando entre os átomos de ouro. Fazzio e seus colaboradores, entretanto, rejeitaram a explicação em outro artigo publicado no ano seguinte na *PRL*, argumentando que a impureza entre os átomos de ouro não era carbono, mas sim átomos de hidrogênio.

A polêmica continua acesa, com ambos os grupos publicando artigos e comentários, muitos na *PRL*, defendendo suas teorias. Ugarte comenta que a discussão “é bem agressiva, mas é a forma com que se trabalha em ciência: a gente discorda e não se ofende com isso”. Fazzio, por sua vez, comemora os frutos do que chama de “briga salutar”. Por exemplo, estudando o efeito de vários tipos de impurezas nos nanofios, o grupo de Fazzio mostrou em outro artigo publicado na *PRL* em 2006 que a inserção de átomos de oxigênio tornava as cadeias atômicas de ouro mais resistentes – um efeito verificado posteriormente por experimentos de outros pesquisadores.

Agora, Fazzio e sua equipe esperam resolver de vez a questão desenvolvendo métodos de simulação ainda mais detalhados, que levam em conta efeitos quânticos do movimento dos núcleos atômicos e de flutuações térmicas – métodos que poderão ser aplicados em muitos outros estudos. Do ponto de vista da contenda entre os dois grupos, porém, os resultados ainda preliminares desses cálculos não parecem animadores. “Talvez Ugarte tenha razão”, admite Fazzio.

LIGAS E TUBOS

Outra questão que Galvão e Ugarte tentaram responder, desta vez com inegável sucesso, foi como se formam os nanofios, não de um elemento puro, mas de uma liga metálica. As simulações da formação de cadeias atômicas de ligas com composição variada de ouro e prata feitas pela equipe teórica de Galvão revelaram um estranho comportamento. Por mais prata que a liga tivesse, o estiramento dos nanofios expulsava os átomos de prata, fazendo com que as cadeias atômicas contivessem somente ouro. Apenas quando a concentração de prata ultrapassava 80% do total é que surgiam cadeias atômicas mistas de ouro e prata.

De início, Ugarte achou que seria impossível verificar o resultado dessas simulações, uma vez que os átomos de ouro e prata são praticamente indistinguíveis nas imagens preto e branco do microscópio eletrônico. Mas seu colega Bettini passou um ano aprimorando os sistemas de detecção e tratamento de dados do instrumento, até conseguir a sensibilidade para discernir entre as tonalidades de cinza dos dois tipos de átomo e obter as primeiras imagens das menores ligas metálicas já observadas. Os resultados foram publicados em 2006

A polêmica continua, com os grupos publicando artigos e comentários em defesa de suas teorias

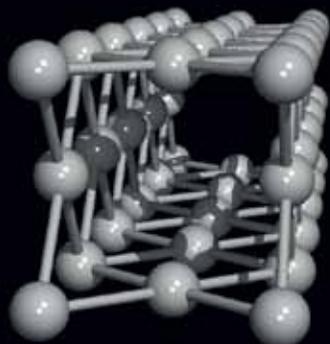
na prestigiosa *Nature Nanotechnology*. Os editores da revista elegeram a pesquisa como sendo uma das mais importantes do ano. Na mesma época, os pesquisadores também conseguiram observar nanoligas de ouro e cobre.

Em 2005, um novo estudante, o peruano Maureen Lagos, aceitou outro desafio: usar nitrogênio líquido para refazer a uma temperatura de 150° C negativos os experimentos de Ugarte e Rodrigues, que haviam sido feitos a temperatura ambiente. Os pesquisadores esperavam que, resfriados a esta temperatura extrema, os átomos se arranjarão de maneiras diferentes, criando nanofios com propriedades inéditas.

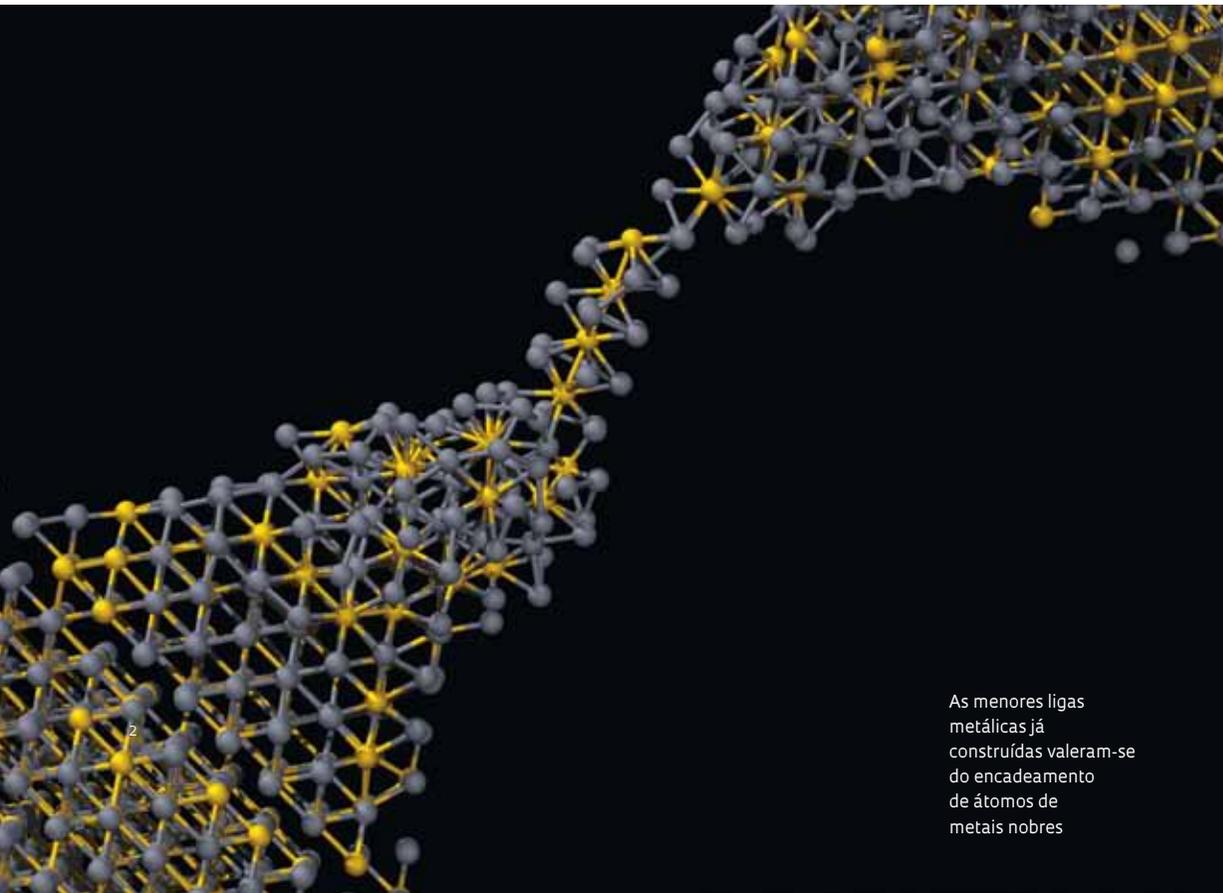
Lagos passou dois anos modificando o equipamento criado por Rodrigues para medir a condutância elétrica dos nanofios resfriados. Depois, adaptou o método de criar e observar nanofios ao microscópio eletrônico para baixas temperaturas. Por conta de vibrações das peças do microscópio causadas pelo processo de resfriamento, o experimento exigia que Lagos passasse quatro dias trancado em uma sala escura até conseguir a estabilidade necessária para suas medidas. Foram anos de trabalho para obter poucas dezenas de filmes com alguns segundos de duração, em que se podem ver claramente os nanofios.

O mais espetacular dos nanofios observados foi um tubo oco de seção quadrada, feito de átomos de prata. A estrutura surge e desaparece em questão de segundos, durante o esticamento de um bastão de alguns átomos de espessura, um pouco antes deste se afinar criando uma cadeia atômica e arrebentar. Galvão explica que é a menor estrutura tridimensional que a prata pode formar. “Nem teoricamente foi especulado que esse nanotubo podia existir”, ele diz. “Foi realmente uma descoberta inesperada.”

Embora o surgimento da curiosa estrutura pareça óbvio nos vídeos filmados por Lagos, não foi nada fácil para os pesquisadores determinarem sua verdadeira natureza. Só através de muito raciocínio e simulações computacionais, eles confirmaram que o tubo que enxergavam de



O curioso formato quadrado dos menores nanotubos de prata possíveis foi uma descoberta inesperada



As menores ligas metálicas já construídas valeram-se do encadeamento de átomos de metais nobres

OS PROJETOS

1. Centro de Microscopia Eletrônica de Alta Resolução – nº 1996/04241-5 (1998-2002)
2. Conductance quantization in metallic nanostructures – nº 1996/12546-0 (1997-2000)
3. Synthesis and characterization of nanostructured materials – nº 1997/04236-4 (1997-1999)
4. Analytical transmission electron microscope for spectroscopic nanocharacterization of materials – nº 2002/04151-9 (2004-2009)
5. Simulação computacional de materiais nanoestruturais – nº 2001/13008-2 (2002-2006)
6. Simulação e modelagem de nanoestruturas e materiais complexos – nº 2005/59581-6 (2006-2010)
7. Propriedades eletrônicas, magnéticas e de transporte em nanoestruturas – nº 2010/16202-3 (2011-2011)

MODALIDADES

1. a 4. Auxílio Pesquisa – Regular
5. a 7. Projeto Temático

COORDENADORES

1. a 4. Daniel Mário Ugarte – Laboratório Nacional de Luz Síncrotron
5. a 7. Adalberto Fazzio – Instituto de Física da USP

INVESTIMENTO

1. R\$ 2.621.484,09
2. R\$ 113.921,64
3. R\$ 69.251,70
4. R\$ 5.039.090,12
5. R\$ 924.102,48
6. R\$ 607.550,62
7. R\$ 1.324.211,88

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. SILVA, Z. da *et al.* How do Gold Nanowires Break?. *Physical Review Letters*. v. 87, p. 25610, 2001.
2. LAGOS, M. J. *et al.* Observation of the smallest metal nanotube with a square cross-section. *Nature Nanotechnology*. v. 4, p. 149-52, 2009.

DE NOSSO ARQUIVO

- Ponte delicada*
Edição nº 115 – setembro de 2005
- As impurezas do ouro*
Edição nº 85 – março de 2003
- Desafios para o futuro*
Edição nº 74 – abril de 2002
- Átomos de ouro entram no circuito*
Edição nº 72 – fevereiro de 2002

perfil nas imagens era realmente oco e formado por uma série de quadrados, feitos de quatro átomos de prata. Comparando seus cálculos com as imagens, explicaram também como os quadrados de prata podem se mexer, girando, contraindo e expandindo o nanotubo. “Conseguir ver e entender isso foi uma maravilha”, diz Ugarte. A descoberta foi publicada em 2009 na *Nature Nanotechnology*, enquanto os detalhes do modelo da dinâmica do nanotubo, executado por Pedro Autreto renderam um artigo na *PRL*, em 2011.

Também em 2011, na *PRL*, os pesquisadores publicaram uma explicação para a conclusão principal da tese de doutorado de Lagos, considerada como uma das melhores de 2010, pelo Prêmio Marechal-do-Ar Casimiro Montenegro Filho, concedido pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Lagos observou que, resfriados a -150 °C, os nanofios não se tornam quebradiços como se poderia imaginar. Muito pelo contrário, fios que se romperiam bruscamente a temperatura ambiente ficam mais flexíveis, podendo ser

esticados até formarem cadeias atômicas. O segredo dessa plasticidade é que os átomos dos nanofios se movem mais devagar a baixas temperaturas. Assim, eles não podem se rearranjar abruptamente, o que provocaria o rompimento do fio. Em vez disso, planos de átomos se deslocam no fio, criando degraus na superfície. São esses defeitos na superfície que permitem que o fio se alongue mais, sem se romper. Os cálculos dos pesquisadores demonstraram como o tamanho e a forma dessas superfícies defeituosas controlam a deformação dos nanofios.

É no estudo da influência desses defeitos nas propriedades mecânicas dos materiais que Galvão, Rodrigues e Ugarte planejam se concentrar a partir de agora, investigando a relação entre o mundo nanométrico e o macroscópico. “A fadiga e a fratura de metais são fenômenos ainda não completamente entendidos e que têm a ver com a propagação desses defeitos na escala nanométrica”, explica Galvão. A nova pesquisa poderá ajudar a desenvolver novos materiais mais resistentes, para serem usados, por exemplo, na fuselagem de aviões. ■

Nasce um continente

Laboratório pioneiro ajuda a reconstruir a história geológica da América do Sul, determinando a idade das rochas

Igor Zolnerkevic

É difícil imaginar que as fundações rochosas sustentando os continentes não sejam eternas e estáticas. Ao longo da segunda metade do século XX, porém, ficou claro para os geólogos que os continentes se movem lentamente, abrindo e fechando oceanos à sua volta, e que sua estrutura interna é fruto de uma complexa colagem de imensos blocos de rocha que foram crescendo e sendo embaralhados na superfície do planeta ao longo de mais de 4 bilhões de anos.

Impulsionados pelo calor do interior da Terra, esses blocos às vezes se fragmentaram em unidades menores, às vezes se fundiram em supercontinentes, constantemente modificando as feições do mapa-múndi. Essa conturbada dinâmica, explicada pela chamada teoria da tectônica de placas, ergueu várias cordilheiras de montanhas, hoje completamente erodidas, mas que já foram tão altas quanto os atuais Andes e Himalaia. Também criou e destruiu inúmeros oceanos ancestrais, até esculpir o contorno atual dos continentes.

Destrinchar cada passo dessa história é literalmente um quebra-cabeça de proporções globais, cujas peças ainda estão para serem totalmente compreendidas. Funcionando há quase 50 anos, o Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo), do Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo (USP), foi o pioneiro na América Latina em dominar a arte da geocronologia – a determinação precisa da idade de eventos geológicos gravados nas rochas –, essencial para se reconstruir a evolução dos continentes.

Chapada dos Veadeiros,
norte de Goiás



“O que se conhece de geocronologia sobre a América do Sul começou conosco”, lembra Umberto Cordani, um dos fundadores do CPGeo e até hoje um de seus pesquisadores principais. Por meio de suas datações de rochas, os pesquisadores do CPGeo contribuíram para a consolidação da teoria da tectônica de placas, bem como ajudaram a esclarecer a história dos blocos rochosos que se amalgamaram para formar a América do Sul.

O centro nasceu de uma iniciativa do geólogo Viktor Leinz, então professor catedrático da Universidade de São Paulo (USP), em conjunto com o físico John Reynolds, da Universidade da Califórnia, em Berkeley, Estados Unidos. Reynolds foi um dos pioneiros em desenvolver métodos de geocronologia e responsável pela implantação de laboratórios em vários países. Com apoio da National Science Foundation, o físico norte-americano adquiriu os equipamentos necessários, enquanto Leinz obteve junto à FAPESP e o CNPq os recursos para a instalação e manutenção do laboratório na USP.

Inaugurado em 1964, o laboratório foi operado inicialmente por Reynolds, pelo físico Koji Kawashita e pelos então recém-formados geólogos Gilberto Amaral e Cordani. Já na primeira datação realizada pelo laboratório, os pesquisadores fizeram uma descoberta importante, publicada em 1966 na revista *Geochimica et Cosmochimica Acta*: de acordo com suas medidas, as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, na bacia do Paraná, deveriam ter se formado no período Cretáceo Inferior (entre 100 milhões e 150 milhões de anos atrás)



Chapada Diamantina (BA), 1,4 bilhão de anos

– muito tempo depois do que supunham os geólogos da época. A pesquisa desencadeou discussões sobre a evolução da bacia do Paraná, um tema que, segundo Cordani, continua sendo um dos problemas em aberto da geologia brasileira.

Em 1967, a revista *Science* publicou o artigo científico que Cordani considera a principal contribuição do CPGeo à ciência. Embora a deriva dos continentes já tivesse sido proposta em 1912, pelo geocientista alemão Alfred Wegener, até o início dos anos 1960 predominava entre os geólogos a teoria verticalista – a ideia de que os continentes sempre permaneceram no mesmo lugar, sendo que a estrutura das rochas, suas dobras e falhas podiam ser explicadas exclusivamente pelo afundamento e soerguimento dos blocos rochosos. Entre 1964 e

1968, porém, uma série de artigos científicos foi publicada, exibindo as principais evidências e propondo pela primeira vez quais seriam os mecanismos por trás da teoria da tectônica de placas.

O artigo na *Science* foi resultado de uma colaboração entre uma equipe do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), liderada pelo geólogo Patrick Hurlley, e os pesquisadores da USP Fernando de Almeida, Geraldo Melcher, Paul Vandro, Kawashita e Cordani. No trabalho, os pesquisadores compararam as idades de várias formações rochosas do Nordeste brasileiro com formações semelhantes na África Ocidental, contribuindo para demonstrar que os dois continentes formavam um só, antes de o nascimento do oceano Atlântico começar a separá-los,

há pouco mais que 100 milhões de anos. “Contribuímos para a mudança de paradigma das geociências”, diz Cordani.

CRONÔMETROS GEOLÓGICOS

A geocronologia se baseia na medida de quantidades ínfimas de certos elementos químicos aprisionados dentro de minerais nas rochas. Chamados de isótopos radioativos, esses elementos se transformam em outros, ao longo de bilhões de anos. No primeiro método desenvolvido no CPGeo, chamado de potássio-argônio, por exemplo, os pesquisadores sabem exatamente quanto tempo demora para uma quantidade do isótopo radioativo potássio-40 se transformar no isótopo argônio-40. Assim, a proporção entre as quantidades de potássio-40 e argônio-40 funciona como uma espécie de cronômetro, marcando o tempo desde que o argônio foi formado e aprisionado no mineral contendo potássio.

Para tanto, os geocronólogos usam instrumentos chamados de espectrômetros de massa, capazes de separar e medir as abundâncias de diferentes isótopos de elementos químicos. Dentro dos espectrômetros de massa, as amostras são

A evolução da bacia do Paraná continua como um dos problemas em aberto da geologia brasileira

aquecidas a altas temperaturas, liberando seus elementos, cujos átomos perdem seus elétrons, se tornando ionizados. Campos magnéticos então separam esses núcleos ionizados de acordo com suas massas e cargas elétricas, os conduzindo até sensores que os contabilizam.

Além do método potássio-argônio, atualmente os laboratórios do centro realizam quase todas as técnicas de datação de rochas, que foram sendo desenvolvidas ao longo dos anos, à medida que seus pesquisadores realizavam estudos no exterior para aprendê-las ou recebiam pesquisadores visitantes estrangeiros que ajudavam a implantá-las – intercâmbios possíveis graças a bolsas da FAPESP. “Hoje somos um dos centros de geocronologia mais completos do mundo”, afirma Benjamin Bley de Brito Neves, pesquisador do CPGeo. “Cada método tem suas qualidades, defeitos e finalidades”, ele explica.

O método potássio-argônio data dos episódios em que as rochas passaram por mudanças de temperaturas, desde a sua formação. Implantado no começo dos anos 1970, o método rubídio-estrôncio, fornece a idade de movimentações que

deformaram as rochas. Já nos anos 1990, com a compra de mais equipamentos, financiada pela FAPESP, foram implantados mais métodos, tais como o samário-neodímio, que determina o momento em que o magma que deu origem à rocha subiu até a crosta terrestre, e o método urânio-chumbo, que diz quando o magma se resfriou e cristalizou em rocha. Há ainda muitos outros métodos (argônio-argônio, chumbo-chumbo, rênio-ósio, etc.), cada um ideal para determinar a data de certo evento geológico registrado em um certo tipo de rocha.

Cordani explica que os primeiros 30 anos do CPGeo foram dedicados a um extensivo mapeamento das idades das rochas dos principais blocos que formam a crosta continental da América do Sul: os antigos, imensos e estáveis blocos de rochas conhecidos como crátons, formados em sua maioria entre 500 milhões e 4 bilhões de anos atrás, sendo o maior deles o cráton amazônico, contendo 52% do território brasileiro, seguido dos crátons do São Francisco e do rio de La Plata, e fragmentos conti-

mentais menores, além do recente cinturão da cordilheira dos Andes, ainda em constante crescimento devido ao embate entre a placa tectônica oceânica de Nazca e a placa continental sul-americana.

Esse esforço de décadas, que contou sempre com apoio da FAPESP, principalmente em sua etapa final, por meio de dois projetos temáticos, coordenados por Cordani – “Evolução Tectônica da América do Sul”, de 1993 a 1996, e “Evolução Crustal da América do Sul”, de 1996 a 2000 –, culminou com a publicação do livro *Evolução Tectônica da América do Sul*, durante o 31º Congresso Geológico Internacional, na cidade do Rio de Janeiro, em 2000. Escrito em colaboração com dezenas de pesquisadores de várias universidades do Brasil e do exterior, o volume apresentou a síntese mais completa até aquele momento da evolução de cada núcleo rochoso do continente, delineando a história de como cresceram e se juntaram.

UM NOVO PATAMAR

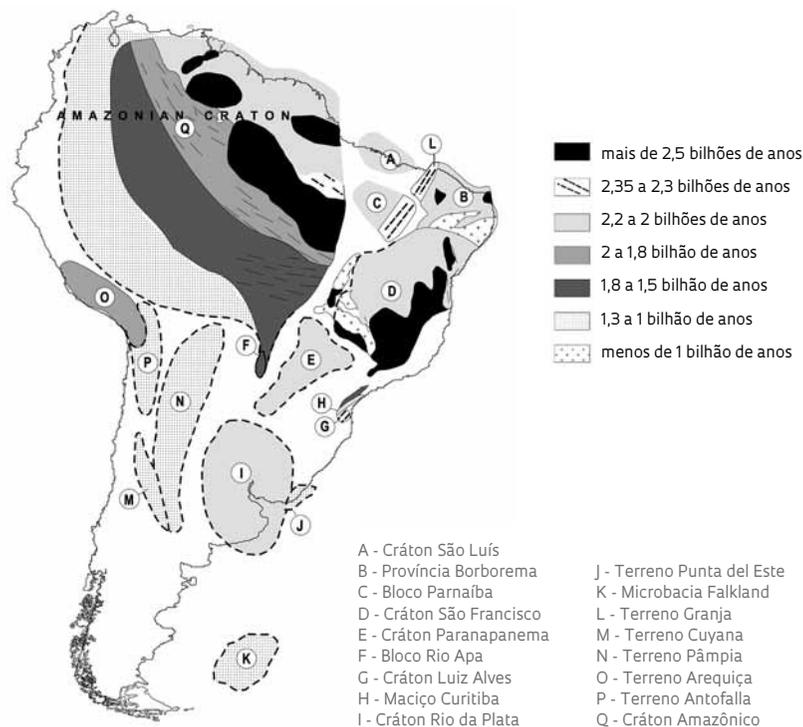
Embora as linhas gerais da história da formação da América do Sul já sejam bem compreendidas, ainda há muitos detalhes importantes a serem desvendados. “A geologia vive de interpretar as informações disponíveis no momento”, explica Miguel Basei, do CPGeo, que coordenou o mais recente projeto temático do centro, “A América do Sul no Contexto dos Supercontinentes”, iniciado em 2005 e concluído em 2011.

Graças à reforma e ampliação do CP-Geo realizados durante o projeto, seus pesquisadores obtiveram um número recorde de dados sobre a idade e a composição química de rochas. Foram milhares de datações realizadas todo ano que permitiram confirmar ou refutar uma série de hipóteses sobre a evolução dos blocos que se fundiram para formar a América do Sul, bem como suas antigas conexões com blocos em outros continentes, especialmente na África.

“O patamar do nosso conhecimento mudou”, afirma Colombo Tassinari, do CPGeo. As novas visões da história geológica foram publicadas em capítulos de livros e duas centenas de artigos científicos. Entre as publicações se destacam as edições especiais de 2011 do *International Journal of Earth Science* e do *Journal of South American Earth Sciences*, inteiramente dedicadas às conclusões do projeto.

Vestígios de Rodínia

Fragmentos se espalham pela América do Sul



A maior revolução veio com a instalação do Shrimp – sigla em inglês para Microsonda Iônica de Alta Resolução –, um tipo de espectrômetro de massa projetado para realizar principalmente o método de urânio-chumbo com extremo detalhe. Só existem 16 desses instrumentos em operação no mundo, sendo o da USP o único da América Latina. Fabricado pela Australia Scientific Instruments, foi adquirido em 2005, com financiamento da FAPESP (1,5 milhão de dólares) e da Petrobras (1,5 milhão de dólares). Em 2010 foi inaugurado um novo prédio ao lado do IGc, construído especialmente para abrigar o Shrimp e seus equipamentos periféricos.

Um deles é um microscópio de catodoluminescência, que obtém imagens de cristais de zircão (o mineral que contém o Urânio), cujo tamanho varia de 30 a 300 micrômetros (milésimos de milímetro). As imagens revelam a estrutura interna do zircão, que guarda o registro dos vários crescimentos e modificações a que foi sujeito desde a sua primeira cristalização. Como as várias camadas de uma cebola, cada camada externa do grão corresponde a um episódio que fundiu e depois recristalizou o mineral. “Um único grão de zircão pode às vezes contar a história completa de uma região”, explica Tassinari.

O Shrimp funciona disparando um feixe de íons de oxigênio, capaz de acertar um ponto específico escolhido pelos pesquisadores no grão de zircão, com uma precisão de até cinco micrômetros. O feixe libera os átomos de urânio e chumbo aprisionados no ponto do grão

para serem analisados no espectrômetro de massa. Assim, é possível descobrir a idade de cada evento de recristalização.

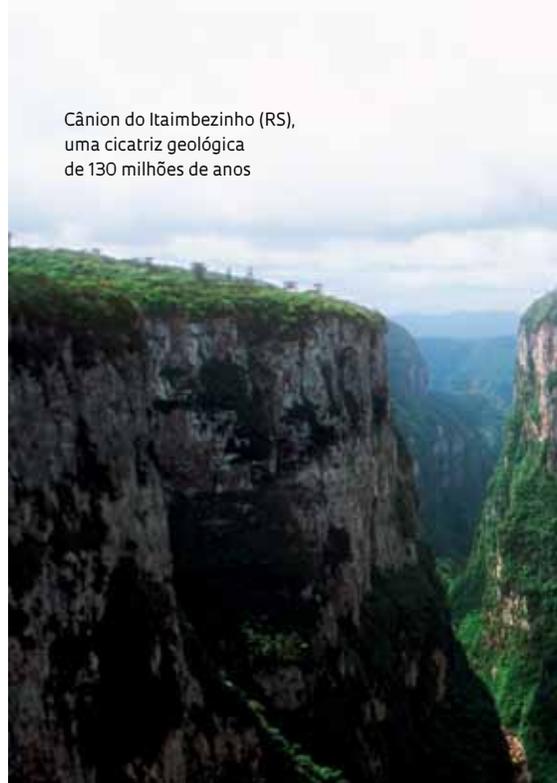
O interesse da Petrobras em financiar a compra do Shrimp é sua utilidade na busca por petróleo. Por meio das datações detalhadas feitas pelo instrumento, os geólogos descobrem como se formaram as rochas sedimentares de uma certa região e quais foram as mudanças de temperatura que elas sofreram ao longo de sua história – dados importantes para se determinar a possibilidade de elas conterem reservas petrolíferas.

Enquanto cada análise isotópica do Shrimp demora em torno de 15 minutos, os pesquisadores muitas vezes optam por realizar essas medidas com um pouco menos de precisão, mas em 50 segundos e com um custo de operação um terço mais barato, usando o Neptune – um espectrômetro de massa de ablação por laser adquirido em 2009 com verba da Finep e instalado com apoio da FAPESP.

É um dos quatro instrumentos desse tipo funcionando no país. Em vez de um feixe de oxigênio, o Neptune usa um feixe de luz laser para arrancar dos zircões pedaços de 20 a 30 micrômetros a serem analisados pelo espectrômetro. Além disso, os nove coletores de isótopos do Neptune permitem medir a quantidade de vários elementos químicos diferentes ao mesmo tempo. A velocidade do Neptune permite aos geólogos datarem mais de 60 zircões em um dia, um ritmo ideal para estudos preliminares de reconhecimento e para datar rochas sedimentares, formadas dos detritos de outras rochas.

Dentro do projeto temático, o CPGeo adquiriu ainda um terceiro espectrôme-

Cânion do Itaimbezinho (RS), uma cicatriz geológica de 130 milhões de anos



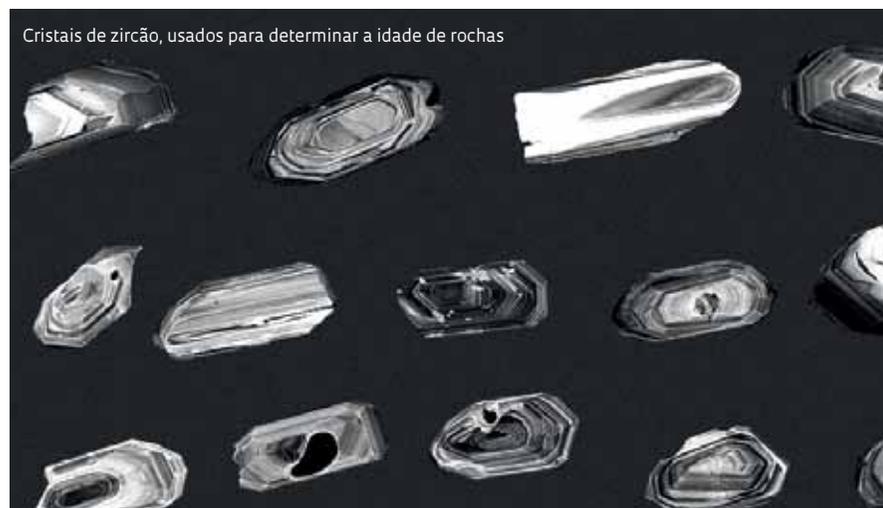
tro de massa convencional, o Triton. Um aparelho mais simples, mas de última geração, o Triton analisa amostras de minerais dissolvidos após um demorado tratamento químico. O passo lento de sete análises por dia, entretanto, compensa pela alta precisão da medida.

PASSADO SUPERCONTINENTAL

Os pesquisadores do GPGeo estudam todas as eras da Terra. No último projeto temático, entretanto, suas pesquisas se concentraram em um período crítico da história da crosta continental sul-americana, quando muitos de seus pedaços fizeram parte de dois supercontinentes.

No começo, por volta de 4,5 bilhões de anos, a superfície do planeta era coberta por um mar de lava. “A Terra é uma bomba térmica e é o seu resfriamento que produz as rochas”, explica Bley. Há 4 bilhões de anos, o planeta esfriou o suficiente para que surgissem as primeiras massas de terra firme (as rochas mais antigas conhecidas foram descobertas em 2008, na província de Quebec, no Canadá, com 4,28 bilhões de anos). Entretanto foi só há 2,5 bilhões de anos que as massas continentais atingiram tamanhos consideráveis, embora ainda fossem menores que os continentes atuais, separadas por enormes oceanos.

“Pelo menos seis vezes na história da Terra, essas massas continentais se reuniram supercontinentes e depois se fragmentaram”, diz Bley. O projeto temático



Cristais de zircão, usados para determinar a idade de rochas



focalizou principalmente um período aproximadamente entre 1,3 bilhão e 500 milhões de anos atrás, quando todas as massas do planeta, incluindo terrenos que hoje constituem grande parte do Brasil, se amalgamaram em um supercontinente conhecido como Rodínia. Bley, junto com Reinhardt Fuck, da Universidade de Brasília (UnB), e Carlos Schobbenhaus, do Serviço Geológico Brasileiro, participaram de uma colaboração internacional que publicou, em 2008, na revista *Precambrian Research*, a reconstituição mais detalhada até agora da formação e desmembramento de Rodínia.

Os principais continentes formados pela fragmentação de Rodínia foram quatro: Báltica, Laurentia, Sibéria e Gondwana. Este último incluiria o que hoje é boa parte da América do Sul, África, Índia, Austrália e Antártida. Os quatro continentes ancestrais teriam ainda se fundido mais uma vez, formando o famoso Pangea, há 230 milhões de anos, que então se desmembrou dando origem aos continentes atuais.

A reconstituição desse passado remoto é mais que uma curiosidade intelectual. A descoberta de jazidas minerais em uma

Por volta de 4,5 bilhões de anos atrás, a superfície do planeta era coberta por um mar de lava

certa região do globo pode sugerir que outras áreas hoje distantes, mas que estavam próximas há milhões de anos, também contenham as mesmas riquezas. Igualmente, a determinação precisa da idade das rochas auxilia a exploração desses minérios. Tassinari cita como exemplo a datação de rochas de uma mina de ouro da região do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, que revelaram ter 2 bilhões de anos. As companhias de mineração devem agora buscar rochas dessa mesma idade para prospe-

tar possíveis novas jazidas.

Outra conquista importante do projeto foi a descoberta por Bley, Fuck e Elton Dantas, da UnB, das rochas mais antigas da América do Sul, com 3,6 bilhões de anos, encontradas na cidade de Petrolina, em Pernambuco. Com o que ainda falta para ser explorado no Brasil, entretanto, Bley suspeita que o recorde deve ser quebrado em breve. “Como a Terra é muito dinâmica, essas rochas velhas estão muito ocultas, precisa de sorte para encontrá-las”, afirma o geólogo. “Mas acredito que ainda vamos chegar nos 4 bilhões de anos.” ■

OS PROJETOS

1. Evolução tectônica da América do Sul – nº 1992/03467-9 (1993-1995)
2. Evolução crustal da América do Sul – nº 1995/04652-2 (1996-2000)
3. A América do Sul no contexto dos supercontinentes – nº 2005/58688-1 (2006-2011)
4. Laboratório de geocronologia com microsonda iônica de alta resolução: suporte para o desenvolvimento de Projetos de Alta Tecnologia em Exploração de Petróleo – nº 2003/09695-0 (2005-2008)

MODALIDADES

1. 2. e 3. Projeto Temático
4. Parceria para Inovação Tecnológica (Pite)

COORDENADORES

1. e 2. Umberto Giuseppe Cordani – IGC/USP
3. Miguel Ângelo Stipp Basei – IGC/USP
4. Colombo Celso Gaeta Tassinari – IGC/USP

INVESTIMENTO

1. R\$ 200.000,00 (FAPESP)
2. R\$ 800.000,00 (FAPESP)
3. R\$ 3.611.085,27 (FAPESP)
4. US\$ 1.500.000,00 (FAPESP) e US\$ 1.500.000,00 (Petrobras)

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. AMARAL, G. *et al.* Potassium-Argon dates of basaltic rocks from Southern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. v. 30, p. 159-89, 1966.
2. HURLEY, P. M. *et al.* Test of continental drift by means of radiometric ages. *Science*. v. 144, p. 495-500, 1967.
3. FUCK, R. A. *et al.* Rodinia descendants in South America. *Precambrian Research*. v. 160, p. 108-26, 2008.

DE NOSSO ARQUIVO

E a América do Sul se fez
Edição nº 188 – outubro de 2011

As idades da Terra
Edição nº 108 – fevereiro de 2005

A História do planeta contada pelas rochas
Edição nº 30 – abril de 1998

TECNOLOGIA

BIOENERGIA **Do genoma à usina 140** INDÚSTRIA AERONÁUTICA **Em busca de segurança e conforto 148** BIOPOLÍMERO **Útil, sem poluir 154** SEMICONDUTORES **A memória do futuro 158** NOVOS MATERIAIS **Fragilidade superada 162** NOVOS MATERIAIS **Diamantes versáteis 166** ENGENHARIA NAVAL **Desafios em águas profundas 170** INDÚSTRIA PETROLÍFERA **Métodos refinados 174** TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO **Mil e uma aplicações 176** TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO **Fios mais finos 180** REVISOR GRAMATICAL **Idéia ou ideia? 186** BIOLOGIA CELULAR **A herança do clone 188** PECUÁRIA **Maturidade precoce 190** AGRICULTURA **Vespas soltas nos laranjais 194**



Do genoma à usina

Programa Bioen faz avançar o conhecimento sobre cana-de-açúcar e biocombustíveis

Fabício Marques

Pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) e da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) desvendaram em 2011 cerca de 10,8 bilhões de pares de bases do DNA da cana, 33 vezes o produto dos dois anos do projeto Genoma Cana, encerrado em 2001, que mapeou os genes expressos da planta. O resultado faz parte de um projeto temático, coordenado pela bióloga molecular Gláucia Souza, da USP, e com conclusão prevista para 2013, que busca o sequenciamento dos genes da cana-de-açúcar. Dada a complexidade do genoma, 300 regiões já estão organizadas em trechos maiores que 100 mil bases, que contêm de 5 a 14 genes contíguos de cana, em um projeto temático da geneticista Marie-Anne Van Sluys, também professora da USP. Os pesquisadores querem ir além do Genoma Cana, tanto na quantidade de dados como nas perguntas sobre como funciona o genoma da planta que se tornou sinônimo de energia de fonte renovável. Estudos de gramíneas como sorgo e arroz mostraram que para melhorar a produtividade das plantas é preciso saber como a atividade dos genes é controlada, função de trechos do DNA conhecidos como promotores.

A pesquisa é um exemplo de como o conhecimento sobre cana-de-açúcar e etanol avançou nos últimos anos. Por meio do Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia (Bioen), iniciado em 2008, do qual Gláucia Souza é coordenadora, a Fundação vem patrocinando um grande esforço de investigação, que articula pesquisadores de várias áreas do conhecimento, para aprimorar a produtividade do etanol brasileiro e avançar em ciência básica e tecnologia relacionadas à geração de energia de biomassa.

Um dos objetivos do Bioen é superar entraves tecnológicos e ampliar ainda mais a produtividade do etanol de primeira geração, feito a partir da fermentação da sacarose, que aproveita um terço da biomassa da cana. Outro mote é participar da corrida internacional em busca do etanol de segunda geração, produzido a partir de celulose – o que tornaria possível obter o biocombustível também do bagaço e da palha da cana e de diversas outras matérias-primas. O programa tem cinco vertentes. Uma delas é o de pesquisa sobre biomassa, com foco no melhoramento da cana. A segunda é o processo de fabricação de biocombustíveis. A terceira está vinculada a

Plantação de cana-de-açúcar em Lins, interior paulista: produtividade crescente





Expansão dos biocombustíveis na América Latina não compromete a produção de alimentos

Colheita manual em Cordeirópolis (SP), em 2010: estudos buscam conhecer e amenizar impactos econômicos e sociais

Um *software* denominado OneMap voltado para a utilização de marcadores genéticos em programas de melhoramento, explorando a genética e a fisiologia da cana, foi desenvolvido por Augusto Garcia, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq), da USP. “Essa

é uma das grandes expectativas de obtenção de cultivares mais rapidamente”, diz Gláucia Souza. A cada ano, o Centro de Tecnologia Canaveira (CTC) testa 1 milhão de mudas em busca de plantas mais produtivas. Demora 12 anos para que surjam duas ou três variedades promissoras.

“PLANTA ENERGIA”

A produtividade atual da cana, que é de 80 toneladas por hectare/ano em média, poderia alcançar 381 toneladas por hectare/ano, com o desenvolvimento de variedades

talhadas para a produção de bioenergia, dotadas, por exemplo, de alta produtividade, alto conteúdo de açúcar, tolerância à seca e resistência a pestes e doenças. Esse cálculo foi publicado num artigo científico de autoria de um grupo de pesquisadores do Bioen e do Centro de Pesquisa em Agricultura do Havaí. Segundo o estudo, a chamada “planta energia” precisa de crescimento rápido, necessidade reduzida de insumos para o crescimento e ser adaptada para a colheita mecanizada. Para fazer esse inédito cálculo teórico, o estudo associou dados tecnológicos de produção da cana com informações sobre a fisiologia da planta (fotossíntese, crescimento, desenvolvimento e maturação da cana) e propôs, através de estudos de genômica funcional, possíveis genes alvos para o melhoramento envolvendo a partição de carbono, que é a maneira como a cana distribui os carboidratos que produz via fotossíntese.

Publicado na *Plant Biotechnology Journal* em abril de 2010, o estudo mostrou quanto a cana poderia render com o uso de ferramentas biotecnológicas para

aplicações do etanol para motores automotivos e de aviação. A quarta é ligada a estudos sobre biorrefinarias, biologia sintética, sucroquímica e alcoolquímica. E a quinta trata dos impactos sociais e ambientais do uso de biocombustíveis.

GENÉTICA

Em quase quatro anos de existência, os resultados do programa Bioen são palpáveis e variados. A experiência em genômica de Marie-Anne Van Sluys, da USP, e de Anete Pereira de Souza, da Unicamp, levou-as à liderança de projetos cujo objetivo é gerar um sequenciamento parcial de dois cultivares de cana (R570 e SP80-3280) e subsidiar o desenvolvimento de ferramentas moleculares capazes de auxiliar na compreensão deste genoma. Um dos alvos é o estudo dos chamados elementos de transposição, regiões de DNA que podem se transferir de uma região para outra do genoma, deixando ou não uma cópia no local antigo onde estavam. “Programas de melhoramento também poderão ser beneficiados tendo acesso a informa-

ções moleculares com potencial para o desenvolvimento de marcadores”, diz Marie-Anne, que é professora do Instituto de Biociências da USP e uma das coordenadoras do Bioen.

Um projeto liderado por Ricardo Zorzetto Vêncio, da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, da USP, desenvolveu a versão-piloto de um *software* para tentar caracterizar as funções de genes da cana-de-açúcar. A abordagem é inovadora, porque não se limita a atribuir a uma sequência de genes de um organismo as funções já observadas numa sequência semelhante de outro ser vivo. A ideia é utilizar algoritmos que contemplem a incerteza contida nessa associação. “Em vez de simplesmente dizer que um gene tem uma função específica, queremos dizer qual é a probabilidade de ele ter essa função e, neste cálculo, levar em conta diferentes evidências como a relação evolutiva com outros genes ou se tem algum experimento que confirma a função”, diz Ricardo Vêncio.

criar novas variedades. Uma carta enviada aos autores pelo editor da revista, o biólogo Keith J. Edwards, da Universidade de Bristol, Inglaterra, informou que já haviam sido registrados mais de 1,6 mil *downloads* do artigo, número elevado para uma revista de interesse especializado. O interesse no artigo é revelador de um novo patamar da pesquisa sobre cana-de-açúcar, observa Glaucia Souza, autora principal do artigo, que é professora do Instituto de Química da USP. “Há alguns anos tínhamos dificuldade de publicar artigos sobre biotecnologia da cana, porque se considerava que era uma planta exótica que só dá nos semitropicais. Hoje, como muitos países buscam desenvolver energia extraída de biomassa, os estudos da cana vêm ganhando importância”, afirma. A popularidade do artigo também mostra como o Programa Bioen está avançando no campo do melhoramento genético. “Estamos conseguindo trazer o genoma para o campo”, diz.

O Brasil tem uma posição especial no debate internacional sobre biocombustíveis, pois é o único país que realizou a substituição em larga escala da gasolina por etanol. A experiência brasileira e os estudos no campo da bioenergia realiza-

3% é o ganho anual de produtividade do etanol brasileiro nas últimas quatro décadas

60% da produção nacional de etanol vem do estado de São Paulo

dos por instituições do estado habilitaram pesquisadores paulistas a participar do projeto Global Sustainable Bionergy (GSB), iniciativa internacional para discutir a viabilidade da produção de biocombustíveis em larga escala e em nível mundial e buscar um consenso científico sobre o assunto. O GSB promoveu encontros entre cientistas do setor energético em cinco países. A intenção foi discutir se é possível suprir uma fração substancial da demanda energética a partir da produção de biomassa, sem comprometer o fornecimento de alimentos, a preservação de habitats naturais e a qualidade do meio ambiente, além de propor estratégias para a transição rumo a uma nova matriz energética, mais equilibrada e renovável. O *workshop* da América Latina foi organizado pela FAPESP, em março de 2010, e discutiu os desafios tecnológicos para obter etanol a partir de celulose a custos competitivos, a possibilidade de replicar em outros países o bem-sucedido caso do etanol de cana brasileiro e o temor de que a concorrência dos biocombustíveis comprometa outras culturas agrícolas. A

Canavial em Guaíra (SP): produção de biocombustíveis pode ampliar ganhos do agronegócio



resolução aprovada no encontro afirmou enfaticamente o potencial de expansão da produção de bioenergia na América Latina, sem que isso comprometa a produção de alimentos, o meio ambiente e a biodiversidade. O coordenador do Projeto GSB, Lee Lynd, da Thayer School of Engineering, Dartmouth College, nos Estados Unidos, fez elogios à disposição dos pesquisadores brasileiros de buscar formas sustentáveis para produzir biocombustíveis. “Outros países deveriam enfrentar o problema como o Brasil está fazendo. Os Estados Unidos, por exemplo, são mais defensivos em relação aos mecanismos de sustentabilidade, embora liderem a produção de etanol”, afirmou na época.

COMBUSTÍVEL PARA AVIAÇÃO

Entre as ambições do programa, um dos destaques é o desenvolvimento de biocombustíveis para aviação. Em abril passado, representantes da FAPESP, Boeing e Embraer iniciaram um estudo sobre os principais desafios científicos, tecnológicos, sociais e econômicos para o desenvolvimento e adoção de biocombustível pelo setor de aviação comercial e executiva no Brasil. Com duração prevista de nove a 12 meses, o estudo será orientado por uma série de oito *workshops* programados para este ano,

a fim de coletar dados com pesquisadores e integrantes da cadeia de produção de biocombustíveis, além de representantes do setor de aviação e do governo. Após a conclusão do estudo, a FAPESP, Boeing e Embraer realizarão um projeto de pesquisa conjunto sobre os temas prioritários apontados no levantamento e lançarão uma chamada de propostas para estabelecer um centro de pesquisa e desenvolvimento de biocombustíveis para aviação comercial envolvendo as três instituições, baseado no modelo dos Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepids) da FAPESP, voltados para desenvolver pesquisas na fronteira do conhecimento. O projeto de pesquisa faz parte de um acordo entre as instituições, assinado em outubro de 2011, no âmbito do Bioen, coordenado por Luís Augusto Barbosa Cortez, professor da Unicamp e coordenador-adjunto de Programas Especiais da FAPESP.

Um processo inovador para a produção de bioquerosene a partir de vários tipos de óleo vegetal, que poderá tornar o combustível usado em aviões menos poluente e mais barato, já foi desenvolvido na Faculdade de Engenharia Química (FEQ) da Unicamp. Após sua extração e refino, o óleo é colocado em um reator junto com uma quantidade

de específica de etanol e um catalisador, responsável por acelerar as reações químicas. “A maior contribuição do processo de obtenção do bioquerosene são os altos índices de pureza do produto final”, diz Rubens Maciel Filho, professor da FEQ e coordenador do estudo. Essa rota possibilita a obtenção de biocombustíveis de aviação oxigenados com ponto de congelamento que permitem seu uso como *jet fuel*. Outro processo possibilita a produção de bioquerosene do tipo hidrocarbonetos com pedido de patente internacional já solicitada e protocolada. Uma outra contribuição de Maciel é um projeto que busca criar compostos de alto valor econômico a partir de subprodutos da cana. O projeto vem obtendo bons resultados na produção do ácido acrílico e do ácido propiônico a partir do ácido láctico. “É possível desenvolver produtos com valores 190 mil vezes maiores do que o do açúcar”, diz Maciel.

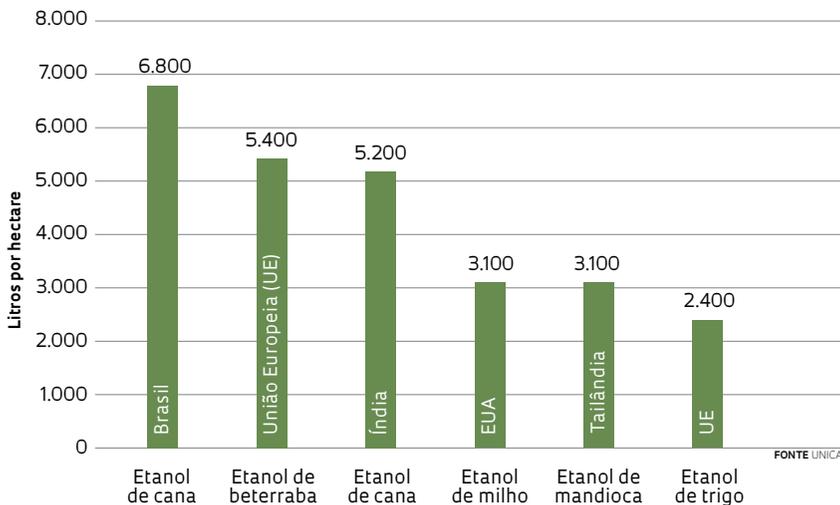
IMPACTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS

O Bioen busca mensurar os impactos sociais e econômicos de uma sociedade baseada em energia de biomassa. “Temos grupos de pesquisadores estudando modelos econômicos capazes de avaliar as mudanças de uso da terra causadas pela produção em larga escala de biocombustíveis”, diz Gláucia Souza. “Também há estudos sobre os gargalos econômicos da produção de biocombustíveis, mapeamentos agroecológicos e impacto na biodiversidade, para citar alguns exemplos”, afirma a professora. Conhecimento novo à parte, Gláucia destaca o potencial dos biocombustíveis no combate à pobreza. “A cana-de-açúcar contribui para o desenvolvimento rural, mas a agricultura ainda reverte pouco lucro para os produtores. A produção de biocombustíveis pode agregar valor ao agronegócio, permitindo, por exemplo, que o setor gere sua própria energia e venda o excedente, contribuindo para o desenvolvimento regional e o combate à pobreza”, diz.

No exterior, questiona-se o fato de o Brasil ser forte na agricultura voltada à alimentação e substituir terra boa da produção de alimentos para plantio de cana. Trata-se de um problema inexistente, segundo estudo do grupo liderado pelo economista André Nassar, do Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais (Icône), financiado pela

A produtividade do etanol

Biocombustível brasileiro tem o melhor rendimento





Montanha de bagaço de cana na Usina Costa Pinto, em Piracicaba (SP): extração de etanol da celulose poderá multiplicar a produção do combustível brasileiro

FAPESP dentro do Bioen. Em 2022, no cenário traçado pelo instituto, a área de lavoura de cana deve ocupar 10,5 milhões de hectares, ante 8,1 milhões de hectares em 2009. O crescimento de 30% no canavial deve se dar na região Sudeste, principalmente em áreas de pastagem de criação de gado bovino, e na região Centro-Oeste, onde deve substituir áreas tradicionais de plantio de grãos e de pastos. “Hoje, os pecuaristas produzem mais carne por hectare. Em 1996, foram produzidas 6 milhões de toneladas de carne, em 184 milhões de hectares. Dez anos depois, a produção somou 9 milhões de toneladas de carne, em 183 milhões de hectares. O rebanho, no período, saltou de 158 milhões para 206 milhões”, diz a pesquisadora Leila Harfuch, do Icone. “As pastagens entre 2009 e 2022 devem cair cerca de 5 milhões de hectares, acomodando parte da expansão de grãos e cana.”

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Há estudos cujo foco é a forma como a cana-de-açúcar irá responder às mudanças climáticas. Esse conhecimento poderá ajudar a desenvolver variedades mais resistentes a eventuais aumentos de chuva e de calor, além do esperado avanço de pragas. Já é sabido que a alta concentração de gás carbônico produz um aumento na fotossíntese e no vo-

lume de biomassa, o que faz antever um avanço da produtividade. “Em contrapartida, pouco se sabe sobre os mecanismos de controle hormonais, suas relações com o metabolismo de carbono e as redes de transcrição gênica a ele associados”, diz Marcos Buckeridge, professor do Departamento de Botânica do Instituto de Biociências da USP e diretor científico do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE). “O conhecimento de tais processos tem o potencial de expor quais os pontos do metabolismo da cana poderiam ser alterados para produzir variedades com potencial de adaptação às mudanças climáticas”, afirma Buckeridge. A busca de fontes para a produção de biocombustíveis que não comprometam a natureza, como, por exemplo, a obtenção de etanol a partir de polissacarídeos de sementes de árvores nativas cultivadas em meio a plantações de cana, também é alvo de investigação. “Sistemas agroflorestais podem representar um novo modelo capaz de aumentar a produção de energia renovável, de uma forma harmônica e com benefícios sociais, além de impacto ambiental mínimo”, afirma Buckeridge.

O bagaço é queimado para gerar energia das usinas e usado na produção de alimentos para animais

ETANOL DE CELULOSE

Apenas a sacarose, responsável por um terço da biomassa da cana, é aproveitada para a produção de açúcar e álcool combustível. É certo que o Brasil utiliza o bagaço da cana na geração de energia nas usinas ou na produção de alimento para animais, o que foi responsável por um notável ganho de eficiência. O grande desafio é converter em etanol também a celulose, que está no bagaço e na palha da cana – processos de hidrólise enzimática ou físico-química permitiriam que as unidades de carbono da celulose e da hemicelulose fossem também fermentadas. O domínio das tecnologias de utilização da celulose está no centro da corrida mundial pela produção de energia a partir de fontes renováveis. Hoje esse processo ainda não é viável economicamente. Se os pesquisadores encontrarem formas de reduzir custos, o

uso da celulose da cana poderia ampliar dramaticamente a produção de etanol.

Na busca do etanol de celulose, um dos destaques é um projeto que avalia como é possível romper a resistência das paredes celulares de vegetais lignificados, como a cana, por meio de hidrólise enzimática. A lignina é uma macromolécula encontrada em plantas, associada à celulose na parede celular, cuja função é conferir rigidez e resistência. Quebrá-la é um desafio para obter etanol de celulose. “Para entender como a remoção de lignina pode diminuir a recalcitrância das paredes celulares, têm sido avaliados, além de variedades comerciais, híbridos de cana com teores contrastantes de lignina”, diz Adriane Milagres, professora da Escola de Engenharia de Lorena, da USP, uma das coordenadoras do projeto. “Quando materiais são tratados com métodos seletivos, a remoção de 50% da lignina original já eleva o nível de conversão da celulose para 85%/90%.” Segundo Adriane, o avanço do projeto também está direcionado para avaliar quais são os coquetéis enzimáticos mais apropriados para obter um nível de hidrólise enzimática elevado usando bagaço de cana que tenha sido pré-tratado com a menor severidade possível. “Isso porque os teores iniciais de lignina das plantas selecionadas já são baixos”, explica.

PRIMEIRA GERAÇÃO

O Brasil detém vantagens acentuadas na produção de etanol de primeira geração, feito a partir da fermentação da sacarose. A produtividade da cana-de-açúcar aumentou muito nos últimos 30 anos, a uma taxa média de cerca de 4% ao ano. Essa produtividade pode crescer ainda mais se alguns desafios tecnológicos forem superados. Um projeto realizado por pesquisadores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), em colaboração com grupos de pesquisa da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e da Delft University of Technology, da Holanda, demonstrou que existe uma margem para avançar por meio do

melhoramento genético dos microrganismos utilizados no processo convencional de produção industrial do biocombustível por fermentação, em que leveduras da espécie *Saccharomyces cerevisiae* convertem a sacarose (o açúcar) em etanol.

Por meio de estratégias de engenharia metabólica, o grupo conseguiu, em escala de bancada, aumentar em 11% o rendimento da produção de etanol sobre a sacarose utilizando uma levedura geneticamente modificada. “Esse experimento ainda não foi testado em ambiente industrial. Mas, levando-se em conta o grande volume da produção atual, um aumento de apenas 3% no rendimento da fermentação alcoólica permitiria hoje um incremento de 1 bilhão de litros de etanol por ano, só no Brasil, a partir da mesma quantidade de cana-de-açúcar. O que já seria um ganho extraordinário”, diz Andreas Karoly Gombert, professor da Escola Politécnica da USP e coordenador do projeto. O projeto surgiu a partir de uma iniciativa do professor Boris Ugarte Stambuk, da UFSC, que

desenvolveu em laboratório e patenteou uma estratégia de engenharia metabólica que altera a topologia e a energética do metabolismo de sacarose na levedura *Sacchromyces cerevisiae*.

INTERAÇÃO COM SETOR PRIVADO

Um salto no interesse pela pesquisa em cana e etanol aconteceu em abril de 1999, com o advento do Genoma Cana, que mapeou 250 mil fragmentos de genes funcionais da cana (*ver reportagem à página 54*) e se caracterizou pela interação com o setor privado. Após o encerramento do programa, o interesse das empresas pela pesquisa em bioenergia não arrefeceu. Em 2006, a FAPESP, em parceria com o BNDES, firmou um convênio com a Oxiteno, do grupo Ultra, para o desenvolvimento de projetos cooperativos em que se investiga desde o processo de hidrólise enzimática do bagaço da cana para a obtenção de açúcares até a produção de etanol de celulose. No ano seguinte, a Dedini Indústrias de Base celebrou convênio com a FAPESP para financiar projetos sobre técnicas de

Caldeiras da Usina Santa Elisa, em Sertãozinho (SP): produção de energia elétrica com bagaço de cana



conversão do bagaço de cana em etanol. No início de 2008, a FAPESP e a Braskem também firmaram um convênio para o desenvolvimento de biopolímeros.

A crescente importância econômica da cana ajudou a impulsionar o interesse dos pesquisadores. O Brasil colheu 569 milhões de toneladas de cana na safra de 2009 – quase o dobro da colheita de 1999, segundo dados da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica). Metade da produção foi transformada em etanol – o equivalente a 27 bilhões de litros –, o que coloca o Brasil como o segundo maior produtor mundial do combustível. O primeiro lugar cabe aos Estados Unidos, que extraem etanol do milho a poder de pesados subsídios. São Paulo respondeu por 60% da produção nacional. O ganho de produtividade tem sido maior do que 3% ao ano nos últimos 40 anos, resultado de melhoramento genético da cana. O etanol fez do Brasil um exemplo único de país que substituiu o uso de gasolina em grande escala. No estado de São Paulo, 56% da energia vem de fontes renováveis, sendo 38% da cana.

Um desdobramento do Bioen foi a criação, em 2010, do Centro Paulista de Pesquisa em Bioenergia (CPPB). Trata-se de um esforço para estimular a pesquisa interdisciplinar e ampliar o contingente de pesquisadores envolvidos com o tema, liderado pela FAPESP, o governo do estado de São Paulo e as três universidades estaduais paulistas. Segundo o acordo, o governo estadual já investiu e investirá recursos para criação de infraestrutura de pesquisa na USP, Unicamp e Unesp. As universidades, por sua vez, contratarão docentes e pesquisadores, cabendo à FAPESP o investimento no financiamento à pesquisa. A USP criou o Núcleo de Pesquisas de Bioenergia e Sustentabilidade (NAPBS); a Unicamp, o Laboratório de Bioenergia (Labioen); e a Unesp, o Núcleo de Pesquisa em Bioenergia (Bioen-Unesp). “Com os recursos liberados pelo governo estadual em 2010 e 2011, as três universidades já estão construindo a infraestrutura nos seus respectivos campi. O processo de contratação de novos docentes e pesquisadores também se

encontra adiantado”, diz Luis Cortez, professor da Unicamp e coordenador do centro. Outra iniciativa ligada ao CPPB é o Centro de Biologia Sintética e Sistêmica da Biomassa, na USP, idealizado em 2008 por Glaucia Souza, Marie-Anne Van Sluys e Marcos Buckeridge. Esse centro vai reunir pesquisadores dos institutos de Química, de Matemática e Estatística, de Biociências, de Ciências Biomédicas e da Escola Politécnica. A biologia sintética combina biologia e engenharia para construir novas funções e sistemas biológicos. “A intenção é investir numa área em que o Brasil ainda não tem grande expertise e envolver pesquisadores de várias disciplinas”, diz Glaucia Souza. ■

OS NÚMEROS DO PROGRAMA BIOEN

49 projetos de pesquisa em andamento
11 projetos de pesquisa concluídos
Concessão total: R\$ 64.170.267,56
108 bolsas no país em andamento
102 bolsas no país concluídas
Concessão total: R\$ 14.008.313,89

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. WACLAWOVSKY, A. J. *et al.* Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. *Plant Biotechnology Journal*. v. 8, 263-76. Publicado on-line 19 fev. 2010.
 2. BASSO, T. O. *et al.* Engineering topology and kinetics of sucrose metabolism in *Saccharomyces cerevisiae* for improved ethanol yield. *Metabolic Engineering*. v. 13, 694-703, 2011.
-

DE NOSSO ARQUIVO

Sertãozinho, usina de inovações
Edição nº 128 – outubro de 2006

Vias para avançar como líder do etanol
Edição nº 149 – julho de 2008

Cardápio energético
Edição nº 157 – março de 2009

O alvo é o bagaço
Edição nº 163 – setembro de 2009

Energia do futuro
Edição nº 170 – abril de 2010

Cálculo original
Edição nº 184 – junho de 2011

Biorrefinarias do futuro
Edição nº 192 – fevereiro de 2012



Em busca de segurança e conforto

Universidades e Embraer criam conhecimento para aperfeiçoar aviões comerciais e de defesa

Claudia Izique

Há pouco mais de dez anos, a cidade de Gavião Peixoto, com quatro mil habitantes, emergia timidamente em meio a um imenso canavial, pontilhado, aqui e acolá, por pomares de laranja. Hoje, junto à área urbana da cidade impõem-se uma pista de decolagem com 5 mil metros de comprimento, a maior da América Latina, e uma unidade de fabricação da Embraer. Ali, além de testes e ensaios em voo, a empresa produz as asas dos Embraer 190 e 195, fabrica os jatos Phenom 100 e 300, além do Super Tucano – um turboélice militar multifunção. Também é ali que a empresa reforma caças da Força Aérea Brasileira (FAB), razão pela qual a região é considerada área de segurança – que a imaginação de desavisados identifica como a “área 51 do Brasil”, numa referência à base militar norte-americana, instalada no deserto de Nevada.

A paisagem e o futuro de Gavião Peixoto começaram a mudar no início da década, precisamente no dia 24 de junho de 2000, quando o então governador de São Paulo, Mario Covas, e o então presidente da Embraer, Maurício Botelho, anun-

ciaram que o município fora escolhido para abrigar a quarta fábrica da empresa, um empreendimento de R\$ 340 milhões e dois mil empregos diretos.

O estímulo do estado foi crucial na decisão da Embraer de instalar-se em Gavião Peixoto: o governo cedeu à empresa uma área 15 km² por um período de 35 anos, renováveis por mais 35, além da infraestrutura básica do terreno: água, energia, pavimentação de rodovias, entre outras. Teve peso, é claro, a proximidade que a futura fábrica teria de universidades e institutos de pesquisas de São Carlos e Araraquara. Mas contou pontos, e muito, o apoio da FAPESP: menos de um mês após o anúncio da nova fábrica, foi lançado no âmbito do Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (Pite).

Ao longo dos últimos 12 anos, a FAPESP desembolsou R\$ 16,4 milhões para apoiar oito projetos, que também contaram com contrapartida da Embraer. “Foi uma parceria estratégica que permitiu à empresa avançar no domínio da tecnologia e aumentar o seu diferencial competitivo”, avalia Jorge Ramos, diretor de desenvolvimento tecnológico da Embraer.

Canaviais e pomares de laranja de Gavião Peixoto (SP) deram lugar aos imensos galpões da Embraer





Muitos dos projetos desenvolvidos em parceria com universidades e instituições de pesquisa se transformaram em conhecimento de engenharia e foram – ou poderão ser – aplicados em produtos para a aviação executiva, comercial e de defesa. O projeto *Estruturas Aeronáuticas de Materiais Compósitos*, que investiga soluções em compostos de fibra de carbono para reduzir o peso e melhorar o desempenho das aeronaves em relação aos materiais convencionais, já identificou metodologia que poderá ser incorporada aos componentes em materiais compósitos que a empresa vai produzir numa das duas fábricas que está construindo na cidade de Évora, em Portugal.

As pesquisas cobrem vários temas relacionados à aeronáutica. Em três dos projetos financiados, e ainda em andamento, pesquisadores de várias universidades e institutos de pesquisa buscam soluções para tornar as aeronaves mais confortáveis, silenciosas e seguras.

No projeto *Conforto de Cabine: desenvolvimento e análise integrada de critérios e conforto*, por exemplo, iniciado em 2008, os pesquisadores desenvolveram um ambiente que simula cabines dos modelos 170 e 190 da Embraer para estudar parâmetros operacionais como o conforto térmico, a pressão, o ruído, a vibração, a iluminação e a ergonomia, além de odores e materiais. A intenção é avaliar e integrar os vários aspectos do conforto humano e estabelecer parâmetros de projeto e design. Esse equipamento de pesquisa, inédito no Brasil, está instalado no Laboratório de Engenharia Térmica e Ambiental (LETE), na Escola Politécnica da USP. No ano passado foi

utilizado para consultar centenas de passageiros, habituados a viajar de avião, sobre as condições de conforto em voo. Jurandir Itizo Yanagihara, coordenador do projeto, adiantou à *Agência FAPESP* que uma das tendências identificadas foi a criação de espaços alternativos para a interação de passageiros em grandes aeronaves.

As restrições legais aos ruídos de aeronaves também pautam pesquisa. Em *Aeronave Silenciosa: uma investigação em aeroacústica*, pesquisadores desenvolvem métodos e equipamentos supressores de ruídos. Procuram identificar a fonte – se proveniente da asa, dos flaps, da turbina ou do trem de pouso, por exemplo – e medir a intensidade do ruído, utilizando grandes conjuntos de microfones instalados na cabeceira da pista de ensaios de Gavião Peixoto. No final da primeira fase, os estudos já resultaram em dois pedidos de patentes relacionadas a atenuadores. O estudo conta com a participação de 70 pesquisadores da Embraer, da USP, da Universidade de Brasília e de duas federais: de Santa Catarina (UFSC) e de Uberlândia (UFU).

PESQUISA EM REDE

Todos os projetos, aliás, envolvem diversas universidades e institutos de pesquisas de São Paulo e até de outros estados. O *Conforto de Cabine*, por exemplo, abriga, além de pesquisadores da USP, também da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e da UFSC. O projeto *Aplicações Avançadas de Mecânica dos Fluidos Computacional para Aeronaves de Alto Desempenho*, reuniu um número de instituições ainda maior: o Instituto

OS PROJETOS

1. Comportamento de materiais e estruturas aeronáuticas sujeitas a impacto – nº 2002/11313-5 (2003-2006)
2. Aplicações avançadas de mecânica dos fluidos computacional para aeronaves de alto desempenho – nº 2000/13768-4 (2002-2006)
3. Identificação de derivadas de estabilidade e controle de aeronaves via filtragem não linear e otimização estocástica: algoritmos e aplicações a dados de ensaio em voo – nº 2001/08753-0 (2002-2006)
4. Estruturas aeronáuticas de materiais compósitos – nº 2006/61257-5 (2011-2014)
5. Conforto de cabine: desenvolvimento e análise integrada de critérios de conforto – nº 2006/52570-1 (2008-2012)
6. Desenvolvimento de um sistema GPS Diferencial para posicionamento e guiagem da aeronave em tempo real – nº 2001/08751-8 (2002-2005)
7. Desenvolvimento de tecnologia de ensaios aerodinâmicos bi e tridimensionais para o projeto de aeronaves de alto desempenho – nº 2000/13769-0 (2001-2007)
8. Aeronave silenciosa: uma investigação em aeronáutica – nº 2006/52568-7 (2008-2011)

MODALIDADE

1. a 8. Parceria para Inovação Tecnológica – PITE

COORDENADORES

1. Márcilio Alves – Embraer e Escola Politécnica da USP
2. João Luiz Filgueiras de Azevedo – Embraer e CTA
3. Luiz Carlos Sandoval Góes – Embraer e CTA
4. Sergio F. M. de Almeida – Embraer e ITA/CTA
5. Jurandir Itizo Yanagihara – Embraer e USP
6. Helio Koiti Kuga – Embraer e Inpe/MCT
7. Olympio Achilles de Faria Mello – Embraer e CTA
8. Julio Romano Meneghini – Embraer e USP

INVESTIMENTOS

1. R\$ 367.896,00
2. R\$ 3.826.117,01
3. R\$ 587.702,23
4. R\$ 1.851.527,59
5. R\$ 3.205.550,76
6. R\$ 688.295,73
7. R\$ 4.201.476,05
8. R\$ 3.741.069,33



1. Projeto *Conforto de Cabine* simula modelos da Embraer para testar temperatura, pressão, ruído, vibração, iluminação, ergonomia e odores

2. Projeto *Estruturas Aeronáuticas de Materiais Compósitos* pesquisa fibra de carbono para reduzir o peso e melhorar o desempenho do aviões

Tecnológico de Aeronáutica (ITA), o Instituto de Aeronáutica e Espaço/Centro Técnico Aeroespacial (IAE/CTA), a Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), Poli (USP), a UFSC, a UFU e a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). A expectativa era de que as investigações resultassem na criação de um Núcleo de Mecânica dos Fluidos Computacional (CFD, da sigla em inglês), para fazer simulações numéricas de escoamento de ar, contribuindo para a definição do perfil aerodinâmico de aeronaves. “Esse projeto permitiu constituir uma rede ampla de pesquisa e compartilhar o domínio dessa ferramenta essencial para a aeronáutica”, sublinha o diretor da Embraer.

CONHECIMENTO COMPARTILHADO

Muito além de contribuir para a inovação na empresa, o Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para a Inovação Tecnológica (Pite) deixa nas instituições parceiras um legado importante: a criação e o avanço do conhecimento, a contribuição na formação de recursos humanos altamente qualificados, além da infraestrutura de pesquisa instalada nas ICTs que contribuirá para

a formação de novos recursos humanos, também disponível para investigação de outros setores da indústria brasileira. A tecnologia de medição de ruídos e os atenuadores desenvolvidos no projeto de supressão de ruídos em aeronaves, por exemplo, poderia, efetivamente, se constituir num insumo importante para empresas fabricantes de geladeiras. Da mesma maneira, a cabine de avaliação de conforto de passageiros instalada no Laboratório de Engenharia Térmica e Ambiental da USP guarda informações importantes para um melhor desempenho dos fabricantes de veículos de passageiros.

O círculo virtuoso do PITE focado no desenvolvimento da ciência e tecnologia aeroespaciais se completará quando seus resultados repercutirem também na ampliação da cadeia de fornecedores brasileiros da terceira maior fabricante de aviões comerciais do mundo: a grande maioria das cerca de 50 mil peças que compõem uma aeronave da Embraer é importada. É certo que o mercado das empresas aeronáuticas é global. Mas é impossível ignorar que a cadeia de fornecedores no país não acompanhou a evolução da Embraer: a empresa tem 17 mil empregados e a cadeia de fornecedores

nacionais tem cerca de 5 mil. A maior fabricante do mundo, a Boeing, tem mais de 170 mil empregados e a cadeia aeroespacial norte-americana, mais de 620 mil pessoas.

O projeto *Estruturas Aeronáuticas de Materiais Compósitos* é exemplo de política pública calibrada para promover o adensamento da cadeia produtiva aeronáutica e repercutir também em outros setores da produção. O projeto envolve, além da FAPESP, o IPT, a Poli (USP), o Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da USP, a Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), a Unicamp, a Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG) da Unesp e o ITA, e sua programação prevê a implementação de um Laboratório de Estruturas Leves (LEL), de última geração, a ser instalado no Parque Tecnológico de São José dos Campos. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) viabilizou R\$ 27,6 milhões para a implantação do laboratório e a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), mais R\$ 8,3 milhões. A FAPESP e o IPT completaram o investimento, totalizando R\$ 44,2 milhões.

O LEL, a rigor, estará organizado em torno de quatro projetos estruturantes, dois deles voltados para materiais metálicos e dois para materiais compósitos de fibra de carbono. Compósitos bem adaptados podem preencher a estrutura do avião, substituindo com vantagem o alumínio e o aço. O desafio é descobrir, testar e certificar as melhores composições. A nova tecnologia, vital para o setor aeronáutico, também é aplicável a outros setores, como, por exemplo, o espacial, o de petróleo, o automotivo e o de energia eólica, afirmou Sérgio Müller Frascino, do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial do ITA, responsável pelo projeto, à Agência FAPESP, durante o Workshop FAPESP-ABC sobre Pesquisa Colaborativa Universidade-Empresa, realizado em novembro de 2011.

A relação da FAPESP com a Embraer estreitou-se ainda mais no final do ano passado, quando as duas parceiras se associaram à Boeing para colaboração em pesquisa e desenvolvimento de biocombustíveis para aviação. Esse acordo resultou numa carta de intenções, firmada em outubro, que prevê o desenvolvimento de estudo detalhado sobre as oportunidades e os desafios de criar no País uma indústria de produção e distribuição de combustível de aviação bioderivado, sustentável e economicamente eficiente.

A expectativa é que esse estudo contribua para criar no Brasil um centro de pesquisas focado no desenvolvimento de biocombustível para aviação, numa parceria entre a indústria e a FAPESP, com a finalidade de impulsionar uma agenda de pesquisa de longo prazo. O centro será criado por

meio de seleção pública e de acordo com o Programa FAPESP Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid), adianta Suely Vilela, membro do Conselho Superior da Fundação.

PATENTES

Concomitantemente ao aumento dos investimentos em pesquisa pré-competitiva dos últimos seis anos, a Embraer estruturou uma área dedicada à gestão da propriedade intelectual gerada no desenvolvimento de tecnologia, produtos, serviços e processos. Até então, as criações intelectuais da empresa eram protegidas preferencialmente por segredo industrial, modalidade que atendia à necessidade de proteção no desenvolvimento de “um produto complexo e de longo ciclo de desenvolvimento, ou seja, uma proteção natural às soluções não muito visíveis”, como explica Jorge Ramos. “Na medida em que intensificamos o foco em pesquisa, identificamos outras necessidades e oportunidades de proteção e exploração dos nossos direitos de propriedade intelectual.”

Desde então, a Embraer já depositou 272 patentes no Brasil e no exterior. “São patentes em solução de produtos e processo de manufatura”, ele explica. Foi criado um comitê que se reúne todo os meses para analisar as invenções. O programa cresce a cada ano, ao mesmo tempo que se consolida uma cultura de proteção da propriedade intelectual entre os funcionários da empresa.

NOVOS MERCADOS

Ao longo dos 12 anos desde a implantação do PITE, ao mesmo tempo que investiu em sua competitividade, a Embraer cresceu e se consolidou como empresa global. Encerrou o ano passado com um faturamento de US\$ 5,6 bilhões, na terceira posição entre as maiores do mundo na fabricação de aeronaves comerciais, e iniciou 2012 com US\$ 15 bilhões em carteira. Esse valor inclui a encomenda de 20 aviões Super Tucano pela Força Aérea americana, no valor de US\$ 355 milhões, temporariamente suspensa depois que a fabricante de aviões Hawker Beechcraft questionou na Justiça americana o processo de licitação. Os Super Tucano seriam utilizados em patrulhas no Afeganistão.

Nos próximos anos, a Embraer promete ir ainda mais longe. Está construindo duas fábricas em Portugal, mercado em que está presente desde 2004, para a produção de estruturas metálicas e em materiais compósitos que, inicialmente, estarão dedicadas ao suporte logístico de jatos executivos e que, posteriormente, irão atender também ao segmento de aviação comercial.

Outra novidade é o reposicionamento da empresa no mercado da China. A primeira fábrica

Embraer e FAPESP se associaram à Boeing em 2011, com o objetivo de desenvolver novos combustíveis



A produção do turboélice militar Tucano levou Gavião Peixoto a ser chamada de “área 51 do Brasil”, em referência à base americana do deserto de Nevada

foi construída em 2002 para a produção do ERJ 145, um avião para 50 passageiros. O país mudou e a empresa agora investe no mercado de luxo: a intenção é adaptar a fábrica chinesa para produzir o Legacy 650, um jato executivo que utiliza a mesma plataforma do 145, mas comporta 12 passageiros e que deverá atender às demandas de empresas num país de dimensões continentais e aos novos bilionários.

A empresa se prepara agora para entrar no mercado de satélites. Embraer e Telebras anunciaram, por meio de um fato relevante publicado no site da Comissão de Valores Mobiliários (CVM), a assinatura de um memorando de entendimento para a criação de uma empresa conjunta para gerenciar o projeto do Satélite Geoestacionário Brasileiro (SGB). A nova companhia deverá atender às necessidades do governo federal “relativas ao plano de desenvolvimento satelital, incluindo o Programa Nacional de Banda Larga e comunicações estratégicas de defesa e governamentais”, diz o comunicado.

DE VOLTA A GAVIÃO PEIXOTO

A presença da Embraer está provocando profundas modificações em Gavião Peixoto. Em 2000, ano em que o governador anunciou a instalação do empreendimento, a arrecadação do Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) foi de R\$ 1 milhão. Em 2011, o valor saltou para R\$ 5 milhões. “Em 2000, tínhamos um Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM) de 0,66; hoje estamos em 0,79, com níveis altos de desenvolvimento de educação e saúde. Os

números e índices mostram o progresso”, afirma o prefeito Ronivaldo Sampaio Fratuci.

A Embraer ainda é a única empresa instalada no polo aeronáutico da cidade. “Ainda não temos um distrito industrial, mas estamos caminhando para instalá-lo em breve e, com isso, será mais provável a vinda de empresas fornecedoras para a cidade ou mesmo de outros setores”, ele afirma.

A baixa qualificação da população impediu que a fábrica promovesse mudanças na estrutura de emprego. “Boa parte dos trabalhadores da fábrica mora em Araraquara ou em Matão. Muitos vieram de grandes metrópoles e preferiram se instalar em cidades grandes. Alguns gaviõesenses trabalham na Embraer, exercendo atividade nos setores de limpeza, alimentação, segurança e serviços gerais”, ele relaciona. A maioria da população ainda trabalha nas colheitas de cana e de laranja.

A prefeitura está investindo em capacitação de pessoal para ampliar as oportunidades de trabalho aos gaviõesenses. “Entre 2009 e 2011, entregamos mais de três mil certificados de capacitação do Senai nas mais variadas áreas, muitas delas compatíveis com as exigências do setor aeronáutico, como, por exemplo, eletricista, mecânico hidráulico e pneumático, pintor automotivo, entre outras”.

O prefeito aposta que a cidade também tem potencial para se tornar um polo ecoturístico. “Estamos investindo nessa ideia. Já começamos a desenvolver o projeto e realizamos alguns eventos no rio Jacaré Guaçu. O projeto vai gerar frutos de longo prazo e a Embraer, naturalmente, fará parte dessa história.” ■

DE NOSSO ARQUIVO

- Bem-estar no ar*
Edição nº 194 – abr. 2012
- Aeronaves mais silenciosas*
Edição nº 155 – jan. 2009
- Premiados da inovação*
Edição nº 143 – jan. 2008
- Ciência de empresas*
Edição nº 133 – mar. 2007
- Plano de voo*
Edição nº 128 – out. 2006
- Impacto em voo*
Edição nº 126 – ago. 2006
- Leveza no ar*
Edição nº 97 – mar. 2004
- A Embraer voa mais alto*
Edição nº 93 – nov. 2003
- Dureza extra no ar*
Edição nº 85 – mar. 2003
- Parcerias acadêmicas*
Edição nº 82 – dez. 2002
- Testes aerodinâmicos*
Edição nº 81 – nov. 2002
- Altos voos da Embraer*
Edição nº 77 – jul. 2002
- Mais resistência à fadiga e à corrosão*
Edição nº 76 – jun. 2002
- Planador com concepção nacional*
Edição nº 75 – mai. 2002
- Embraer fica em São Paulo*
Edição nº 54 – jun. 2000



Útil,
sem poluir

Plástico de cana-de-açúcar degrada-se no meio ambiente em um ano, graças à ação das bactérias usadas em sua produção

Evanildo da Silveira

Até 2015 deverá entrar em operação a primeira fábrica do Brasil de plástico biodegradável feito a partir de cana-de-açúcar, que será construída pela PHB Industrial, empresa pertencente aos grupos Irmãos Biagi, de Serrana (SP), e Balbo, de Sertãozinho (SP). Com capacidade para produzir 30 mil toneladas por ano, o empreendimento é um desdobramento de um projeto financiado pelo Programa de Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe) da FAPESP, entre 2001 e 2004.

Batizado com o nome comercial de Biocycle, o plástico pode ser usado na fabricação de peças rígidas como painéis de carros, materiais esportivos, brinquedos e objetos descartáveis como barbeadores e escovas de dentes, além de canetas, réguas e cartões. Uma das vantagens desse produto é que ele se degrada no ambiente em um ano, enquanto os plásticos comuns podem durar até 200 anos.

Na verdade, trata-se de um biopolímero da família dos polihidroxialcanoatos (PHA), que são um dos resultados do metabolismo natural de várias espécies de bactérias. O que será produzido na nova fábrica é o polihidroxibutirato ou, simplesmente, PHB, daí o nome da empresa. Seu processo de produção começa no cultivo de bactérias da espécie *Alcaligenes eutrophus* em biorreatores, nos quais elas são alimentadas com açúcares de cana, principalmente sacarose. Em seu metabolismo, os micro-organismos ingerem os açúcares e os transformam em grânulos (bolinhas milimétricas) intracelulares que são, na verdade, poliésteres.

Esses poliésteres, que nada mais são do que o plástico biodegradável, funcionam como uma reserva de energia para as bactérias, assim como

ocorre com gordura nos mamíferos e outros animais. O passo seguinte do processo produtivo é a extração e purificação do PHB acumulado dentro dos micro-organismos. Isso é feito com um solvente orgânico, mais especificamente um álcool chamado propionato de isoamila, que não provoca danos ao ambiente quando descartado. Ele quebra a parede celular das bactérias, liberando os grânulos do biopolímero. “Com 3 quilos de açúcar, obtém-se 1 quilo de plástico biodegradável”, diz o engenheiro de materiais Jefer Fernandes do Nascimento, coordenador do projeto do Pipe e hoje consultor da PHB Industrial.

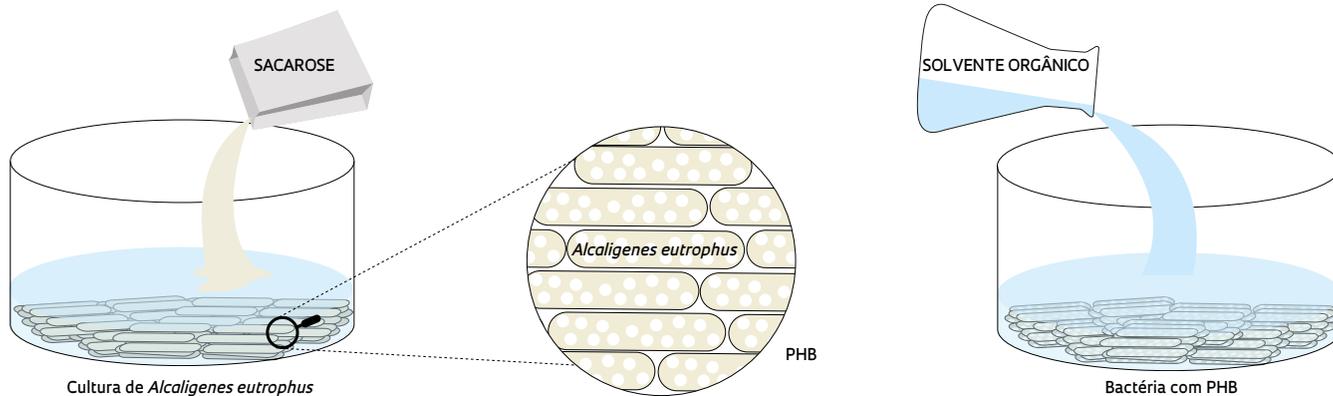
Antes de chegar nessa fase, o desenvolvimento de biopolímero teve uma longa história. Ela começou em 1992, quando um grupo de cientistas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) passou a realizar pesquisas nessa área. Numa parceria bem-sucedida com a Cooperativa dos Produtores de Cana, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo (Copersucar) e o Instituto de Ciências Biomédicas (ICB) da Universidade de São Paulo (USP), eles descobriram novas espécies de bactérias capazes de transformar açúcar em plástico.

Em 1994, foram concluídos os estudos laboratoriais para as fases de produção, desde a pré-fermentação, a fermentação, a extração e a purificação do biopolímero. No mesmo ano, começaram os estudos para a construção de uma fábrica-piloto, para que a tecnologia desenvolvida em laboratório pudesse ser testada em escala industrial. Ela foi inaugurada no ano seguinte, na Usina da Pedra, em Serrana, com capacidade para produzir cinco toneladas por ano de plástico biodegradável.

Polímero biodegradável na forma de grânulos

Reservas de açúcares

As bactérias *Alcaligenes eutrophus* produzem bioplásticos que, depois de usados, levam apenas um ano para se decompor



As bactérias são alimentadas apenas com sacarose

Depois, elas começam a criar bolsas de reserva (sacarose) sob a forma de Polihidroxibutiratos (PHB)

As bactérias são mergulhadas em solvente orgânico para a separação do PHB

Em 1996, as primeiras quantidades produzidas começaram a ser enviadas a vários institutos de pesquisa e empresas, tanto no Brasil como na Europa, Estados Unidos e Japão. O objetivo era avaliar as propriedades do produto e possíveis aplicações. A partir desse ponto do desenvolvimento e em função dos resultados dos testes e aplicações dos institutos de pesquisa e empresas, vários ajustes foram feitos na fábrica-piloto. Em 2000, ela foi remodelada e adequada e sua capacidade de produção passou a ser de 50 toneladas por ano.

SELEÇÃO DE BACTÉRIAS

Paralelamente a esse, outro projeto financiado pela FAPESP levou ao desenvolvimento de uma tecnologia diferente para obtenção de plástico biodegradável. Coordenado pela bioquímica Luiziana Ferreira da Silva, então no Agrupamento de Biotecnologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), o trabalho tinha como objetivo encontrar bactérias capazes de utilizar o hidrolisado de bagaço da cana para produzir os biopolímeros. Intitulado “Seleção, melhoramento genético e desenvolvimento de processo fermentativo para utilização do hidrolisado do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de polihidroxialcanoatos (PHA)”, polímero para plásticos biodegradáveis, o projeto buscava ainda desenvolver um processo de produção destes materiais em biorreatores em escala de bancada.

A pesquisadora, que também foi membro da equipe que desenvolveu o bioplástico a partir

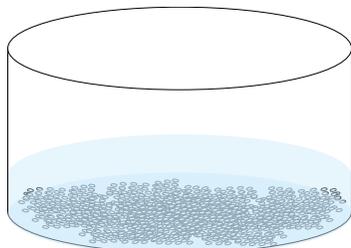
da sacarose, explica que a hidrólise (quebra estrutural do produto) libera açúcares (glicose, xilose e arabinose) presentes no bagaço, um resíduo da indústria sucroalcooleira. Só depois disso, as bactérias conseguem consumi-los e transformá-los em biopolímero. Ela conta que na época o bagaço era usado apenas na geração de energia, por meio de sua queima, e havia um excedente dele. “Não se pensava ainda no seu potencial uso como matéria-prima para outros produtos, como hoje se quer utilizá-lo para fabricar etanol de segunda geração”, explica.

“Propusemos então o seu uso para produzir polihidroxialcanoatos e gerar plásticos biodegradáveis utilizando o hidrolisado do bagaço de cana.”

Para isso, a equipe identificou e selecionou duas espécies de bactérias (*Burkholderia sacchari* e *Burkholderia cepacia*), a primeira até então desconhecida, altamente eficientes no processo de síntese e produção do bioplástico do hidrolisado do bagaço. Mas, para chegar a isso, uma série de obstáculos teve de ser vencida. “No nosso projeto, a hidrólise era feita em meio ácido que libera os açúcares, mas também produz uma série de compostos tóxicos para os micro-organismos”, explica Luiziana. “Por isso, tivemos de desenvolver uma metodologia para eliminar a toxicidade do hidrolisado de bagaço e, assim, permitir o seu uso pelas bactérias.” Apesar do sucesso, essa tecnologia ainda não é usada comercialmente.

3 quilos
de açúcar são
necessários para
obter 1 quilo
de plástico
biodegradável

Exemplos do dia a dia: réguas, copo e chaveiros feitos de bioplásticos



Água com adubo orgânico

O pó de PHB resultante servirá para produzir bioplásticos

Isso não quer dizer, no entanto, que o projeto não teve desdobramentos. Em 2004, Luiziana se transferiu do IPT para a USP, na qual hoje uma de suas linhas de pesquisa procura melhorar o uso dos açúcares do hidrolisado do bagaço para gerar os biopolímeros e outros materiais. “Aqui, no Laboratório de Bioprodutos, temos estudado diversos aspectos relevantes para entender e melhorar o consumo da xilose, ou de misturas de xilose, glicose e arabinose, para ter organismos eficientes na produção dos polihidroxialcanos”, conta.

De acordo com ela, uma das principais contribuições do seu grupo nesse sentido é propor que a produção de biopolímeros a partir de xilose seja incorporada às usinas de açúcar e álcool, que constituem o melhor modelo do que se define hoje como uma biorrefinaria. “Nela, haveria a produção dos polímeros biodegradáveis a partir da xilose, utilizando insumos tanto para matéria-prima como para os processos de separação, que pode resultar em um processo verde e autossustentável”, explica. “A levedura produtora de etanol poderia utilizar apenas a glicose presente também no hidrolisado do bagaço e nossas bactérias utilizariam a xilose.”

PARCERIA COM A UFSCAR

Enquanto isso, o projeto “Obtenção e caracterização de polímeros ambientalmente degradáveis (PAD), a partir de fontes renováveis: cana-de-açúcar”, aquele coordenado por Nascimento e que teve o apoio do Pipe, avança na consolida-

ção da rota que havia iniciado lá no começo dos anos 1990. Durante os três anos em que durou, o produto foi testado pelos clientes finais e avaliados quanto a suas possibilidades no mercado. “No final do projeto nós havíamos desenvolvido produtos e aplicações específicas para alguns nichos de mercado”, conta Nascimento. “Entre eles, estão as indústrias de embalagens de alimentos, farmacêuticas, de brinquedos, automotiva, além da agricultura.”

Para que a PHB Industrial alcançasse esses resultados foi fundamental a parceria com o Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Foi lá que, a partir de 2001, tiveram início os estudos para desenvolvimento de blendas (do inglês *blend*, ou mistura) e compósitos a partir do PHB. “Durante o projeto apoiado pelo Pipe, fizemos aqui no nosso departamento toda a parte de caracterização do biopolímero e desenvolvemos potenciais aplicações para ele”, explica o pesquisador José Augusto Agnelli, da UFSCar. “A criação de vários produtos, na forma de protótipos também foi feita aqui na nossa universidade.”

Antes disso, foi preciso dar as características necessárias ao plástico produzido pelas bactérias, para que ele pudesse ser transformado em produtos industriais. Ou seja, foram feitas novas formulações com o acréscimo de outros materiais ao biopolímero. “Entre outros, nós colocamos materiais naturais, como fibra de sisal ou farinha de madeira”, explica Agnelli. “Também acrescentamos às formulações resíduos de processos industriais e outros polímeros degradáveis. O objetivo dessas blendas é facilitar e acelerar a decomposição e reduzir custos de produção.”

A empresa PHB Industrial não foi a única beneficiada com o projeto financiado pelo Pipe da FAPESP. A UFSCar também lucrou. “Todos os equipamentos que foram comprados com os recursos da FAPESP para o projeto estão alojados aqui no nosso departamento”, conta Agnelli. “Na terceira fase (Fase III do Pipe), a PHB Industrial se comprometeu e construiu aqui um laboratório, dentro das dependências da Universidade Federal de São Carlos, vinculado ao Departamento de Engenharia de Materiais, denominado Laboratório de Polímeros Biodegradáveis. A universidade cedeu o terreno e a PHB Industrial se encarregou de construí-lo.” ■

OS PROJETOS

1. Obtenção e caracterização de polímeros ambientalmente degradáveis (PAD) a partir de fontes renováveis: cana-de-açúcar – nº 2001/02909-9 (2001-2004)
 2. Obtenção de linhagens bacterianas e desenvolvimento de tecnologia para a produção de plásticos biodegradáveis a partir do hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar – nº 1999/10224-4 (2000-2002)
- MODALIDADES**
1. Programa de Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe)
 2. Linha regular de auxílio à pesquisa
- COORDENADORES**
1. Jefter Fernandes do Nascimento – BPH Industrial
 2. Luiziana Ferreira da Silva – IPT
- INVESTIMENTO**
1. R\$ 338.840,00
 2. R\$ 107.740,17

ARTIGO CIENTÍFICO

CASARIN, S. A. *et al.* Study on In-Vitro Degradation of Bioabsorbable Polymers Poly (hydroxybutyrate-co-valerate) – (PHBV) and Poly (caprolactone) – (PCL). *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. v. 2, p. 207-15, 2011.

DE NOSSO ARQUIVO

Plástico renovável
Edição nº 142 – dezembro de 2007

Plástico de açúcar
Edição nº 80 – outubro de 2002



A memória do futuro

Filme ferroelétrico de finíssimas camadas poderá substituir películas ferromagnéticas nos computadores

Yuri Vasconcelos

Um filme ferroelétrico, constituído de finíssimas camadas de um material semiconductor, poderá ser utilizado para fabricação de memórias que equipam computadores e uma infinidade de aparelhos eletrônicos, com vantagens sobre os filmes ferromagnéticos empregados atualmente pela indústria de semicondutores na produção de *chips*. A capacidade de armazenamento desse novo material, criado em meados da década passada pelo Centro Multidisciplinar para o Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos (CMDMC), é até 250 vezes maior do que a das memórias convencionais. Sua durabilidade também é imensamente superior: em torno de 300 anos, ante cinco anos dos *chips* de hoje.

A novidade poderá trazer grandes benefícios para os consumidores e novos rumos para a indústria de informática e eletroeletrônica no âmbito nacional e internacional, segundo os pesquisadores envolvidos. Os trabalhos foram conduzidos por dois grupos de pesquisadores, um deles coordenado pelo professor José Arana Varela, do Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica (Liec) da Universidade

Estadual Paulista (Unesp), em Araraquara, e o outro pelo professor Elson Longo, do laboratório também chamado Liec, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Atualmente, Varela é o diretor-presidente da FAPESP e Longo, aposentado da UFSCar, atua no Liec da Unesp.

O desenvolvimento do filme ferroelétrico recorre a um novo método relativamente simples e de baixo custo de deposição química que utiliza um forno de microondas caseiro. Ele é produzido a partir de uma solução orgânica obtida de ácidos cítricos, presentes em frutas como limão e laranja. Essa solução é usada para preparação de um composto sólido e com estrutura química polimérica, semelhante à dos plásticos, que leva bário, chumbo e titânio como ingredientes. O composto é levado a um forno simples, com temperatura de até 300 graus Celsius, para retirada de alguns elementos orgânicos indesejáveis, como o carbono. Em seguida, é feita a cristalização do material em um aparelho de microondas doméstico para a obtenção de um filme fino de titanato de bário e chumbo.

“Tivemos que superar muitas dificuldades técnicas para conseguir desenvolver o filme ferro-

elétrico. Quando iniciamos os trabalhos, há trinta anos, essa era uma área de pesquisa nova, já que todo mundo usava memórias magnéticas. Fazer memórias pelo método químico era, naquela época, a fronteira do conhecimento”, afirma Longo. “Quando decidimos começar a pesquisar esse novo material, não tínhamos competência na área. Levamos dois anos para fazer os primeiros filmes finos reproduzíveis e com qualidade”, diz ele. Segundo o pesquisador, um aspecto fundamental para o sucesso da empreitada foi o caráter multidisciplinar da equipe, formada por físicos, químicos e engenheiros.

Também foi importante a associação com cientistas de outros estados e do exterior para vencer obstáculos que surgiram ao longo do trabalho. “Buscamos trabalhar com grupos que tinham competência em áreas que não dominávamos”, recorda-se Longo. As pesquisas do grupo tiveram início depois de uma viagem de Varela aos Estados Unidos, quando ele teve contato com a nova tecnologia. “No seu retorno, percebemos a necessidade de desenvolver filmes finos focados nas áreas de memória, sensores e catalisadores”, conta Longo.

COMO FAZER

A fabricação de *chips* com memória ferroelétrica, no entanto, necessita de um ambiente ultralimpo e de profissionais capazes de fazer a deposição de filmes finos. Entende-se por filme, aqui, qualquer película muito fina que separa duas fases de um sistema, ou forma a própria interface dessa separação. Eles originam-se entre dois líquidos, como acontece entre a água e o óleo, entre um líquido e um vapor ou na superfície de sólidos. As pesquisas na área de filmes finos sólidos – com espessura menor do que um micrômetro (milionésima parte do metro) – evoluem de forma significativa devido às vantagens desse material, principalmente na miniaturização de equipamentos eletrônicos.

“Grandes grupos industriais dos Estados Unidos, Europa e Ásia estão investindo milhões de dólares na obtenção de filmes finos ferroelétricos porque eles são compatíveis e de fácil integração

com a atual tecnologia de produção de circuitos integrados que usam *chips* de silício e de arseneto de gálio”, afirma Longo. Em 2010, pesquisadores da Universidade de Cornell, nos Estados Unidos, foram além e conseguiram criar um filme de titanato de európio ao mesmo tempo ferromagnético e ferroelétrico, o que foi considerado uma proeza, já que quase não há na natureza materiais que possuam simultaneamente as propriedades ferroelétrica (eletricamente polarizados e sem condução de corrente) e ferromagnética (com campo magnético permanente).

O titanato de európio, quando submetido ao fatiamento em camadas nanométricas, esticado e posicionado sobre um composto de disprósio – elemento químico do grupo dos lantanídeos, assim como o európio –, apresenta propriedades ferromagnética e ferroelétrica melhores do que as conhecidas atualmente.

Para Jacobus Willibrordus Swart, professor da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e coordenador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Sistemas Micro e Nanoeletrônicos (INCT/Namitec), financiado pelo governo federal e a FAPESP, existem boas chances de as memórias ferromagnéticas ocuparem espaço no mercado, mas isso ainda deve levar algum tempo. “Pode soar estranho, mas a indústria de microeletrônica e semicondutores é muito conservadora. Ela só parte para novos materiais quando há uma necessidade urgente e uma demanda justificada”, diz ele.

“As memórias ferromagnéticas possuem vantagens técnicas comprovadas. Mas, para que elas tenham futuro, é preciso que elas se mostrem comercialmente viáveis”, diz Swart. Segundo o pesquisador, a troca de um material em uso – no caso as memórias magnéticas – por um novo envolve ajustes tecnológicos, novos processos de aprendizado e riscos de queda de produtividade na fabricação de *chips*.

ENERGIA OTIMIZADA

Entre as vantagens do uso de filmes ferroelétricos na preparação dos dispositivos eletrônicos,

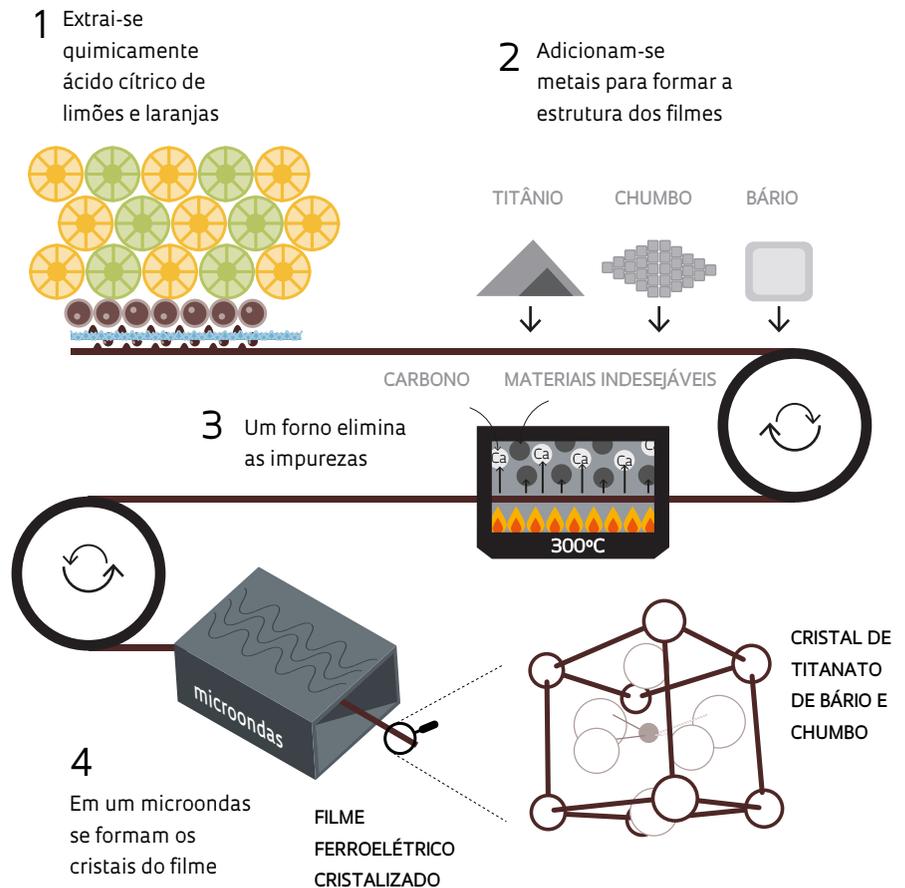
em comparação com as cerâmicas ferromagnéticas utilizadas para memória, eles apontam o menor tamanho, baixo peso, alta velocidade de escrita e leitura e baixa voltagem de operação. “Atualmente, nas pastilhas dos semicondutores com 1 centímetro quadrado de área é possível arquivar 1 megabyte (MB) de informações. Com a nova memória, será possível arquivar no mesmo espaço 250 MB”, destaca Longo. Além disso, os materiais ferroelétricos permitem a construção de memórias eletrônicas que não necessitam o mínimo de energia para funcionar. “A capacidade de armazenar informações está ligada ao arranjo de seus átomos”, diz Longo.

Cada célula de memória consiste de um único transistor de acesso conectado a um capacitor ferroelétrico, dispositivo que armazena energia num campo elétrico. O transistor atua como um interruptor, permitindo que o circuito de controle leia ou escreva os sinais 0 e 1, do sistema binário, a serem armazenados no capacitor. O princípio utilizado é o mesmo dos semicondutores magnéticos empregados nos cartões de crédito comuns e bilhetes de transporte. “A diferença é que os cartões magnéticos precisam ser encostados a uma leitora para passar a informação, enquanto os cartões ferroelétricos podem ser lidos a uma distância de até seis metros”, explica Longo. A leitura é feita por radiofrequência. O *chip*, de cerca de 2 milímetros quadrados de área, não é aparente. Embutido nos cartões ou em celulares, por exemplo, ele possui um sistema de proteção contra *hackers*.

Há quatro anos, chegou a ser cogitada a possibilidade de construção de uma fábrica para produção de semicondutores ferroelétricos em São Carlos, cujo investimento remontaria a R\$ 1 bilhão. Inicialmente, a memória de acesso aleatória ferroelétrica, ou FeRAM, também conhecida como memória não volátil – já que, uma vez removida a energia, a informação continua armazenada –, seria produzida com tecnologia desenvolvida pela empresa norte-americana Symetrix, criada há duas décadas nos Estados Unidos pelo brasileiro Carlos Paz de Araújo, professor de engenharia elétrica na Universidade do Colorado. Pelos entendimentos iniciais, o CMD-MC, um dos Centros de Pesquisa, Inova-

O suco que virou filme

A matéria-prima dos filmes ferroelétricos cristalizados sai de limões e laranjas



ção e Difusão (Cedip) da FAPESP, teria participação ativa no desenvolvimento de novas memórias ferroelétricas e de novos materiais.

“Infelizmente, as negociações não avançaram e a Symetrix decidiu instalar sua fábrica na China. Foi uma pena, pois, além da fábrica em si, estimamos que outras 300 a 400 novas empresas da cadeia produtiva seriam instaladas na região”, informa Elson Longo. Segundo ele, o sucesso do negócio esbarrou na dificuldade de obtenção de recursos para construção da unidade em São Carlos. “A Symetrix chegou a iniciar conversas com um investidor privado nacional, contatado por nós, mas a negociação não se concretizou. A instalação de uma indústria de semicondutores é complexa e envolve interesses diversos, que não foram contemplados”, conta Longo. A

tecnologia desenvolvida por Araújo e sua equipe foi licenciada pela Panasonic, no Japão, onde é utilizada em cartões de metrô, trens e nas carteiras de habilitação.

NO SUPERMERCADO

A memória ferroelétrica poderá ser utilizada também como componente na fabricação de carros e em supermercados. No setor automotivo, ela poderá fazer parte de um sistema anticolisão, uma tecnologia patenteada pela Symetrix. “Com essa memória é possível instalar um sistema de segurança no carro com sensores na faixa do infravermelho, que funcionarão como câmeras de visão noturna para detectar a presença de pessoas, animais ou carros parados, numa faixa de 100 a 200 metros à frente do veículo”, explica. Nos supermercados,

a utilização da memória ferroelétrica no lugar dos códigos de barras permitirá um controle integrado dos produtos. Informações como data de validade do produto, nome do fabricante, preço, estoque e quantidade comprada serão colocadas em um dispositivo do tamanho de uma pontinha de alfinete. “Não é apenas um código de barras, mas uma memória inteligente”, diz Longo.

Cada etiqueta com um *chip* embutido poderá custar menos de R\$ 0,02”, ressalta Varela. O consumidor que for às compras saberá antecipadamente quanto gastou ao passar a uma distância de três ou quatro metros de um painel. Caso concorde em finalizar a compra, antes de sair pela porta será feito o débito ou crédito do cartão que carrega no bolso. “Enquanto um cartão magnético (igual aos de crédito ou débito) dura de quatro a cinco anos, o ferroelétrico pode ser utilizado até 1 trilhão de vezes nas funções escrever e ler de forma elétrica (a forma como as informações são gravadas na memória ferroelétrica), o que dá uma média de vida útil de 300 anos”, explica Varela. Uma das razões para esse menor tempo de vida útil dos cartões magnéticos é a necessidade do contato direto para a leitura.

O grupo da Unesp de Araraquara sintetizou recentemente outro material promissor com propriedades ferroelétricas, a ferrita de bismuto, uma liga de bismuto, ferro e oxigênio. Pode ser uma alternativa às memórias convencionais, por ter baixo consumo de energia. “O ponto fraco é a elevada corrente de fuga, o que diminui sua aplicabilidade. Estamos trabalhando para reduzir a corrente de fuga”, diz Longo. Segundo ele, até agora a principal aplicação do novo material, sintetizado por russos e norte-americanos, é no desenvolvimento de sensores.

A pesquisa que resultou nos filmes finos de titanato de bário e de chumbo faz parte de uma corrida mundial com cer-

ca de 30 anos de percurso para superar um dos problemas da microeletrônica: o tamanho da célula de memória. Esta peça está sendo reduzida a cada ano com o objetivo de aumentar o número de dispositivos e proporcionar maior capacidade de arquivamento e processamento de dados para os computadores. Os cientistas ligados ao grupo que deu origem ao CMDMC começaram a estudar os materiais ferroelétricos em 1992. O conhecimento originado desses estudos resultou na publicação de 208 artigos científicos em revistas nacionais e internacionais. Desde 2000, quando esse Cepid foi criado, foram formados 18 doutores e 22 mestres em materiais ferroelétricos.

As novidades apresentadas pelas equipes dos professores Longo e Varela, que juntos coordenaram três projetos temáticos da FAPESP – Desenvolvimento de Cerâmicas e Filmes Ferroelétricos através do Controle da Microestrutura, Síntese e Caracterização de filmes finos e Cerâmicas Ferroelétricas e Influência da Texturização e de Defeitos Cristalinos nas Propriedades Ferroelétricas de Fil-

mes Finos e Cerâmicos –, poderão, no futuro, reduzir a histórica dependência brasileira de importação de dispositivos semicondutores, que atingiu US\$ 4,9 bilhões em 2011, segundo dados da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee) – valor 10% superior ao do ano anterior.

O mercado mundial de semicondutores é bilionário e, de acordo com informações da Semiconductor Industry Association (Associação da Indústria de Semicondutores, em português), movimentou US\$ 299,5 bilhões em 2011, um recorde histórico. Há alguns anos, o governo brasileiro tenta, sem sucesso, atrair uma multinacional de semicondutores para o país. Em 2010, foi inaugurada a fábrica da Ceitec, em Porto Alegre. A estatal, ligada ao Ministério da Ciência e Tecnologia, é apontada como o embrião da fábrica de semicondutores brasileira. ■

Nos carros e nos códigos de barra, outras possíveis aplicações

OS PROJETOS

1. Desenvolvimento de Cerâmicas e Filmes Ferroelétricos através do Controle da Microestrutura – nº 1998/14324-0 (2000-2012)
2. Síntese e Caracterização de Filmes Finos e Cerâmicas Ferroelétricas – nº 2000/01991-0 (2000-2005)
3. Influência da Texturização e de Defeitos Cristalinos nas Propriedades Ferroelétricas de Filmes Finos e Cerâmicos – nº 2004/14932-3 (2005-2009)

MODALIDADES

1. Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid)
2. e 3. Auxílio Pesquisa – Projeto Temático

COORDENADORES

1. Elson Longo – Centro Multidisciplinar para o Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos, UFSCar
2. e 3. José Arana Varela – Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica, Unesp

INVESTIMENTO

1. R\$ 21.025.671,96 por ano para todo o CMDMC
2. R\$ 1.319.395,06
3. R\$ 704.506,70

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. COSTA, C. E. F. *et al.* Influence of strontium concentration on the structural, morphological, and electrical properties of lead zirconate titanate thin films. *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, v. 79, n. 3, p. 593-97, 2004.
2. SIMÕES, A. Z. *et al.* Electromechanical properties of calcium bismuth titanate films: A potential candidate for lead-free thin-film piezoelectrics. *Applied Physics Letters*, v. 88, p. 72916-19, 2006.

DE NOSSO ARQUIVO

Memórias de futuro
Edição nº 153 – novembro de 2008

Investimento de peso
Edição nº 144 – fevereiro de 2008

Magnéticas e sensíveis
Edição nº 175 – setembro de 2010

Condutor ao forno
Edição nº 97 – março de 2004

Segurança para crescer
Edição nº 72 – fevereiro de 2002

Maior capacidade de memória
Edição nº 52 – abril de 2000

Fragilidade superada

Por meio da cristalização controlada, equipe de São Carlos elabora vitrocerâmicas para telescópios, computadores e ossos do ouvido

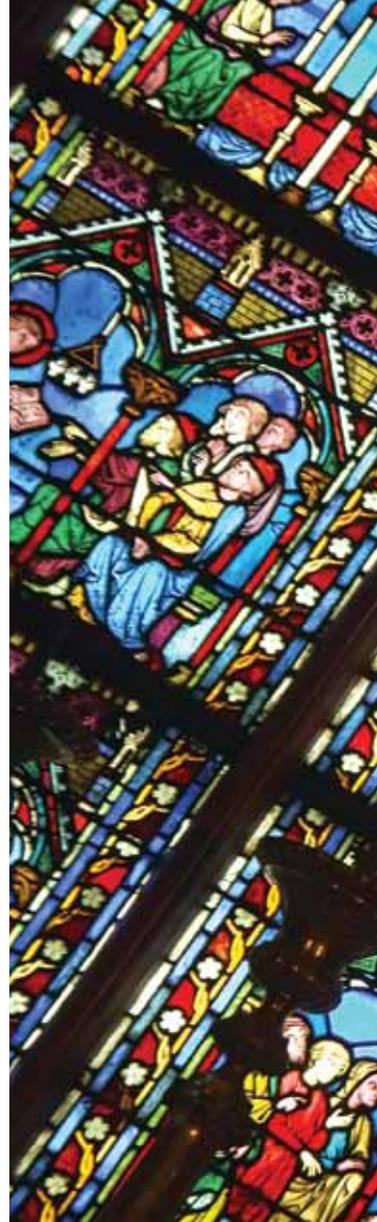
Yuri Vasconcelos

Um grupo de pesquisadores da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) pesquisa e desenvolve há 35 anos novos materiais vítreos, entre eles as vitrocerâmicas, que podem ser usados para fabricação de produtos tão distintos quanto espelhos para telescópios gigantes, substratos para discos rígidos de laptops, ossos e dentes artificiais, pisos de luxo que imitam pedras raras, painéis transparentes resistentes ao choque térmico e placas de modernos fogões elétricos. O trabalho é liderado pelo engenheiro de materiais Edgar Dutra Zanotto, coordenador do Laboratório de Materiais Vítreos (LaMaV) do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa).

Um dos produtos criados pela equipe, uma bio-vitrocéramica para fabricação de pequenos ossos humanos, como o martelo, o estribo e a bigorna, que formam o ouvido, já está sendo

avaliado em testes clínicos em seres humanos. Este trabalho foi feito em conjunto com a Universidade da Flórida. No final dos anos 1990, uma patente foi licenciada à empresa American Biomaterials, dos Estados Unidos. “No processo de patenteamento, por ingenuidade nossa, fomos identificados apenas como os inventores do produto e não como os titulares – aqueles que são os detentores dos direitos sobre a patente”, lamenta Zanotto. “Tivemos um papel fundamental na inovação, mas nunca recebemos um tostão de *royalties*. Aprendemos uma valiosa lição e já tomamos as devidas providências para evitar repetir tal erro”, lamenta.

Outro material biocompatível criado no LaMaV foi o biosilicato, uma vitrocerâmica bioativa formada por silício, sódio, potássio, cálcio e fósforo. Concebida na forma de pó, ela se destina a tratamentos dentários. Quando se liga ao esmalte dentário, cura a hipersensibilidade da dentina.





Vitrais espessos das catedrais mostraram que o vidro não pode fluir na temperatura ambiente

O produto já é vendido em pequenas quantidades para testes experimentais por grupos de pesquisa e aguarda o sinal verde da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) para ser comercializado em larga escala. A patente depositada em 2003 foi recentemente aprovada pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Os estudos para o desenvolvimento do Biosilicato receberam financiamento dos programas Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe) e Apoio à Propriedade Intelectual, ambos da FAPESP.

Os pesquisadores da UFSCar também já fizeram vitrocerâmicas tipo *scaffolds* – um material bioativo, com aparência de esponja, que pode ser usado como suporte para o crescimento de células ósseas – e um novo material para produção de placas de fogões elétricos que substituem os tradicionais queimadores a gás. Duas patentes relacionadas a esses desenvolvimentos foram depositadas pela UFSCar, respectivamente, em

2010 e 2011. Segundo Zanotto, duas empresas já demonstraram interesse na fabricação das placas de fogões.

PARCERIA COM A INDÚSTRIA

O laboratório mantém estreita cooperação com uma rede de colaboradores no exterior e com o setor privado, visando à realização de estudos em pesquisa básica e aplicada e à criação de novos materiais vítreos. Nas últimas três décadas e meia, algumas dezenas de projetos já foram realizadas em conjunto com mais de 40 empresas, entre elas a fabricante italiana de pneus Pirelli, a multinacional americana de alumínio Alcoa, a fabricante brasileira de vidros Nadir Figueiredo, a multinacional francesa Saint-Gobain, também da área de vidros, a Companhia Baiana de Pesquisas Minerais (CBPM), a empresa americana OptiGrate, que atua no setor de fotônica, e a siderúrgica brasileira Usiminas. Com esta última, a equipe



O mistério da santa, agora resolvido: forma humana em uma vidraça em Ferraz de Vasconcelos (SP)

Um novo material, o biosilicato, já é produzido em pequenas quantidades para testes

desenvolveu uma vitrocerâmica para ser empregada como piso, revestimento de parede ou na decoração de ambientes, produzida a partir de escórias de aciaria, um subproduto da indústria metalúrgica com alto teor de sílica e óxidos metálicos.

O trabalho, iniciado por volta do ano 2000, foi realizado em parceria com o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, localizado em Ipatinga, Minas Gerais. Naquela época, a siderúrgica gerava cerca de 125 mil toneladas de escórias de alto-forno e aciaria por mês, um resíduo que causava enorme preocupação ambiental. “A produção de vitrocerâmicas de escórias siderúrgicas tem o potencial de livrar o ambiente de parte desses subprodutos, bem como permitir a substituição de rochas naturais e outras matérias-primas”, afirma Zanotto. Graças à recente concessão da

patente pelo INPI e aos bons resultados do projeto, a Usiminas planeja construir uma planta-piloto para fabricação da vitrocerâmica. Estudos técnicos e de viabilidade econômica estão sendo realizados com essa finalidade.

DESCOBERTA ACIDENTAL

As vitrocerâmicas são um sofisticado material policristalino que se origina do vidro – e que sempre contém uma fase vítrea, com teor variável entre 99% e 1%. Descobertos acidentalmente na empresa norte-americana Corning Glass e sintetizados pela primeira vez em 1953, os materiais vitrocerâmicos são produzidos a partir da cristalização controlada de materiais vítreos, fenômeno que acontece quando o vidro, contendo um agente nucleante dissolvido, como o óxido de titânio, óxido de zircônio, óxido de fósforo ou prata, é submetido a altas temperaturas, entre 500 e 1.000 graus Celsius. Como resultado desse processo, ele se cristaliza parcialmente e se transforma em um novo material, dotado de características diferenciadas.

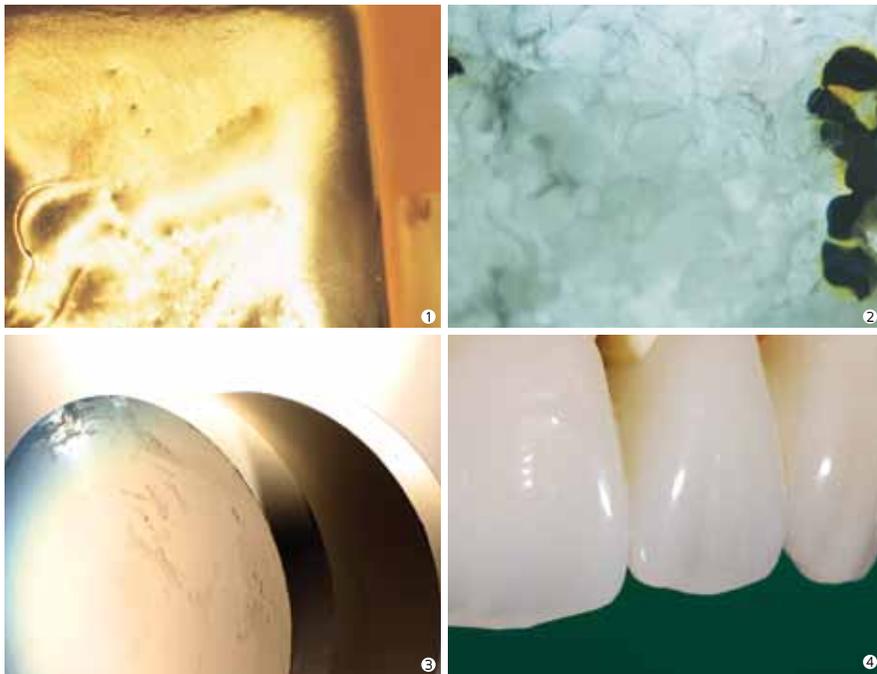
“As vitrocerâmicas são materiais lisos e muito mais resistentes do que o vidro. Além disso, podem ser dotadas

de baixa ou alta condutividade elétrica, coeficiente de dilatação térmica próxima de zero – até igual ao de metais –, alta durabilidade química e porosidade nula”, explica Zanotto. Segundo o pesquisador, graças a essas propriedades, as vitrocerâmicas funcionam, por exemplo, como isolantes elétricos, característica necessária aos substratos de discos rígidos de computadores, e podem ser usadas em situações em que a dilatação do material é indesejada por causar prejuízos ao bom funcionamento do equipamento, como no caso dos telescópios ou placas de fogões. O primeiro artigo científico sobre vitrocerâmicas foi publicado em 1957. Até esta data, a base Scopus já contabiliza cerca de 10.900 artigos científicos e tecnológicos e a Free Patents on Line contabiliza mais de 5 mil patentes publicados sobre o tema.

VITRAIS DA NOTRE-DAME

Além do desenvolvimento de novas vitrocerâmicas, o LaMaV é responsável por contribuições relevantes nos campos da pesquisa básica, em especial nos estudos relacionados à nucleação e crescimento de cristais em vidros e às propriedades físico-químicas de vidros. “Nossas pesquisas deram significativa contribuição para o entendimento dos processos que controlam a nucleação e o crescimento de cristais em inúmeros vidros. No campo científico, descrevemos processos cinéticos e testamos, aprimoramos e desenvolvemos diversos modelos teóricos”, afirma Zanotto. Um exemplo das contribuições nessa área foram dois artigos publicados por Zanotto, em 1998 e 1999, no *American Journal of Physics*, o primeiro deles comentado na *Science*, desmontando o mito de que as igrejas medievais como a Notre-Dame, de Paris, por terem vitrais mais espessos na base do que no topo, constituem a prova de que o vidro pode fluir na temperatura ambiente. Que o vidro é um líquido viscoso, o pesquisador não discute, mas demonstrou que para escoar a ponto de atingir a espessura observada nos templos o material levaria milhões e milhões de anos. A partir da análise da composição de 350 vitrais medievais, ele concluiu que as diferenças de espessura em questão, na verdade, decorrem apenas de defeitos de fabricação do vidro.

O trabalho desenvolvido por Zanotto e seu grupo – integrado também pelos



Quatro faces dos novos materiais: 1. vitrocerâmica de escória de aciaria faz lixo ter uso nobre; 2. imitação de mármore raros cria pisos e revestimentos de luxo; 3. cerâmica bioativa revoluciona sistemas de implantes cirúrgicos; 4. dentes artificiais dão novo alento à estética bucal

Possibilidade que começa a ganhar forma: vitrocerâmicas feitas de escórias siderúrgicas

professores Ana Cândida Rodrigues e Oscar Peitl – teve início em 1977, com a dissertação de mestrado do pesquisador no IFSC-USP e prosseguiu com seus estudos de doutorado, realizados na Universidade de Sheffield, no Reino Unido. Trinta e cinco anos depois, o laboratório, dotado de uma área de 800 metros quadrados e equipado com modernos equipamentos, contabiliza a publicação de 200 artigos científicos em revistas especializadas, o depósito de 12 patentes e a formação de 60 mestres e doutores – outros 15 estão em processo. Ao longo dos anos, suas pesquisas tiveram o apoio de várias agências de fomento, como FAPESP, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). Zanotto coordenou

dois projetos temáticos: “Problemas correntes sobre cristalização de vidros”, já encerrado, e “Processos cinéticos em vidros e vitrocerâmicas”, em andamento.

CRISTAIS EM VIDRO

O LaMaV atua numa rede composta por 30 instituições, sendo 20 internacionais, e encontra-se no mesmo nível dos laboratórios mantidos pelas universidades de Nagaoka, no Japão, de Missouri, nos Estados Unidos, de Jena, na Alemanha, e dos institutos privados de pesquisa da Nippon Electric Glass, também no Japão, Corning Glass, nos Estados Unidos, e Schott Glass, na Alemanha. A rede de colaboradores no exterior reúne cientistas da França, Espanha, Portugal, Alemanha, Bulgária, República Tcheca, Reino Unido, Estados Unidos, Rússia, Colômbia e Argentina, entre outros países. No início do ano, para comemorar os 35 anos de atividade do laboratório, Zanotto publicou o livro *Cristais em vidro – Ciência e arte*, em que apresenta uma coleção de fotomicrografias científicas e artísticas de materiais vítreos geradas ao longo desse período – no total, o acervo possui mais de 40 mil imagens. ■

OS PROJETOS

1. Problemas correntes sobre cristalização de vidros – nº 1999/00871-2 (1999-2004)
2. Processos cinéticos em vidros e vitrocerâmicas – nº 2007/08179-9 (2008-2012)

MODALIDADE

1. e 2. Projeto Temático

COORDENADOR

1. e 2. Edgar Dutra Zanotto, UFSCar

INVESTIMENTO

1. R\$ 935.421,42
2. R\$ 1.772.804,02

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. PEITL, O. *et al.* Compositional and microstructural design of highly bioactive P2O5-Na2O-CaO-SiO2 glass-ceramics. *Acta Biomaterialia*. v. 8, n. 1, p. 321-32, 2012.
2. NASCIMENTO, M. L. F. *et al.* Dynamic processes in a silicate liquid from above melting to below the glass transition. *Journal of Chemical Physics*. v. 135, p. 1-18, 2011.
3. ZANOTTO, E. D. A bright future for glass-ceramics. *American Ceramic Society Bulletin*. v. 89, n. 8, p. 19-27, 2010.

DE NOSSO ARQUIVO

A beleza das vitrocerâmicas
Edição nº 191 – janeiro de 2012

Babel de vidro
Edição nº 178 – dezembro de 2010

Mistério desvendado
Edição nº 79 – setembro de 2002

*A santa das vidraças –
Mais um mito do vidro*
Edição nº 79 – setembro de 2002

Muito além do vidro
Edição nº 76 – junho de 2002

*Falta integração com a
indústria vidreira*
Edição nº 76 – junho de 2002

Programas de bom tamanho
Edição nº 73 – março de 2002

*A defasagem entre a ciência e
a tecnologia nacionais*
Edição nº 43 – junho de 1999

Diamantes versáteis

Produto sintético é usado em brocas odontológicas, para perfuração de petróleo no mar e como bactericida

Dinorah Ereno

Uma nova linha de 30 brocas de uso odontológico com pontas recobertas por diamante sintético foi lançada comercialmente em dezembro de 2002 pela empresa Clorovale Diamantes, de São José dos Campos, no interior paulista. A broca trazia como principal novidade o fato de funcionar por vibração a partir de ondas de ultrassom, livrando os pacientes do incômodo ruído do motor das brocas convencionais que operam por rotação ultrarrápida. E a promessa de um tratamento com menos dor, dispensando o uso da anestesia na maioria dos casos. “Por serem mais precisas, essas brocas de diamante não causam traumas desnecessários aos dentes”, disse em 2002 o físico Vladimir Jesus Trava Airoidi, sócio da Clorovale e pioneiro no desenvolvimento de diamante CVD (sigla de *chemical vapor deposition*, ou deposição química na fase vapor) sintético no Brasil.

As pesquisas com diamante sintético, um material de cor escura e sem brilho, foram iniciadas em 1991, quando Airoidi retomou seu trabalho como pesquisador no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) após concluir seu pós-doutorado no Laboratório de Propulsão a Jato da Agência Espacial Norte-Americana (Nasa, na sigla em inglês), em Pasadena, na Califórnia. “Meu propósito era encontrar um projeto na Nasa que tivesse um grande teor científico e ao mesmo tempo um alto teor de aplicação”, relata.

Na época, os estudos de diamantes CVD sintéticos eram muito teóricos, não se tinha ainda a dimensão do que viria a seguir. O que se sabia é que, a exemplo dos diamantes naturais, os sintéticos têm propriedades físicas e químicas equivalentes,

como resistência à corrosão, alto grau de dureza, menor coeficiente de atrito entre os materiais sólidos, maior condutividade térmica e compatibilidade biológica. Por conta dessas propriedades ele é utilizado, por exemplo, como lubrificante sólido em dobradiças de painéis solares de satélites.

Além disso, por ser um material com condutividade térmica mais elevada do que a de todos os outros materiais conhecidos e com um grande intervalo de transmissão óptica, que abrange desde o infravermelho até o raio X, o diamante sintético pode ser empregado em ferramentas de corte e abrasão, protetores de superfícies contra corrosão química, ferramentas médico-odontológicas, protetores ópticos e outras aplicações. “No começo da década de 1990, já se vislumbrava nos Estados Unidos um mercado de bilhões de dólares, o que de fato ocorre hoje”, relata. “Atualmente, cada chip de computador tem uma base de diamante CVD porque ele dissipa mais rapidamente o calor.”

Inicialmente, Airoidi pensou em desenvolver diamantes sintéticos para a área espacial, como dissipadores de calor, lubrificantes sólidos e protetores ópticos. Mas, pela ampla gama de propriedades do material, quis estender suas aplicações para produtos usados no dia a dia. A escolha da odontologia como primeira aplicação industrial para o diamante foi fruto de uma estratégia que considerou o fato de os dentistas serem profissionais que apreciam ter um diferencial tecnológico no consultório para atender melhor os pacientes.

Para produzir as pontas de diamante sintético destinadas às brocas odontológicas, Airoidi criou em 1997 a empresa Clorovale Diamantes. Acopladas a aparelhos de ultrassom em substituição aos tradicionais de rotação, elas são hoje vendidas para o mercado interno e externo. “Somos a única empresa no mundo a empregar o diamante CVD na área de odontologia”, diz ele.

O diamante CVD é produzido em pequenos reatores, como uma cobertura na

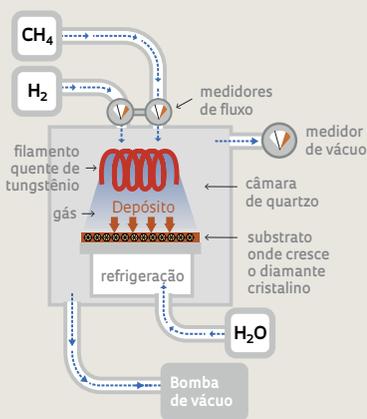
forma de pedra única, com gases como hidrogênio e metano. As brocas tradicionais são também recobertas por diamantes artificiais HPHT – sigla em inglês para *High Pressure, High Temperature* (alta pressão, alta temperatura) – ou naturais, mas sempre na forma de pó soldado em uma haste de aço. Já o diamante CVD nasce e cresce na própria haste metálica, recobríndo-a na espessura desejada. “São brocas que sofrem um desgaste mínimo com o uso e têm vida útil superior à das brocas tradicionais”, diz Airoidi. Além disso, sua fabricação não utiliza metais ou outros resíduos danosos ao ambiente nem ao paciente, porque as matérias-primas utilizadas são basicamente os gases hidrogênio e metano.

A Clorovale nasceu com financiamento da FAPESP por meio de um projeto na modalidade Programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe). Desde então, outros quatro projetos foram aprovados pela Fundação na mesma modalidade, além de dois projetos temáticos e três auxílios regulares a pesquisa concedidos para o grupo de Airoidi no Inpe. A empresa também recebeu financiamento em 2006 por meio de um projeto de subvenção econômica à inovação aprovado pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), do Ministério da Ciência e Tecnologia.

O pesquisador tem hoje 12 patentes depositadas relacionadas a diamantes sintéticos. A patente do diamante CVD já foi concedida nos Estados Unidos, Europa, Austrália, Japão e China. “A adesão do diamante à área metálica é a parte mais importante do invento, o objeto da patente”, relata Airoidi. Seu grupo de pesquisa, composto por cerca de 30 pessoas, entre pesquisadores, alunos e pós-doutorandos, já publicou mais de 150 artigos científicos sobre diamantes. Como reconhecimento pelo seu trabalho, em dezembro do ano passado Airoidi recebeu o Prêmio Finep de Inovação 2011 na categoria Inventor Inovador. Recebeu também, na mesma ocasião, o prêmio de melhor invento

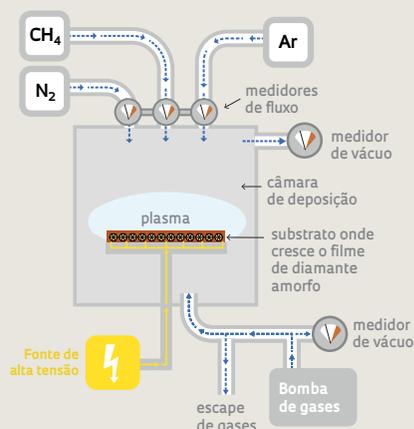
Como fabricar diamantes artificiais

Os dois tipos, cristalino e amorfo, resultam do processo de deposição química a vapor (CVD)



DIAMANTE CRISTALINO

Metano (CH_4) e hidrogênio (H_2) são aquecidos em uma câmara. Os diamantes crescem em pequenos reatores sobre uma superfície metálica e chegam a no máximo 300 milímetros.



DIAMANTE AMORFO

Metano, nitrogênio (N_2) e ar se misturam em reatores gigantescos, que permitem a produção de milhares de peças de cada vez. Cada diamante pode ter mais de 1.000 milímetros.

dicional. Diante do novo panorama, a empresa decidiu ampliar seu foco de atuação e hoje produz também pontas para brocas de rotação, usadas principalmente em laboratórios de prótese. A broca em diamante CVD custa em torno de R\$ 200,00, enquanto a de diamante convencional fica em cerca de R\$ 20,00. “Apesar da diferença, o custo benefício compensa pela duração do produto”, diz Airoidi. “Ela dura de 20 a 30 vezes mais que a convencional.”

A Clorovale fabrica atualmente mais de 30 modelos de pontas, desenvolvidos a pedido de dentistas e professores de odontologia. Elas são usadas para remoção de cáries, de resina e amálgama, no desgaste de dentes, no acabamento de obturações e até em cortes ósseos para implante de dentes – e ajudaram e inspiraram novos cursos. “O primeiro curso de odontologia ultrassônica do país foi criado na Universidade de São Paulo em Bauru”, diz Airoidi. A USP de Bauru tem hoje dois cursos, um na área de dentística e outro na de odontopediatria. Outros cursos similares são dados na Faculdade de Odontologia da USP de São Paulo, na Faculdade de Odontologia da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Araraquara e São José dos Campos, ambas no interior paulista, e mais recentemente na Escola Paulista de Medicina Oral em São Paulo.

Além das brocas odontológicas, a tecnologia CVD é usada no Brasil em brocas para perfuração do fundo do mar na busca por petróleo. Nesse caso, pequenos tarugos de diamante sintético são incorporados no corpo da broca por meio de soldas ou processos especiais. Inicialmente a broca foi testada para perfuração de poços de água. Além de cortar 30% mais rápido e dar mais estabilidade ao eixo de perfuração do que a convencional com pó de diamante nas pontas, a broca mostrou ser duas vezes e meia mais durável. Diante dos resultados, a Petrobras testou a tecnologia com um protótipo especialmente desenvolvido para poços profundos de petróleo, com resultado considerado satisfatório. Outros testes estão previstos para serem conduzidos com dois novos protótipos encomendados pela Petrobras.

A Clorovale se dedica a uma linha de pesquisa com diamantes sintéticos chamados de amorfos. Enquanto os cristalinos têm uma estrutura organizada de átomos

mundial, concedido pela World Intellectual Properties Organization (Wipo).

Mesmo cercado de bons predicados, o produto inovador só conseguiu conquistar o mercado depois de um longo caminho. “Enfrentamos muitas dificuldades quando começamos a vender o nosso produto”, diz Airoidi. As vendas só começaram a se fortalecer em 2009, quando a empresa passou a exportar o produto após receber a aprovação da União Europeia. Na avaliação do pesquisador, o demorado tempo de resposta se deve ao fato de os consumidores resistirem à inovação tecnológica brasileira. “Mesmo fora do Brasil, pelo diferencial da nossa tecnologia não é tão simples apresentá-la ao potencial consumidor”, diz.

Antes de serem introduzidas no mercado, as novas brocas foram testadas por cerca de 500 dentistas e os resultados se mostraram bastante promissores. Segundo Airoidi, profissionais que testaram o produto antes do seu lançamento concluíram que o tratamento era indolor em mais de 70% dos casos, porque a broca atinge a cavidade dentária pela vibração,

sem esmagar a dentina, região onde ficam os filamentos nervosos que dão mais sensibilidade ao dente.

Além da broca com ultrassom para odontologia, na época a empresa desenvolveu uma outra de rotação convencional com ponta de diamante CVD. A técnica para recobrir as duas brocas é similar. O diferencial consiste na forma de atuação da ponta no dente, por rotação ou vibração. “Como na época a obtenção do diamante pelo processo CVD era muito cara, decidimos focar a produção apenas nas brocas com pontas acopladas a aparelhos de ultrassom, que consistia em uma novidade no mercado”, diz Airoidi.

Quase dez anos se passaram desde que a Clorovale colocou seus produtos no mercado. Nesse período, novos materiais foram incorporados à rotina dos consultórios – como resinas e materiais cerâmicos que necessitam de pontas mais eficientes nas brocas de rotação – e o diamante CVD se tornou mais competitivo em termos de custos em comparação com o tra-

de carbono, que confere extrema dureza ao material, os amorfos não têm uma estrutura definida, sendo por isso considerados materiais menos nobres. “Mesmo assim, o diamante amorfo é mais duro do que todos os metais conhecidos”, diz Airoidi. Os amorfos também são produzidos pela técnica CVD e recebem o nome de DLC (sigla de *diamond-like carbon*). A base de produção dos dois tipos de diamante é basicamente a mesma – gases como o hidrogênio e o metano, halógenos como o tetrafluoreto de carbono e outros hidrocarbonetos. A produção é feita a mais de 2.300° C na presença de plasma, fonte de energia necessária para causar a nucleação e o crescimento da cobertura de diamante. Materiais como silício, quartzo e metais como molibdênio e nióbio também fazem parte dos ingredientes utilizados na produção como substratos. Mas, enquanto o diamante cristalino é obtido apenas em regiões muito pequenas, de no máximo 200 a 300 milímetros, o amorfo pode atingir além de 1.000 milímetros. Outra diferença fundamental é que o cristalino é feito em reatores pequenos, enquanto o amorfo cresce em reatores imensos, que permitem a produção de milhares de peças de cada vez.

O DLC, mesmo não sendo tão duro como o diamante cristalino, tem propriedades extremamente interessantes, como alta aderência em superfícies metálicas, além de ser um bactericida e biocompatível. A propriedade bactericida é uma das mais importantes e pode ser melhorada quando se faz a incorporação em sua estrutura de nanopartículas bactericidas. “Quando o diamante amorfo DLC é aplicado em instrumentos médicos ou peças de transplantes, ele funciona também como inibidor de formação de coágulos sanguíneos”, diz Airoidi. Um dos projetos em andamento nessa linha de pesquisa é o seu uso para revestimento de válvulas do coração e em coração artificial. A Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) de São José dos Campos, a Universidade do Vale do Paraíba (Univap), também de São José dos Campos, o Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo, entre outros, são parceiros da Clorovale nessa pesquisa. O produto está sendo



Broca com ponta revestida de diamante sintético para exploração de petróleo

Novas brocas motivaram a criação de cursos para dentistas

testado para aplicação em ferramentas utilizadas em implantes ósseos na ortopedia e para revestimento de bandejas usadas para transportar instrumental cirúrgico em hospitais.

Segundo ele, o diamante amorfo DLC pode ser utilizado para revestimento de qualquer dispositivo ou instrumento de aço inoxidável. Ao receber uma fina camada do produto, o aço adquire propriedades como baixo coeficiente de atrito e torna-se bactericida, além de ficar protegido contra a corrosão química e o desgaste mecânico. Na área espacial, o diamante amorfo estará na plataforma multimissão de todos os satélites brasileiros. “Não importamos mais lubrificação sólida, tudo é feito no laboratório do Inpe.” ■

OS PROJETOS

1. Novos materiais, estudos e aplicações inovadoras em diamante-CVD e Diamond-Like Carbon (DLC) – nº 2001/11619-4 (2002-2007)
2. Diamante-CVD para um novo conceito de ferramentas de alto desempenho para perfuração e corte – nº 2006/60821-4 (2007-2010)
3. Filmes de DLC para aplicações em superfícies antibacterianas, antiatrito, espaciais, industriais e para tubos de perfuração de poços de petróleo – nº 2006/60822-0 (2007-2010)

MODALIDADES

1. Projeto Temático
- 2 e 3. Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe)

COORDENADORES

1. Vladimir Jesus Trava Airoidi – Inpe/Clorovale
2. Leônidas Lopes de Melo – Clorovale
3. Alessandra Venâncio Diniz – Clorovale

INVESTIMENTO

1. R\$ 576.456,12
2. R\$ 550.661,41
3. R\$ 505.917,65

ARTIGO CIENTÍFICO

MARCIANO, F. R. *et al.* Oxygen plasma etching of silver-incorporated diamond-like carbon films. *Thin Solid Films*. v. 517, n. 19, p. 5739–42, 2009.

DE NOSSO ARQUIVO

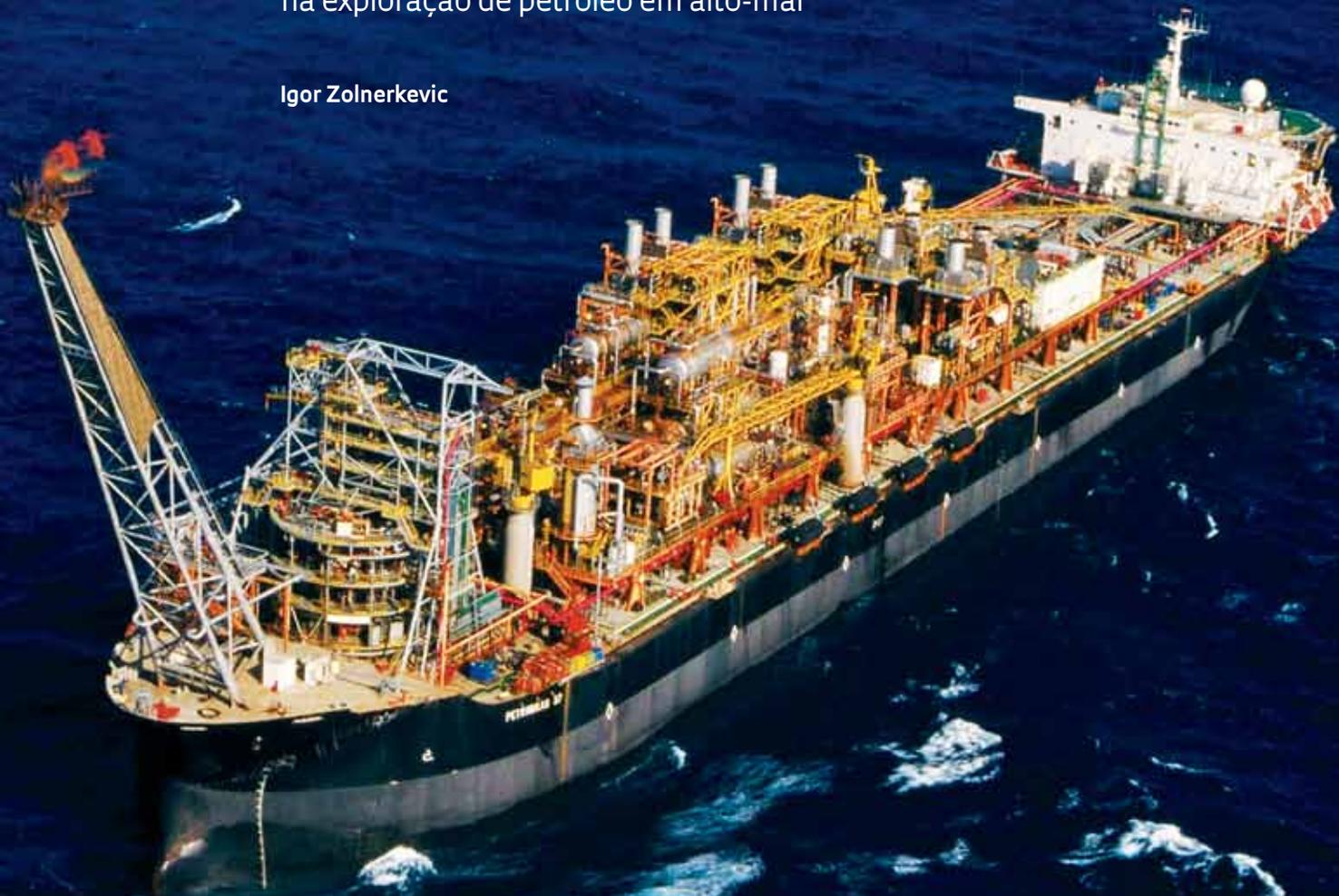
Trajatória vitoriosa
Edição nº 192 – fevereiro de 2012

Sem medo do motorzinho
Edição nº 78 – agosto de 2002

Desafios em águas profundas

Estudos da dinâmica de plataformas e tubulações apoiam avanços na exploração de petróleo em alto-mar

Igor Zolnerkevic



Plataforma P-37,
campo Marlim Sul,
bacia de Campos:
trabalho em equipe
para evitar o
movimento provocado
por ventos
e correntezas



Há mais de três décadas, engenheiros de várias universidades e institutos de pesquisa do país participam de um esforço coordenado pelo Centro de Pesquisas da Petrobras (Cenpes) para desenvolver as tecnologias que vêm permitindo à empresa explorar petróleo em águas cada vez mais profundas. Enquanto nos anos 1980 o desafio era alcançar reservas abaixo de mil metros de lâmina d'água, na bacia de Campos, a Petrobras consegue hoje explorar com segurança os reservatórios da chamada camada pré-sal, na bacia de Santos, em profundidades de até 3 mil metros de lâmina d'água. Esse avanço fez com que o Brasil alcançasse a autossuficiência de petróleo em 2005, com a produção atual chegando a quase 3 milhões de barris por dia, sendo mais de 80% vindos de reservas marítimas, e com a expectativa de ultrapassar os 6 milhões barris diários em 2020.

Dos problemas que a empresa precisou resolver para alcançar a liderança mundial em exploração marítima de petróleo, um dos mais desafiadores foi encontrar soluções para que seus navios-plataforma e plataformas semissubmersíveis não se deslocassem enquanto extraíam o petróleo do fundo do mar, mesmo sujeitos a fortes ventos, ondas e correntezas. Outro problema crítico foi otimizar a tecnologia que impede que as longas e delgadas tubulações que levam o óleo e o gás do poço no fundo do mar até a plataforma, os chamados *risers*, se rompam devido a vibrações provocadas pelas correntezas submarinas.

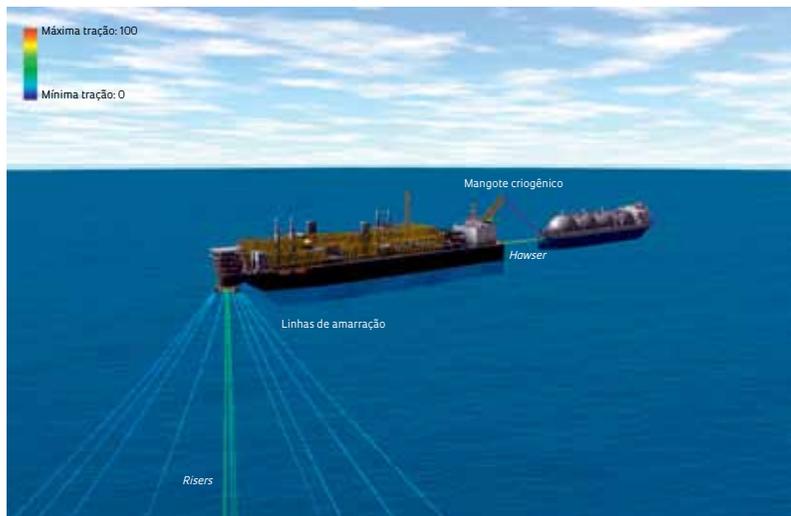
Para atender a essas demandas da Petrobras, em meados dos anos 1990, engenheiros da Escola Politécnica (Poli) da Universidade de São Paulo (USP) se organizaram em torno de dois Projetos Temáticos apoiados pela FAPESP. Pesquisadores que antes trabalhavam de forma independente juntaram forças e fundaram laboratórios que hoje são referências internacionais em engenharia *offshore*. “Os grupos envolvidos nessas pesquisas têm o reconhecimento da indústria de óleo e gás do mundo todo e frequentemente estão envolvidos em investigações que geram inovações e patentes”, afirma Luiz Levy, gerente de tecnologia de otimização de operações e logística do Cenpes.

Coordenado por Hernani Brinati, do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Poli, o projeto “Métodos de dinâmica não linear aplicados ao projeto e análise de sistemas de ancoragem” envolveu entre 1998 e 2004 uma dezena de pesquisadores da Poli, do Instituto de Física e do Instituto de Matemática e Estatística da USP, além do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Seu objetivo foi investigar como ferramentas matemáticas avançadas – os métodos de dinâmica não linear – poderiam ser usadas para criar modelos que permitissem simular o comportamento de futuros projetos de plataformas ancoradas em alto-mar, de modo a propor melhorias nos projetos de construção. “Queríamos atacar problemas de engenharia relevantes para o país, mas de um ponto de vista mais conceitual”, lembra Brinati.

No Brasil, o uso de plataformas fixas, de aço ou de concreto apoiadas sobre o leito submarino, é inviável na maioria dos poços petrolíferos, que se encontram abaixo de lâminas d'água de profundidade superior a mil metros. O jeito é usar estruturas flutuantes conhecidas pela sigla FPSO (unidades flutuantes de produção, armazenamento e descarga, em inglês), mantidas acima do poço por meio de um sistema de cabos e amarras presas ao solo submarino por âncoras e estacas.

“Se a plataforma não estiver bem posicionada, acontece um desastre”, explica Celso Pesce, da Poli, um dos responsáveis do projeto pelos experimentos em escala reduzida que verificaram o comportamento dinâmico e a estabilidade dos sistemas de amarração e que consolidaram o Laboratório de Interação Fluido-Estrutura e Mecânica Offshore, da Poli. “Se ela se mover por uma falha no sistema de amarração, os *risers* são rompidos, interrompendo a produção e poluindo o meio ambiente.”

O sistema de amarração mais tradicional é o do tipo torreta, que já predominou na bacia de Campos e hoje em dia é mais usado por FPSOs realizando testes de prospecção de longa duração. No sistema, todas as dezenas de amarras se conectam na torreta – um único eixo vertical de 10 metros de diâmetro que trespassa o navio, em torno do qual a embarcação pode girar.



Quanto mais perto o eixo fica da meia-nau, mais facilmente o FPSO se alinha com a direção da correnteza, sem a ocorrência de movimentos instáveis. Por outro lado, quanto mais longe o eixo fica da popa, mais movimento o navio impõe ao sistema de risers. Um dos problemas que os pesquisadores investigaram foi qual seria a posição ideal da torreta que garantiria ao mesmo tempo a estabilidade da embarcação e a integridade dos risers.

Simulação em computador de um sistema de amarração do tipo torreta, feita no Tanque de Provas Numérico (TPN)

A alternativa ao sistema torreta é espalhar as amarras por toda a extensão da embarcação. Nos anos 1990, pesquisadores da Petrobras desenvolveram um novo sistema de amarração espalhada, o Dicas (sigla em inglês para sistema de ancoragem de tensionamento diferenciado), no qual são usadas linhas de materiais de rigidez diferentes (aço ou poliéster, por exemplo), distribuídas ao redor da plataforma de acordo com as direções dos ventos e das correntezas da região do poço. “Nossas pesquisas desse período contribuíram para a adoção do sistema Dicas, bem como o uso de cabos de poliéster, iniciados no Brasil e hoje utilizados no mundo todo”, lembra Kazuo Nishimoto, o responsável do projeto pela implementação dos modelos matemáticos em simulações computacionais.

Essas simulações pioneiras deram origem a um projeto ambicioso, o Tanque de Provas Numérico (TPN), coordenado por Nishimoto e envolvendo pesquisadores da Petrobras, IPT, USP, UFRJ e outras universidades brasileiras. As simulações computacionais cada vez mais sofisticadas criadas pelo grupo do TPN se mostraram essenciais para o projeto das plataformas brasileiras, desde a semissubmersível P-18, inaugurada em 1994, ao FPSO recém-construído P-73, uma vez que é impossível construir tanques d’água do tamanho necessário para simular perfeitamente as condições de águas profundas.

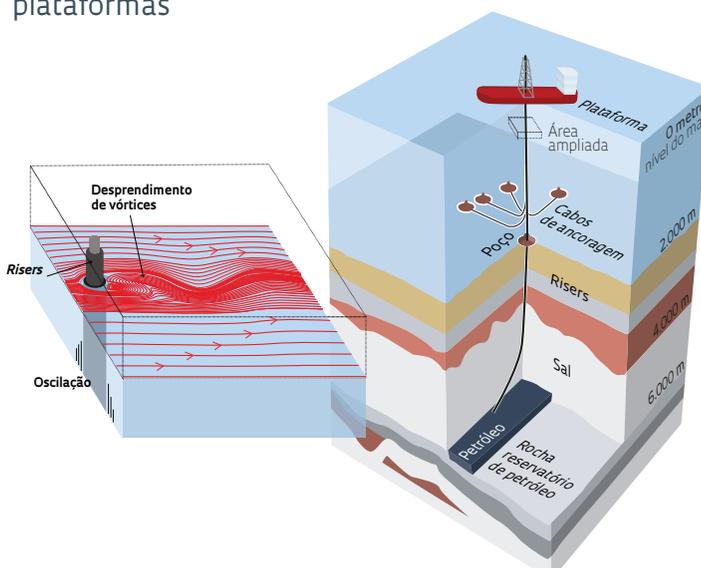
Abrigado desde 2010 em um edifício na Poli construído com verbas da Finep e da Petrobras, o TPN desenvolve simulações de quase todas as operações petrolíferas *offshore* em um *cluster* de computadores milhares de vezes mais rápido que um único computador convencional e que são visualizadas em uma sala de realidade virtual. Como nem todas as condições marítimas são possíveis de se reproduzirem por meio de cálculos, o TPN conta ainda com um tanque d’água com geradores de ondas, ventos e correntezas, que ajudam a “calibrar” as simulações computacionais.

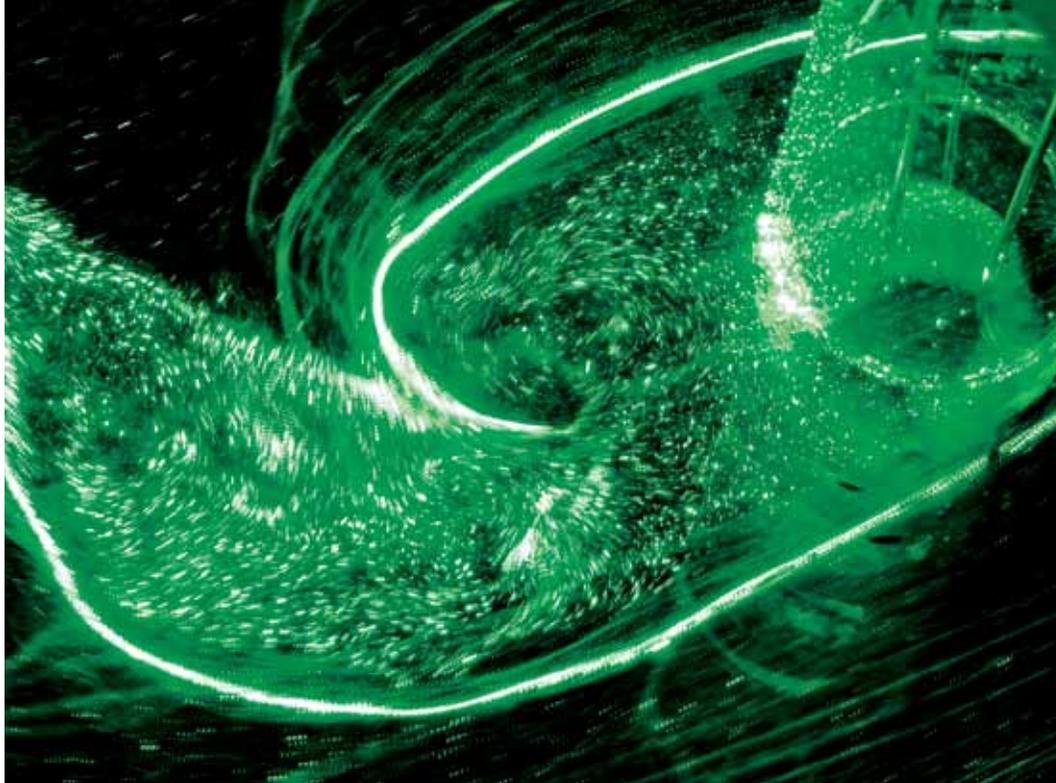
VIBRANDO COM VÓRTICES

Outro Projeto Temático da FAPESP, coordenado por José Aranha, do Departamento de Engenharia Mecânica da Poli, abordou um problema que continua a desafiar engenheiros, físicos e matemáticos no mundo inteiro e cujo impacto econômico na exploração de petróleo marítimo é incalculável: o fenômeno da vibração induzida por vórtices (VIV). Vigente de 1995 a 1999 e renovado entre 2002 e 2006, os projetos visaram estudar o efeito da VIV nas estruturas das plataformas petrolíferas, especialmente nos risers, por meio de análises das equações da hidroelasticidade, simulações computacionais de soluções dessas equações e por experimentos em escala reduzida. Colaboraram pesquisadores da USP, IPT e Petrobras, bem como da Universidade de Cornell, nos Estados Unidos, do Imperial College e da Universidade de Southampton, no Reino Unido, e do Centro Aeroespacial Alemão.

Quase sem oscilar em alto-mar

Cabos de ancoragem reduzem a vibração das plataformas





Experimento no tanque de água recirculante da Poli-USP mostra, por meio de luz laser, o desprendimento de vórtices na correnteza ao passar por um cilindro

“A VIV é um dos poucos fenômenos de dinâmica de fluidos até hoje não bem compreendidos”, afirma Pesce, que também colaborou nesse projeto. Para visualizar o que é a VIV, imagine um tubo vertical de 25 centímetros de diâmetro e 2.500 metros de comprimento imerso na água, como são de fato os *risers* pendendo de uma plataforma em alto-mar. Quando uma correnteza passa pelo tubo, o escoamento da água ao redor dele forma uma série de vórtices tubulares, que se desprendem um de cada lado do tubo de forma alternada.

As diferenças de pressão causadas pela emissão dos vórtices produzem complexas forças oscilatórias que induzem vibrações no tubo – um movimento caótico e turbulento, nada trivial de se determinar. O problema real da VIV nos *risers* é ainda mais complicado, pois essas tubulações ficam sujeitas a correntezas marítimas superficiais e de fundo cruzadas, além de sofrerem com as oscilações da plataforma. Tanto as simulações computacionais quanto os ensaios experimentais ainda não conseguem capturar todos os aspectos do fenômeno.

Se a VIV não for suprimida, a fadiga mecânica provocada pode acabar rompendo os *risers*. Para impedir isso, a solução comercial mais comum são os *strakes*, uma espécie de armadura envolvendo

cada *riser* com uma série de placas que formam uma hélice ao longo da tubulação. Embora realmente atenuem a VIV, a instalação dos *strakes* por toda a tubulação é complexa e responsável por metade do custo do sistema de *risers*, que pode chegar a quinhentos milhões de dólares (quase tanto quanto a própria plataforma). Além disso, os *strakes* aumentam a força de arrasto das águas nos *risers*, exigindo uma estrutura mais robusta para sustentá-los. O objetivo de longo prazo dos pesquisadores, portanto, é encontrar soluções que minimizem cada vez mais o uso dos *strakes* ou os substituam completamente.

Os recursos do projeto permitiram a Aranha e seus colegas equipar o Núcleo de Dinâmica de Fluidos (NDF) da Poli com *clusters* de computadores e construir um tanque de água recirculante, idêntico a um existente no Imperial College, onde a VIV e outros fenômenos são observados por meio de feixes laser e câmeras de alta definição que capturam a dinâmica de modelos reduzidos de cabos e tubos e sua interação com a água em movimento. “Estamos entre os dez grupos mais ativos nessa área no mundo”, afirma Júlio Meneghini, especialista em dinâmica de fluidos computacional e experimental, além de coordenador do NDF.

Segundo Meneghini, as pesquisas do projeto temático produziram melhorias na descrição da VIV, que foram incorporadas nos *softwares* de análise de *risers* da Petrobras. As conclusões também renderam cerca de 50 artigos científicos em revistas internacionais de alto impacto, além de três pedidos de patente de mecanismos de atenuação de VIV. ■

OS PROJETOS

1. Métodos de dinâmica não linear aplicados ao projeto e análise de sistemas de ancoragem – nº 1996/12284-6 (1998-2003)
2. Vibração induzida por emissão de vórtices em estruturas marítimas e oceânicas – nº 1994/03528-3 (1995-1999)
3. Vibração induzida por vórtices (VIV) em estruturas marítimas e oceânicas – nº 2001/00054-6 (2002-2006)

MODALIDADE

1, 2, e 3. Projeto Temático

COORDENADORES

1. Hernani L. Brinati – USP
2. e 3. José A. P. Aranha – USP

INVESTIMENTO

1. R\$ 250.128,69
2. R\$ 132.336,72
3. R\$ 1.753.819,04

ARTIGO CIENTÍFICO

MENEGHINI, J. R. *et al.* Numerical Simulation of Flow Interference between two Circular Cylinders in Tandem and Side-by-side arrangements. *Journal of Fluids and Structures*. v. 15, n. 2, p. 327-350, 2001.

DE NOSSO ARQUIVO

Mais petróleo em alto-mar
Edição nº 68 – setembro de 2001



Métodos refinados

Programa capaz de processar informações em sequência com vários computadores ajuda a aprimorar produção das refinarias

Evanildo da Silveira

Uma colaboração da maior empresa brasileira, a Petrobras, com a Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) iniciada há mais de 15 anos continua rendendo frutos. Uma solução de *software* capaz de processar informações em sequência com vários computadores, para analisar o histórico do comportamento de antigos reservatórios de petróleo e gás, é um desses resultados, assim como a criação de um grupo de pesquisa na área de simulação numérica e gerenciamento de reservatórios de petróleo e a instalação de um centro de excelência em automação industrial.

Foram inicialmente dois projetos, um da Unicamp e outro da USP, apoiados pelo Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (Pite) da FAPESP, um com início em 1996 e outro em 1997, ambos em parceria com a Petrobras. Denis José Schiozer, professor da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM) da Unicamp, conta que o objetivo de sua equipe era criar uma forma de distribuir simulações de reservatórios em redes de máquinas para uma aplicação específica. Trata-se da calibração de modelos numéricos de previsão de produção de petróleo, que consome muito tempo e esforço computacional. “Hoje, isso é feito com frequência e em *clusters* de computadores, mas na época era uma novidade”,

diz. “Criamos um *software* que vem evoluindo até hoje e é usado por nós e pela Petrobras.”

Schiozer afirma que os modelos numéricos criados para prever a produção de petróleo têm muitas incertezas, pois se desconhece grande parte das variáveis dos reservatórios, como propriedades de rochas e fluidos. “Por isso, os engenheiros, geólogos e geofísicos fazem o modelo inicial e, à medida que o reservatório produz, ele é calibrado para reproduzir a resposta real”, diz ele. “Com isso, obtém-se uma previsão de produção mais confiável e em menor tempo. Antes, eram necessários até seis meses para serem feitas as previsões de extração. Com o novo sistema esse prazo foi reduzido para poucas semanas.”

O trabalho no departamento de engenharia química da Escola Politécnica (Poli) da USP resultou em um *software* usado para otimizar a produção das refinarias de petróleo da Petrobras. “O objetivo era conseguir a maior produção possível com o menor custo”, diz Claudio Oller do Nascimento, coordenador do projeto. “Com o programa que desenvolvemos foi possível fazer uma otimização integrada de todos os processos e operações do refino de petróleo.”

O *software* da USP atualizou e aperfeiçoou o Sistema de Controle Avançado da Petrobras (Sicon). O resultado prático foi um ganho adicional de US\$ 0,25 por barril de petróleo refinado.

0,25

dólar por barril de petróleo refinado é o ganho adicional proporcionado pelo novo software





Refinaria Duque de Caxias, no Rio de Janeiro, é uma das unidades da Petrobras com novo software

Hoje, o total desse ganho extra, nas 11 refinarias da empresa no país e quatro no exterior, chega a US\$ 80 milhões por ano. Isso ocorre porque esse programa de computador otimiza as operações de refino e torna possível extrair do petróleo mais derivados nobres, com maior valor agregado.

COLABORAÇÃO ANTIGA

A relação entre a USP e a Petrobras vem desde 1988. “Durante três anos”, relata Nascimento, “formamos 42 engenheiros de automação para refinaria.” Eram funcionários da Petrobras que todas as semanas tiravam dois dias para estudar no departamento de química da Poli. O projeto do Pite de 1997 evoluiu para a criação do Centro de Excelência em Tecnologia de Aplicação em Automação Industrial (Cetai), em 2000, por meio de um termo de cooperação entre a empresa e a Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (Fusp). Com 225 metros quadrados, o centro fica dentro do departamento de engenharia química da Poli; um de seus principais objetivos é transformar pesquisa e desenvolvimento em tecnologia de otimização do refino de petróleo.

O Cetai reúne várias áreas da Petrobras em atividades de pesquisa, desenvolvimento e ensino de tecnologias de automação industrial. “Em conjunto com a USP, foram organizados cursos de especialização em otimização e a criação de

novos algoritmos de controle preditivo”, diz Antonio Carlos Zanin, consultor sênior do Cetai e funcionário da empresa há 29 anos. As tecnologias desenvolvidas no centro visam melhorar a produtividade e a lucratividade de processos industriais da companhia por meio de ferramentas avançadas de engenharia de processo e automação.

O Cetai funciona como uma refinaria virtual e simula o funcionamento de uma unidade industrial real. “Desenvolvemos modelos matemáticos de vários tipos e complexidade, continuamente ajustados para representar o comportamento das unidades da Petrobras, avaliar o seu desempenho, prever a trajetória futura e determinar as melhores opções de parâmetros e condições operacionais delas”, explica Zanin.

Na Unicamp, um dos desdobramentos do trabalho com a empresa foi a criação do Unisim, grupo de pesquisa que completou 15 anos em 2011 e desenvolveu com a Petrobras vários modelos de simulação para prever produção de petróleo de forma mais confiável. Segundo Schiozer, coordenador do Unisim, as aplicações mais comuns são metodologias de ajuste de estratégia de produção e de avaliação de riscos ligados à lucratividade.

“O investimento inicial rendeu frutos tão positivos que a Petrobras vem financiando o nosso grupo há 15 anos e já temos um novo acordo por mais quatro anos”, comemora Schiozer. ■

OS PROJETOS

1. Paralelização de ajuste do histórico de produção em rede de estações usando PVM (Parallel Virtual Machine, ou Máquina Paralela Virtual) – nº 1995/03942-7 (1996-1999)
2. Desenvolvimento da Otimização Integrada das Unidades de uma Refinaria de Petróleo – nº 1996/02444-6 (1997-2001)

MODALIDADE

1. e 2. Programa Parceria para Inovação Tecnológica (Pite)

COORDENADORES

1. Denis José Schiozer – Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM), Unicamp
2. Cláudio Augusto Oller do Nascimento – Escola Politécnica, USP

INVESTIMENTO

1. R\$ 184.667,97 (FAPESP) e R\$ 261 mil (Petrobras)
2. R\$ 266.786,21 (FAPESP) e R\$ 573 mil (Petrobras)

DO NOSSO ARQUIVO

Projetos entre o mundo acadêmico e o empresarial têm bons resultados
Edição nº 58 – outubro de 2000

Unicamp e Petrobras elaboram software para controlar reservatórios
Edição nº 51 – março de 2000

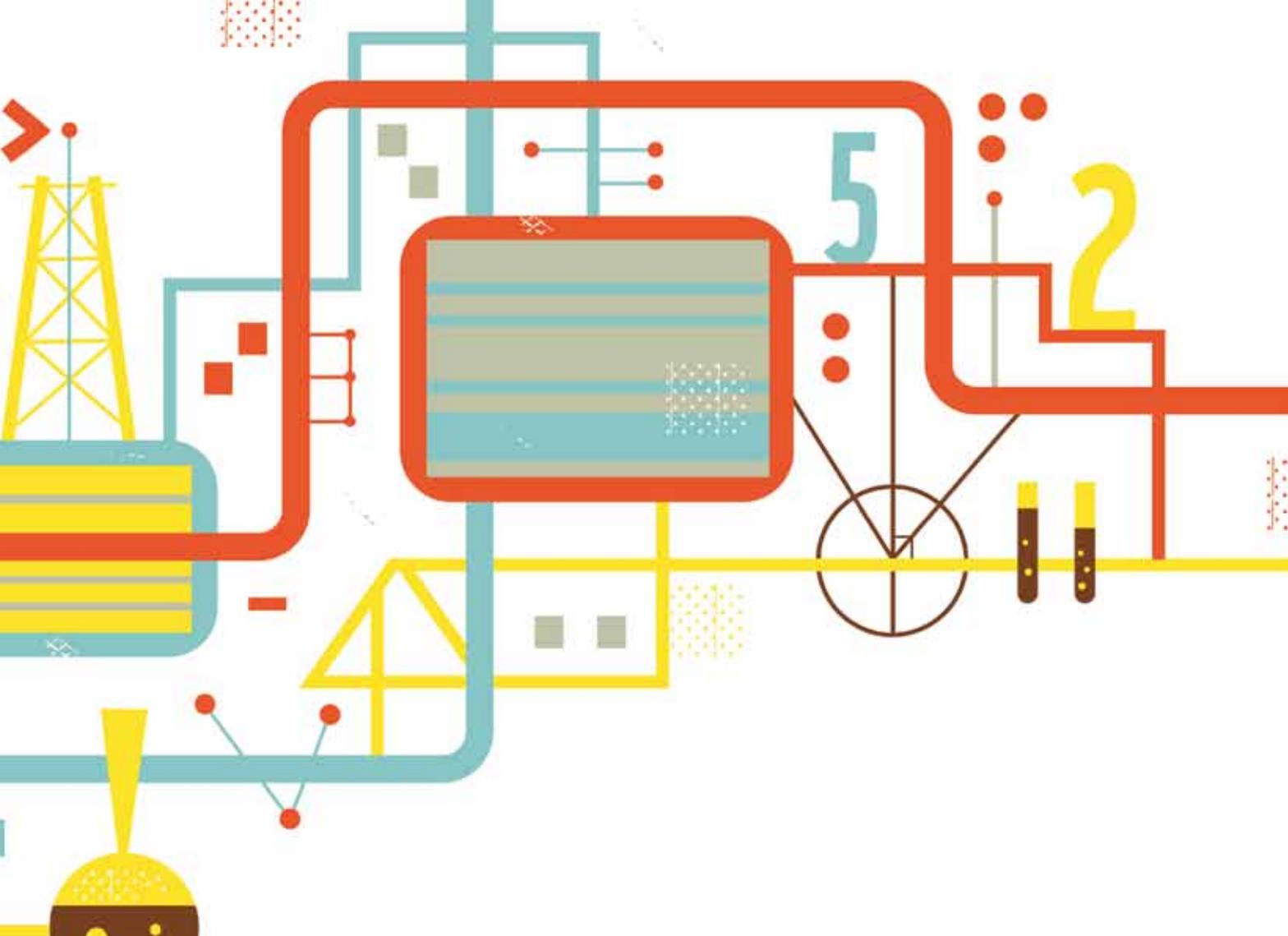
O salto tecnológico da Petrobras
Edição nº 37 – novembro de 1998

Mil e uma aplicações

Projetos em colaboração viabilizam novos usos das ciências da computação em energia, saúde, *design*, antropologia e outros campos

TEXTO **Evanildo da Silveira** ILUSTRAÇÃO **Daniel Bueno**





Criado em 10 de abril de 2007 com o objetivo de gerar novos conhecimentos que ajudem no desenvolvimento social e econômico do país, o Instituto Microsoft Research-FAPESP de Pesquisas em Tecnologia da Informação (TI) já investiu cerca de US\$ 2,5 milhões (R\$ 4,5 milhões em valores atualizados para 2012) em pesquisas no estado de São Paulo. No total, foram ou estão sendo financiados 18 projetos que exploram a aplicação de ciências da computação em áreas como meio ambiente, energia, saúde, linguística, antropologia, geografia, física, biologia e *design*. O programa realiza chamadas públicas todos os anos (já foram cinco) e anunciou os resultados da última delas em março deste ano.

A cada real ou dólar que a FAPESP investe no instituto, a Microsoft investe igual valor. Entre os estudos financiados destacam-se o projeto *Sinbiota 2.0*, voltado para as demandas dos usuários no sistema de informação ambiental nos próximos 10 anos; o projeto *E-Farms*, que busca promover a ligação das pequenas fazendas com o mundo em rede; um projeto de tecnologia da informação dedicado a desenvolver um *software* para apli-

cações na genética da cana-de-açúcar para uso em bioenergia; um projeto para contribuir com a prevenção da cegueira; e o projeto *E-cidadania*, envolvendo o uso de redes sociais virtuais para promover a inclusão social.

Segundo o diretor científico da FAPESP, Carlos Henrique de Brito Cruz, o instituto nasceu de uma iniciativa da Microsoft Research, que procurou a FAPESP com interesse em desenvolver estudos em conjunto com as boas universidades em São Paulo. “Eles queriam saber se nós estaríamos interessados numa parceria”, lembra. “Analisamos a proposta e vimos que era um projeto análogo ao nosso programa Pite (Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica), com a diferença de que a ideia proposta tem um horizonte de resultado muito mais amplo do que normalmente têm os projetos do Pite.”

Para colocar a parceria em prática, a FAPESP e a empresa assinaram, em 15 de dezembro de 2006, um acordo de colaboração válido por três anos, que foi prorrogado em 2009 por igual período. É um tipo de parceria até então inédito no Brasil, pois prevê a realização conjunta de pesquisa básica entre universidades e outras

instituições científicas paulistas e uma empresa do porte da Microsoft, com a intermediação da FAPESP. “É um modelo novo, pois a visão da empresa sobre a pesquisa não é utilitária”, diz Brito Cruz. “A Microsoft não pretende que os estudos em parceria com as universidades substituam os que ela própria realiza em seus laboratórios. A expectativa dela é que o instituto ajude a avançar o conhecimento, com ciência de alto impacto, e a formar bem os estudantes, que ela eventualmente possa contratar mais tarde.”

A gerente sênior de programas de pesquisa da Microsoft Research, Juliana Salles, acrescenta que o propósito da empresa é colaborar com a academia e a comunidade de cientistas, apoiando a inovação em projetos de relevância e impacto para a humanidade. “Em particular, no caso do Instituto Microsoft Research-FAPESP, o objetivo é incentivar colaborações que resultem no avanço do estado da arte em ciência da computação e computação científica”, explica. “Em colaboração com a FAPESP, podemos trabalhar com a comunidade científica do estado de São Paulo em problemas de relevância global, cujas soluções envolvam inovações e avanços na área de tecnologia.”

IMPACTO INTERNACIONAL

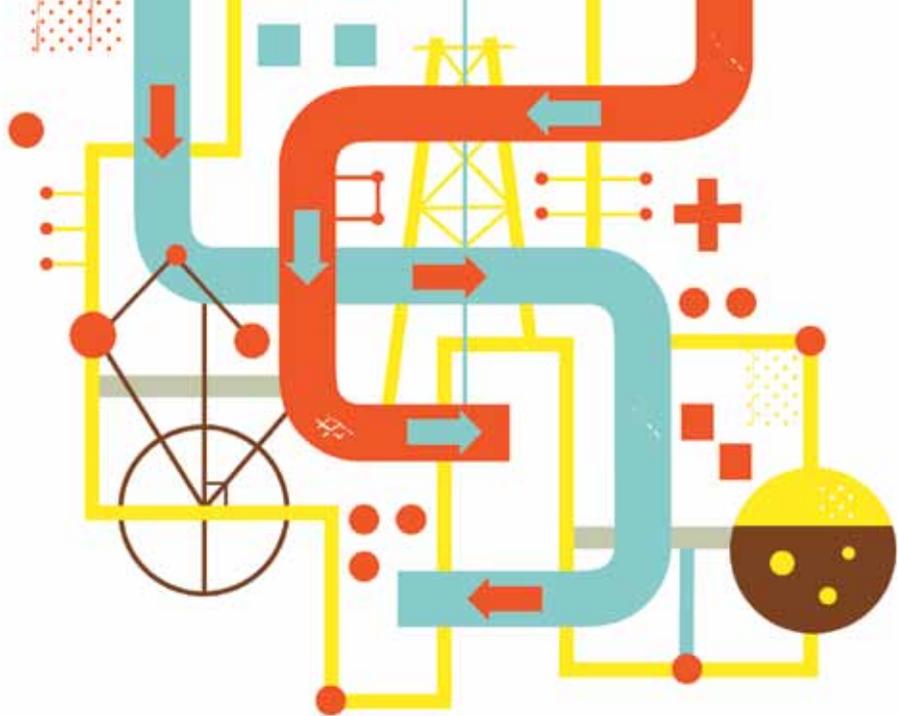
Até agora, os resultados da parceria têm atingido os objetivos propostos pelo instituto. Entre os principais, Brito Cruz destaca a produção científica de qualidade, com impacto internacional. “Além disso, nas áreas de cada projeto, houve formação de recursos humanos em nível de iniciação científica, mestrado e doutorado”, acrescenta. Juliana apresenta os números desses resultados: até dezembro de 2011, as pesquisas financiadas pelo instituto renderam 44 artigos publicados em periódicos científicos, 59 em conferências internacionais e 54 em encontros nacionais, além de 17 dissertações de mestrado e oito teses de doutorado. Foram concedidas ainda 41 bolsas de doutorado, mestrado e graduação.

Um dos projetos que se destaca é o *Sinbiota 2.0 – Sistema de Informações do Programa Biota/FAPESP: planejando*

O alvo é a inovação em projetos de relevância e impacto para a humanidade

os próximos 10 anos, aprovado na terceira chamada pública do instituto, lançada em 15 de junho de 2009. O projeto, coordenado pelo professor Carlos Alfredo Joly, do Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), recebeu financiamento de R\$ 177 mil e começou em dezembro do mesmo ano e foi concluído em dezembro de 2011. O objetivo foi incluir novas tecnologias, novas interfaces e novas demandas dos usuários no Sistema de Informação Ambiental Sinbiota, do Programa Biota-FAPESP, que permitam sua evolução nos próximos dez anos.

Esse programa da FAPESP, também conhecido Instituto Virtual da Biodiversidade, iniciou em 1999 com a finalidade de sistematizar a coleta, organizar e disseminar informações sobre a biodiversidade do estado de São Paulo. Joly lembra que o sistema de informações do Biota também começou a ser desenvolvido naquela época. “Ou seja, ele está defasado em relação às tecnologias mais modernas”, diz. “Dez anos na área de informática são uma eternidade.”



Além disso, o sistema antigo não permitia o desenvolvimento de novos módulos específicos.

Para superar essa limitação, foi desenvolvido um novo sistema de informação modular, usando as ferramentas mais modernas disponíveis. Agora é possível adicionar módulos de dados socioeconômicos, por exemplo, o que possibilita melhor entendimento do funcionamento de biomas em áreas próximas às cidades. As novas ferramentas computacionais do *Sinbiota 2.0* também tornarão possíveis pesquisas na biologia, combinando ecologia, zoologia, botânica, genética e bioquímica.

Com isso, será possível entender mais e melhor os seres vivos em seus ambientes e também avaliar impactos das mudanças climáticas na biodiversidade. “Os módulos permitirão que se exportem os dados do sistema para poder fazer previsões de impacto de mudanças climáticas ou cruzar a informação que se tem com a dos bancos genéticos, como o GenBank, por exemplo”, acrescenta Joly.

PEQUENAS FAZENDAS

Também aprovado na primeira chamada lançada pelo Instituto Microsoft Research-FAPESP, o projeto *E-Farms: uma estrada de mão dupla de pequenas fazendas para o mundo em rede* se desenvolveu entre novembro de 2007 e maio de 2010, sob a coordenação da professora Claudia Bauzer Medeiros, do Instituto de Computação da Unicamp. Um dos dois principais objetivos foi a captura e

gerenciamento de dados de redes sem fio de sensores de temperatura e chuva, por exemplo, e o desenvolvimento de *software* utilizando tais dados, para monitoramento de propriedades agrícolas e gerenciamento da safra.

A segunda meta foi o desenvolvimento de soluções de baixo custo para permitir acesso à internet sem fio em pequenas propriedades rurais. “Esses objetivos foram parcialmente alcançados”, conta Claudia. “As questões de conectividade e internet foram realizadas sob a forma de protótipo, mas não foram implantadas nas fazendas, como pretendíamos.” Os sensores de temperatura foram instalados no *campus* da Unicamp, simulando uma rede local em uma propriedade rural, e os dados foram transmitidos sem fio para um computador na Faculdade de Engenharia Agrícola, que os retransmitia para o Instituto de Computação, de onde eram colocados na internet.

O projeto foi desenvolvido em parceria com a Cooperativa de Cafeicultores de Guaxupé (Cooxupé), a maior do mundo no setor, com cerca de 12 mil associados nos estados de São Paulo e Minas Gerais, que investiu R\$ 50 mil na iniciativa – outros cerca de R\$ 200 mil foram financiados pelo instituto. “Um dos nossos propósitos, do ponto de vista social, era criar uma infraestrutura de comunicação de dados, de baixo custo, para permitir a ligação entre as fazendas e a cooperativa e, assim, o acesso delas à internet”, explica Claudia. “A noção de ‘estrada de mão dupla’ significa que os agricultores recebem informações pela rede, mas também enviam novos dados que tornam possível aperfeiçoar as análises realizadas pelo *software* desenvolvido.”

Embora não tenha atingido plenamente os objetivos técnicos propostos, o projeto teve outros resultados relevantes. Entre eles, estão publicações científicas importantes e o desenvolvimento de trabalhos de mestrado e doutorado, assim como vários protótipos de *software*. “Além disso, eu destacaria dois resultados singulares, que diferenciam nosso estudo de muitos outros na área de computação”, diz Claudia. “Em primeiro lugar, resalto o treinamento de novas gerações de pesquisadores para atuar em ambientes multidisciplinares. Este é o futuro da ciência, em todo o mundo. É a nova era da chamada *eScience*, em que cientistas da computação desenvolvem pesquisa

conjunta com colegas de outras áreas (no caso, ciências agrárias), para que possam obter resultados relevantes, que não seriam possíveis sem esta cooperação.”

Ela também cita a montagem de um conjunto de experimentos em campo, com dispositivos e dados reais, que mostraram as dificuldades de trabalhar com redes de sensores sem fio em terrenos acidentados. “Há inúmeros projetos neste sentido, no Brasil, mas usando simulações ou outros tipos de tecnologia”, explica. “Os resultados de nosso trabalho servem para indicar direções e validar hipóteses.” Mas a história não acabou aí. O grupo de Claudia continua cooperando com a Cooxupé, pois foram detectados inúmeros desafios em computação aplicada a ciências agrárias, que precisam ser vencidos. “Por exemplo, tenho um aluno de doutorado que está utilizando novas teorias computacionais para processar os dados de estações meteorológicas da cooperativa, em tempo real”, diz.

BIOENERGIA DA CANA

O físico e doutor em bioinformática Ricardo Zorzetto Nicolli Vencio, da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (USP), usou a computação com propósito diferente. Seu projeto *Tecnologia da Informação aplicada à genômica para bioenergia: anotação probabilística usando inteligência artificial*, aprovado na terceira chamada do instituto, tinha como meta desenvolver um software para tentar caracterizar

as funções de genes da cana-de-açúcar. Com financiamento de aproximadamente R\$ 111 mil, o trabalho se estendeu de fevereiro de 2010 a janeiro deste ano.

Vencio conta que a intenção era desenvolver um sistema computacional para auxiliar os biólogos a atribuir funções a genes sequenciados, mas cujo papel é desconhecido. “Esse processo é atingido com uma extrapolação guiada de informações que se conhecem sobre ‘parentes’ dos genes desconhecidos por meio de um modelo matemático chamado rede bayesiana”, diz. “Queríamos transformar um método existente muito bom e eficiente do *proof-of-principle* (prova de princípio) em um aplicativo, que pode ser usado mesmo por biólogos de carne e osso. Isso está em fase final de preparação e é o objeto da dissertação do estudante Danilo Almeida e Silva.”

Ele teve um papel fundamental no projeto e explica o que é uma rede bayesiana, uma técnica conhecida de inteligência artificial: “Imagine uma rede social qualquer e, nela, um determinado usuário tem amigos, que têm outros amigos e assim por diante. A bayesiana é uma forma de modelar a social, nas quais as pessoas são os ‘nós’ e as relações entre elas são as interações entre esses nós. No nosso caso, os nós são os genes e as relações de similaridade e parentesco entre eles são as interações. Com a rede bayesiana construída nós podemos inferir probabilisticamente a função de um gene desconhecido a partir das relações que ele tem com outros genes de função já conhecida”.

Com essa técnica os pesquisadores extrapolam as informações de genes com funções definidas para outros, cujos papéis são desconhecidos, mas que têm a mesma origem evolutiva. Porém, fazer a coisa funcionar não é

simples. “Do ponto de vista técnico, os desafios foram maiores do que esperávamos”, afirma Vencio. “O método matemático que já existia era muito bom, mas o *software*, desenvolvido na Universidade de Berkeley, que é o que realmente os usuários precisam, era muito pior do que imaginávamos. Mas isso serve para enfatizar a relevância do estudo: se alguém não fizer isso que estamos fazendo,

As novas gerações estão aprendendo a atuar em ambientes multidisciplinares

ninguém vai conseguir usar na prática o estado da arte em busca de função de genes no dia a dia.”

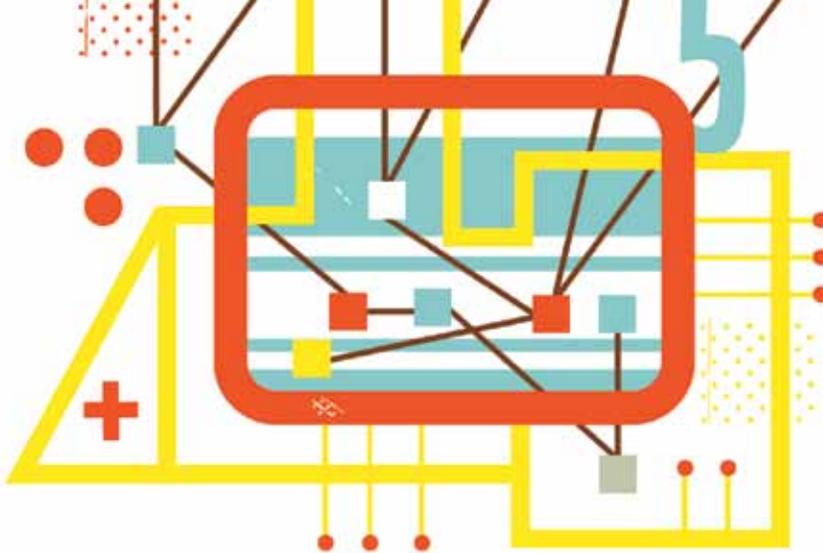
PREVENIR A CEGUEIRA

Jacques Wainer, professor do Instituto de Computação da Unicamp, também tenta desenvolver uma tecnologia ainda inexistente no país. Aprovado na segunda chamada pública lançada pelo instituto, seu projeto *Triagem automática de retinopatias diabéticas: Tecnologia da Informação contra a cegueira prevenível* busca desenvolver um *software* capaz de detectar alterações em imagens de fundo de olho de pessoas, indicativas de retinopatia diabética, doença causada pelo diabetes e que pode levar à cegueira.

Desenvolvido em parceria com a Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), o trabalho começou no fim de 2008 e terminou em julho de 2011, com financiamento de cerca de R\$ 300 mil do instituto. Segundo Wainer, foram analisadas cerca de mil imagens de 400 pacientes. Os resultados obtidos ainda precisam ser aperfeiçoados, no entanto. “Nós desenvolvemos uma técnica de direção de anomalias que é incomum na área de processamento de imagens médicas, que tem certas vantagens, mas também algumas desvantagens”, explica. “O *software* que desenvolvemos detecta as anomalias mais frequentes em pacientes de retinopatia diabética, mas ainda não todas. E as taxas de acerto em detectar essas anomalias ainda não estão comparáveis com os melhores resultados publicados na literatura.”

INCLUSÃO SOCIAL

O projeto *E-cidadania: sistemas e métodos na constituição de uma cultura mediada por tecnologias de informação e comunicação*, por sua vez, busca desenvolver a arquitetura e o *design* de redes sociais virtuais, que possibilitem a inclusão de qualquer cidadão, mesmo os analfabetos ou com baixo letramento. “Um dos grandes desafios da computação hoje em dia é a busca de métodos e *design* de sistemas que possibilitem o acesso de todos e façam sentido principalmente para aqueles em desvantagens no alcance ao conhecimento”, diz Maria Cecília Baranauskas, professora do Instituto de Computação da Unicamp e coordenadora do estudo.



Uma nova rede social facilita o acesso e a participação de pessoas com baixa escolaridade

De acordo com ela, esse desafio é único, pois não existem experiências no exterior nas quais se inspirar. Maria Cecília lembra ainda que o *design* das redes sociais hoje disponível não tem a preocupação de facilitar o acesso de todos os segmentos da população. “Para nós, as soluções do *design* de sistemas interativos e suas interfaces devem ser pensadas no contexto cultural do grupo social em questão”, explica. “Por isso, pensamos em criar uma interface que torna possível que as pessoas olhem para a tela do computador e saibam o que fazer, que consigam entender e usar o sistema para se comunicar e trocar informações.”

Aprovado na primeira chamada, o projeto recebeu financiamento de R\$ 228 mil do Instituto Microsoft Research-FAPESP e foi realizado entre novembro de 2007 e abril de 2010. Um dos seus principais resultados é a criação de uma rede social inclusiva, que pode ser acessada no endereço eletrônico www.vilanarede.org.br, com a participação ativa de pessoas comuns incluindo digitalmente analfabetos e pessoas com baixo letramento. “Ela foi desenvolvida em conjunto pelo grupo de pesquisa e as comunidades parceiras,

sediadas na Vila União e seu entorno em Campinas”, conta Maria Cecília. A ideia é que elas consigam facilmente compartilhar informações, como troca de produtos, serviços e outras atividades.

Depois de suas experiências à frente desse trabalho, Maria Cecília firmou a convicção de que é

inegável a importância de institutos como o Microsoft Research-FAPESP para a ciência no Brasil. “Principalmente pelo fato de olhar para os projetos a partir de duas perspectivas”, diz, “sendo uma alinhada à pesquisa internacional na área de conhecimento em questão e outra que situa os benefícios esperados e os avanços científicos no contexto do país e da sociedade na qual os problemas têm relevância direta.”

VALOR DO MÉTODO ABSTRATO

Para o físico Ricardo Vencio, da USP de Ribeirão Preto, a importância desse instituto é enorme. “Ele fomenta algumas áreas que, se deixadas somente com o financiamento tradicional, não receberiam atenção”, diz. “Em geral, os acadêmicos tendem a ficar satisfeitos com o *proof-of-principle*. Entidades como a Microsoft Research sabem o valor que tem um método abstrato se transformar numa ferramenta real e usável por outros. Essa sinergia de visões, no nosso caso, possibilitou o financiamento de um estudo que, sem esse espírito, talvez ficasse na gaveta para sempre por falta de apoio.”

Segundo Brito Cruz, diretor científico da FAPESP, com a criação do instituto,

a FAPESP consolidou sua estratégia de atuação, que se ampara em três pilares. O primeiro é o apoio à formação de recursos humanos e de cientistas no estado de São Paulo; o segundo, o financiamento à pesquisa básica; e o terceiro, um conjunto de iniciativas e de projetos de pesquisa, no qual a FAPESP busca associar a investigação de excelência com a sua aplicação ou pelo menos sua perspectiva num prazo não muito longo. “O Instituto Microsoft Research-FAPESP de Pesquisa em Tecnologia da Informação (TI) se insere nessa estratégia”, diz.

Harold Javid, diretor de programas para as Américas, Austrália e Nova Zelândia da Microsoft Research, diz, por sua vez, que o pessoal da empresa está orgulhoso com as parcerias com os pesquisadores de São Paulo. De acordo com ele, elas resultaram em novos conhecimentos científicos em várias áreas. “Por exemplo, tivemos projetos no instituto sobre como o clima está afetando a agricultura e a produtividade das culturas e como plantas responderão a isso”, expli-

ca. “Os estudos também mostram como a tecnologia pode evoluir para apoiar os cientistas que enfrentam esses desafios.”

Segundo ele, a Microsoft acredita firmemente que computadores e *softwares* continuarão a melhorar significativamente a vida da população do mundo, a criar novos produtos que oferecem suporte à indústria e novas oportunidades para a comunicação e a disseminação do conhecimento. Por meio do Instituto Microsoft Research-FAPESP, a tecnologia torna possível aos cientistas trabalhar em cenários extremamente relevantes para a espécie humana e avançar suas pesquisas de maneira que não seriam possíveis de outra forma. “Os pesquisadores que estão tentando compreender as tendências de mudança do clima e seu impacto para a sociedade e a economia, por exemplo, podem ser equipados com instrumentação nova e novos mecanismos para dar sentido a seus dados”, explica. “A tecnologia é um elemento-chave para lidar com esses cenários complexos e estamos felizes por participar desse processo.” ■

ARTIGOS CIENTÍFICOS

- MARIOTE, L. E. *et al.* TIDES a new descriptor for time series oscillation behavior. *Geoinformática*, v. 15, p. 75-109, 2011.
- FORTES, M. R. S. *et al.* Bovine gene polymorphisms related to fat deposition and meat tenderness. *Genetics and Molecular Biology*, v. 32, p. 75-82, 2009.
- CURI, R. A. *et al.* Associations between LEP, DGAT1 and FABP4 gene polymorphisms and carcass and meat traits in Nelore and crossbred beef cattle. *Livestock Science*, v. 135, p. 244-50, 2011.

DO NOSSO ARQUIVO

Contato de terceiro grau
Edição nº 187 – setembro de 2011

Convergência Virtual
Edição nº 172 – junho de 2010

Conhecimento e inclusão
Edição nº 154 – dezembro de 2008

Inclusão digital
Edição nº 134 – abril de 2007

Projetos apoiados pelo Instituto Microsoft Research-Fapesp

PROJETO	COORDENAÇÃO	INVESTIMENTO
Navegando de escalas no espaço-tempo e domínio do conhecimento – nº 2011/52070-7 (2012-2015)	Claudia Bauzer Medeiros IC/Unicamp	A definir
Uso da abordagem de biologia de sistemas para desenvolver um modelo de funcionamento em plantas – nº 2011/52065-3 (2012-2016)	Marcos Silveira Buckeridge IB/USP	A definir
Interações entre solo-vegetação-atmosfera em uma paisagem tropical em transformação – nº 2011/52072-0 (2012-2015)	Rafael Silva Oliveira IB/Unicamp	A definir
Um ambiente culturalmente contextualizado para a interação natural e flexível de apoio ao processo de ressocialização em um contexto hospitalar para pacientes crônicos – nº 2010/52135-9 (2011-2013)	Junia Coutinho Anacleto CCET/UFSCar	R\$ 102.265,30
E-Fenologia: aplicação de novas tecnologias para monitorar a fenologia e mudanças climáticas nos trópicos – nº 2010/52113-5 (2011-2013)	Leonor P. Cerdeira Morellato IB/Unesp Rio Claro	R\$ 325.231,78
Monitoramento do ambiente e modelagem do potencial genético de cultivares de cana-de-açúcar em condições adequadas de disponibilidade hídrica do solo – nº 2010/52139-4 (2011-2013)	Regina Célia de Matos Pires AC/SAASP	R\$ 237.285,37
Integração de dados na biologia sistêmica: caracterização de fenômenos biológicos a partir de informações estruturais e funcionais – 2010/52138-8 (2011-2013)	Ronaldo Fumio Hashimoto IME/USP	R\$ 181.340,81
AgroDataMine: desenvolvimento de métodos e técnicas de mineração de dados para apoiar pesquisas em mudanças climáticas com ênfase em agrometeorologia – nº 2009/53153-3 (2009-2012)	Agma Juci M. Traina ICMCS/USP	R\$ 178.631,48
SinBIOTA 2.0 – Sistema de Informações do Programa Biota/FAPESP: planejando os próximos 10 anos – nº 2009/53151-0 (2009-2011)	Carlos Alfredo Joly IB/Unicamp	R\$ 177.115,09
Desenvolvimento e aplicação de rede de geossensores para monitoramento ambiental – nº 2009/53154-0 (2009-2012)	Celso Von Randow Inpe	R\$ 216.957,00
Tecnologia da informação aplicada à genômica para bioenergia: anotação robabilística usando inteligência artificial – nº 2009/53161-6 (2010-2012)	Ricardo Nicolliello Vencio USP Ribeirão Preto	R\$ 111.392,75
JamSession: uma arquitetura descentralizada para mundos virtuais especializados e a web 3.0 – nº 2008/53977-3 (2008-2011)	Flávio Soares Corrêa da Silva IME/USP	R\$ 35.686,65
Triagem automática de retinopatias diabéticas: tecnologia da informação contra a cegueira prevenível – nº 2008/54443-2 (2008-2011)	Jacques Wainer IC/Unicamp	R\$ 237.938,49
E-Farms: uma estrada de mão dupla de pequenas fazendas para o mundo em rede – nº 2007/54558-1 (2007-2010)	Claudia Bauzer Medeiros IC/Unicamp	R\$ 109.658,24
Projeto Borboleta: sistema integrado de computação móvel para atendimento domiciliar de saúde – nº 2007/54479-4 (2007-2010)	Fabio Kon IME/USP	R\$ 107.705,22
X-Gov: aplicação do conceito de mídia cruzada a serviços públicos eletrônicos – nº 2007/54488-3 (2007-2010)	Lucia Filgueiras Poli/USP	R\$ 42.959,67
E-Cidadania: sistemas e métodos na constituição de uma cultura mediada por tecnologias – da informação e comunicação – nº 2007/54564-1 (2007-2010)	Maria Cecília Baranauskas IC/Unicamp	R\$ 176.281,19
PorSimples: simplificação textual do português para inclusão e acessibilidade digital – nº 2007/54565-8 (2007-2010)	Sandra Maria Aluisio USP São Carlos	R\$ 47.843,05

Fios mais finos

Físicos desenvolvem fibras ópticas que podem interligar circuitos nos computadores do futuro

Marcos de Oliveira

Ninguém percebe e poucos sabem que qualquer envio de e-mail para fora do país ou o acesso a um site norte-americano, por exemplo, é feito via cabos de fibras ópticas. Esses finos tubinhos feitos de sílica purificada de areia transportam as informações de um lado para outro por meio da luz de lasers. Agora o mesmo princípio começa a ser usado para a concepção dos computadores do futuro em uma tendência tecnológica que propõe o uso de circuitos totalmente feitos de luz. A ideia é usar micro e nanofibras ópticas para a interligação dos circuitos computacionais que estão por vir. Trata-se de dispositivos que são estudados no Brasil e já foram elaborados no Laboratório de Fibras Especiais (LaFE) do Instituto de Física Gleb Wataghin (IFGW) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

“Essas micro e pequenas fibras poderão servir no futuro para interligar ou funcionar como filtro nos circuitos de computadores quando a luz de lasers poderá ser empregada no lugar dos *chips* atuais”, diz o professor Cristiano Monteiro de Barros Cordeiro, coordenador do projeto que integra o Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica (Cepof) de Campinas, liderado pelo professor Hugo Fragnito e financiado pela FAPESP dentro do Programa de Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepids).

As novas fibras podem medir até quinhentas vezes menos que um fio de cabelo, ou 500 nanômetros (1 nanômetro igual a 1 milímetro dividido por 1 milhão). As fibras comerciais são bem maiores, com diâmetros de 125 microns, portanto um pouco maiores que um fio de cabelo. “O uso das micros e nanofibras ainda é um exercício de

Pequenos tubos de vidro que, depois de aquecidos, são transformados em fibras de vidro



futurologia, mas trabalha-se na perspectiva de que as atuais trilhas metálicas com passagem de elétrons dos chips possam ser substituídas por trilhas de luz”, diz Cordeiro.

Embora ainda consideradas uma promessa, as micro e nanofibras oferecem a perspectiva de consumir menos energia e aquecer pouco o sistema, uma qualidade importante para a principal função a que elas são candidatas, a de interligar *chips* e demais circuitos dentro de um computador. Algumas das novas fibras têm diâmetro de 1 micron, portanto, são menores que o comprimento de onda dos feixes de laser típicos desses dispositivos, de 1,5 micron, usados nas comunicações ópticas atuais. Assim, parte da luz fica do lado de fora da parede da fibra, mas a onda luminosa continua a acompanhar o comprimento do dispositivo. “Se essa parte de luz que fica para fora ajuda ou atrapalha a interconexão óptica futura ainda é uma questão aberta em todos os grupos mundiais que estudam essas fibras”, diz Cordeiro, que se dedica ao estudo desse tipo de fibra óptica desde 2009. Entre esses grupos estão a Universidade de Southampton, no Reino Unido, e o OFS Laboratories, dos Estados Unidos, ligado à empresa Furukawa, do Japão.

Outra função dessas fibras é o uso como sensor óptico, aspecto que foi objeto de um depósito de patente no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) no final de 2011. O grupo produziu uma fibra com 50 vezes mais sensibilidade à tração mecânica que as

existentes atualmente. Elas podem ser usadas na construção civil ao serem coladas ao longo de pontes, por exemplo, para medir, com a alteração na luz, a deformação da estrutura na passagem de um caminhão.

O estudo e concepção de fibras ópticas e demais segmentos das comunicações por meio de laser já podem ser considerados uma tradição nos laboratórios do IFGW da Unicamp. Foram lá que surgiram, no final dos anos 1970, as primeiras fibras ópticas no Brasil, ainda uma novidade mesmo nos países mais avançados em tecnologia. A primeira surgiu exatamente em 1977 e teve a liderança dos professores Rogério Cerqueira Leite, José Ripper Filho e Sérgio Porto. Eles trabalharam como pesquisadores no Bell Labs, nos Estados Unidos, centro de pesquisa responsável pela invenção dos transistores e do laser e onde foram realizados os primeiros testes com fibras ópticas. Perceberam a novidade que se formava naquele centro de pesquisa com o uso de laser e fibras nas telecomunicações e trouxeram para a Unicamp a ideia inovadora.

As etapas seguintes desses estudos tiveram a participação dos professores Hugo Fragnito, Carlos Henrique de Brito Cruz, atual diretor-científico da FAPESP, e Carlos Lenz, pesquisadores que já trabalharam no Bell Labs. “O Bell Labs era um ambiente em que se discutia muito o futuro e indicava o que tínhamos que estudar hoje e o que seria importante nas próximas décadas”, diz Fragnito.

Assim, a pesquisa no IFGW em relação às fibras ópticas apresentaram vários segmentos, como o estudo de um tipo especial desses dispositivos que são as fibras de cristal fotônico. Elas possuem também a capacidade de confinar e levar a luz de uma extremidade para outra. Mas não para grandes distâncias, porque possuem no seu interior uma microestrutura de buracos de ar, múltiplos núcleos e novos materiais que as direcionam a outras aplicações, como usos em equipamentos industriais, relógios de precisão, sensores, aparelhos de diagnóstico médico ou ainda para integrar dispositivos eletrônicos.

As fibras de cristal fotônico, já fabricadas por empresas na Europa, estão sendo usadas, por exemplo, no interior de novas fontes de luz e nos amplificadores de comunicação óptica para recuperar os sinais em redes de transmissão. Os estudos do IFGW na área de fibras microestruturadas incluem a parceria com a Universidade de Bath, na Inglaterra, onde surgiu a primeira fibra de cristal fotônico, a Universidade de Sydney, na Austrália, e o Max Planck Institute for the Science of Light, em Erlangen, na Alemanha.

Em 2007, pesquisadores da Unicamp, em parceria com colegas de outras instituições, elaboraram e depositaram três patentes relativas às fibras de cristal fotônico. A primeira trata da estrutura desses tubinhos finos de vidro. Em relação às tradicionais, elas possuem arranjos de buracos internos que correm em paralelo ao eixo da fibra e por todo o comprimento

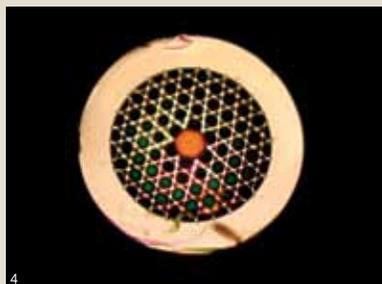
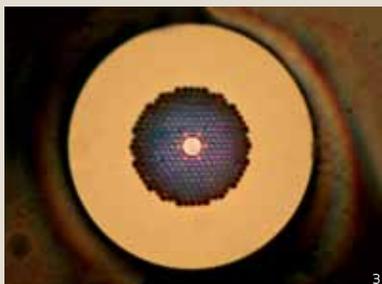
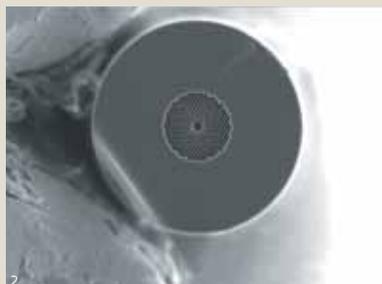
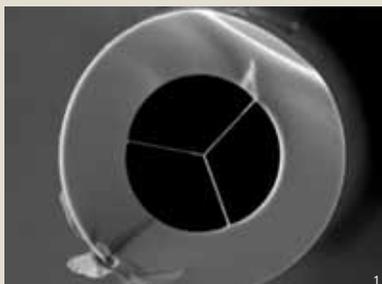


do dispositivo. Os microfuros permitem um controle do direcionamento da luz de forma mais eficiente, de acordo com as características que se quer dar à fibra.

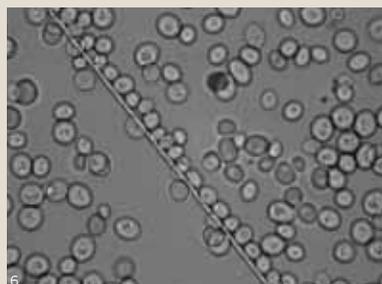
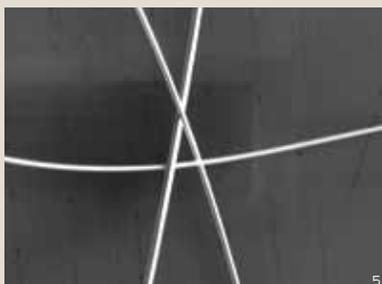
Os pesquisadores da Unicamp e do Laboratório de Comunicações Ópticas e Fotônica da Universidade Presbiteriana Mackenzie, de São Paulo, aplicaram novos buracos em torno do núcleo para uma fibra que funcione como um sensor biológico ou químico. Assim, a luz percorre o seu caminho tradicional e deixa entrar em furos laterais o material, como gases ou líquidos, a ser analisado. A análise acontece com a difração de parte da luz que viaja do núcleo para a casca da fibra e encontra o material.

Diversidade funcional

Propriedades das fibras variam de acordo com a forma



Quantidade de túneis nas microestruturas regulam a passagem da luz nas fibras de cristal fotônico



Nanofibras experimentais (imagem 5) poderão servir para integrar chips de computadores; algumas versões incluem o uso de bactérias (imagem 6)

Na segunda patente, os pesquisadores da Unicamp e da Universidade de Sydney, na Austrália, fizeram rasgos com vários centímetros ao longo da fibra em vez de furos. “A indicação dessa fibra é para fazer sensoriamento químico na detecção de vazamentos em indústrias ou ainda em poços de petróleo”, diz Cordeiro, que, depois de se doutorar na Unicamp, fez um pós-doutorado no laboratório do criador das fibras de cristal fotônico, o britânico Philip Russell, na Universidade de Bath, na Inglaterra. Russell trabalha atualmente no Instituto Max Planck, na Alemanha.

A terceira patente, também elaborada em parceria com a Universidade Mackenzie, é sobre uma fibra de cristal fotônico com núcleo e casca (a parte da fibra que envolve o núcleo) preenchidos com diferentes líquidos como água ou etanol. Os pesquisadores utilizaram água na casca e uma mistura de água e glicerina no núcleo sem que se misturassem. O emprego dessa fibra destina-se às áreas de sondagem e sensoriamento, como, por exemplo, para realizar a análise espectroscópica de líquidos, para medir a emissão ou absorção de radiações eletromagnéticas de uma substância.

Outra conquista no âmbito da pesquisa em transmissões fotônicas foram os experimentos de um amplificador para linhas de transmissões ópticas. Nos últimos anos, o grupo de Fragnito conseguiu bater recordes mundiais entre 2007 e 2009 em relação à capacidade da largura da banda de transmissão de um amplificador elaborado na Unicamp. Ele foi capaz de receber e transmitir vários sinais de laser ao mesmo tempo num amplo espectro de ondas eletromagnéticas voltadas para a transmissão de dados e telefonia, o que não acontece nos equipamentos convencionais.

Esses amplificadores têm a função de reforçar o sinal de luz que percorre o interior das fibras, principalmente entre cidades e nas conexões internacionais ao longo de um percurso – entre 20 e 100 quilômetros. Ele recupera a onda luminosa, que perde potência ao longo da transmissão. O avanço tecnológico dos novos amplificadores é imprescindível para aumentar a capacidade e a velocidade do sistema de telecomunicações e diminuir os custos de implantação de novas redes.

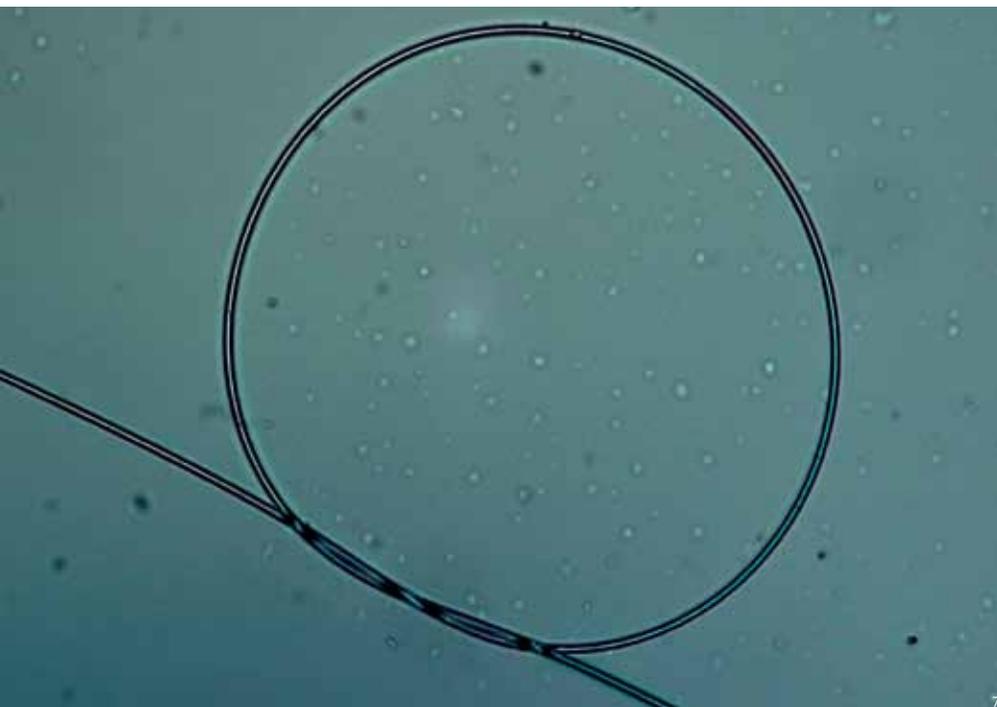


Imagem de microfibra com diâmetro de 3 microns obtida por microscopia eletrônica na Unicamp

A nova geração do amplificador óptico é chamada de *Fiber Optic Parametric Amplifier* (Fopa), ou amplificador paramétrico de fibra óptica, e estudada na Unicamp da mesma forma que em outros centros, como no Bell Labs, atualmente da empresa Alcatel-Lucent, universidades Stanford e Cornell, nos Estados Unidos, e de Tecnologia Chalmers, da Suécia, além de companhias japonesas e francesas.

O conhecimento gerado no novo amplificador poderá evitar congestionamentos futuros da internet. Para Fragnito, ninguém sabe ao certo as aplicações que vão ser necessárias no futuro. “O que sabemos é que será preciso passar, de forma rápida, filmes ou televisão com a maior resolução possível. Em algumas situações, a capacidade de transmissão atual está chegando ao limite. Uma ideia circulante em estudos de comunicações ópticas é que cada fibra possua mais núcleos independentes, cada um com vários comprimentos de onda”, diz Fragnito, que, além do Cepof, coordena o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) de Fotônica de Comunicações Ópticas (Fotonicom), que recebe financiamento da FAPESP e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

“Com a tecnologia atual é possível transmitir 40 canais de laser e cada um pode ter 100 gigabits por segundo (Gb/s) do que resulta em 4 terabits por segundo (Tb/s) no total. Utilizando os Fopas poderíamos

transmitir dez vezes mais, ou seja, 40 Tb/s por fibra ou, para dar uma ideia do que isso significa, praticamente todo o tráfego de internet passando por uma única fibra. Hoje, isso parece muito, mas em poucos anos será insuficiente para atender ao crescimento. Se em vez de um núcleo por fibra pudéssemos ter mais seis, somando sete, a capacidade de transmissão seria de 280 Tb/s em uma fibra óptica”, diz Fragnito.

Para ele, os grandes desafios para permitir o crescimento da internet nos próximos 15 a 20 anos estão em aumentar a capacidade das redes por um fator entre 100 e 1.000, reduzindo o custo, tamanho e consumo energético dos equipamentos de rede pelo mesmo fator. “Para isso, no Fotonicom, além dos Fopas e das fibras multinúcleo, apostamos na óptica integrada, incorporando centenas de lasers, amplificadores, receptores e outros dispositivos num pequeno *chip* com alguns microns.”

As comunicações ópticas avançam para dar suporte às novas mídias e à internet. A conversão dos sinais elétricos para os de luz é caminho sem volta e só vai ser definitivamente estruturado quando todas as transmissões e circuitos se tornarem possíveis via fibras ou novos guias ópticos. “Ainda temos problemas bem difíceis em relação às fibras ópticas que se transformam em desafios científicos para nós”, diz Fragnito. ■

OS PROJETOS

1. Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica (CePOF) de Campinas - nº 2005/51689-2 (2006-2012)
2. Fotônica para comunicações ópticas nº 2008/57857-2 (INCT) (2009-2014)

MODALIDADE

1. Centros de Pesquisa (Cepids)
2. Projeto Temático

COORDENADOR

1. e 2. Hugo Fragnito – Instituto de Física da Unicamp

INVESTIMENTO

1. R\$ 1 milhão por ano para todo o Cepof
 2. R\$ 2.950.799,01
-

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. CHAVEZ BOGGIO, J. M. *et al.* Spectrally flat and broadband double-pumped fiber optical parametric amplifiers. *Optics Express*. v. 15, n. 9, p. 5288-309, 2007.
 2. CHESINI, G. *et al.* Analysis and optimization of an all-fiber device based on photonic crystal fiber with integrated electrodes. *Optics Express*. v. 18, nº 3, p. 2842-48, 2010.
-

DE NOSSO ARQUIVO

A força da fibra
Edição nº 81 – novembro de 2002

Luz na dose certa
Edição nº 106 – dezembro de 2004

Filamentos versáteis
Edição nº 147 – maio de 2008

Feixes Multiplicados
Edição nº 169 – março de 2010

Idéia ou ideia?

Ferramentas compatíveis com as versões atuais do pacote Office são licenciadas pela Techno para a Microsoft



TEXTO **Marili Ribeiro** ILUSTRAÇÃO **Guilherme Lepca**

A última grande mexida se deu em 2009. Foi por conta da introdução da reforma ortográfica que, por exemplo, deixou a escrita da língua portuguesa sem o trema. Mas isso já foi feito por uma empresa privada, longe do *campus* universitário. Consolidado e bem-sucedido, o *Revisor Gramatical Automático para Português* – desenvolvido em parceria entre o Núcleo Interinstitucional de Linguística Computacional da Universidade de São Paulo (USP), do *campus* de São Carlos, e a Itaotec-Philco S.A., com apoio da FAPESP – hoje é operado pela Techno Software.

“O convênio com a Itaotec terminou em 2008 e, desde então, não temos investido no revisor”, conta Maria das Graças Volpe Nunes, que foi a coordenadora do projeto desde o seu início, em 1993, e que também é professora do Departamento de Ciências da Computação e Estatística da USP em São Carlos. “Como o revisor já estava estabilizado, dentro de um ótimo padrão de funcionamento, após os ajustes da revisão ortográfica, feitos pela equipe da empresa Techno Software (parceira da Itaotec), acredito que o produto não evoluiu mais”, completa Maria das Graças.

Já o grupo de pesquisa do Núcleo da USP, que participou ativamente do projeto, segue investindo em vários estudos ligados ao processamento computacional da língua portuguesa, como informa a professora. “O projeto do Revisor Gramatical foi, sem dúvida, precursor de todo o desenvolvimento dessa área no Brasil.”

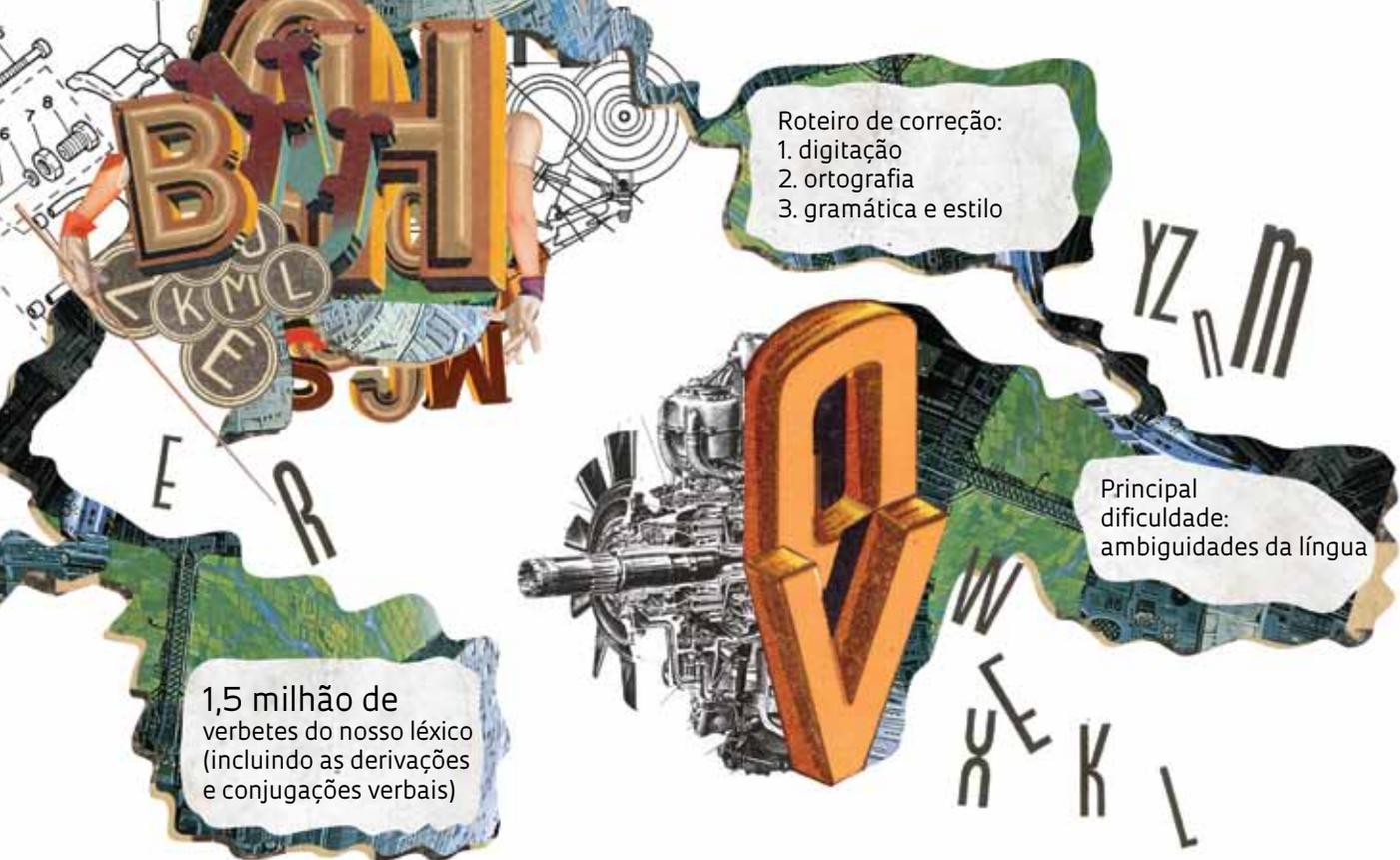
As ferramentas de revisão (ortográfica, gramatical, hifenizador, dicionário de sinônimos) são de propriedade da Itaotec e foram trabalhadas em conjunto com a USP. Após o término do convênio com a USP, a Techno Software assumiu todos os desdobramentos do produto a pedido da Itaotec. “As últimas implementações foram para adequá-las à reforma ortográfica, e isso foi feito no final de 2009. A partir de então, temos dado manutenção nas ferramentas e complementando e corrigindo o léxico quando necessário”, informa, por e-mail, Carlos Henrique Ferreira, da Techno Software. “Como estas ferramentas são licenciadas para a Microsoft, também fazemos adequações para compatibilizar com as versões atuais do pacote Office”, acrescenta. O *software* produzido e comercializado pela Itaotec teve seus direitos adquiridos pela Microsoft, que o incorporou ao programa Office 2000.

O PRINCÍPIO

O *software* de revisão gramatical para a língua portuguesa nasceu como parte dos projetos de pesquisas em que a FAPESP financia de 20% a 70% da iniciativa, no âmbito do Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (Pite), sempre com a contrapartida da empresa interessada. Quanto maior o risco do projeto, maior é a parte da FAPESP. Essa linha de investimento é consequência da crescente consciência de que o ritmo de inovação tecnológica mundial é tão acelerado que o Brasil precisa alavancar sua capacidade para atuar de forma equivalente aos países desenvolvidos. Não há dúvida de que quem não tiver tal capacidade de inovar fica marginalizado.

Em sintonia com essa demanda, empresas brasileiras experimentam os efeitos de parcerias com universidades e institutos de pesquisa. Novos produtos e processos de produção industrial vêm surgindo dessa convivência e têm garantido retorno financeiro às que apostam nessa interação. Um dos caminhos de impulso à arrancada do processo, que cresce em diferentes setores econômicos, se dá graças ao apoio do PITE.

O projeto do revisor gramatical foi aprovado no PITE em 1996. Nesse mo-



mento, ganhou impulso. Antes disso, a proposta de um revisor estava presente nas pesquisas realizadas desde 1993 através de convênio entre a Itaotec-Philco e a Fundação de Apoio à Física e à Química de São Carlos. O trabalho era executado por uma equipe multidisciplinar de linguistas e profissionais da área de computação, com a participação de docentes do Departamento de Ciência da Computação e Estatística, do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação e do Instituto de Física de São Carlos, sempre coordenado pela professora Maria das Graças.

A entrada da FAPESP facilitou a ampliação do escopo da pesquisa, que passou a contar com a colaboração dos professores Claudio Lucchesi, Tomas Kowaltowski e Jorge Stolfi, do Instituto de Computação da Unicamp. Em São Carlos, sob a coordenação de Maria das Graças, foram desenhados os algoritmos e formado o banco de base de palavras e, em Campinas, desenvolveram-se a compactação do sistema e a diminuição do tempo de resposta do programa.

O PRODUTO

Em caixas próprias, a Itaotec começou a vender a primeira versão do revisor gramatical em 1997. O produto nas prateleiras do varejo atraiu atenção e, já no final desse mesmo ano, ganhou o interesse da

gigante Microsoft, que procurou a empresa para incorporar o revisor no programa Office, o mais vendido no Brasil e em todo o mundo. Para a língua portuguesa falada no Brasil, a multinacional americana usava o antigo revisor criado em Portugal, que comportava 200 mil palavras. O da Itaotec já dispunha de 1,5 milhão de palavras. O revisor foi incorporado ao Office 2000, com a Itaotec licenciando o produto por um período de três anos pelo valor de US\$ 421 mil. Novos acertos foram feitos depois na renovação de uso.

No desenvolvimento do produto, a Itaotec gastou R\$ 78 mil, enquanto a FAPESP investiu R\$ 17,9 mil, além de US\$ 9,2 mil, utilizados na compra de máquinas e equipamentos para a USP. Entre os acadêmicos envolvidos com o projeto não havia qualquer projeção sobre a dimensão que ganharia, principalmente com o contrato com a Microsoft.

O revisor detecta um grande número de erros comuns cometidos por usuários de nível de segundo grau. É capaz de indicar e sugerir alternativas para erros ortográficos, mecânicos (colocação irregular ou falta de pontuação no final de frases, por exemplo) e erros gramaticais relativos ao uso da crase, regência, concordância verbal e nominal, colocação pronominal e inadequações lexicais e outros.

O software não interfere no estilo, não padroniza a estrutura do texto, mas percorre sentença por sentença para verificar a estrutura sintática e oferecer opções gramaticalmente corretas de construção. O programa arrisca a função pela proximidade de um verbo ou adjetivo e sugere correções para as diferentes estruturas sintáticas decorrentes de cada um dos diferentes significados. ■

O PROJETO

Projeto e implementação de um revisor gramatical automático para o português – nº 1997/02608-1 (1997-1998)

COORDENADORA

Maria das Graças Volpe Nunes – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, USP

MODALIDADE

Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (Pite)

INVESTIMENTO

R\$ 17.900,00 e US\$ 9.200,00 (FAPESP) e R\$ 78.000,00 (Itaotec Philco S.A.)

DE NOSSO ARQUIVO

Benefícios de uma parceria
Edição nº 58 – outubro de 2000

Os novos rumos da pesquisa tecnológica
Edição nº 47 – outubro de 1999

Revisor Gramatical Automático em nova versão
Edição nº 35 – setembro de 1998

A herança do clone

Identificação de erro na reprogramação celular da bezerra Penta reorienta estudos de reprodução animal

TEXTO **Francisco Bicudo** ILUSTRAÇÃO **Drüm**

Naquela manhã fria de 30 de junho de 2002, o Brasil acordou cedo para vibrar com os dois gols de Ronaldo Nazário, o Fenômeno, contra a Alemanha, que garantiriam à seleção nacional a conquista do quinto título de Copa do Mundo. Poucos dias depois, em 11 de julho, o Brasil alcançaria outro feito memorável, desta vez na área científica – nascia em Jaboticabal, no Hospital Veterinário da Universidade Estadual Paulista (Unesp), com 42 quilos, a bezerra Penta (evidente homenagem ao escrete canarinho), o primeiro clone brasileiro gerado a partir de células de um animal adulto. Os dois clones anteriores resultaram do uso de células fetais ou embrionárias, que se reprogramam mais facilmente.

A euforia, no entanto, transformou-se rapidamente em decepção. Penta morreu com um mês – em 12 de agosto. Consequência de erros de reprogramação celular – quando genes não se expressam ou se manifestam de maneira desordenada – ocorridos durante a clonagem. No caso da bezerra brasileira, o defeito de fabricação estava relacionado ao sistema imunológico, devido a uma baixa produção de anticorpos. “O timo, órgão responsável por ativar o sistema de defesa nos recém-nascidos, não funcionava de forma adequada. Penta tornou-se

vítima de uma série de infecções e acabou morrendo por sepse”, conta Joaquim Mansano Garcia, do Departamento de Medicina Veterinária e Reprodução Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da Unesp.

Superada a tristeza, a morte da bezerra incentivou a equipe da Unesp a tentar entender os riscos envolvidos no processo de reprogramação celular. Levou-a também a investigar mais detidamente o que faz os genes se manifestarem de forma equivocada ou simplesmente silenciarem, como se estivessem desligados, quando o embrião é obtido a partir de técnicas de clonagem. As consequências desses desvios de rota podem ser, entre outros, malformações e problemas respiratórios, neurológicos, imunológicos e ósseos, além do envelhecimento precoce. Tudo isso pode resultar em morte, como aconteceu não só com Penta, como também com outra ovelha famosa, a Dolly, primeiro ser vivo a ser clonado com sucesso em laboratório, em 1996, no Instituto Roslin, na Escócia.

Dolly viveu seis anos. Era um animal ao mesmo tempo jovem, considerado o tempo médio de vida das ovelhas, e idoso, dado que foi clonada a partir de uma célula adulta, com as pontas dos cromossomos – os telômeros – já mais curtas. “Há uma aparente contradição que precisa ser resolvida. Se usamos material

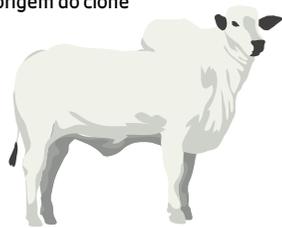
genético normal, de indivíduos doadores saudáveis, por que essas aberrações e equívocos acontecem? É possível superá-los? São perguntas feitas por vários laboratórios do mundo e que também decidimos investigar”, revela Garcia.

O pesquisador explica que existem nos seres vivos enzimas chamadas de DNAmetil-transferases, responsáveis pela incorporação de radicais metil ao DNA. Esse mecanismo por sua vez atua para dar mais estabilidade e proteção às células, ajudando-as a estabelecer relações mais equilibradas com o meio externo. Nesses 10 anos, os estudos desenvolvidos pela equipe da Unesp conseguiram confirmar que, para que os riscos de erros na reprogramação sejam minimizados ou anulados, é preciso que o metil seja encontrado nas células em padrões considerados adequados – se há excesso ou falta dele, as chances de genes silenciarem e de a clonagem não dar certo são ampliadas. “Sabemos que os níveis de metilação podem ser alterados pelo ambiente, mas ainda não temos como agir, em laboratório, para tentar corrigir ou controlar essas mudanças”, diz Garcia.

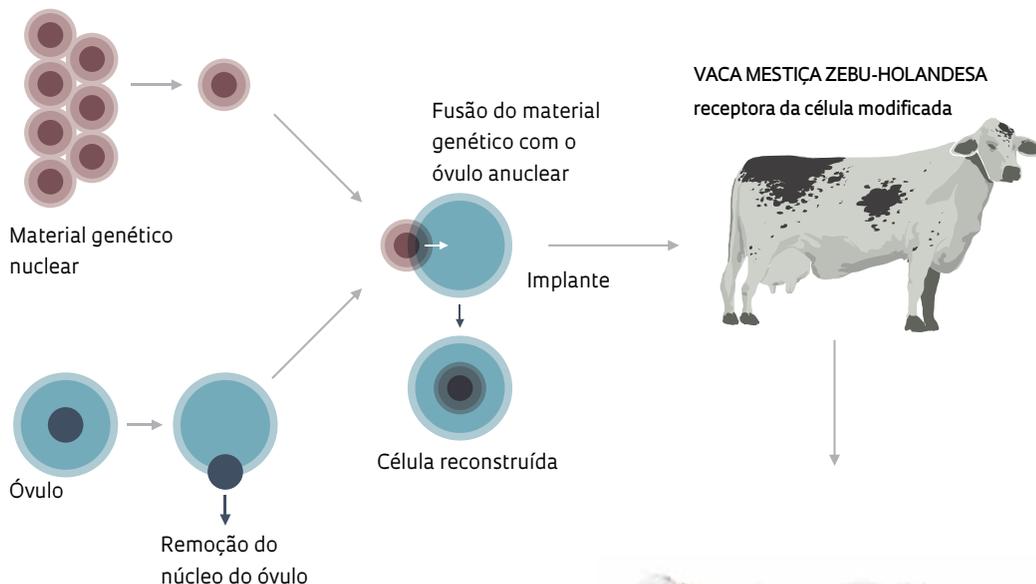
Justamente por conta das relações estabelecidas com o ambiente e de eventuais prejuízos que podem causar à clonagem, o pesquisador da Unesp lembra

Cruzamento campeão

VACA NELORE
origem do clone



VACA HOLANDESA
doadora do óvulo



que é preciso também acompanhar de perto e estudar elementos como o sistema de cultura das células e as condições do óvulo doado que irá gerar o embrião. Se forem manipulados ou conservados de maneira errada ou pouco cuidadosa, poderão ser responsáveis por erros de reprogramação. Atento a esse cenário, atualmente Garcia coordena um estudo que avalia, comparativamente, o que acontece com a metilação do DNA em fetos e placentas com 60 dias de gestação, obtidos a partir de fecundação natural (*in vivo*), artificial (*in vitro*) e por meio de clonagem. O objetivo é identificar eventuais roteiros distintos de evolução e diferenças relacionadas à reprogramação genética, nas três situações. Os primeiros resultados do trabalho devem ser conhecidos até o final do ano.

Penta certamente contribuiu para sofisticar o conhecimento dos brasileiros sobre clonagem, mesmo tendo vivido por pouco tempo. Ela nasceu a partir do DNA de uma célula somática (com 46 cromossomos) retirada da cauda de uma vaca nelore (*Bos indicus*, rebanho indiano) e injetado em um óvulo doado por uma vaca holandesa (*Bos taurus*). No entanto, apesar de o núcleo pertencer à mãe indiana, 97% do código genético de Penta era semelhante ao da mãe europeia. “Era um re-

sultado esperado, mas vislumbrávamos uma mistura um pouco mais acentuada. Penta confirmou que, na clonagem, o material do citoplasma prevalece sobre o do núcleo”, confirma Garcia.

Os pesquisadores da Unesp revelaram, em agosto de 2002 (edição nº 78 de *Pesquisa FAPESP*), que, embora tenham se valido da mesma técnica usada para produzir a Dolly, a clonagem de Penta inovou ao utilizar o cloreto de estrôncio combinado à droga ionomicina para ativar o óvulo reconstituído. Experimentos anteriores tinham optado por aproveitar a ionomicina com o composto 6DMAP (6-dimetilaminopurina). Segundo Garcia, o cloreto de estrôncio é mais vantajoso, pois é capaz de reproduzir com mais fidelidade os efeitos de uma fecundação normal por espermatozoide.

Para ele, além de abrir os horizontes sobre as perspectivas de melhoramento genético do rebanho bovino no Brasil, trabalhos como os que resultaram na clonagem de Penta podem servir de ferramenta para o estudo das mitocôndrias, que são os chamados reservatórios de energia e responsáveis pela respiração das células. “Mudanças nas funções dessa organela”, diz Garcia, “podem prejudicar o metabolismo celular e, dependendo da intensidade, predispor a doenças degenerativas que se manifestam também em humanos, como o mal de Alzheimer”, diz Garcia. ■



PENTA

O PROJETO

Estudo da Função e Herança do DNA Mitocondrial (mtDNA) nos Bovinos: Um Modelo Animal Produzido com Nelore – nº 98-11783-4 (1999-2004)

MODALIDADE
Projeto Temático

COORDENADOR
Joaquim Mansano Garcia – Unesp Jaboaticabal

INVESTIMENTO
R\$ 875.415,17

DE NOSSO ARQUIVO

Penta, o clone campeão
Edição nº 78 – agosto de 2002

Maturidade precoce

Cruzamentos, manejo e biologia molecular deixam bovinos prontos para o abate em 15 meses

Evanildo da Silveira

Bovinos prontos para o abate com menos idade que a média nacional e novilhas que têm o primeiro parto mais jovens são os principais resultados de dois projetos de pesquisa realizados no início da década passada com financiamento da FAPESP. Os dois trabalhos ajudaram a melhorar a pecuária nacional e, conseqüentemente, aumentar sua competitividade no mercado de carne internacional. Com 209 milhões de bovinos, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil tem o maior rebanho comercial do mundo. Daí a importância de estudos nesta área.

O mais antigo dos dois projetos, *Estratégias de cruzamentos, práticas de manejo e biotécnicas para intensificação sustentada da produção de carne bovina*, realizado de 1998 a 2002, reuniu duas dezenas de pesquisadores de quatro instituições: Embrapa Pecuária Sudeste, sediada em São Carlos; Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq) da Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba; Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Jaboticabal; e as unidades de Sertãozinho e Nova Odessa do Instituto de Zootecnia do Estado de São Paulo.

Coordenado pelo engenheiro agrônomo Maurício Mello de Alencar, da Embrapa Pecuária Sudeste, o projeto tinha como principal objetivo avaliar o ciclo completo de vida do

Fazenda Canchim, da Embrapa, em São Carlos: experiências em cruzamento de raças europeias e zebrúinas





gado, do momento do nascimento até quando ele está pronto para o abate. Antes disso, vários pesquisadores brasileiros já haviam tratado dessa questão, mas normalmente focados apenas em fases isoladas do sistema de produção. A novidade do trabalho coordenado por Alencar é que ele envolveu ao mesmo tempo vários aspectos, como melhoramento genético, reprodução, nutrição, sanidade, pastagem e genética molecular. Para isso, os estudos foram divididos em oito subprojetos.

Os pesquisadores avaliaram animais resultantes de cruzamento de vacas nelore com touros da mesma raça e das raças canchim, angus e simental, submetidos a práticas de alimentação e manejo não intensivo e intensivo. “Na fase de cria, avaliamos cinco sistemas de produção”, diz Alencar. “O que usamos como referência foi o de nelore sob manejo não intensivo, com um animal por hectare. Nesse sistema, que é o mais usado no país, vacas nelore ou aneloradas foram acasaladas com touros da mesma raça.” Foram estudados os animais sob manejo intensivo, com cinco deles por hectare, com suplementação alimentar das vacas no inverno e adubação das pastagens no verão.

O nelore (*Bos taurus indicus*), originário da Índia, foi escolhido por ser o zebuino predominante na pecuária de corte nacional (80% do rebanho). O canchim é uma raça sintética criada no Brasil, composta de 5/8 de charolês e 3/8 de zebu, de porte médio, e o simental é um taurino (*Bos taurus taurus*) da Europa continental, de tamanho grande. O angus também é europeu, mas da Grã-Bretanha e de porte médio. Can-

chim e simental se destacam principalmente pelo ganho de peso e o angus pela precocidade reprodutiva. Todos os três são usados em cruzamentos comerciais.

Segundo Alencar, os cinco sistemas de produção foram testados em duas épocas de monta, outono-inverno e primavera-verão, visando à produção de animais em diferentes períodos do ano. “As vacas e os touros resultantes dos vários sistemas, ou seja, nelores ‘puros’ e cruzados canchim X nelore, simental X nelore e angus X nelore, foram avaliados quanto a características de crescimento, habilidade materna, eficiência reprodutiva, exigência nutricional, comportamento, resistência a parasitas e qualidade da carcaça e da carne”, explica. Além disso, nas fases de recria e de reprodução das fêmeas nelores e cruzadas, foram estudadas estratégias de alimentação e de manejo para redução da idade à primeira cobertura e melhoria da eficiência reprodutiva. No caso dos machos, foram avaliados o crescimento, a conversão alimentar e características quantitativas e qualitativas da carcaça.

Os resultados do trabalho mostraram que o nível de suplementação não influenciou a precocidade sexual (idade até a puberdade) das novilhas, mas o cruzamento sim. As vacas cruzadas tiveram o primeiro bezerro mais cedo do que as nelores. Entre elas as resultantes da mistura entre angus e nelore, nascidas na primavera, tiveram a primeira cria com menos de 2 anos de idade – mais precisamente aos 709 dias, ou 23 meses e 19 dias. Na pecuária brasileira o normal era ter o primeiro parto aos 4 anos. Entre os machos nascidos no outono, destinados ao abate após confinamento

iniciado aos 12 meses de idade, os animais cruzados de angus com nelore foram abatidos aos 16 meses com cerca de 20 arrobas (300 quilogramas de carcaça), bem mais cedo do que a média de idade de abate à época no país. Outros resultados importantes obtidos se referem a resistência a parasitas, exigência nutricional de vacas, comportamento animal, marcadores moleculares e efeitos da intensificação no uso das pastagens.

O trabalho evoluiu para o estudo de alternativas de cruzamento envolvendo raças bovinas adaptadas e não adaptadas. O objetivo é obter animais que sejam produtivos nas condições tropicais, precoces, tanto em reprodução quanto em acabamento, e produtores de carne macia de boa qualidade. “O que se pretende é avaliar a possibilidade de produzir animais com elevada

Agora é possível saber a idade ideal para abate dos animais

Confinamento cedo e regime alimentar especial: economia de terras



AS MEDIDAS DOS BOIS

Desempenho de bezerros em confinamento pelo sistema superprecoce

1. Nº de animais: 60 (3 lotes/20 animais)
2. Idade média de entrada: 8,93 meses
3. Dias de confinamento: 152 (5,08 meses)
4. Peso médio de entrada: 245 kg ≈ 8,16 arrobas
5. Peso médio de saída: 483 kg ≈ 18,29 arrobas
6. Ganho de peso médio/dia: 1,57 kg
7. Rendimento médio de carcaça: 56,8%
8. Ganho médio em arroba no período: 10,13 arrobas
9. Idade média de abate: 14 meses

Custos de produção

10. Alimentação animal/dia: R\$ 3,88
11. Operacional/dia: R\$ 0,30
12. Custo total/dia: R\$ 4,18
13. Custo total/período (item 12x3): R\$ 635,36
14. Custo da arroba produzida (item 13/8): R\$ 62,72
15. Custo inicial bezerro: R\$ 900,00
16. Custo total confinamento (itens 13+15): R\$ 1.535,36

Lucratividade do sistema

17. Preço arroba de venda: R\$ 105,00
18. Total bruto arrecadado (itens 5x17): R\$ 1.920,45
19. Lucro anual (item 18 – 16): R\$ 385,09
20. Lucro mensal (item 19/3): R\$ 75,81
21. Rentabilidade (item 19/16): 25,12%
22. Rentabilidade mensal (item 21/3): 4,94%

FONTE: Antonio C. Silveira, Luís Artur Chardulo e Cynthia Ludovico Martins/UNESP

proporção de *Bos taurus taurus*, mantendo um elevado potencial de adaptação a regiões de clima tropical”, explica Alencar.

MODELO BIOLÓGICO SUPERPRECOCE

Precocidade também foi o principal resultado do projeto *Crescimento de bovinos de corte no modelo biológico superprecoce*, desenvolvido de 2000 a 2006 na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Unesp em Botucatu. Sob a coordenação do professor Antônio Carlos Silveira, do departamento de melhoramento e nutrição animal, e a participação de 30 pesquisadores, o trabalho resultou num sistema de criação de bovinos que reduz a idade de abate para até 15 meses. São os chamados novilhos superprecoces que, nessa idade, atingem 450 quilogramas. Eles se originaram do cruzamento de gado nelore com raças europeias, como angus, hereford, simental, braunvieh, charolês, limousin e pardo suíço.

Esse trabalho permite queimar etapas no processo de criação. Agora os bezerros não passam pela fase da recria, que pode durar de dois a três

anos. Eles são desmamados aos sete meses de idade, pesando cerca de 230 quilos, e imediatamente colocados em confinamento para engordar. Além da precocidade para abate, esse método garante cobertura de gordura subcutânea na carcaça superior a 3,5 milímetros, que dá qualidade à carne e seus subprodutos.

Para chegar a esses resultados, os pesquisadores monitoraram o crescimento do tecido muscular esquelético dos novilhos desde o nascimento até a desmama, e daí à terminação – maturidade para o abate –, e estudaram a qualidade de alimentos e suplementos para orientar o manejo alimentar. Na área de biologia molecular, caracterizaram os genes envolvidos no crescimento e na composição da carcaça, para identificar indivíduos geneticamente superiores e eventualmente destiná-los à reprodução.

Silveira cita mais quatro resultados importantes do trabalho. O primeiro deles é a tecnologia de avaliação de carcaça dos animais em tempo real por meio de aparelho de ultrassom. “Com ela, conseguimos verificar o tempo ideal para abater os animais”, diz. “Além disso, torna possível a seleção de touros para maior crescimento muscular e deposição de gordura na carne e separação de animais em lotes em confinamentos para melhor desenvolvimento e desempenho dentro do sistema de terminação.” Um segundo resultado foi a identificação de marcadores moleculares para maciez da carne e deposição de gordura, principalmente na raça nelore, que tem a carne mais dura do que animais europeus.

A introdução de um sistema de alimentação privativa para bezerros, chamado de *creepfeeding*, de cochos pré-moldados, foi outro resultado do projeto. Eles são colocados em lugares do pasto onde só os bezerros – ainda mamando – têm acesso. Assim, eles chegam ao desmame com maior peso – cerca de 30 a 45 kg a mais. O trabalho de Silveira e de sua equipe também resultou na produção de silagem de grão úmido como forma de processamento de milho para as dietas de bovinos. “Durante as pesquisas, compramos uma máquina que produz a silagem em *bags*”, ele conta. “É uma maneira alternativa de conservar alimentos.”

Todos esses métodos e tecnologias desenvolvidos durante o projeto foram repassados para os criadores e hoje estão difundidos em todo o Brasil, contribuindo para a melhoria da pecuária nacional. “O principal resultado do nosso trabalho foi esta consolidação do sistema de produção de carne de animais jovens intitulado superprecoce”, diz Silveira. “Ele já foi adotado como um modo de produzir carne de qualidade, padronizada pelos pecuaristas confinadores em nosso país.” ■

OS PROJETOS

1. Estratégias de cruzamentos, práticas de manejo e biotécnicas para intensificação sustentada da produção de carne bovina – nº 1998/03761-0 (1998-2002)
2. Crescimento de bovinos de corte no modelo biológico superprecoce – nº 1999/05195-5 (2000-2006)

MODALIDADE

Projeto Temático

COORDENADORES

1. Maurício Mello de Alencar – Embrapa Pecuária Sudeste
2. Antônio Carlos Silveira – FMVZ/Unesp de Botucatu

INVESTIMENTO

1. R\$ 374.840,67
2. R\$ 773.318,74

ARTIGO CIENTÍFICO

BIANCHINI, W. *et al.*

Crescimento e características de carcaça de bovinos superprecoces nelore, simental e mestiços. *Rev. Bras. Saúde Prod. An.* v. 9, n. 3, p. 554-64, 2008.

DE NOSSO ARQUIVO

Rebanho de fino trato
Edição nº 102 – agosto de 2004

O avanço da boiada
Edição nº 88 – junho de 2003

Jovem, enxuto e com peso de boi
Edição nº 60 – dezembro de 2000



**Vespas soltas
nos laranjais**

Inseto é usado para eliminar transmissor do *greening*, uma das doenças mais graves dos citros

Marcos de Oliveira

Comecem a surgir soluções para a mais cruel doença da citricultura brasileira conhecida por um complicado nome em chinês, *huanglongbing*, ou ainda *greening*, em inglês, que já se mostrou mais agressiva que outras enfermidades dos laranjais como o cancro cítrico ou a clorose variegada dos citros. Novas formas de combatê-la são muito bem-vindas, porque a indicação hoje é simplesmente arrancar a planta com raiz e fazer severas pulverizações de inseticidas. Já foram erradicados cerca de 14 milhões de plantas de laranjeiras de 2005 a 2011.

A mais nova solução para conter essa epidemia agrícola prevê o combate ao inseto transmissor da bactéria *Liberibacter*, que causa a doença. Conhecido como psílídeo (*Diaphorina citri*), ele pode ter sua população diminuída por meio de manejo ecológico com o uso de uma vespa, a *Tamarixia radiata*, que não causa danos à agricultura e ao homem. Essas vespas parasitam os psílídeos ainda jovens – quando estão na fase de ninfa e não voam – ao colocar ovos no corpo do inseto transmissor da doença. As vespas depois de saírem do ovo destroem o ser parasitado. O ciclo de reprodução da *Tamarixia* e do psílídeo foi obtido por uma equipe do professor José Roberto Postali Parra, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq) da Universidade de São Paulo (USP). Em estudos realizados no município de Araras (SP), a soltura da vespa em pomares da região teve resultados entre 51% e 72% de eliminação das ninfas do inseto.

O domínio da técnica se completou em 2011, por meio de estudos desenvolvidos pela equipe de entomologia da Esalq, que conta com 10 pesquisadores, num projeto financiado pelo Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus), entidade mantida pelos produtores. Atualmente, para manter o experimento, são produzidos de 60 mil a 100 mil vespas por mês na Esalq. Elas são liberadas no campo em áreas com altas populações de *Diaphorina citri*, numa relação de 400 vespas por hectare.

O problema com esse tipo de manejo já verificado em estudos preliminares pelo professor Parra, que tem parcerias também com o Instituto Agrônomo (IAC), o Instituto Biológico de São Paulo e a Universidade da Califórnia, em Davis, nos Estados Unidos, é que a vespa migra e morre em áreas onde existe a aplicação de produtos químicos para controle da praga. Assim, enquanto continua a aplicação maciça de inseticidas em áreas comerciais, as liberações estão sendo realizadas em áreas de murta (*Murraya pani-*

A laranjeira doente apresenta folhas amareladas e frutos que não amadurecem



O psílideo, inseto transmissor do *greening*, foi identificado no Brasil pela primeira vez na década de 1940

culata), uma planta ornamental usada em cercas vivas e pertencente à mesma família dos citros, também hospedeira da doença, em pomares abandonados e áreas de plantações orgânicas de citros.

“Em função dos resultados da pesquisa, é possível recomendar como tática de controle do psílideo a aplicação de inseticidas apenas no período de repouso vegetativo (período de menor atividade metabólica da planta com queda de folhas) das plantas cítricas”, diz Parra. A adoção dessa técnica permite que a liberação de *Tamarixia radiata* possa ser realizada também em áreas com aplicação de inseticidas, atuando de forma complementar à ação desses produtos.

Uma série de alternativas para eliminar o psílideo ainda está em estado inicial de estudo. “Uma delas é o uso de bactérias que interferem no comportamento e na biologia dos insetos, além de fungos que podem ser utilizados como agentes de controle”, diz Parra. Esse tipo de controle biológico é feito de forma semelhante a inseticidas industriais com a aplicação de fungos misturados à água, sobre os insetos e nas plantações. O fungo é inerte para os vegetais e ao homem, mas parasita tanto o inseto adulto como as ninfas, deixando-os secos como

se estivessem mumificados. A equipe de Parra leva em conta possível isolamento de feromônios sexuais, substâncias secretadas pela fêmea para atrair insetos machos, que poderiam ser usados em armadilhas para diminuir a população do psílideo.

Nas goiabeiras reside uma outra possível solução para barrar a investida do transmissor da bactéria. “Elas produzem algumas substâncias voláteis que repelem o inseto, como foi observado inicialmente no Vietnã, onde se plantam goiaba e laranja nos mesmos pomares, de forma intercalada”, diz o agrônomo José Belasque Júnior, pesquisador do Fundecitrus. A pesquisa encontra-se na fase de identificação química dos compostos repelentes para os psíldeos. Estudos para identificação e síntese dessas substâncias voláteis da goiabeira estão sendo feitos pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) de Semioquímicos na Agricultura, financiado pela FAPESP e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, que tem sede na Esalq e é coordenado pelo professor Parra. “A ideia é produzir essas substâncias no futuro nas próprias laranjeiras

Uma das alternativas para eliminar o inseto é o uso de bactérias e fungos

por meio de técnicas de transgenia com o objetivo de repelir o inseto”, explica.

O *huanglongbing* (HLB) foi identificado no Brasil pela primeira vez em 2004 por pesquisadores do Centro de Citricultura Sylvio Moreira, vinculado ao Instituto Agrônomo (IAC), e do Fundecitrus. A rápida expansão da doença pode ser percebida em um experimento realizado pela equipe do agrônomo Marcos Machado, diretor do Centro de Citricultura, em um projeto financiado pela FAPESP, entre 2005 e 2008, com a parceria do Fundecitrus, para estudo da bactéria em relação ao diagnóstico, à biologia e à forma de combatê-la. O pesquisador Renato Bassanezi, do Fundecitrus, isolou um pomar novo de laranjas em Araraquara com 10 mil plantas sem HLB, cercada por plantações de cana e distante um quilômetro de qualquer outro pomar.

Foi feito o controle químico com inseticidas, com diferentes tipos de aplica-

ção. Depois de três anos, 15% das plantas tinham a doença. A conclusão foi que, mesmo com intenso controle químico dentro do pomar, não foi possível evitar a entrada de insetos contaminados de outras áreas. “A situação não é simples, porque é possível que tenham chegado ali vários insetos, mas se apenas um estivesse contaminado a transmissão da doença poderia ocorrer”, diz Machado. Em 2009, o experimento havia sido todo dizimado pelo HLB.

O nome em chinês *huanglongbing* é traduzido como doença do dragão amarelo ou doença do ramo amarelo, porque deixa as folhas amareladas e os frutos verdes, deformados e impréstáveis para o consumo ou para o processamento industrial. “A infecção é severa. Não adianta cortar galhos, é preciso arrancar a árvore, inclusive com a raiz, com uma máquina para que não volte a brotar”, diz Machado.

Atualmente, existem cerca de 160 milhões de árvores de citros no estado de São Paulo e o período de produção de cada uma é de até 20 anos. Em 2011, segun-

do o Fundecitrus, o *greening* estava presente em 53,38% dos talhões (em média 2 mil plantas) paulistas. Outras doenças importantes, como a clorose variegada, atacava 40,3% do parque citrícola enquanto o cancro cítrico, 0,99% das plantas. O HLB também está presente em municípios de Minas Gerais e do Paraná. Os três estados são responsáveis por quase 90% da produção nacional de frutas cítricas e 60% da produção mundial de suco concentrado congelado, o produto mais importante do setor, que rendeu US\$ 2 bilhões em exportações em 2010.

A doença é relatada na Ásia desde o século XIX, continente de origem dos citros. Foi primeiro descrita na China e mais tarde ganhou também o nome *greening* na África do Sul, que se refere aos frutos que não amadurecem e ficam verdes. No Brasil, segundo Machado, o HLB pode ter chegado por meio material de propagação vegetativa, há mais de dez anos. O inseto que dissemina a bactéria é um velho conhecido

dos agricultores brasileiros. O psilídeo foi registrado no Brasil pela primeira vez no início da década de 1940 e deve ter chegado provavelmente no meio de mudas infestadas. Ele se adaptou bem ao clima, mas não era considerado uma praga, porque não produzia danos, embora estivesse relacionado à transmissão da bactéria causadora do HLB na China e em outros países da Ásia. Os olhares dos citricultores brasileiros em relação ao *Diaphorina citri*, que mede de 2 a 3 milímetros de comprimento, só mudaram com a confirmação do HLB em São Paulo. Ele adquire e transmite as bactérias de plantas doentes quando se alimenta nos vasos do floema, o sistema de circulação da seiva da planta. A importância desse vetor no âmbito da doença logo acionou Parra que apresentou um projeto sobre o inseto à FAPESP ainda em 2004. “Até aquele momento, o inseto não havia sido estudado profundamente. O nível populacional não justificava estudos e um controle maior por parte do produtor”, diz. “Com o temático, conseguimos conhecer melhor o *Diaphorina* e indicar medidas biológicas, comportamentais e recomendar o uso de inseticida de forma racional sem desequilibrar o ambiente e sem matar os seus inimigos naturais, como algumas pequenas vespas”, explica. “Identificamos que o inseto se desenvolve melhor em outras árvores, principalmente na murta.”

A fêmea coloca os ovos nas brotações dessas plantas. Nos citros, ela coloca uma média de 160 ovos, enquanto em outras chega até a 348. “Estabelecemos parâmetros climáticos e zoneamento dos lugares onde a praga ocorre mais intensamente. A maior prevalência acontece nos municípios de São Carlos, Bariri, Botucatu, Lins e Araraquara.” O professor Parra realiza há mais de 40 anos pesquisas com insetos ligados à agricultura e sente que o desafio de entender e combater o *greening* é grande, talvez o maior de sua carreira. “O inseto é de difícil manejo na criação. Há também o problema das populações que são variáveis ao longo do ano, das estações e de condições de temperatura e chuva, o que nos impediu de estabelecer modelos de sua presença no campo”, diz. Se o inseto é complicado, as bactérias não são menos. Elas foram identificadas em laboratório na França, em 1970, no grupo do professor Joseph Bové, do Instituto Nacional de Pesquisa Agrônômica. Ainda



A doença deixa o fruto deformado e impróprio para o consumo industrial ou *in natura*

Vespas para combater o psilídeo

USP produz em laboratório as *Tamarixia radiata*



Mudas de murta são colocadas em uma gaiola, onde os psilídeos colocarão os ovos, retirados depois de sete dias

Após 10 dias, as ninfas dos psilídeos são removidas para outra caixa; aí são postas as vespas na proporção de uma para cada grupo de 10 ninfas. A vespa coloca o ovo na ninfa e depois a larva se alimenta da própria ninfa. Em 12 dias, as vespas adultas saem do corpo da ninfa.

hoje elas não têm uma identificação taxonômica ou nome científico definitivo, porque há dificuldades em cultivá-las em meio de cultura nos laboratórios. Por isso recebem a denominação de *Candidatus Liberibacter (Ca.L.)* e três espécies estão associadas ao HLB, a *Ca. L. asiaticus*, responsável por mais de 90% da doença no Brasil e causadora da infecção mais deletéria, a *Ca. L. africanus*, mais amena e ausente dos pomares brasileiros, e a *Ca. L. americanus*, muito pouco presente no país.

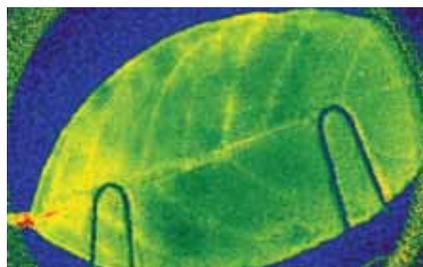
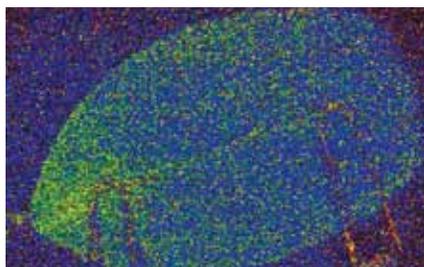
‘Para cultivar a *Liberibacter* é preciso um caldo de que ela goste, e isso é feito por meio de sequências de tentativa e erro”, diz Elliot Kitajima, professor da Esalq e especialista em microscopia eletrônica. Ele e Francisco Tanaka, também professor da mesma universidade, fizeram imagens da *Liberibacter* em um floema da vinca ou maria-sem-vergonha [*Catharanthus roseus*], uma planta ornamental usada como hospedeiro alternativo da bactéria.

“A concentração na laranjeira é muito baixa, não é possível fazer imagens como a obtida com a vinca”, diz. “Não existe a relação entre o número de bactérias e o estrago no floema”, diz Machado. Mesmo assim, as poucas bactérias devem secretar toxinas que prejudicam a funcionalidade do floema. “Rapidamente, em cerca de meia hora depois que o inseto portador da bactéria pica a planta, ela se torna infectada, mas a evolução é lenta e os sintomas podem se manifestar até um ano depois”, diz Parra.

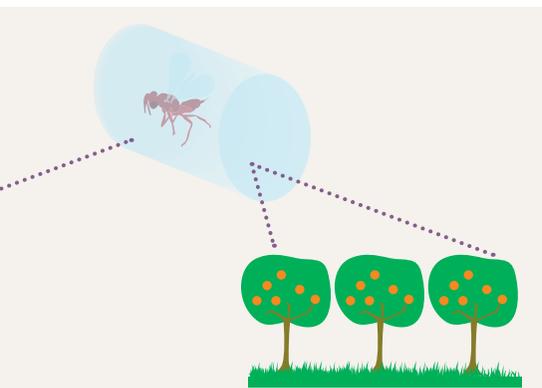
O combate ao HLB também deve contar no futuro com o conhecimento do genoma da bactéria. O sequenciamento genético da *Ca. Liberibacter asiaticus* foi finalizado em 2008 pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. A espécie asiática possui um genoma pequeno, com cerca de 1,2 milhão de pares de base, enquanto a bactéria *Xylella fastidiosa*, que causa a clorose variegada, tem 2,4 milhões de pares, e a *Xanthomonas axonopodis citri*, bactéria causadora do cancro, possui 4,5 milhões de pares.

O menor genoma da *Liberibacter* significa que ela é ainda mais especializada que as outras. Pode indicar que o parasitismo da bactéria em relação à planta é obrigatório porque ela é incapaz de viver livre”, diz Machado. Ele coordena também o recém-criado Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) de Genômica para Melhoramento de Citros, que engloba institutos e universidades em São Paulo, Bahia, Paraíba e na Flórida, nos Estados Unidos. Esse estado norte-americano também é atacado pelo *greening*, onde a doença foi identificada em 2005. A Flórida, com mais de 60 milhões de pés de laranja, é o segundo produtor mundial, atrás de São Paulo, com quase 78% do total de frutas do Brasil. Flórida e São Paulo somados são responsáveis por cerca de 80% da produção mundial de suco.

Os próprios agricultores é que têm de combater a doença. No Brasil, uma lei federal os obriga a eliminar as árvores doentes mas nem sempre isso ocorre. “Metade dos citricultores, principalmente os pequenos não pulverizam as plantações com inseticidas. Embora fácil, esse procedimento não é barato”, diz Armando Bergamin Filho, professor da Esalq-USP e coordenador de outro projeto financiado pela FAPESP que aborda a infestação do *greening*, iniciado em 2008. “O controle tem que ser regional, não adianta um produtor pulverizar com inseticidas e o vizinho não fazer o mesmo.”



Fotos digitais de folha com *greening* exposta à luz de LEDs, mostrando alterações captadas pela fluorescência



As vespas são então soltas nos laranjais. Para se reproduzirem, colocam os ovos nas ninfas dos psilídeos, eliminando-os

FONTE: JOSÉ ROBERTO PARRA E ALEXANDRE JOSÉ FERREIRA DINIZ/ESALQ

Para Bergamin, a doença é controlável quando em uma região ampla exista uma colaboração entre agricultores para erradicar as plantas doentes, pulverizar e fazer as inspeções, de preferência mensalmente, nos pomares. No projeto, Bergamin e seu grupo, que inclui pesquisadores da Fundecitrus, estudaram a disseminação da doença em função do tempo, a rapidez como a infecção atinge as plantações e o inseto, averiguando hábitos de voo do psilídeo, que pode ser levado pelo vento a centenas de metros, tudo com base em análises moleculares nas várias etapas da doença.

LEDS NAS FOLHAS

Um dos problemas dos agricultores é identificar o HLB pelos sintomas, porque eles se parecem muito com os de outras doenças dos citros. Uma inspeção mais eficaz e segura pode estar disponível em breve, como mostram pesquisas realizadas com sistemas de detecção fotônica que estão em desenvolvimento por dois grupos de pesquisadores de São Carlos. Os experimentos utilizam o princípio da fluorescência que utiliza a emissão de luz pela folha após ter sido iluminada por um diodo emissor de luz (LED) ou por um laser.

Um estudo é conduzido por Luís Gustavo Marcassa, professor do Instituto de Física de São Carlos da USP, como uma sequência de outro estudo em que os pesquisadores usaram laser para identificar o cancro cítrico (ver Pesquisa FAPESP nº 80). “Agora com o *greening* não

uso o laser, que requer mais cuidados e é mais caro, mas LEDs (diodos emissores de luz) de alta potência. Ao analisarmos as folhas, chegamos a um acerto de 90% das amostras comprovadas com exames moleculares”, diz Marcassa.

O estudo consiste em iluminar a folha com a luz de um LED e captar com uma câmara fotográfica a fluorescência alterada pela bactéria. Os dados enviados a um computador mostram em um gráfico a possibilidade de a planta estar infectada. Além de São Paulo, Marcassa, em parceria com Reza Ehsani, professor do Centro de Pesquisa e Educação em Citrus (Crec, sigla em inglês), da Universidade da Flórida, fez estudos também em plantações de laranjas naquele estado norte-americano. “Mas os testes na Flórida mostraram resultados diferentes e o índice de acerto lá foi de 61%. Os colegas dos Estados Unidos acreditam que a diferença se deva às condições ambientais das plantas, como adubação e nutrientes distintos, em relação a São Paulo”, diz Marcassa.

O segundo experimento é conduzido pela pesquisadora Débora Milori, da Embrapa Instrumentação Agrícola, unidade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, em São Carlos (SP), que estuda o uso de feixes de laser e LEDs para diagnosticar precocemente o HLB. Débora e sua equipe inventaram um equipamento portátil que lança um feixe de luz sobre as folhas e consegue diagnosticar o *greening* e a clorose variegada com taxa de acerto de 95%. No caso do HLB, o equipamento consegue o diagnóstico positivo mesmo em fase assintomática. O sistema teve depósito de patente no Brasil e no exterior e em 2011 foi licenciado para a empresa Opto Eletrônica, também de São Carlos, que, em parceria com os pesquisadores da Embrapa, desenvolve o primeiro protótipo para uso no campo.

“Hoje a inspeção visual pode levar a erros de 30 a 60%, inclusive na confusão com outras doenças que apresentam sintomas semelhantes”, diz Débora. “Em laboratório, com calibração do aparelho para cada variedade de citro, os índices de acerto são elevados e o resultado sai em alguns segundos. O desafio agora é testá-lo em campo.” Este estudo recebe apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica de São Carlos, um dos centros de Pesquisa, Inovação e Difusão da FAPESP. ■

OS PROJETOS

1. Bioecologia e estabelecimento de estratégias de controle de *Diaphorina citri Kuwayama* (Hemiptera: Psyllidae), vetor da bactéria causadora do *greening* nos citros – nº 2004/14215-0 (2005-2009)
2. Estudos da bactéria *Candidatus Liberibacter spp.*, agente causal do *huanglongbing* (*ex-greening*) dos citros: diagnóstico, biologia e manejo – nº 2005/00718-2 (2005-2010)
3. Epidemiologia molecular e manejo integrado do *huanglongbing* (asiático e americano) no estado de São Paulo – nº 2007/55013-9 (2007-2012)
4. Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica de São Carlos (subprojeto: Óptica aplicada à agricultura e ao meio ambiente) – nº 1998/14270-8 (2000-2012)
5. Imagem de fluorescência aplicada em doenças de citros no campo – nº 2010/16536-9 (2010-2012)

MODALIDADES

1. a 3. Projeto Temático
4. Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid)
5. Auxílio Regular a Projeto de Pesquisa

COORDENADORES

1. José Roberto Postali Parra – USP
2. Marcos Antonio Machado – IAC
3. Armando Bergamin Filho – USP
4. Débora Milori – Embrapa
5. Luís Gustavo Marcassa – USP

INVESTIMENTO

1. R\$ 462.875,46
2. R\$ 1.418.367,25
3. R\$ 1.175.226,06
4. R\$ 38.622.748,13
5. R\$ 85.260,51

ARTIGO CIENTÍFICO

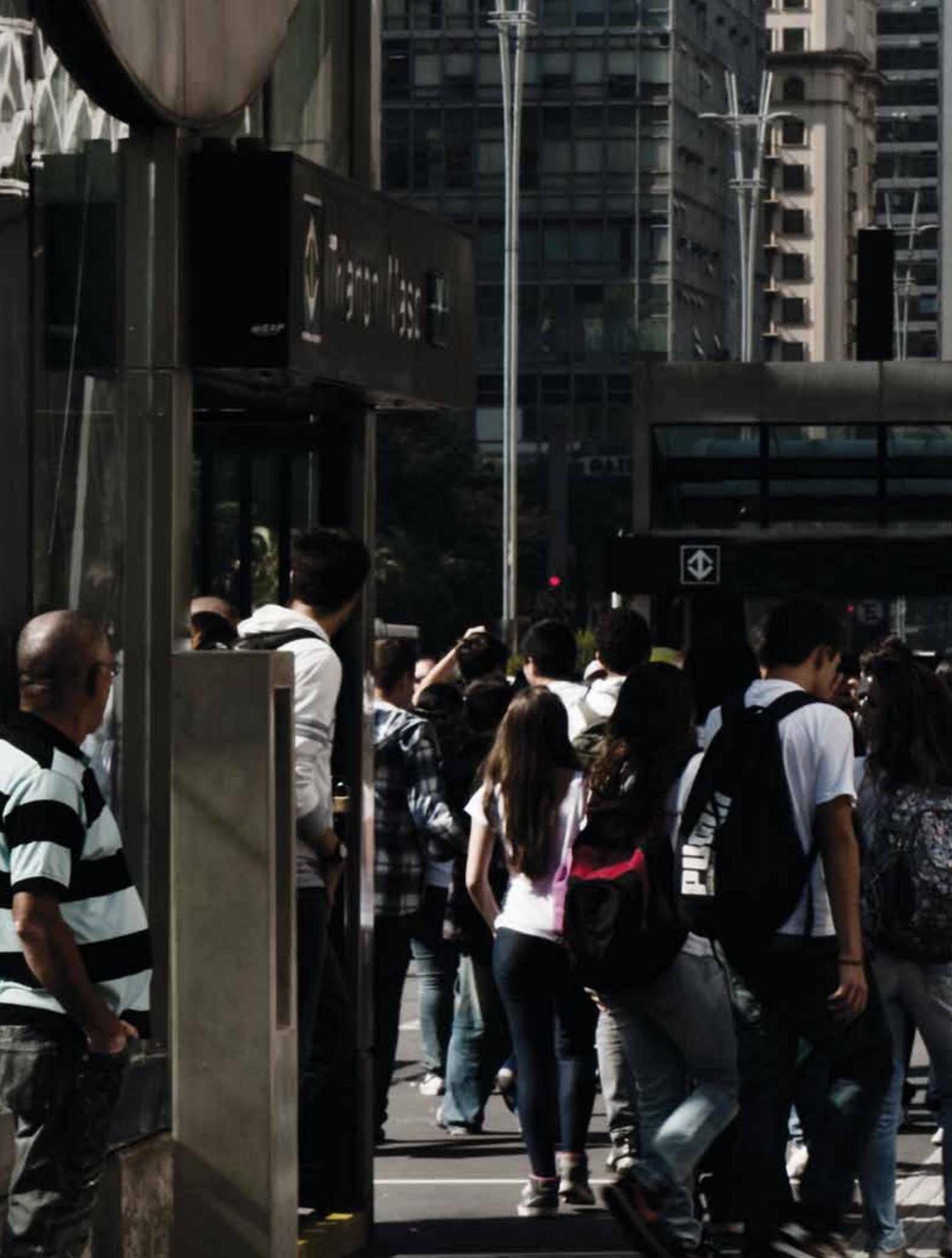
BASSANEZI, R.B. *et al.* Epidemiologia do *huanglongbing* e suas implicações para manejo da doença. *Citrus Research & Technology*. v.31, n.1, p. 11-23, 2010.

DE NOSSO ARQUIVO

A luta contra o dragão amarelo
Edição nº 162 – agosto de 2009

HUMANA NIDADES

DINÂMICA DA ECONOMIA **O Brasil rural não é só agrícola 202** MULHERES DA CANA **A reconstrução do passado 208** SOCIOLOGIA **Uma metrópole em metamorfose ambulante 212** DIREITOS HUMANOS **A violência consentida 216** RELAÇÕES INTERNACIONAIS **Por uma agenda mais efetiva 220** CIÊNCIA POLÍTICA **O presidencialismo se move 224** DEFESA NACIONAL **Autonomia sem discussão 230** EVOLUÇÃO **A América de Luzia 234** ANTROPOLOGIA **A invenção dos índios no Brasil 240** HISTÓRIA DA CIÊNCIA **Nos ombros de gigantes mágicos 246** LITERATURA **O Brasil visto do sítio 252**





O toque do berrante marca a abertura de um rodeio em Ribeirão Preto (SP)

O Brasil rural não é só agrícola

Projeto Rurbano mostra que o país, seguindo o modelo de sociedades desenvolvidas, reduz abismo histórico entre campo e cidade

Claudia Izique

Em 1950, 64% dos brasileiros viviam na zona rural, nas contas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Vinte anos depois, com a modernização da agricultura e a migração em direção às cidades, este percentual caiu para 44%. Nos anos 1980, no entanto, as estatísticas surpreenderam: apesar da queda no emprego agrícola, a população rural ocupada crescia, sinalizando que um profundo processo de mudanças no campo estava em curso. Mais duas décadas e o novo cenário se delineou: a agropecuária moderna e a agricultura de subsistência estavam dividindo espaço com atividades ligadas à prestação de serviços, à indústria, ao turismo e ao lazer, tornando cada vez menos nítidos os limites entre o rural e o urbano no país. E o processo mostrou-se inexorável: os últimos dados disponíveis (2009) dão

conta de que 44,7% dos brasileiros que residem na zona rural têm renda proveniente de atividades não agrícolas, sendo que em São Paulo esse percentual atinge a impressionante marca de 78,4%.

Essa mudança – sinal inequívoco de que o Brasil começava a reproduzir uma dinâmica típica nos países desenvolvidos – começou a ser analisada no final dos anos 1990, na pesquisa *Caracterização do Novo Rural Brasileiro 1992/98*, batizado de Projeto Rurbano. Apoiado pela FAPESP, pelo programa de Núcleos de Excelência (Pronex/CNPq/Finep) e pela Secretaria de Desenvolvimento Rural do Ministério da Agricultura e do Abastecimento (SDR/MMA), o projeto reunia mais de 40 pesquisadores, 11 unidades federais e dois núcleos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Em 2000, os resultados das duas primeiras fases da pesquisa foram repor-



Festa do Peão em Barretos (SP), 2003, o maior evento *country* do país

tagem de capa da edição nº 52 da revista *Pesquisa FAPESP*. “O mundo rural é maior que o agrícola”, constatava o então coordenador do projeto, José Graziano da Silva, do Instituto de Economia da Universidade de Campinas (Unicamp), hoje diretor-geral da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO).

Além de lançar luz sobre uma perspectiva de análise até então equivocada, que reduzia o rural ao agrícola, os resultados do Projeto Rurbano, ainda em curso, teve – e segue tendo – forte impacto sobre políticas públicas. O Programa de Apoio à Agricultura Familiar (Pronaf), cujo crédito beneficiava apenas os produtores rurais com 80% da renda originária de produção agrícola e os empregadores agrícolas com até dois empregados permanentes, alterou essas regras, ainda em 1999, abrindo a possibilidade de financiamento de outras atividades. “Hoje um produtor rural pode conseguir crédito para comprar uma moto que utilizará para vender produtos na feira”, exemplifica Walter Belik, do Instituto de Economia da Unicamp, atual coordenador do projeto.

EVOLUÇÃO DO PROJETO

O Projeto Rurbano começou em 1997, com o objetivo de reconstruir séries históricas a partir dos dados da Pesqui-

sa Nacional por Amostra de Domicílios (Pnad). Constataram, por exemplo, que na década de 1990 a população rural cresceu a uma média de 0,5% ao ano e que três em cada dez pessoas ocupadas estavam vinculadas a atividades não agrícolas. Dez anos antes, essa proporção era de dois para dez.

Na segunda fase da pesquisa, iniciada em 1999, os pesquisadores observaram que as áreas de agricultura e pecuária cediam lugar para a criação de aves nobres e exóticas, vendidas a supermercados, restaurantes e à agroindústria; aos pesque-pague; ao turismo ecológico ou rural; e aos condomínios de classe média e alta. Isso sem falar nas festas de rodeio, estimadas em mais de mil em todo o país. Só a do Peão de Boiadeiro de Barretos, em São Paulo, movimentava anualmente algo em torno de R\$ 20 milhões, além de criar mais de 5 mil empregos diretos e 10 mil indiretos, nas contas dos organizadores.

A pesquisa mostrou ainda que, entre as 7,7 milhões de famílias residentes em áreas rurais, boa parte delas exercia pluriatividade, ou seja, combinavam o trabalho no campo com atividades não agrícolas, por meio da qual auferiam, invariavelmente, renda substancialmente maior. Metade dessas famílias trabalhava por conta própria, sendo que 538 mil

já exerciam exclusivamente atividades não agrícolas.

Os dados indicavam, ainda, um significativo crescimento do número de desempregados e aposentados residentes no campo, evidenciando que estava em curso uma dissociação entre o local de residência e o de trabalho, próprio das cidades. “O crescimento das cidades em direção ao campo e a facilidade nos transportes contribui para isso”, sublinha Belik, descrevendo um fenômeno conhecido como *commuting*.

Os pesquisadores analisaram também o trabalho feminino. “Constatou-se aumento de famílias rurais com mulher na atividade econômica entre as famílias pluriativas, principalmente no Sudeste e em São Paulo”, lembra Eugênia Troncoso Leone, do Instituto de Economia da Unicamp. A participação da mulher na renda das famílias rurais agrícolas era, no entanto, baixa, e provavelmente estava embutida na renda do chefe. Mas era mais significativa entre as famílias pluriativas. “Entre as famílias não agrícolas o emprego doméstico constituía a principal atividade das mulheres ocupadas”, afirma.

Na terceira fase do Projeto Rurbano, iniciada em 2000, os pesquisadores foram mais fundo: passaram a analisar os impactos dessas mudanças no meio ambiente e no emprego, entre outros, por

meio de estudos de caso. “Foram, ao todo, 20 projetos, metade com pesquisa em campo”, conta Belik. Ele próprio foi responsável pelo subprojeto *Indústria Rural e Emprego*, que estudou pormenorizadamente a situação de famílias em municípios paulistas. “Identificamos uma nova indústria rural, com forte ligação com o mercado, que produz alimentos, vestuário e artigos para residências e que faz parte de uma verdadeira rede de produção, explorando nichos e complementando linhas de produtos de grandes indústrias”, afirma.

No município de Lagoinha, no Vale do Paraíba, por exemplo, foram entrevistadas cinco famílias, quatro produtoras de queijo e uma de aguardente de cana-de-açúcar. Todas cultivavam milho, cana forrageira e gado em seu estabelecimento, além de produzir feijão para consumo próprio. Faltavam-lhes mão de obra especializada e recursos financeiros para tocar o empreendimento, além de terem dificuldades de se adequar às normas sanitárias aplicadas ao processamento e ao transporte dos produtos.

Os estudos não se restringiram a São Paulo. Um grupo de pesquisadores liderados por Aldenôr Gomes da Silva, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), constatou que a renda dos inativos é de fundamental importância para as famílias agrícolas e não agrí-

colas. Os resultados apontaram também para o papel significativo das aposentadorias e pensões na composição da renda das famílias rurais e a forte influência das agroindústrias produtoras de frutas na geração de ocupações para as populações rurais. À medida que se afastavam do raio de influência dessas empresas, as populações tendiam a ter menos opções de ocupações não agrícolas.

POBREZA E AUTOCONSUMO

A fase 3 do projeto encerrou em 2003. “O José Graziano virou ministro do Ministério Extraordinário de Segurança Alimentar (Mesa), no primeiro mandato do presidente Luiz Inácio Lula da Silva, depois foi para o gabinete do presidente e se licenciou da Unicamp”, lembra Belik. O grupo se dispersou, como ele diz, e uma equipe menor deu início à fase 4 do Projeto Rurbano com o apoio do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), tendo como foco de análise a pobreza rural e o autoconsumo, também com base nos dados da Pnad.

A pesquisa mostrou que o autoconsumo era uma renda invisível que apoiava a segurança alimentar e envolvia 11,1% dos domicílios (rurais e

Em pequenos municípios rurais com ocupação principal agrícola, a insegurança alimentar era maior



Agricultura orgânica em Correias (RJ), 2008



Atividades de agroindústria artesanal, como neste alambique tradicional de Guararema (SP), sobrevivem nos arredores das grandes metrópoles

1

Escolaridade média da população ocupada no setor agrícola é de 4,1 anos, muito baixa comparada aos 9,3 anos nos demais setores

urbanos) entre os 10% mais pobres da população, público-alvo do Plano Brasil sem Miséria. “Eles não participam do mercado; são produtores por conta própria”, diz Belik. O Brasil sem Miséria reconheceu esse grupo de produtores e, por meio do programa Bolsa Família, passou a destinar àqueles que vivem abaixo da linha

da miséria – R\$ 70 diários *per capita* – um fomento equivalente a R\$ 2.400, transferidos em três parcelas, para comprar sementes, equipamentos, entre outros insumos à produção de alimentos.

Nessa fase do projeto, concluída em 2005, o foco foi segurança alimentar das famílias beneficiárias dos programas de transferência de renda do governo federal, além de uma radiografia da pobreza da população agrícola, residentes no campo ou nas cidades. Constatou-se, por exemplo, que o maior contingente de pessoas em situação de insegurança alimentar encontrava-se em áreas urbanas de pequenos municípios rurais

e que, quando a ocupação principal era agrícola, o problema era ainda maior. Ao contrário, quando a principal atividade estava ligada à indústria, os índices de insegurança alimentar caíam de 49,4% para 21,3%. “Esses dados mostram uma relação entre a localização do domicílio, a ocupação principal e a situação de insegurança alimentar”, sublinha Belik.

Atualmente, cerca de 3,4 milhões de famílias vivem abaixo da linha da miséria, sendo 1,1 milhão residentes em domicílios rurais. Destas, 367 mil produzem para autoconsumo. Elas têm mais sorte que as famílias residentes em regiões metropolitanas ou em cidades fora de eixo das metrópoles, onde pouco mais de 108 mil famílias se beneficiam dessa renda “invisível”, mas fundamental para garantir a segurança alimentar. Beneficiando-se da metodologia do Projeto Rurbano, os pesquisadores iniciaram uma nova fase da pesquisa, denominada *Evolução da Pobreza no Brasil 2000–2010*, cujos dados ainda estão inéditos. Serão apresentados ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). “Em

breve, publicaremos dois ou três artigos sobre o assunto”, adianta Belik.

REDUÇÃO DA DESIGUALDADE

Apesar das políticas de transferência de renda e de apoio à agricultura familiar, no entanto, a desigualdade da distribuição de renda no setor agrícola ainda é maior do que nos demais setores. “De 1995 e 2009, ocorreu no Brasil uma substancial redução da desigualdade da distribuição da renda do trabalho entre todas as pessoas ocupadas”, conta Rodolfo Hoffmann, do Instituto de Economia da Unicamp, que, ao lado de Graziano, coordenou as duas primeiras fases do Projeto Rurbano. Nesse período, o índice de Gini daquela distribuição caiu de 0,585 para 0,518. No setor agrícola, no entanto, essa redução foi bem menor, passando de 0,565 para 0,533.

Alguns fatores contribuem para essa diferença, entre eles a baixa escolaridade. “Quando se considera a população ocupada no setor agrícola, a escolaridade média é muito baixa (4,1 anos em 2009, ante 9,3 anos nos demais setores) e sua dispersão tende a crescer durante todo o período de 1995 a 2009”, ele explica. “Para o conjunto das pessoas ocupadas na indústria e nos serviços, por outro lado, a dispersão da escolaridade tende a cair desde 1998, contribuindo para reduzir a desigualdade da distribuição da renda.”

O aumento do valor real do salário mínimo, que contribuiu para a redução da desigualdade, não teve o impacto unifor-

me no trabalho agrícola. “Os rendimentos agrícolas são mais baixos e, para os empregados sem carteira assinada, o salário mínimo não funciona, efetivamente, como piso salarial.” O resultado é que, de acordo com a Pnad, não houve nenhuma redução na desigualdade da distribuição da renda do trabalho principal para os empregados agrícolas, de 1995 a 2009.

E não há indicações de mudanças substanciais na distribuição da posse da terra. “A concentração da posse da terra está fortemente associada à variável posição na ocupação. Em 2009, os empregadores no setor primário ocupavam uma área média de 235,7 hectares, valor 10,4 vezes superior à média de 22,7 hectares dos por conta própria. Por ocuparem áreas tão grandes, os 86,7 milhões de hectares (56,6%) apropriados pelos quase 368 mil empregadores superam os 66,4 milhões de hectares (43,4%) apropriados pelos quase 3 milhões de por conta própria”, constataram Hoffmann e Marlon Gomes Ney, da Universidade Federal do Norte Fluminense (UFNF), no estudo *Agricultura e a recente queda da desigualdade de renda no Brasil*, publicado em *Políticas Públicas e Desenvolvimento*, editado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Devido ao fato de as rendas agrícolas serem, em média, mais baixas, elas constituem um componente progressivo da renda total, isto é, elas contribuem para reduzir a desigualdade da distribuição da renda no país como um todo. ■

O PROJETO

Caracterização do novo rural brasileiro, 1981/95 (fase II) – nº 1997/00104-6 (1997-1999)
Caracterização do novo rural brasileiro, 1992/98 (fase III) – nº 1999/10890-4 (2001-2003)

COORDENADOR

José Graziano da Silva – Unicamp

INVESTIMENTO

R\$ 40.683,35 (fase II) e R\$ 302.099,00 (fase III)

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. SILVA, J. G. da. O novo rural brasileiro. *Nova Economia*. v. 7, n. 1, p. 43-81, 1997.
2. SILVA, J. G. da *et al.* Meio rural paulista: muito além do agrícola e do agrário. *São Paulo em Perspectiva*. v. 10, n. 2, p. 60-72, 1996.
3. SILVA, J. G. da, DEL GROSSI, M. E. A mudança do conceito de trabalho nas novas Pnads. *Economia e Sociedade*, n. 8, p. 1-16, 1997.

DO NOSSO ARQUIVO

O novo rural brasileiro
Edição nº 52 – abril de 2000



Araioses (MA), 2005: moradores das áreas de agricultura de subsistência são o público-alvo do Plano Brasil sem Miséria

— MULHERES DA CANA

A reconstrução do passado

Memórias dos trabalhadores rurais lançam luz sobre o fim do colonato nas usinas de açúcar

Claudia Izique

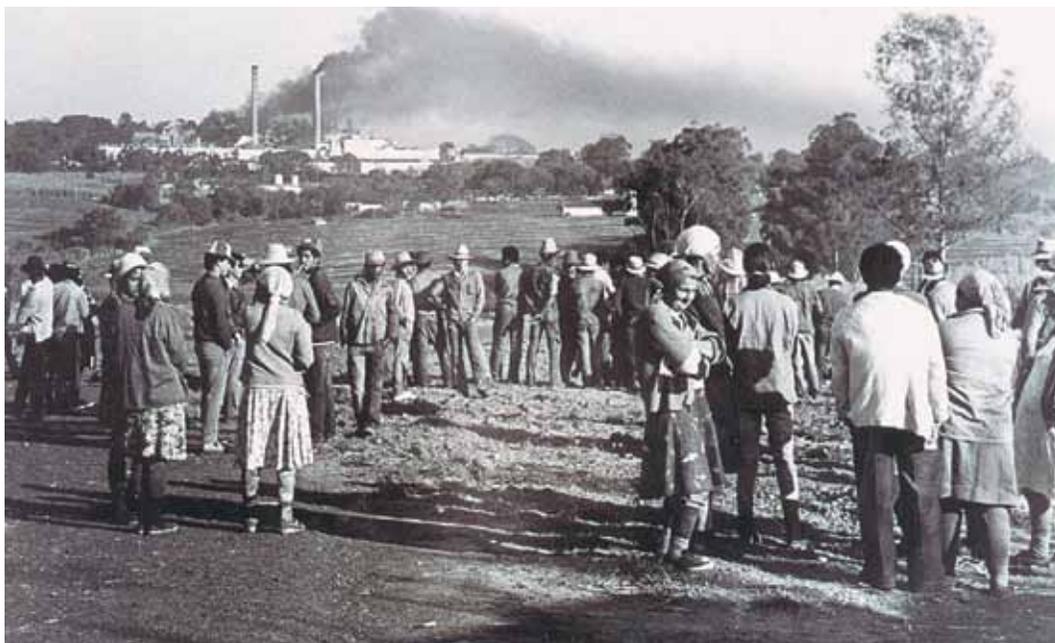
Cortadora de cana:
histórias de violência,
traição e medo



Em 1966, os colonos da Usina Amália, uma das maiores e mais tradicionais produtoras de cana-de-açúcar no interior do estado de São Paulo, entraram em greve por melhores salários e condições dignas de trabalho. Em plena ditadura militar, o movimento resultou na expulsão de cerca de quatro mil famílias da fazenda. O episódio teria caído no esquecimento não tivesse ficado indelevelmente registrado na memória dos colonos que, trinta anos depois, contaram à pesquisadora Maria Aparecida de Moraes Silva histórias de violência, traição e medo. “Eles caíram numa armadilha dos proprietários da fazenda e do sindicato”, ela afirma.

As lembranças dos trabalhadores – e 208 processos judiciais contra a Indústrias Reunidas Francisco Matarazzo, proprietária da usina – ajudaram Maria Aparecida a reconstituir um período de profunda transformação das relações de trabalho nas lavouras de cana, quando o colonato deu lugar ao trabalho temporário, constituindo personagens como o trabalhador volante e os bóias-frias. Os relatos permitiram também que ela conhecesse detalhes das atividades diárias das famílias: a cana era cortada pelos adultos e amontoada em feixes pelas crianças, antes de ser transportada para a usina. Emoldurando o dia a dia, casamentos, batizados, folia de reis e noites embaladas pela valsa da Siriema: “*Teus olhos, quantas cores/De uma Ave Maria/ Que um rosário de amargura/ eu rezo todo o dia*”.

A pesquisa, iniciada em 1997, contou com o apoio da FAPESP. O projeto – *Mulheres da Cana: Memórias* – pretendia reconstituir histórias relacionadas ao trabalho feminino na lavoura. A menção recorrente a uma greve na Usina Amália, no entanto,



Trabalhadores em greve na Usina Amália, por melhores salários e condições dignas de trabalho, em 1966

obrigou-a a ampliar seu escopo de investigação. “Na bibliografia sobre a história da proletarização rural em São Paulo, esta greve não é mencionada”, justifica. Utilizando o “sistema de redes”, como ela explica, pôde identificar e contatar mais de 70 ex-colonos espalhados pela região – Leme, Ribeirão Preto, Barrinha, Santa Rosa do Viterbo, São Simão. “Foi necessário recorrer à história oral para reconstruir os acontecimentos.”

Com 11 mil alqueires, a Usina Amália era o braço agroindustrial das Indústrias Reunidas Francisco Matarazzo. Além das lavouras, sediava unidades industriais para o aproveitamento da cana e do bagaço, do eucalipto e de frutas e legumes produzidos no local. Ali se produziam açúcar, álcool, papelão, ácido cítrico, sabonetes e conservas. No início dos anos 1950, a Usina Amália antecipava-se ao conceito de biorrefinaria no aproveitamento da biomassa. Empregava milhares de pessoas – de trabalhadores rurais a operários – todos eles vinculados ao Sindicato da Indústria da Alimentação, de acordo com a legislação da época. No caso dos colonos, o titular do contrato de trabalho era chefe da família, mas o cálculo de produtividade – pela qual ele era remunerado – envolvia o trabalho não remunerado da mulher e dos filhos.

Os funcionários mais graduados tinham acesso à escola, ao hospital, a cinema, à igreja e até a um supermercado, todos instalados na área da fazenda. Os trabalhadores rurais, não. Distribuíam-se entre mais de 20 colônias – cada uma delas com 100 a 150 famílias – distantes da sede, no meio do canavial. Tinham direito a cultivar um pequeno pomar e horta, mas os produtos necessários à

subsistência eram adquiridos no armazém. Esses gastos eram abatidos do salário do chefe da família e, no final do mês, resultavam num saldo muitas vezes negativo.

A GREVE

A vida na usina e a greve de 1966 foram descritas na reportagem de Marcos Pivetta, *Casa-grande dos Matarazzo na Califórnia Paulista*, publicada na edição nº 61 da revista *Pesquisa FAPESP*, em janeiro de 2001.

A relação da empresa com os colonos tensionou com a implantação do Estatuto do Trabalhador Rural, em 1963, que igualou os direitos do homem do campo aos do trabalhador urbano, tornando ilegal o sistema de titularidade, escreveu Pivetta. Os cortadores de cana passaram a ter direito a férias, 13º salário, carteira assinada – para cada trabalhador e não apenas para os titulares do contrato, como ele sublinhou –, atendimento médico pelo INSS e aposentadoria. Essa tensão foi arbitrada pelas leis de Segurança Nacional e de Greve, no primeiro ano da ditadura militar: instilados pelo sindicato, na avaliação de Maria Moraes, os trabalhadores rurais da Usina Amália foram à greve pelos direitos garantidos pelo novo estatuto e foram expulsos da fazenda por terem deflagrado um movimento considerado ilegal. “Assim que um cortador era despedido e convencido a deixar a fazenda, sua antiga casa era posta abaixo pelos patrões”, contou Pivetta. Junto com a casa do colono, arruinava-se um sistema de relação de trabalho.

Na memória de alguns desses ex-colonos, a greve, que durou seis dias, teria se estendido por cinco anos, período em que tramitaram os pro-

cessos judiciais e recursos da empresa, desde o Fórum Municipal de Santa Rosa do Viterbo até o Tribunal Superior do Trabalho, em Brasília. “Em todos os pareceres dos juizes, há menções relativas à dispensa discriminatória dos trabalhadores, à legalidade da greve, ao caráter pacífico dos acontecimentos, ao direito dos trabalhadores, ao caráter pacífico da convocação da assembléia pelo sindicato, aos motivos de reivindicação dos valores não pagos pela empresa por ocasião do dissídio coletivo aprovado pelo Egrégio Tribunal do Trabalho e à obediência à determinação da Justiça do Trabalho ao decretar a cessação do movimento”, escreveu Maria Moraes, no artigo *Greve na Fazenda*, publicado na coletânea *História Social do Campesinato no Brasil*.

Nesse ínterim, “muitos trabalhadores fizeram acordo com a empresa, mediante o pagamento de quantias irrisórias, depois de muitos anos de espera pela solução judicial”, ela afirma. Respaldados pela Justiça, alguns permaneceram na fazenda, sem qualquer vínculo empregatício ou trabalho para lhes garantir o sustento, apenas aguardando o desfecho desde sempre inevitável.

Nas memórias dos ex-colonos não há registro de qualquer triunfo da Justiça. “Eles retiram da experiência vivida relatos permeados de dramaticidade, emoções, simbolismo, fruto não de uma mera descrição do passado, mas de sua recriação e revificação”, afirma Maria Moraes.

As mulheres, sujeitos privilegiados da pesquisa, guardam na lembrança a dificuldade em conseguir trabalho, a fome, a sopa de mandioca nos momentos de extrema dificuldade. “Ainda que não participando diretamente da greve, elas, como filhas ou esposas, sofreram as consequências”, analisa.

Trinta anos depois, Maria Moraes encontrou muitas delas na condição de chefes de família. Para desempenhar esse novo papel, tiveram que vencer desafios ainda maiores do que em seu passado de colonas, observou Pivetta na matéria publicada pela revista *Pesquisa FAPESP* em 2000. “Concorrendo com homens mais novos e máquinas que vão tomando conta do corte da cana, as mulheres bóias-frias enfrentavam enormes dificuldades em encontrar emprego no meio rural.” Algumas catavam tocos de cana rejeitados por colheitadeiras ou “mexiam” com agrotóxico em viveiros de mudas da planta; outras eram empregadas domésticas.

Na periferia das cidades, elas guardavam também lembranças das relações familiares, do compadrio e

da vizinhança. “A sociabilidade ancorada nas relações primárias, caracterizada pelo reconhecimento interpessoal e autorreconhecimento, cedem lugar à sociabilidade individualizada e estranhada”, diz Maria Moraes. As tradições e cultura “do mundo de antes” não cabiam mais nos limites do novo espaço. “Foi necessária a construção de lugares para protegê-las, para impedir sua morte.”

Ali, nesses “lugares”, como ela diz, estão guardados fragmentos de histórias individuais e coletivas. “À medida que as lembranças vão brotando dos subterrâneos da memória e se dirigindo à superfície, aquilo que era até então nebuloso vai aos poucos assumindo formas nítidas, com conteúdos multicoloridos”, escreveu a pesquisadora no artigo *A memória na esteira do tempo*, publicado em 2001. “Nossa vizinha fazia umas broinhas de fubá: quebrava os ovos ali, bate bem, põe gordura ali, põe canela ali, uma meia dúzia de ovos e bate bem... com a mão mesmo. Depois ainda engrossava com fubá de milho. Ficavam macias e gostosas. Ela fazia e mandava para a mamãe uma biscoiteira cheia daquelas broinhas...”, contou-lhe dona Onícia, aos 93 anos, abrigada num passado em que lealdade e retribuição eram manifestações simbólicas de um grupo social.

BRICOLAGEM

Mas a memória trama, reconstrói e reinventa lembranças fragmentadas, fazendo das culturas uma espécie de “canteiro de obras”, nas palavras do historiador Peter Burke. Algumas das ex-colonas da Amália ainda integravam, nos anos 1990, grupos de Folia de Reis, uma antiga festa rural. “O sentido da festa ainda era o mesmo: o pagamento de promessas feitas aos santos por uma graça alcançada”, explica Maria Moraes. Mas as andanças dos foliões, os cânticos e o encontro das bandeiras dos Santos Reis tinham novos significados surgidos da simbiose entre lembrar e reinventar personagens renascidos pela trama narrativa. Ela própria acompanhou uma festa de Reis na cidade de Barrinha: a bandeira dos Santos Reis, “aquela que saiu pelo mundo”, encontrava-se com a de Nossa Senhora Aparecida, que não tinha foliões, simbolizando outro momento bíblico: o encontro de Maria – encarnada em Nossa Senhora Aparecida – e Jesus durante a via-crúcis. “*Na demora dos três Reis/Herodes se indignou/chamou seus secretários e seu decreto/ Que seguisse para Belém/ e que lá fosse matando/e que matasse menino homem/ até a idade de dois anos.*” ■

Relatos recriam manifestações simbólicas do grupo social

O PROJETO

Mulheres da cana: memórias – nº 1996/12858-2 (1997-1999)

MODALIDADE
Auxílio a projetos de pesquisa

COORDENADORA
Maria Aparecida de Moraes Silva

INVESTIMENTO
R\$ 16.608,13

ARTIGO CIENTÍFICO

SILVA, M. A. M. A memória na esteira do tempo. *São Paulo em Perspectiva*. v. 15, n. 3, p. 102-12, 2001.

DE NOSSO ARQUIVO

Casa-Grande e Senzala dos Matarazzo na Califórnia Paulista
Edição nº 61 – janeiro e fevereiro de 2001



Uma metrópole em metamorfose ambulante

Centro de Estudos da Metrópole desvenda múltiplas faces de São Paulo

TEXTO **Carlos Haag** FOTOS **Léo Ramos**

Depois de muita reflexão, o milionário americano Nelson Rockefeller concluiu que “o principal problema das pessoas de baixa renda é a pobreza”. Pode-se rir da obviedade da observação, mas, a “pérola” de sabedoria é uma falácia. “A renda é uma dimensão muito relevante para a análise da pobreza e da desigualdade e não é à toa que as comparações internacionais focam esta dimensão. Entretanto, nosso esforço no Centro de Estudos da Metrópole (CEM) tem se orientado a examinar a pobreza e a desigualdade em suas múltiplas facetas, porque a situação de pobreza de um indivíduo é resultado da combinação de diferentes aspectos, além da renda”, explicou a diretora do CEM, a cientista política Marta Arretche, em entrevista concedida em 2010. “Estes são: seu acesso ao mercado formal de trabalho, aos serviços públicos e a vínculos sociais e associativos. A situação de desproteção de um indivíduo é resultado dessas múltiplas dimensões.”

Criado em 2000 e sediado no Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (Cebap), o CEM, um dos 11 Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid) apoiados pela FAPESP, realiza atividades de pesquisa, transmissão de conhecimento

(em especial para órgãos públicos) e difusão de informações para especialistas e o grande público. Estão entre os objetivos do centro analisar as mudanças em curso nas metrópoles e avaliar seus efeitos, usando novas abordagens conceituais e metodológicas; servir como centro de referência para documentação e consolidação de informações e estudos sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e outras cidades; sustentar e atualizar um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que mapeia a metrópole, inclusive por meio de satélites.

“A hipótese central e o foco de nossos esforços analíticos, hoje, é verificar que a reprodução social da pobreza é resultado de uma combinação de processos econômicos e mecanismos sociopolíticos”, afirma Marta. A partir dessa constatação, o CEM priorizou em sua agenda de pesquisas formas de socialização, redes sociais, padrões de segregação residencial e a eficácia e extensão das políticas públicas sobre esse estado de coisas. As pesquisas igualmente revelaram que havia, na literatura especializada nacional, uma ênfase excessiva em aspectos econômicos na análise da dinâmica da metrópole. “Nossas pesquisas revelaram um aparente paradoxo: que

A grandeza da ponte estaiada, na zona sul de São Paulo, e as mazelas da favela Real Parque



Da favela Real Parque, em São Paulo, é visível a segregação do tecido urbano

um cenário econômico/emprego negativo pode coexistir com melhorias nos indicadores sociais, mesmo nas regiões de favelas”, analisa a diretora.

Entraram em cena então outras variáveis, como redes sociais e espaço urbano, que ajudaram no entendimento dos mecanismos que reúnem processos macro e estruturas com ações micro, ligadas ao indivíduo e ao comportamento familiar, cujo impacto poderia reduzir ou reforçar as desigualdades. Mesmo a religião e o lazer entraram no escopo das pesquisas. “Nossos estudos partem do pressuposto teórico de que o trabalho, os serviços sociais e a sociabilidade são mecanismos decisivos para a superação de atenuação das situações de pobreza. Você pode ter dois indivíduos com a mesma renda nominal, mas, se um deles tem acesso à habitação e saúde subvencionada pelo Estado, e o outro não tem, um é mais pobre e segregado do que o outro. É preciso analisar sempre além da renda”, avalia Marta. “A pobreza até pode estar sendo atenuada, mas por outro lado a desigualdade pode estar sendo reproduzida”, avisa a pesquisadora.

Esse mapeamento e descobertas das pesquisas permitiu o surgimento de um painel mais amplo da dinâmica espacial e social das metrópoles, não apenas trazendo novas luzes para o debate acadêmico, como também contribuindo para a idealização e formalização de políticas públicas. Segundo a diretora do CEM, a instituição abriu mão da ambição de apontar uma grande solução para o problema das metrópoles, pela impossibilidade de realizar a tarefa, e, no lugar, passou a selecionar temas específicos para os quais conseguisse contribuir. Assim, entre os estudos mais importantes do CEM, o destaque é o *Mapa da vulnerabilidade social*, que utilizou dados do Censo de 2000 e técnicas de geoprocessamento para mapear a pobreza no município de São Paulo. Divulgado em 2004, o mapa cartográfico produziu um mosaico da situação de cada um dos 13 mil setores da cidade estabelecidos pelo IBGE, conseguindo captar situações específicas de vulnerabilidade em grupos de 300 a 400 famílias agregadas em cada setor censitário.

A cada novo estudo, o CEM desmitifica noções antigas que, já há algum tempo, guiam políticas públicas na direção errada. “Há uma série de processos que já não estão ocorrendo em São Paulo há muito tempo e se continua com a mesma impressão e diagnóstico sobre a cidade, datados dos anos 1970, que já não fazem muito sentido”, afirma o sociólogo e pesquisador do CEM Eduardo Marques, que lançou em livro a pesquisa *São Paulo: novos percursos e atores* (Editora 34, 2011). Segundo Marques, um dos mitos está relacionado aos processos migratórios que se reduziram muito intensamente nas últimas décadas. “Hoje, poucos

A cada novo estudo, o CEM desmitifica noções antigas sobre São Paulo, que já há algum tempo guiam políticas públicas na direção errada

assuntos relacionados a São Paulo são fortemente impactados pela questão da imigração”, avisa. A cidade, ao contrário do que se dizia, parou de crescer e de receber migrantes, com mais gente saindo do que entrando, em especial a força de trabalho de menor qualificação, que teve suas chances diminuídas.

Assim, o novo panorama paulista apresentado pelo CEM é de uma cidade que cresce pouco, mas continua se expandindo para as periferias, que se tornaram mais heterogêneas. A boa notícia é que o Estado se faz muito mais presente em todas as áreas da cidade, inclusive nas periferias. Mas há grandes diferenças de qualidade de suas políticas, o que faz com que as desigualdades sociais então se coloquem de forma diferente, mais multifacetadas e menos simples de serem compreendidas. “As diferenças de acesso às políticas públicas têm se reduzido, embora tenham se recolocado diferenças de qualidade de serviços públicos, e o tecido urbano tenha ficado mais heterogêneo”, avalia o pesquisador. É um ciclo complexo: a cidade fechou suas portas para um determinado tipo de trabalhador, que se vê obrigado a morar em municípios próximos ou regiões próximas, expulso da metrópole.

Um exemplo notável dessa nova complexidade surge, por exemplo, na pesquisa realizada por Nadya Guimarães. “Agora se pede diploma de segundo grau ou universitário para qualquer função. Um gari da prefeitura, por exemplo, precisa apresentar diploma de segundo grau, tamanha a distorção. É um efeito perverso dessa elitização da cidade”, disse. “A pergunta que fica é: qual é a recompensa de se ter estudado para acabar fazendo telemarketing e ganhar tão pouco? São Paulo só confirma a ideia enraizada na nossa cultura de que o estudo não leva a nada.” Surge, porém, nessa metrópole segregada uma nova força: as redes de sociabilidade. “A pobreza tem uma dimensão territorial: pessoas pobres podem estar segregadas espacialmente, mas podem estar unidas espacialmente, combatendo exatamente esse efeito da segregação”, observa Marques. Pesquisas revelam que relações com vizinhos, familiares, amigos, colegas etc. importam

muito, acima de escolaridade e outros fatores, se o indivíduo está ou não empregado, a qualidade do emprego e a sua renda.

“Pessoas com amigos têm muito mais chances de ter um emprego e, assim, ampliar a renda e, logo, diminuir a desigualdade, por meio de suas relações pessoais, mostrando que essas redes de relações são mais efetivas do que as políticas públicas”, analisa Marta. Para a diretora do CEM, o combate à pobreza não pode prescindir das políticas sociais tradicionais, mas como redes têm muita penetração nas comunidades, sua integração às políticas do Estado pode ajudar a que essas cheguem de forma mais precisa e customizada. A metrópole não é mais apenas “a boca de mil dentes” descrita por Mário de Andrade em *Paulicéia desvairada*. “Como é a vida de um desempregado numa metrópole agora? Apesar das dificuldades, os filhos dele continuam na escola e ele ainda conta com serviços de saúde. E o mais importante: sem precisar de favores ou benesses de nenhum político”, conta Marta.

Segundo a pesquisadora, as regiões metropolitanas não são mais os piores lugares do Brasil. “Nessa perspectiva, o Brasil parece estar seguindo uma trajetória particular, pois a democracia brasileira tem conseguido produzir redução da desigualdade de renda combinada à redução da desigualdade de acesso a serviços públicos”, pondera a cientista política do CEM Argelina Figueiredo. A desigualdade também pede uma reflexão política, e não apenas econômica. A expectativa da maior parte dos cientistas sociais no início da década de 1990 era de que o Estado brasileiro seria incapaz de atender às demandas da dívida social herdada do regime militar, uma séria ameaça à democracia. “Os governos que se seguiram à ditadura levaram cada vez mais adiante na agenda da redemocratização o resgate da dívida social deixada pela ditadura. Não há dúvida de que a concentração de renda e o acesso limitado das camadas mais baixas da sociedade tiveram origem na configuração de forças políticas e nas políticas públicas priorizadas pelos governos de plantão”, diz Argelina. “Estes homens de São Paulo, iguais e desiguais, parecem-me uns macacos, fracos, baixos e magros”: a visão de Mário, agora, parece desvairada. ■

O PROJETO

Centro de Estudos da Metrópole (CEM)
1998/14342-9 (2009-2012)

MODALIDADE

Programa Centros de Pesquisa – Cepid

COORDENADORA

Marta Teresa da Silva Arretche - Cebrap

INVESTIMENTO

R\$ 9.727.502,00

ARTIGO CIENTÍFICO

COELHO, V. S. *et al.*

Mobilização e participação: um jogo de soma zero?. *Revista Novos Estudos Cebrap*. v. 86, p. 121-39, 2010.

GOMES, S. “Vínculos” e “nós” no centro da explicação da pobreza urbana. *Revista Brasileira de Ciências Sociais*. v. 27, n.78, p. 176-9, 2012.

BOTELHO, I. Os equipamentos culturais na cidade de São Paulo: um desafio para a gestão pública. *Espaço e Debates - Revista de Estudos regionais e urbanos*. V. 3, n. 43, 2004.

ALMEIDA, R. R. M. e D’ANDREA, T. Pobreza e Redes Sociais em uma Favela Paulistana. *Novos Estudos*. v. 68, p. 94-106, 2004.

DE NOSSO ARQUIVO

Terra em transe
Edição nº 193 – março de 2012

Desigualdade sem igual
Edição nº 169 – março de 2010

Dentro da boca de mil dentes
Edição Especial Cepids – maio de 2007

Há permanências preocupantes no comportamento da população brasileira em relação à consolidação dos princípios democráticos, apesar de todos os avanços do país nas últimas décadas no plano econômico e social. Na linha do tempo sobre a evolução dos dados recolhidos, comparados e analisados pelo Núcleo de Estudos da Violência da Universidade de São Paulo (NEV/USP), em 25 anos de existência, salta aos olhos dos coordenadores que ali trabalham desde o início das atividades a mentalidade conservadora da população no combate à violência. Sobressai um viés autoritário com inclinação a resolver conflitos pelas próprias mãos.

“Um ranço reacionário da sociedade não desaparece com o avanço da democracia”, observa a pesquisadora Nancy Cardia, vice-coordenadora do NEV/USP. “A democracia não conseguiu até agora se tornar um valor universal e, após todos os ganhos e progressos obtidos nas últimas décadas, um terço dos brasileiros apoiaria um golpe militar, algo fortemente mais rejeitado em países vizinhos da

América Latina, como Chile, Uruguai e Argentina.” Para os profissionais que investigam o tipo de democracia e governança que se desenvolve no Brasil a partir das relações entre violência, democracia e direitos humanos, essas permanências antidemocráticas são assustadoras.

Sergio Adorno, coordenador do NEV/USP, explica que o trabalho do núcleo vem concentrando grande energia na investigação dos avanços da sociedade brasileira, mas sempre considerando o contexto do país, onde persistem graves violações de direitos humanos, existem territórios dominados pelo crime organizado e são elevadas as taxas de homicídio, entre outros problemas. “Temos de reconhecer profundas mudanças, sobretudo nessa última década, com melhoras na oferta de trabalho, redução das imensas desigualdades que ainda prevalecem na sociedade brasileira e avanços no acesso às instituições promotoras de bem-estar”, pondera. “Mas há um longo caminho a percorrer.”

Segundo Nancy, a crença de que a lei vale para todos não está arraigada aqui no Brasil. Ela lembra que, apesar das

campanhas pelo desarmamento, pesquisas recentes do NEV/USP mostram que a crença que a presença de uma arma em casa traz segurança persiste. “A população acredita que dessa forma está protegida. Há um sentimento de que as leis não funcionam e o cidadão toma para si a tarefa de se proteger.”

A Justiça, um dos pilares da democracia, falha em passar para a população a razão de sua existência e não reforça o fato de que está presente na sociedade para proteger o cidadão de um potencial abuso do poder por parte do Estado. “As pessoas não conseguem entender isso”, afirma Nancy. “Os brasileiros ainda se consideram alheios à Justiça.” Quando se pergunta ao brasileiro se é melhor soltar dez culpados para garantir que um inocente não sofra por um erro da Justiça ou manter um inocente preso, a maioria prefere mantê-lo na cadeia. “Esta resposta é o oposto dos resultados internacionais, que mostram que não se concebe que um erro prejudique um único cidadão”, observa Nancy.

Desde 1999, Nancy coordena uma pesquisa que tem por objetivo focalizar o

A violência consentida

Viés autoritário da mentalidade brasileira é uma das preocupações do Núcleo de Estudos da Violência da USP

Marili Ribeiro



A vida de crianças de rua é um dos objetos de estudos do NEV/USP

contato de diferentes estratos da população urbana com a violência. O estudo foi feito em cinco momentos no município de São Paulo (2001, 2003, 2006, 2008 e 2010) e, por duas vezes (1999 e 2010), em 11 capitais estaduais. Os resultados permitem conhecer quais os estratos sociais mais vulneráveis à violência e quais revelam atitudes mais conservadoras e resistentes à universalização do acesso aos direitos. Esses resultados podem orientar campanhas de conscientização de direitos e por maior tolerância com as diferenças sociais.

Uma das conclusões é que, após 27 anos de democracia, o apoio aos direitos civis e políticos não é tão sólido o quanto seria de esperar. Entre as duas pesquisas realizadas em 11 capitais, diminuiu a proporção daqueles que discordam que “os tribunais podem aceitar provas obtidas através de tortura”. Era de 71,2% em 1999 e caiu para 52,5% em 2010. Mas dobrou a proporção daqueles que concordam em parte com a tortura (de 8,8% em 1999 para 18,3% em 2010).

LABORATÓRIO

A meta do NEV/USP tem sido enfrentar desafios a partir de dados trabalhados cientificamente e de forma interdisciplinar para auxiliar as políticas públicas no controle democrático da violência. Certos temas dependem de pesquisa de longa duração, além de serem em si campos novos. Na literatura mundial, há poucos estudos que mostram como se constroem

nações democráticas. Daí a importância de o NEV/USP tornar-se um dos Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid) apoiados pela FAPESP entre 2000 e 2011. O programa Cepid, uma modalidade de apoio de longa duração, permitiu ao NEV/USP dispor de um laboratório e de um banco de dados nessa área de pesquisa, que hoje é referência para a América Latina.

O interesse que a violência desperta na população não é proporcional aos cuidados com os registros dos casos de crimes, assim como com a manutenção de arquivos de processos ao longo do tempo. Os levantamentos mostram que dados colhidos em delegacias são falhos e, muitas vezes, nem sequer preservados. Há 11 anos, Sergio Adorno se dedica a um estudo que reflete, de certa forma, a origem da impunidade no Brasil. A pesquisa “Inquérito policial e o processo em São Paulo: caso dos homicídios”, financiada pela FAPESP e que está em fase de finalização, traça o fluxo do sistema de Justiça, das delegacias à sentença final. Foram analisados 344 mil boletins policiais, dos quais somente 6% viraram inquérito. Desse universo, cerca de quatro mil eram registros de homicídio, dos quais Adorno fez um recorte para monitorar 600. “Levei dois anos para conseguir resgatar os dados de somente 197 inquéritos. O resto não foi localizado”, relata. Outro agravante é que toda a investigação se faz em cima das provas testemunhais, o que resulta em fragilidade nos processos. A produção



de provas é pouco explorada. “Casos semelhantes têm soluções diferentes”, diz Adorno. Cauteloso, prefere não avançar em conjecturas. Mas é impossível não considerar que a inoperância do sistema endosse a descrença da população na Justiça.

QUEDA DE HOMICÍDIOS

A queda nas taxas de homicídios em São Paulo, explica Adorno, representa para o NEV/USP a oportunidade de testar, ao menos em parte, em que medida e com que peso as melhorias sociais e econômicas, bem como mudanças na segurança

Batida policial em suposto ponto de encontro de membros da facção criminosa Primeiro Comando da Capital (PCC), em São Bernardo do Campo: inquéritos frágeis debilitam ação da Justiça





Jovem executado por traficantes do Morro do Macaco, no Rio de Janeiro: perfil da criminalidade mudou, mas incidência não diminuiu

pública, explicam essa tendência. Uma das pesquisas do NEV/USP buscou identificar a extensão da queda nos homicídios dolosos no estado de São Paulo e os condicionantes dessa diminuição. Um segundo projeto pretende identificar os determinantes relacionados com a queda dos homicídios no município de São Paulo, a partir do ano 2000, utilizando-se de uma vertente quantitativa e outra qualitativa.

No Brasil, a violência foi elevada a uma das quatro principais causas de óbito desde 1989. Tomando as taxas de homicídios como indicadores de violência, a gravidade dessa situação pode ser confirmada: de 1980 e 2010, houve 1.093.710 homicídios. “O perfil e a distribuição da criminalidade violenta no país têm mostrado algumas mudanças, mas sua incidência global não parece ter diminuído”, pondera Adorno. “Têm crescido no estado de São Paulo casos de assalto e roubos envolvendo mortes.” Informações a respeito de tais crimes em outros estados são escassas, ou de baixa credibilidade. Por outro lado, os

dados nacionais sobre as taxas de homicídio, coletados pelo Ministério da Saúde, mostram que, embora no Norte e no Nordeste as taxas de homicídios tenham aumentado, houve queda sustentada em São Paulo nos últimos 10 anos: a taxa de homicídios caiu de 64,2 casos por 100 mil habitantes em 1999 para 9,9 em 2011. A queda das taxas de homicídios nas cidades do estado de São Paulo não pode ser atribuída a uma única combinação de fatores. “Não obstante, identificaram-se correlações entre a queda de homicídios dolosos e mudanças nos aspectos demográficos e socioeconômicos, bem como na melhoria dos mecanismos de gestão e controle, especialmente às ações adotadas pela Secretaria de Segurança Pública na última década.”

Desde os primeiros anos de vida, o Núcleo de Estudos da Violência da USP se empenhou em criar metodologias que produziram relatórios com participação destacada em organismos internacionais. A credibilidade e constância das pesquisas abriram portas, inclusive, à participação destacada no “Relatório sobre a violência contra a criança”, editado pela Organização das Nações Unidas (ONU). O trabalho foi inicialmente coordenado por uma das figuras que mais projetaram o NEV/USP, o professor Paulo Sérgio Pinheiro, um de seus fundadores. Os dados colhidos são públicos e podem ser acessados por meio do site www.nevusp.org. ■

O PROJETO

Centro de estudos da violência – nº 1998/14262-5 (2000-2012)

MODALIDADE

Programa Centros de Pesquisa (Cepid)

COORDENADOR

Paulo Sergio de Moraes Sarmiento Pinheiro – USP

INVESTIMENTO

R\$ 8.044.453,67

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. ADORNO, S. 2006. A violência brasileira: um retrato sem retoques. *Clio*. v. 14/15, p. 241-62, 2006.
2. CARDIA, N. Violência urbana. *Foreign Affairs em Español*. v. 5, n. 1, p. 121-39, 2005.
3. SALLA, F.A. As rebeliões nas prisões: novos significados a partir da experiência brasileira. *Sociologias*. v. 16, p. 274-307, 2006.
4. PERES, M.F.T *et al.* Homicídios, desenvolvimento socioeconômico e violência policial no município de São Paulo, 2000. *Revista Panamericana de Salud Pública*. v. 23, n. 4, p. 268-76, 2008.

DE NOSSO ARQUIVO

Números para mudar o Brasil
Edição Especial Cepids – maio de 2007



Por uma agenda mais efetiva

Análises das políticas norte-americanas para a América do Sul mostram que elas são mais reativas do que proativas

TEXTO **Claudia Izique** ILUSTRAÇÃO **Guilherme Kramer**



Quando o liberalismo começou a fazer água na América do Sul e lideranças de centro-esquerda assumiram o governo de diversos países, a “percepção de risco” passou a pautar a formulação das políticas norte-americanas para o continente. No caso do Brasil, esse pragmatismo ganhou matiz de “interesse benévolo” sem, no entanto, traduzir-se em uma agenda política efetiva. “As iniciativas norte-americanas para a região têm se mostrado mais reativas do que proativas, respondem a circunstâncias específicas e raramente se baseiam em análises abrangentes”, afirma Tullo Vigevani, da Universidade Estadual Paulista (Unesp), coordenador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Estudos sobre os Estados Unidos (INCT/Ineu).

Há quem comemore o relativo distanciamento de Washington, levando em conta um recente passado fortemente intervencionista. Mas a relativa euforia deve ser contrabalançada com novos riscos. Inclusive com questões relativas a desentendimentos na própria região. Ainda há potencial de acirramento de rivalidades entre Estados – como no conflito que opôs a Colômbia ao Equador e à Venezuela – ou de instabilidade – como no caso da Bolívia.

O monitoramento sistemático das políticas norte-americanas pode ser um exercício revelador, dado a centralidade desse país no cenário mundial e, particularmente, no sul-americano. No caso do INCT/Ineu, essas análises já se materializaram em oito teses de doutorado e 20 de mestrado, outras em andamento; coletâneas; inúmeros artigos; muitos informes diários; boletins quinzenais e, é claro, diversos

curso. Isso sem falar no Observatório Político dos Estados Unidos (Opeu), um portal eletrônico e um banco de dados sobre política doméstica e externa dos Estados Unidos que, no ano passado, registrou um total de 24 mil acessos e, nos primeiros meses deste ano, uma média mensal de três mil visitantes. Sem a pretensão de concorrer com a imprensa, o Opeu criou um canal de difusão de informação e de conteúdo analítico sobre eventos significativos. “Por meio deste instrumento de observação esperamos difundir informação e conhecimento qualificado sobre um país cujas políticas impactam fortemente o cenário internacional”, explica Vigevani.

Constituído como um Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia no final de 2008, o Ineu reúne oito universidades brasileiras, além do Centro de Estudos de Cultura Contemporânea (Cedec), num total de mais de 50 pesquisadores. A exemplo de outros INCTs, o Ineu é apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela FAPESP.

A ideia de criar um instituto de estudo sobre as relações externas dos Estados Unidos surgiu da constatação de que, apesar da intensa exposição dos brasileiros aos produtos da cultura norte-americana, pouco se sabia sobre aquele país. “Os elementos de informação disponíveis não se organizavam em conjuntos estruturados e significativos. Na maioria das vezes eram estereotipados, positivos ou negativos”, justifica Vigevani, ressaltando os objetivos do instituto. A carência de reflexão – ou a “irreflexão”, como ele prefere – é o resultado, apenas aparentemente contraditório, da sensação de familiaridade ou proximidade provocada pela sobrecarga de informações sobre os EUA. “O espanto não se produz, a dúvida, que é mãe do conhecimento, não chega a brotar.” Pior: “Usamos os Estados Unidos como modelo para identificar nossas características próprias, medir nossas insuficiências e definir a figura do ser coletivo em que gostaríamos de nos transformar”, está escrito no documento de apresentação do projeto do Ineu.

Um paradoxo assimétrico instalou-se do outro lado: vários centros de estudos norte-americanos dedicam-se à análise da economia, política, cultura e socieda-



“O espanto ante a cultura norte-americana não se produz, a dúvida não chega a brotar”, diz Vigevani

de latino-americanas, mas o grande público ignora, de fato, a realidade latino-americana. “Analisam essas informações com categorias próprias à sua cultura e sociedade, o que gera uma forma de desconhecimento diferente, mas não menos grave”, avalia Vigevani.

O interesse pelos Estados Unidos como objeto de pesquisa se iniciou há alguns anos, com a publicação de obras importantes de autores nacionais e com a constituição de grupos de pesquisa sobre diferentes aspectos da política e da sociedade norte-americanas. No final dos anos 1990, por exemplo, professores da Unesp – Vigevani, entre eles –, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), da Universidade de São Paulo (USP) e do Cedec criaram um grupo de estudos

sobre as relações internacionais norte-americanas, apoiado pela FAPESP na forma de Projeto Temático, coordenado por Sebastião Velasco e Cruz. O foco, no caso, era a exportação de ideias liberais para países em desenvolvimento. O mesmo grupo – ampliado com a participação de pesquisadores das universidades federais de Santa Catarina (UFSC), de Uberlândia (UFU), da Paraíba (UEPB) e do Piauí (UFPI), e da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) – reúne-se agora no INCT/Ineu. “Já foram criadas disciplinas de estudos sobre os Estados Unidos em programas de pós-graduação, sobretudo o Programa de Pós-graduação em Relações Internacionais San Tiago Dantas (Unesp, Unicamp e PUC-SP)”, sublinha Vigevani.



O instituto está organizado em quatro grandes áreas temáticas. A integração e crise na América do Sul e política dos Estados Unidos para a região é uma delas. O objetivo é examinar o panorama sul-americano numa dupla dimensão: avaliar a sua interação com a política externa dos EUA e a dinâmica política e econômica dos países da região. Os projetos de pesquisa são orientados por uma mesma “hipótese geral”: o desenvolvimento de iniciativas independentes da influência norte-americana é favorecido pela emergência de novos polos de poder no cenário global – China, Índia e Rússia – e pelo papel secundário da América do Sul na agenda internacional norte-americana. “Historicamente, a autonomia política e econômica na América do Sul avançou sempre nos períodos em que os Estados Unidos atribuíram pouca importância à região”, explica Vigevani.

As outras áreas temáticas estudadas são a política de segurança norte-americana, a política econômica internacional e o papel dos Estados Unidos na estrutura de governança global. Sob este último aspecto, Vigevani endossa a análise de Benjamin Cohen, da Universidade da Califórnia em Santa Bárbara, que participou de um dos seminários organizados pelo INCT-Ineu em Florianópolis, de que, de fato, a hegemonia norte-americana no plano internacional está

Papel do dólar se debilita e a corrosão da hegemonia acontece em todas as áreas

sendo “vagarosamente corroída”. “Estão surgindo alternativas. Há uma cesta de moedas que debilita o papel do dólar. Apesar da crise, o euro avança. Mas o dólar ainda é mais importante que as moedas chinesa ou japonesa”, ressalva. Esse processo não é exclusivo do plano econômico: a corrosão da hegemonia, segundo ele, acontece em todas as áreas. “Recentemente, José Graziano da Silva foi eleito para o cargo de diretor-geral da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) e não era o candidato dos Estados Unidos. Na ONU, a política norte-americana nem sempre se impõe e o país também não tem mais a mesma força quando se trata de propor modificações ao Fundo Monetário Internacional (FMI).”

Até mesmo o domínio militar está desgastado pelo novo tipo de guerra. “Veja os desastres militares no Vietnã, no Iraque e no Afeganistão”, exemplifica. “São

atritos nos quais as velhas formas de poder não mais conseguem impor-se.” No caso específico do Afeganistão, estudos têm demonstrado forte contradição entre militares e os formuladores de política. “Os Estados Unidos não conseguem estabelecer estratégias definitivas, mas a ação do presidente Barack Obama parece se orientar para a retirada daquele país, mesmo considerando que parte da opinião pública norte-americana é adepta de posições fortes.”

Foi em meio à crise do “americanismo” no exterior, a pior crise econômica desde 1929, que Obama elegeu-se presidente, assinala Reginaldo Moraes, da Unicamp, no artigo *Obama, Obamismo – Origens, Futuro, Limites*, publicado no site do INCT/Ineu. Obama trouxe para as urnas segmentos e grupos que “aparentemente”, como ele diz, haviam se refugiado em movimentos sociais e comunitários, “uma

multidão de jovens” ansiosa por mudanças. Contra os “mudancistas”, mobilizam-se os conservadores, “os que temem que as mudanças sejam maiores do que o possível, algo que eles identificam com aquilo que acham desejável”. A chave da questão está na “conexão entre as forças de mudança internas aos Estados Unidos

– e que em grande medida gravitam em torno de Obama, mas não apenas – e as forças de mudanças externas – governos e movimentos sociais”, escreve Moraes. De olho nesse equilíbrio, o INCT-Ineu acompanha atento o início da campanha eleitoral norte-americana. ■

O PROJETO

Instituto de Estudos das Relações Exteriores dos Estados Unidos – nº 2008/57710-1 (2008-2014)

MODALIDADE

Projeto Temático

COORDENADOR

Tullo Vigevani – Unesp

INVESTIMENTO

R\$ 1.125.321,05

ARTIGO CIENTÍFICO

COELHO, J. C. Trajetórias e interesses: os EUA e as finanças globalizadas num contexto de crise e transição. *Revista de Economia Política*. v. 31, n. 5, p. 771-93, 2011.

O presidencialismo se move

O poder de legislar do Executivo tende a amenizar a imagem do governo como clientelista e corrupto

Claudia Iziq

O regime presidencialista, num sistema federalista, associado a uma legislação eleitoral que prevê o voto proporcional em lista aberta, aparentemente impede o exercício da plena democracia no Brasil e é raiz do clientelismo e até da corrupção. No caso do Brasil, essa tríade perversa, na visão dos muitos brazilianistas, explicaria a dificuldade dos governos de implementar, por exemplo, políticas distributivas, tendo resultado, muitas vezes, em paralisia decisória. Um projeto temático realizado com o apoio da FAPESP indica que as coisas não são bem assim. Pelo menos desde a Constituição de 1988.

“O fortalecimento do poder legislativo do Executivo neutralizou os efeitos dessas características sobre a capacidade do governo de implementar políticas de interesse geral, enfatizados pela literatura institucional”, diz Argelina Cheibub Figueiredo, do Instituto de Estudos Sociais e Políticos (Iesp) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Uerj).

A pesquisa começou em 1997, sob a coordenação de Argelina, então na Universidade Estadual

Construção da sede do Congresso em Brasília (1959)





de Campinas (Unicamp), e Fernando Limongi, da Universidade de São Paulo (USP), com pesquisadores do Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (Cebap). Comparando os vários governos presidencialistas dos períodos de 1946 a 1964 e do pós-Constituição de 1988, eles constataram que, no atual momento da democracia brasileira, o poder decisório se caracteriza por um alto grau de delegação do Congresso ao Executivo e, dentro do Congresso, dos parlamentares aos líderes partidários, ela explica.

O presidente tem exclusividade na iniciativa de propor medidas em três áreas fundamentais: administrativa, orçamentária e fiscal. “E pode pedir urgência para as leis que apresenta, garantindo prioridade na definição da pauta do Legislativo.” Possui autoridade para editar decretos com força de lei e de vigência imediata, por meio de medidas provisórias. Esse poderoso instrumento legislativo, no entanto, precisa ser aprovado pelo Congresso, que pode emendar ou rejeitar a iniciativa do governo. “O presidente não pode ignorar a vontade do Legislativo”, ela afirma.

O Congresso, por seu turno, é altamente centralizado em torno dos líderes dos partidos que exercem rígido controle sobre a agenda do Legislativo: definem o calendário de votações do projeto, tomam decisões sobre votações nominais e apresentações de emendas e cuidam da ordem da pauta. “O regulamento in-

Entre 1998 e 2007 o índice médio de aprovação de projetos apresentados pelo Executivo foi de 75%

terno beneficia especialmente os líderes dos partidos maiores”, salienta Argelina.

As primeiras conclusões do projeto temático *Instituições Políticas, Padrões de Interação Executivo-Legislativo e Capacidade Governativa* foram publicadas na edição 49 da revista *Pesquisa FAPESP*, em dezembro de 1999. Naquele momento, os pesquisadores já constatavam que a concentração de poderes no Executivo era institucional, caracterizando um sistema distinto do “presidencialismo imperial”, de base personalista, tido como peculiar dos sistemas políticos da América Latina, conforme escreveu o repórter Ricardo Aguiar. Ao longo dos 13 anos seguintes, novas informações lançaram ainda mais luz ao sistema brasileiro de governo.

DERRUBANDO MITOS

As regras constitucionais e os regulamentos do Legislativo conferem ao presidente e aos líderes partidários da base governista meios para inibir iniciativas individualistas dos deputados. “A centralização do poder decisório tem efeito no funcionamento e nos resultados da atual experiência democrática brasileira”, conta Argelina. E dá provas: entre 1998 e 2007 – no início do segundo mandato do presidente Luiz Inácio Lula da Silva –, o índice médio de aprovação de projetos apresentados pelo Executivo foi de 75,08%. “Apenas durante o período Collor, que governou sem maioria no Congresso, esse índice ficou bem abaixo dos demais”, compara.

Esses resultados indicam que a centralização do poder de decisão no Executivo, compartilhada com as lideranças partidárias, pode neutralizar os efeitos do federalismo, da legislação eleitoral e do presidencialismo. “O Brasil foi, aos poucos, derrubando mitos. A centralização dá margem a que se façam políticas nacionais, até redistribuição de renda, e que se implementem medidas de combate à inflação, uma política difícil. Hoje, os interesses nacionais se sobrepõem aos interesses locais.”

Essa nova face do presidencialismo no Brasil pouco difere das do regime parlamentarista. “Ainda nos anos 1990, o parlamentarismo era considerado uma forma superior de governo: esse regime funde os dois poderes e elimina conflitos. No presidencialismo, diferentemente, as bases eleitorais do Executivo (nacional)

LEGISLAÇÃO ORDINÁRIA

Produção legislativa por governo 1988-2007*

Governo	Partido do presidente na Câmara dos Deputados (% de cadeiras)	Coalizão do governo na Câmara dos Deputados (% de cadeiras)	Sucesso do Executivo** (%)
Sarney	40,61	58,59	73,83
Collor	5,05	33,79	65,93
Franco	0,00	57,28	76,14
Cardoso I	9,36	71,62	78,72
Cardoso II	18,32	67,87	74,38
Lula I	11,11	59,52	81,47
Subtotal	14,07	58,11	75,08

FONTE: BANCO DE DADOS LEGISLATIVOS, CEBRAP

* 31 DE DEZEMBRO DE 2006

** PORCENTAGEM DE PROJETOS DO EXECUTIVO APRESENTADOS E SANCIONADOS DURANTE O PRÓPRIO GOVERNO



Últimos retoques na rampa do Congresso Nacional para a sua inauguração (1960)

e do Legislativo (local) e a autonomia do presidente para escolher seu ministério gerariam conflito intrínseco ao sistema de governo. Mas, se o presidente quiser governar, precisa do apoio do Legislativo”, ela compara. Ocorre que os atores políticos são racionais, têm o objetivo de fazer um governo efetivo e buscam cooperação na coalizão.

“Da mesma maneira que os primeiros ministros, os presidentes brasileiros formam coalizões partidárias para obter apoio do Legislativo para suas iniciativas”, afirma Argelina. Esse compromisso se traduz numa participação efetiva no governo, incluindo o controle de ministérios. “Coalizões ocorreram em todos os períodos constitucionais, de 1946 a 1964 e a partir de 1988, e vêm se consolidando com o compromisso cada vez maior dos partidos no governo.”

As coalizões de governo formadas desde o início da redemocratização se ali-

nhavam predominantemente à direita do espectro ideológico até o governo Lula”, ela sublinha. “Assim que assumiu o governo, o PSDB, aliado ao PFL, passou a contar com o apoio do PMDB e, em 1996, também com o do PPB. Naquele período, a aliança era do centro para a direita e o governo acabou se pautando mais pela agenda do liberal PFL do que a social-democrata. A esquerda estava na oposição”, ela analisa. Em 2001, quando o PFL saiu do governo para disputar a presidência da República, a aliança se rompeu. Em 2002, Lula venceu as eleições aliado à direita, com o PL. “O PT percebeu que, sem aliança, não governava.” A oposição, ela diz, estava no centro.

COALIZÕES MAJORITÁRIAS

Tanto Fernando Henrique Cardoso quanto Lula buscaram formar alianças majoritárias, com coalizões multipartidárias, para votar reformas constitu-



Manifestantes sobem na Cúpula do plenário do Senado Federal (1996)

COALIZÕES DE GOVERNO 1988-2007*

Presidente	Partido do presidente	Partidos nas coalizões de governo	Início da coalizão	Fim da coalizão	Duração da coalizão (dias)	% Votos na Câmara (início da coalizão)
Sarney 2	PMDB	PMDB-PFL	06/10/1988	14/03/1990	524	63,03
Collor 1	PRN	PRN-PFL	15/03/1990	31/01/1991	322	24,04
Collor 2	PRN	PRN-PDS-PFL	01/02/1991	14/04/1992	438	34,59
Collor 3	PRN	PDS-PTB-PL-PFL	15/04/1992	30/09/1992	168	43,54
Itamar 1	sem partido	PSDB-PTB-PMDB-PSB-PFL	01/10/1992	30/08/1993	333	60,04
Itamar 2	sem partido	PSDB-PTB-PMDB-PP-PFL	31/08/1993	24/01/1994	146	59,64
Itamar 3	sem partido	PSDB-PP-PMDB-PFL	25/01/1994	31/12/1994	340	55,27
FHC I 1	PSDB	PSDB-PFL-PMDB-PTB	01/01/1995	25/04/1996	480	56,14
FHC I 2	PSDB	PSDB-PFL-PMDB-PTB-PPB	26/04/1996	31/12/1998	979	77,19
FHC II 1	PSDB	PSDB-PMDB-PPB-PTB-PFL	01/01/1999	05/03/2002	1159	73,88
FHC II 2	PSDB	PSDB-PMDB-PPB	06/03/2002	31/12/2002	300	45,22
Lula 1	PT	PT-PL-PCdoB-PSB-PTB-PDT-PPS-PV**	01/01/2003	22/01/2004	386	42,88
Lula 2	PT	PT-PL-PCdoB-PSB-PTB-PPS-PV-PMDB	23/1/2004	31/01/2005	374	62,38
Lula 3	PT	PT-PL-PCdoB-PSB-PTB-PV-PMDB	01/02/2005	19/05/2005	107	57,70
Lula 4	PT	PT-PL-PCdoB-PSB-PTB-PMDB	20/05/2005	22/07/2005	63	58,28
Lula 5	PT	PT-PL-PCdoB-PSB-PTB-PP-PMDB	23/07/2005	31/01/2007	548	69,59

FONTES: [HTTP://WWW.PLANALTO.GOV.BR](http://www.planalto.gov.br); MENEGUELLO, 1998; BANCO DE DADOS LEGISLATIVOS, CEBRAP.

CRITÉRIOS: 1. MUDANÇA DE MANDATO E NA COMPOSIÇÃO PARTIDÁRIA DO CABINETE (SAÍDA OU ENTRADA DE MINISTRO DE UM NOVO PARTIDO FORMALMENTE MEMBRO DA COALIZÃO); 2. INÍCIO DE NOVA LEGISLATURA OU DE BLOCO PARLAMENTAR, ALTERANDO, PORTANTO, O PERCENTUAL DE VOTOS DA COALIZÃO NO CONGRESSO.

* OUTUBRO DE 1988 A 31 DE JANEIRO DE 2007.

** O PDT ROMPE OFICIALMENTE COM O GOVERNO LULA E DEIXA A BASE ALIADA EM 12/12/2003. NÃO OBSTANTE, FORAM MANTIDOS OS CRITÉRIOS DE MUDANÇA MINISTERIAL COM A SAÍDA DO MINISTRO MIRO TEIXEIRA EM 23/01/2004.

nais que exigem quórum de três quintos no Congresso.

Quando a coalizão está unida, ou seja, todos os líderes encaminham voto positivo, parlamentares da base aliada votam com seus líderes. No período analisado, a média de votos favoráveis às propostas do governo foi de 91,1%. “Esse apoio não variou com os diferentes presidentes”, observa Argelina. Quando a coalizão está dividida, essa média cai para 66%. “O apoio ao governo não é incondicional.” E isso ocorre, em geral, quando os líderes partidários se manifestam contrários à aprovação da matéria. “É o apoio do partido que garante o voto da bancada”, ela conclui.

As derrotas ocorrem quando não são firmados acordos com a bancada. Collor de Mello, por exemplo, que governou sem coalizão majoritária – e sem apoio do PMDB –, perdeu 14 de 61 votações que exigiam maioria simples. FHC, ao contrário, perdeu 11 entre 205 votações em assuntos que dependiam de quórum simples. Nas 222 votações de matérias constitucionais – três quintos dos votos do plenário – sofreu apenas 18 derrotas.

No primeiro mandato, Lula perdeu 10 de 182 votações, sendo oito entre as 134 que exigiam quórum ordinário. “O papel dos partidos fica cada vez mais importante. A estrutura do sistema político brasileiro hoje é a mesma dos países parlamentaristas multipartidários”, ela conclui.

O presidencialismo de coalizão não é exclusividade brasileira. “Os países da América Latina estão se tornando multipartidários”, ela constata. Para entender os distintos sistemas é preciso fazer comparações.

“Iniciamos um trabalho sobre governos minoritários na América Latina e há dificuldades de encontrar detalhes sobre aspectos institucionais. Começamos a organizar um consórcio de pesquisadores para montar um banco de dados. Estamos coletando dados para 14 países, com informações sobre a formação de ministérios desde 1980. O difícil é achar o partido dos ministros. Consultamos até no Facebook para encontrar respostas”, ela conta. O grande obstáculo, explica, é que no presidencialismo nem sempre o ministro ocupa o cargo na cota do partido. ■

O PROJETO

Instituições Políticas, Padrões de Interação Executivo-Legislativo e Capacidade Governativa – nº 2005/56365-0 (2006-2010)

MODALIDADE
Projeto Temático

COORDENADORES
Fernando de Magalhães Papaterra Limongi – USP
Argelina Maria Cheibub Figueiredo – Unicamp

INVESTIMENTO
R\$ 110.000,00

ARTIGOS CIENTÍFICOS

FIGUEIREDO, A. 2007. Government Coalitions in Brazilian Democracy. *Brazilian Political Science Review*. v. 1, n. 2, p. 182-16, 2007.

FIGUEIREDO, A. *et al.* Political and Institutional Determinants of the Executive's Legislative Success in Latin America. *Brazilian Political Science Review*. v. 3, n. 2, p. 155-71, 2009.

DE NOSSO ARQUIVO

Deputado profissional
Edição nº 169 – março de 2010

Presidencialismo torna fácil governar
Edição nº 49 – dezembro de 1999

Manifestação de mulheres por eleições diretas diante do Congresso Nacional (1984)



Autonomia sem discussão

Legislativo ainda tem participação fraca no destino das Forças Armadas

Carlos Haag

Há duas décadas, durante a conferência Rio 92, militares ocuparam a cidade, com aval do presidente da República, o único autorizado a chamar tropas para cuidar de questões internas. A população e o Parlamento aplaudiram. Em junho, os tanques estão de volta às ruas para a Rio+20. “Os blindados serão usados, vamos empregar aeronaves e mais de 10 mil homens e mulheres. Teremos atiradores de elite, forças especiais, grupo antiterror e helicópteros. Se a população vai ver, é outra coisa”, afirma o coronel Saulo Chaves, do Comando Militar do Leste. Mas será que os representantes da população estão vendo? “Pela Constituição, o Congresso não precisa ser consultado, mas o Legislativo precisa se envolver no processo e considerar a Defesa Nacional como estratégica à democracia. Se não o fizer, será sempre um poder subalterno”, avisa o cientista político Eliézer Rizzo de Oliveira, titular da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e que em 2000 coordenou a pesquisa “Forças Armadas e democracia: o papel do Poder Legislativo”, com apoio da FAPESP.

Nesses doze anos, os militares mudaram muito e o Ministério da Defesa, com um civil à frente, detém hoje poder mais amplo sobre as Forças Armadas, uma notável modernização desde a sua criação, em 1999, pelo presidente Fernando Henrique. “Infelizmente, não houve mudança significativa na responsabilidade

1. Governos ainda convocam tropas militares para ações de repressão, como em fevereiro, na Bahia, durante a greve dos policiais

2. Tropas usadas para invadir favela carioca em 2011



1

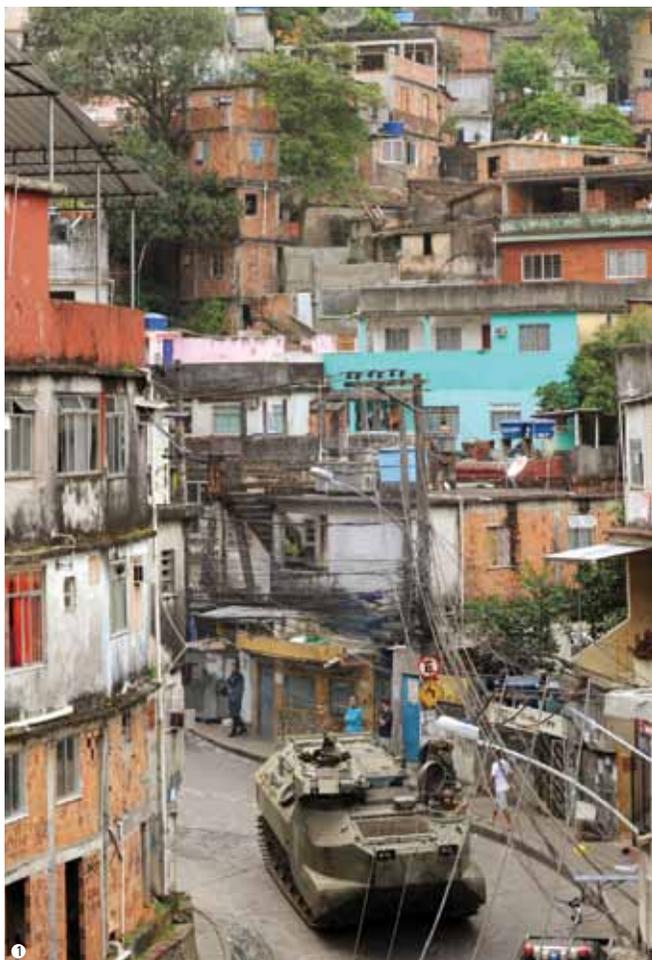
2

política do Legislativo e o que revelamos na pesquisa se mantém. Os partidos não ligam para a Defesa Nacional, poucos parlamentares se especializam no tema. Há sempre mais reverência aos militares do que efetivo compromisso com a Defesa Nacional. E permanece a estrutura presidencialista: o(a) presidente detém o comando último das FFAA, estas se subordinam ao(à) chefe do Executivo por intermédio do ministro da Defesa”, diz Eliézer. Segundo o pesquisador, os parlamentares acham que as Forças Armadas deveriam combater o crime, o tráfico de drogas e manter a “lei e a ordem”.

“Não há conhecimento ou interesse na discussão de uma política de Defesa Nacional no Congresso. Os políticos, erroneamente, não veem ameaças ao país, nas fronteiras ou no mundo, e preferem se ocupar de temas com dividendos imediatos. É uma preocupação egoísta, no espírito do ‘milico não dá voto’, um realismo eleitoral sem visão de futuro”, observa o pesquisador. Até agora, continua, o Legislativo só analisa o tema com foco no âmbito interno, sem dar importância ao internacional e às questões em foco fora das fronteiras nacionais. “A atuação das Forças Armadas na segurança pública ficou mais corriqueira. No fundo, não se alterou o problema central que é a inoperância ou insuficiência das políticas de segurança pública dos estados”, afirma. “Como os delitos não se restringem às divisas entre os estados, mas são nacionais, a Polícia Federal, a Força Nacional



3



Não é preciso um risco concreto para que o país tenha Forças Armadas capacitadas

Tanques pesados sobem a favela da Rocinha, no Rio de Janeiro, em 2011

“É nebulosa a relação que existe entre Legislativo e questões de defesa, apesar da interação mais ampla dos militares com o sistema político após a redemocratização, um fato fundamental em qualquer democracia. Mas os parlamentares

apenas dizem sim ou não às demandas das Forças Armadas sem perguntarem por que e para que, como competiria a eles. É um passo imprescindível para aprimorar as relações entre civis e militares no país”, avalia. Essa articulação, acredita, é importante para que a democracia seja efetivamente uma democracia. “Além disso, não é preciso um risco concreto para o Brasil manter os seus instrumentos militares adestrados e adequadamente orientados. Basta olhar o nosso mapa e ver o mundo com os olhos no futuro”, explica Eliézer.

“Os parlamentares precisam participar das decisões do emprego militar na segurança pública dos estados, bem como das revisões da política de Defesa Nacional. Devem ainda se pronunciar sobre decisões presidenciais de empregar forças militares na segurança pública e em forças de paz, como no Haiti. Além disso, precisam pressionar o Ministério da Defesa a produzir o ‘livro da Defesa Nacional’, que estabeleça as diretrizes e parâmetros do funcionamento militar”, observa. O pesquisador lembra como, entre 1988 e 1991, intervalo entre a promulgação da Constituição e a edição da primeira lei complementar regulamentando questões militares, houve uma brecha jurídica que permitia a qualquer membro dos três poderes a convocar tropas para garantir a “lei e a ordem”. Foi o que ocorreu, em 1988, quando um juiz requisitou soldados para controlar uma greve na Companhia Siderúrgica Nacional, em Volta Redonda, o que resultou em três operários mortos.

“Ainda que o Executivo tenha a direção exclusiva das Forças Armadas, o Congresso poderá se transformar em

de Segurança e as Forças Armadas vêm atuando cada vez mais em situações de alta criminalidade.”

O processo de pacificação de morros no Rio de Janeiro constitui o exemplo mais evidente do velho adágio de que a solução dos problemas é “tropa nas ruas”. “Os militares estão atuando como policiais. A gravidade da situação conduz à militarização da segurança pública, o que acho um equívoco”, analisa. O mesmo vale para a utilização das Forças Armadas nas fronteiras para combater o narcotráfico. “O combate é feito pela Polícia Federal e pelas polícias estaduais. Quem defende a ideia de militarizar as fronteiras esquece-se de que elas medem 13 mil quilômetros, com 7 mil quilômetros de floresta. Há muita expectativa sobre o que o Exército possa fazer. Os militares, ao contrário, tem os pés no chão.”

ENTÃO, PARA QUE SERVEM?

Congressistas e a população, ao se depararem com essas observações, chegam

a se perguntar, então, para que servem as Forças Armadas e por que poucos se importam em discutir essa função a fundo. Um paradoxo num país em que os militares gozam de 75% da confiança dos brasileiros, como revelou a pesquisa, publicada recentemente, *Democracia e confiança: por que os cidadãos desconfiam das instituições públicas?* (2010), organizada pelo cientista político José Álvaro Moisés e que contou com o apoio da FAPESP. Para Eliézer, são vários os motivos. “Não houve ainda uma superação total do passado autoritário, o que faz uma parte articulada da população rejeitar as Forças Armadas. Com isso veio o desprestígio das funções de Defesa Nacional. Além disso, nossos políticos, em geral, acreditam que não temos problemas de segurança, uma falácia”, diz. “As ameaças hoje são outras: narcotráfico, crime organizado, presença ineficiente do Estado em áreas rurais, tráfico de pessoas, poder despótico da delinquência onde o Estado não tem presença. Isso está incluído na questão da defesa”.



coautor da orientação política. Afinal, a direção política transcende a direção administrativa na medida em que aponta os objetivos futuros, o perfil estratégico desejável ao país e os meios eficazes a serem alocados”, diz o pesquisador. Isso implica, também, uma relação estreita com o Ministério da Defesa, de início criado para subordinar os militares a um governo civil, mas atualmente voltado às ações que garantam ao país instituições militares modernas, capazes de fazer frente aos desafios brasileiros nos cenários interno e externo.

Um passo importante foi a aprovação em 2008 da Estratégia Nacional de Defesa, cujo objetivo é justamente a modernização nacional da defesa pela reorganização das Forças Armadas, a reestruturação da indústria brasileira de material de defesa e a implementação de uma política de composição dos efetivos militares. “A ideia é que, cada vez mais, se atualize a Política Nacional da Indústria de Defesa e da Política de Ciência e Tecnologia e Inovação para a Defesa Nacional”, nota o pesquisador. “Foi também criada uma estrutura de consulta em Defesa e Segurança no plano sul-americano. Este é o papel da Unasul, que poderá evoluir para uma estrutura de ação conjunta de forças armadas de diversos países. De certo modo, o Haiti configura este laboratório, pois, cabendo ao Brasil o comando das operações militares, diversos vizinhos também estão ali representados”, diz.

Aqui se dá um cruzamento delicado entre as Forças Armadas e o Itamaraty. Quando se pensou na criação do Ministério da Defesa, um dos nomes cotados

O PROJETO

Forças Armadas e democracia: o papel do Poder Legislativo – nº 1996/07499-3 (1997-1999)

MODALIDADE
Projeto Temático

COORDENADOR
Eliézer Rizzo de Oliveira – Núcleo de Estudos Estratégicos, Unicamp

INVESTIMENTO
R\$ 22.904,17

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. OLIVEIRA, E. R. Democracia: passado e presente. Como as democracias incorporam temas. *Nossa América*. Revista do Memorial da América Latina. São Paulo, SP. v. 22, p. 38-41, 2005.

2. OLIVEIRA, E. R. Política de Defesa Nacional e relações civil-militares no governo do presidente Fernando Henrique Cardoso. *Caderno Premissas* (Núcleo de Estudos Estratégicos). Campinas, n. 17-18, p. 37-68, 1998.

DE NOSSO ARQUIVO

Quem guarda os guardiões?
Edição nº 130 – dezembro de 2006

Um papel pouco compreendido
Edição nº 65 – junho de 2001

era o do embaixador Ronaldo Mota Sardenberg, mas havia um desconforto entre os militares diante da hipótese de serem dirigidos por alguém do Itamaraty. “São duas instituições muito enraizadas no Estado, com grande tradição e pensamento próprios, cujas relações sempre foram difíceis. Os militares diziam: é viável imaginar um general como chanceler? Ainda hoje, no Itamaraty há um mal-estar quando o presidente indica alguém que não é dos quadros diplomáticos”, lembra Eliézer. Este, aliás, foi um dos fatores que levaram à queda do ministro Viegas, um diplomata, da chefia do Ministério da Defesa. Curiosamente, hoje, o cargo é ocupado novamente por um embaixador. Por sorte, nota o pesquisador, os militares, atualmente, são bem mais tolerantes com um superior civil.

Mas crises recentes, como a acontecida em 2009, com a greve dos controladores militares de voo, em que o presidente da República interveio em favor dos sargentos grevistas, demonstrando clara simpatia pela desmilitarização do setor, são um aviso de que a trajetória ainda é tortuosa e exige, nota Eliézer, uma crescente valorização do Ministério da Defesa. “Estamos, porém, num bom caminho, com os esforços de equipar as Forças Armadas, mas não antes que passem por um processo de transformação que as habilite a defender adequadamente o Brasil. O que inclui, é claro, uma política de integração do setor da indústria de defesa com nossos vizinhos.” ■

Soldados das tropas brasileiras que lideram a chamada “Missão de Paz” no Haiti fazem patrulha durante distribuição de alimentos

A invenção *dos índios no Brasil*

Análise de etnografias produzidas por missionários salesianos desmonta a noção do antropólogo como tradutor | Carlos Haag e Mariluce Moura

Um debate instigante e certamente oportuno sobre qual é, afinal, o papel do antropólogo – e a natureza de seu trabalho de pesquisa – talvez possa ser um dos resultados do livro *Selvagens, civilizados, autênticos: a produção das diferenças nas monografias salesianas no Brasil (1920-1970)*, se os estudiosos da área receberem com espírito aberto as provocadoras propostas nele apresentadas por Paula Montero. Fruto mais recente de uma década de pesquisa apoiada institucionalmente pela FAPESP – via o projeto temático *Missionários cristãos na Amazônia brasileira: um estudo de mediação cultural* e o projeto regular *A textualidade missionária: as etnografias salesianas no Brasil* –, o novo livro da pesquisadora propõe de forma clara a desmontagem da velha visão do antropólogo como uma espécie de tradutor. Pelo olhar teórico e empiricamente aguçado de Paula, esfuma-se inteiramente a ultrapassada figura do especialista que vai a um mundo do qual nada se sabe – o “outro”, a incompreensível alteridade –, captura ali, na interação com um informante privilegiado que ele jamais apresenta, alguma coisa que até então ninguém sabe o que é, trata de classificá-la, organizá-la e, finalmente, trans-

formando-a em diferença, consegue traduzi-la em termos acessíveis ao universo simbólico de onde partiu para sua jornada.

Em lugar dessa tradução um tanto enciclopedista surge então, como objeto e forma do trabalho do antropólogo, a invenção – e numa acepção bem precisa do termo, porque “não há nada previamente ali” pronto para ser capturado. Os agentes de dois universos de conhecimento heterogêneos – neste caso do estudo, padres e índios – movem-se ambos por interesses, um em direção ao outro, e, de fato, “precisam estabelecer um certo acordo para que a invenção exista, invenção que será sempre diferente, a depender de quem esteja lá”, segundo a antropóloga, professora titular da Universidade de São Paulo (USP) e presidente do Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (Cebap). Foi exatamente para entender tais acordos, ou seja, o que afinal acontece quando esses agentes entram em interação, que Paula tomou o tema das missões salesianas como campo privilegiado de reflexão e pesquisa. E a essa altura, firmemente ancorada na noção de que as ideias se movem por meio de sujeitos e, portanto, que há que se entender os agentes para compreender a construção de sua interação, ela pode observar que, se o padre tem o projeto de converter,



Cerimônia cívico-religiosa na missão de lauretê, reunindo um grupo de crianças tucanas e tendo ao fundo o retrato do então presidente Getúlio Vargas

“o índio, que pode ser o xamã ou o chefe nessa situação, quer se apropriar do poder do padre para assim ampliar seu poder dentro do próprio grupo e ainda ganhar poder frente ao padre”.

Não se trata, pois, de um simples processo de imposição, de destruição de cultura, ela afirma. Tampouco tudo é resistência cultural. “É um processo político, sim, mas também simbólico, de construção da interação entre dois universos de conhecimento heterogêneos.” Entra em cena um jogo de linguagens pelo qual os dois lados vão estabelecer uma convenção do que devem fazer para viver juntos naquelas situações em que estão envolvidos.

Fica claro, dessa forma, por que o conceito de mediações culturais é chave no trabalho de Paula Montero e o quanto as missões foram se tornando para ela um belo pretexto para explorá-lo a fundo. Fica claro também o porquê de seu empenho em não reduzir sua análise aos discursos, ir às biografias e trazer à cena as fontes de informação na análise das etnografias – inclusive com um uso metodológico das fotografias tiradas pelos salesianos capaz de dar “carne à ambiência” das aldeias missionárias, como ela diz. “As ideias não se impõem por elas mesmas, sem agentes posicionados em lugares

estratégicos e dotados das capacidades que obtiveram em suas trajetórias para operar categorias, construir relações etc.”, diz. E seu olhar crítico voltou-se tanto para as produções de uma geração mais antiga de antropólogos brasileiros – que, na esteira do trabalho de Roger Bastide com a cultura africana, tratou do sincretismo sem colocar o problema dos mediadores – quanto para as análises antropológicas mais recentes, que colocaram o problema das relações entre índios e brancos no Brasil reduzindo a agência à resistência cultural (mas, ressalte-se, Bastide tinha como tema uma cultura transplantada cujos sujeitos se encontravam deslocados de seu lugar de origem, enquanto o problema das culturas indígenas dizia respeito a sujeitos que de maneira geral ainda se encontravam em seu território originário).

MISSIONÁRIOS IDEAIS

A vinda dos padres salesianos para o Brasil no final do século XIX resultou da conexão de vários e importantes interesses, observa Paula. No âmbito da geopolítica mundial, vale lembrar que a Itália perdera lugar na partilha da África e a Igreja Católica precisava desesperadamente de uma nova área de expansão. Os jesuítas tinham sido expulsos do Brasil desde 1759, a Itália fora



Cotidiano dos índios no colégio em lauretê, um cartão-postal que retrata crianças tucanas no recreio do internato da missão salesiana

unificada em 1870 e, nesse contexto, a congregação fundada em 1859 pelo italiano João Bosco parecia ser um grupo que, aos olhos do Império, não oferecia maiores riscos para a soberania do Estado – obedientes ao papa e perseguidos na Itália da restauração dificilmente cairiam na tentação de criar aqui um Estado paralelo, como outras ordens. Além disso, serviam aos interesses de um papado que precisava garantir seu poder temporal recém-conquistado, permitindo ao Estado do Vaticano estabelecer alianças diplomáticas com os novos Estados nacionais na América.

Se na Itália a especialidade salesiana era educar jovens operários de origem rural, eles foram também chamados ao Brasil originalmente para educar os filhos das elites rurais e treinar os migrantes urbanos em novas profissões, uma vez que dominavam modernas tecnologias educacionais. “Havia então uma visão não conformista das relações criadas pelo industrialismo. Os salesianos se voltaram para cuidar dos jovens mais pobres, percebidos como abandonados e em situação de risco, com o objetivo de integrá-los às novas formas de civilidade urbana”, observa Paula.

Pois foi com esses mesmos ideais e o beneplácito do imperador Pedro II que, em 1883, eles aportaram no Brasil, num momento em que as ideias progressistas começavam a surgir entre os plantado-

No processo de expansão iniciado nos anos 1960 o índio começou a ser um problema para o Estado

res de café. E até 1910, ressaltasse-se, não tiveram nenhuma relação com os índios. Entretanto, na virada do século, o Estado brasileiro tinha dado início a seu “projeto de empurrar as fronteiras, que com Vargas se tornaria muito forte e incorporaria, por exemplo, o Mato Grosso inteiro. Mais adiante o projeto envolveria também a Amazônia, com bastante sucesso, e a implantação de cidades até os anos 1960”.

Nesse processo de expansão, o índio começou a ser um problema para o Estado em tais regiões, enquanto os salesianos poderiam representar a solução. Em outras palavras, “as condições político-históricas que definiram o projeto expansionista da congregação salesiana para as Américas articularam-se às estratégias econômico-políticas de ampliação da soberania nacional sobre novos territórios”, como diz Paula. As missões salesianas poderiam assegurar a “pacificação” dos selvagens, o que permitiria a introdução de atividades eco-

nômicas produtivas no interior do Brasil. Claro que os positivistas, sempre temendo um avanço clerical no país, não gostaram do projeto salesiano, “mas esse projeto compartilhava a mentalidade então corrente para a qual a universalidade da civilização enquanto condição humana era autoevidente. O que se propunha era associar os princípios do catolicismo aos benefícios do cientificismo”, observa Paula. Assim, estender o mesmo método pedagógico da experiência urbana às populações ainda “selvagens” pareceu não oferecer dificuldades aos salesianos. “Afinal a ‘selva’ era, no imaginário cristão moderno, o contraponto à cidade ou à civilização cristã.” O elemento novo, a introdução do cientificismo no plano das relações entre homens e natureza, trazia um novo dilema. No texto do livro, a pesquisadora assinala que “ao assumir que civilização, progresso e pátria são sinônimos, os salesianos, em oposição ao positivismo, queriam ressacralizar a natureza, recuperando no selvagem a ‘razão natural’ que compreende o mundo natural como obra divina; e em contraposição à ‘religião natural’ dos indígenas, que adoram a natureza, deveriam civilizá-la, de modo a torná-la parte da ordem social e racional da nação.”

Se muitas vezes o problema do “índio brabo” se resolveu pela violência e pela brutalidade, o Brasil na verdade nunca favoreceu, segundo Paula, a implementação

de uma política sistemática e declarada de genocídio. “Prevaleceu na República a ‘pacificação’, que, na prática, significava não estimular conflitos com os índios.” E seu modelo secular foi Rondon, o grande representante militar da “pacificação” positivista que daria fundamento ao Serviço de Proteção ao Índio (SPI), criado precisamente em 1910. Ao criar constrangimentos legais à violência dos colonos, esse programa pacificador produziu um marco legal para os direitos territoriais indígenas, instituiu órgãos tutelares como o SPI e, mais importante, possibilitou a investida dos salesianos como agentes privilegiados da catequese e da civilização nas fronteiras nacionais em expansão, ao longo da primeira metade do século XX.

Na década de 1930 os salesianos já recebiam do governo brasileiro metade de todas as subvenções destinadas às instituições missionárias católicas e o formato de sua institucionalização, inspirado no modelo das reduções jesuíticas, não se modificou até o Concílio Vaticano II, quando começou a perder seu vigor”, diz Paula. Só com o impacto da crise ideológica nos anos 1970, que colocou em xeque o modelo de missão formatado no Concílio de Trento, os salesianos viram-se obrigados a repensar suas relações com a política brasileira e os índios.

A adesão salesiana ao pedido do Estado brasileiro de participar do *front* de “pacificação”, contudo, não foi simples, e sim demorada

e problemática. “Dom Bosco defendia a criação de uma colônia italiana na América e só depois de não ter conseguido levar adiante seu projeto de expansão da congregação na Argentina é que o re-direcionou para as áreas indígenas brasileiras”, diz Paula.

O modelo da missão eram os liceus de artes e ofícios: ela deveria reunir os índios em torno de uma “colônia agrícola” voltada para uma agricultura moderna, apoiada em princípios científicos de produtividade e em tecnologia sofisticada. O trabalho com a terra estava no centro da autonomia e prosperidade das missões para que se pudesse fazer o adestramento do corpo e do espírito dos nativos. Diferentemente da colônia militar ou das relações esporádicas de Rondon com alguns grupos indígenas, a colônia agrícola missionária, observa Paula, foi um arranjo novo de relações que articulou unidades do sistema indígena a unidades do sistema colonial em uma convivência continuada e produtora de novas relações. “Mas

“Prevaleceu na República a ‘pacificação’, que significava não estimular conflitos com os índios”

as duas políticas partiam de princípios diversos: enquanto a indigenista, feita pelo Estado até os anos 1950, apoiou-se na ideia da assimilação pela convivência com não índios, as estratégias missionárias se pautaram por uma ideia de civilização que pressupunha um isolamento relativo dos grupos indígenas.”

ETNOGRAFIAS COMPARADAS

Tudo isso se torna mais e mais claro à medida que, valendo-se de uma metodologia comparada de três momentos distintos dos encontros entre missionários e índios, Paula Montero procura mostrar como a interação entre eles muda em função do contexto político, da cultura dos diferentes grupos e até mesmo das particularidades de cada autor das narrativas desses processos. Essas condições produzem claramente construções diversas do que é ser índio.

Nesse sentido, o objeto fundamental de análise da pesquisadora é um conjunto de três etnografias escritas por missionários salesianos sobre os grupos indígenas Bororos e Xavantes, do Mato Grosso, e os chamados Tucano, do Amazonas. A primeira delas é *Os Bororo orientais*, de 1925, de Antonio Colbacchini e César Albisetti, a segunda, *A civilização indígena do Uaupés*, de 1958, escrita por Alcionílio Bruzzi da Silva, e a terceira é *Xavante, Auwe Uptabi, povo autêntico*, de 1972, cujos autores são Bartolomeu Giaccaria e Adalberto Heide.



Aldeamento do Sagrado Coração em imagem feita para relatório comemorativo dos avanços na construção do espaço que visava atrair chefes bororo e famílias

Colbacchini era formado em filosofia e teologia e transformou-se a partir de 1906 em pioneiro e explorador do estado do Mato Grosso. No ano seguinte assumiu a direção da colônia agrícola de Tachos. Ele se preocupava em traduzir os selvagens, homens naturais, em homens sociais, com lei, ordem e religião. “Ao contrário do indigenismo militar republicano, baseado na ideia da ‘pacificação’, para o qual civilizar era principalmente controlar o território e a população, Colbacchini supõe a existência de uma ‘nação clandestina’ que só pode ser conhecida quando se toma o ponto de vista do sertão. Essa proto-nação se identifica com os valores da liberdade, da fraternidade e da inocência primordial.” Segundo Paula, compreender a obra etnológica de Colbacchini é analisar como a sua descrição mobiliza a imaginação para responder às contradições aparentemente sem solução que a incorporação dos índios, com suas diferenças, impõe à consciência do homem e de seu tempo. Assim, numa linguagem textual ainda muito próxima dos enciclopedistas do século XIX, ele inventa o totemismo bororo ao sair à procura de uma religião natural.

Já num contexto intelectual e político distinto, marcado pela ênfase à brasilidade do índio, a monografia do padre Alcionílio Bruzzi sobre os povos Tucano mostra o trabalho evangelizador no rio Negro e no Uaupés mais nitidamente pautado pelo esforço de integração do índio ao Estado nacional. Isso implica também a exigência de construção higiênica e salubre de cidades e a edificação de internatos que se apresentassem em sua arquitetura impo-

nente como obra civilizatória definitiva. Para o religioso, a dinâmica desencadeada pelos centros missionários deveria ser compreendida em termos de um processo “civilizador”, e não mais em termos de “catequese”. Vale registrar que a chegada dos salesianos em 1920 ao rio Negro, uma bacia habitada predominantemente por populações indígenas, foi uma experiência completamente distinta da que viveram ao chegar ao Mato Grosso, onde tiveram que mediar os permanentes conflitos entre proprietários de terra e indígenas. Por falta de colonos, o modelo de “pacificação” não predominaria no Uaupés. Havia também uma diferença fundamental entre sua monografia e a anterior: “O *habitus* de um espírito científico filtrado por uma linguagem que se quer rigorosa e contida está muito mais presente na obra de Bruzzi do que na de Colbacchini, intuitivo e passional. A análise de Bruzzi é pautada pela ciência e seu desejo é criar um indivíduo, embora tenha se deparado com o incômodo de não achar sujeitos subjetivados a ponto de viver numa sociedade baseada na ciência”.

Bartolomeu Giaccaria, um dos autores da terceira monografia, chegou ao Brasil

“Mediações materiais e simbólicas se dão sempre na interação e produzem discursos”, diz Paula Montero

em 1954 e foi transferido a Sangradouro no final de 1956 para encarregar-se da escola da missão. Paula observa que já não se trata nesse momento mais do selvagem e o conceito-chave passara a ser a autenticidade. “Tudo que é do índio passa a ser autêntico.” Em lugar do esforço para converter, havia que encontrar o que era original, e a cultura está no lugar em que antes estivera a religião.

Pouco depois de se instalar em Sangradouro, Giaccaria entrou em contato com grupos Xavantes recém-chegados à missão e se deparou com a questão de ter que alfabetizar suas crianças sem conhecer a língua e a cultura. “Para atuar na escola de maneira eficaz não lhe bastou o conhecimento rudimentar da língua e ele sentiu a urgência de um entendimento mais completo dos comportamentos e modos de entendimento indígenas. Começou então seu trabalho de observação etnográfica mais sistemático ao lado de Adalberto Heide na década de 1960.”

Podem-se verificar na obra as marcas da mudança no panorama político-ideológico que estava por vir. “Nos anos 1970, o programa catequético missionário de assistência indígena perdia credibilidade, o sistema de internatos começava a ser duramente criticado e a ideia de que os índios deveriam viver isolados em seus próprios territórios, as reservas, produzia um novo consenso”, explica a autora. Por isso, o sentido civilizador tão marcante nas obras anteriores aparece de forma menos acentuada no trabalho de Giaccaria. “A ideia de civilização ganha uma

conotação mais secular de ‘patrimônio cultural’ e, como indica o título de sua monografia, sua obra está voltada para a reprodução da ‘autenticidade’ de ser Xavante. O registro de mitos e ritos que fez ao longo de uma década está marcado por um sentido de salvamento da maior quantidade de informações sobre a civilização Xavante.” Em contraposição aos exemplos monográficos anteriores, em que a ideia de uma “civis” cristã e urbana era central ao argumento civilizatório, Giaccaria afirma que a vitalidade da cultura Xavante dependia da manutenção da aldeia em sua forma circular, símbolo do que é fraterno, igualitário.



Cartão que retrata missa feita por salesiano na floresta, por volta de 1905, para impressionar os índios

Mas o que teria motivado os salesianos em suas etnografias? “Para implementar o projeto era preciso fazer com que o índio quisesse morar nas missões, algo que só faziam movidos por cálculos estratégicos. Era necessário então organizar o conhecimento: como se poderia, por exemplo, converter, batizar, etc. se não se conhecesse a forma de religião e família indígena?” Cada monografia, ao contrário do que acontecia na prática indigenista oficial (que não se interessava em conhecer o objeto de sua ação), implicou um processo de produção de conhecimento destinado a possibilitar o projeto missionário dos salesianos. Um projeto que, é importante ressaltar, foi fruto de intensa e constante negociação. “Os padres negociaram, por diversos meios, a legitimidade de sua atuação com relação aos índios e à sociedade nacional, dando visibilidade a seus ‘feitos’ e ‘sacrifícios’, protegendo a vida indígena contra os colonos e outros índios, dispensando educação aos filhos dos proprietários rurais ou se recusando a fazê-lo, ensinando crianças indígenas, disputando sua autoridade religiosa e terapêutica com xamãs, distribuindo ou retendo bens, reforçando ou se apropriando da autoridade de chefes”, explica Paula. Acima de tudo, conviveram sempre com o fantasma da instabilidade dos aldeamentos, ameaçados constantemente pelo repentino esvaziamento populacional. Além disso, lidavam com questões da atração de recursos financeiros, com a produção de meios eficientes de persuadir as elites urbanas da inteireza de suas intenções e da legitimidade de seu trabalho frente a forças competidoras como o indigenismo positivista, da pressão dos colonos por mão de obra e terra, do apoio que a hierarquia da Igreja no Brasil e na Europa oferecia ou não ao projeto de estabelecer colônias agrícolas autossuficientes.

Produzir conhecimento e descrever a vida indígena era parte dos instrumentos intelectuais disponíveis para fazer face a essas dificuldades. “Uma das operações simbólicas mais centrais das monografias foi produzir a convergência entre modos distintos de ver e estar no mundo, introduzindo como referente comum a separação das esferas religiosas, sociais e políticas”, diz Paula.



Cartão-postal com crianças borore em suas atividades escolares na missão do Sagrado Coração

“Já as regras gramaticais da indexação foram construídas no plano das práticas como convenções destinadas a enfrentar colisões e conflitos nas interações cotidianas.” Essa tradução, porém, não era destituída de consequências. Conforme o texto de seu livro, “o paradoxo implícito na produção de etnografia missionária é que, para criar a imagem da cultura nativa, o etnógrafo provoca uma mutação nas formas tradicionais de produção da memória. As etnografias salesianas, como parte integral e fundadora do projeto de conversão, universalizam o conhecimento, por exemplo, do que é ‘ser Bororo’ de uma forma até então desconhecida para os próprios nativos e, nesse movimento, produzem uma espécie de ‘conversão’ do Bororo à cultura Bororo”, explica a autora. “Assim, a desconstrução dos discursos missionários revela como os mediadores, sejam eles quem forem, se constroem como sujeitos de discurso e se jogam na disputa no processo de produção de legitimidade daquilo que têm a dizer.”

Dá para dizer que Paula Montero trabalha em seu novo livro por uma antropologia das mediações. “Mediações materiais e simbólicas que se dão sempre na interação e que produzem discursos.” Ou seja, deslocada a ideia de tradução do trabalho do antropólogo para o discurso dos agentes, ela abandona o conceito de alteridade como noção fundadora do conhecimento antropológico buscando superar o paradoxo que consiste em pensar um outro antes da própria razão que o pensa. ■

OS PROJETOS

1. Missionários cristãos na Amazônia brasileira: um estudo de mediação cultural – nº 2000/02718-6 (2001-2007)
2. A textualidade missionária: as etnografias salesianas no Brasil – nº 2007/08736-5 (2008-2010)

MODALIDADES

1. Projeto Temático
2. Projeto de Pesquisa Regular

COORDENADORA

1. e 2. Paula Montero – Departamento de Antropologia da USP

INVESTIMENTO

1. R\$ 274.968,00
2. R\$ 51.841,56

DE NOSSO ARQUIVO

A invenção dos índios no Brasil
Edição nº 173 – julho de 2010

Em nome de Deus
Edição nº 111 – maio de 2005

Nos ombros de gigantes mágicos

Processo de transformação da alquimia em química foi mais longo e suave do que se imagina

Carlos Haag

Foi preciso muita coragem para Einstein assumir, em plena idade moderna, que “a ciência sem a religião é coxa e a religião sem a ciência é cega”. Em especial, a primeira parte da citação ainda provoca calafrios em muitas mentes científicas que associam de forma ortodoxa ciência à ideia de progresso: assim, os antigos conheceram pior do que os medievais e estes pior que os modernos, totalmente libertos de qualquer “obscurantismo” religioso. “Em especial, há a visão de uma estreita passagem da alquimia para a química, entre meados dos anos 1600 e finais dos anos 1700, cujas marcas seriam a publicação de *Químico cético*, de Boyle, livro que teria iniciado a química moderna em 1661, e o ‘gran finale’ de Lavoisier em seu *Tratado elementar de química*, em 1789”, explica a professora Ana Alfonso-Goldfarb, do Centro Simão Mathias de Estudos em História da Ciência (Cesima), da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP). “Não se pode dissociar o desenvolvimento da ciência de aspectos religiosos, assim como o saber alquímico e tradição

Reprodução do livro *O museu hermético: Alquimia & Misticismo*, de Alexander Roob



OEDIPVS
CETICVS

Querris upon y^e Experi^t to prove a Liqueur
analogic to y^e Alkahest, to be found
in Bodis of Animals.

Since Bartholin^e y^e first Inventor of y^e Liqueur
has published their discovery and description, down
in a letter contained in them to be more Water, (for
they have y^e name) distinct from any Serape,
or common humour, for y^e separation and conveigh
the parts, as y^e vessels of Gall, and Urinary
vessels; and in this no other that come of y^e
vessels differ from him: whether y^e Author
had observed any such Acidity in y^e Liqueur
in the course of vessels.

As to any Acidity thus may be observed in
the course of vessels, and vessels
before long abstin: since it is known that

hermética não foram eliminados pela revolução científica, mas conviveram por longos séculos. Não se trata de rupturas, mas de permanências e transformações lentas de conhecimentos antigos”, analisa a pesquisadora que, ao lado da professora Márcia Ferraz, também do Cesima, trouxe à luz uma importante rede de discussões sobre os princípios da matéria, que se estendeu até, pelo menos, o século XVIII, no projeto temático *Revelando os processos naturais através do laboratório: a busca por princípios materiais nos três reinos até a especialização das ciências no setecentos*, apoiado pela FAPESP. “Mentes notáveis de uma instituição como a Royal Society, apesar de realizarem procedimentos próximos aos da ciência moderna ainda viam no laboratório ‘iluminista’ o ‘olhar de Deus’”, observa Márcia Ferraz. Foi, aliás, mergulhando nos arquivos da sociedade britânica que as duas estão colocando cada vez mais em suspeição a crença de que a alquimia, baseada em mistérios, não resistiu à passagem para um universo racional e mecanicista, onde qualquer mistério era inadmissível.

“As ideias alquímicas, sob outro nome, ainda intrigaram por muito tempo grandes figuras hoje associadas à ciência moderna. Essa é a beleza dessa história: não há uma razão única, mas várias ‘razões’ que souberam conviver até o século XIX”, analisa Ana. Isso será, aliás, o foco do desdobramento do temático num novo projeto, também apoiado pela FAPESP e iniciado agora, que alcançará o oitocentos, período em que, as pesquisas das professoras confirmaram, se dará o efetivo desmembramento das áreas do saber em direção a um sistema de organização moderno. “Ao mesmo tempo, e talvez não por acaso, a noção de princípio ou princípios materiais será superada de muitas formas, inclusive por meio de variações distantes como foram as novas concepções de princípios ativos”, afirma Márcia.

Até então, duas vertentes dividiam o interesse dos estudiosos. Uma das perspectivas concebia a organização da matéria em “princípios reitores”: estes seriam exclusivos ao reino que constituíam e intransferíveis,

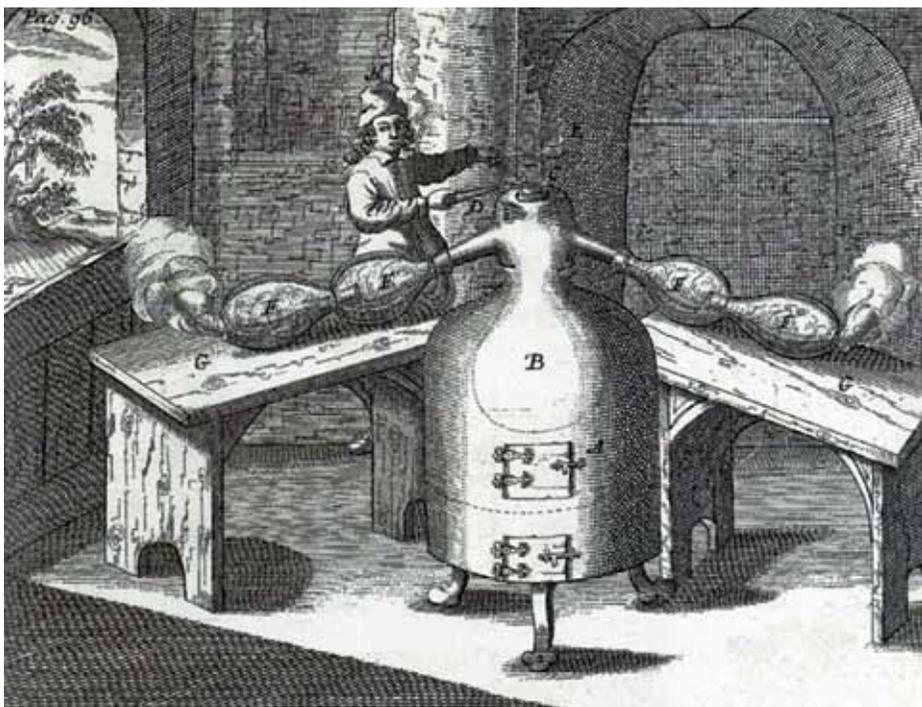
mesmo no laboratório, a outros reinos da natureza. Um segundo grupo, preconizava a existência de um único princípio que circularia entre os três reinos (mineral, vegetal e animal), embora agindo de forma distinta em cada um deles. Crença que datava a tempos aristotélicos, essa ideia se fundamentava na observação de processos em que materiais de reinos distintos, ao interagirem, pareciam transferir suas características uns aos outros. Entre os adeptos dessa visão estavam estudiosos notáveis da primeira modernidade e suas reverberações continuaram a prevalecer século XVIII adentro.

“Muitas das obras que criaram a ciência moderna estavam num limiar, captando, por um lado, essa lógica totalizante dos saberes de vozes do passado e, ao mesmo tempo, iniciando um contato com a nova cosmologia e as novas ideias”, diz Ana. Para as próprias pesquisadoras, no início, a descoberta de que homens como Boyle e Newton acreditavam na possibilidade da “pedra filosofal” provocou uma sensação incômoda. Mas, boas adeptas da razão, os achados documentais das pesquisadoras no acervo da Royal Society fizeram com que elas revissem suas crenças e passassem a enxergar os antigos modelos da nova ciência pelo prisma da época, e não com a visão anacrônica e “preconceituosa” dos nossos tempos.

Afinal, como desmentir um documento oficial de uma instituição ve-

Obras que criaram a ciência moderna estavam num limiar de vozes do passado e novas ideias

Reprodução do livro *O museu hermético: Alquimia & Misticismo*, de Alexander Roob





Reprodução do livro *O museu hermético: Alquimia & Misticismo*, de Alexander Roob

tusta que acaba de completar 350 anos de história, em especial nos escritos de Henry Oldenburg, membro de uma rede europeia de sábios e secretário da recém-criada sociedade inglesa. “Para os estudiosos da Royal Society não havia nada mais a se descobrir em seus arquivos, em especial após a catalogação completa do acervo feita pelo casal Marie e Rupert Hall a partir dos anos 1960”, conta Ana. As brasileiras, porém, descobriram muito material nos “fundos fechados” do arquivo, e não foi pouca coisa. O achado mais “espetacular” foi a “receita” do alkahest, suposto “solvente universal” alquímico que poderia dissolver qualquer substância, reduzindo-a a seus componentes primários. Isso, nos papéis de homens “iluminados” pela razão

como Oldenburg e Jonathan Goddard, lente da instituição. A descoberta só confirmava que os “papéis secretos” de Newton, aos poucos revelados desde os anos 1930, e sua relação com a alquimia, eram a ponta de um *iceberg* maior do que o desejável.

“Havia uma segunda agenda na pauta dos novos cientistas e os documentos mostram, numa forma concisa e quase moderna, que em muitos experimentos havia concepções e processos ligados a velhos tratados e receituários. Basta ver as tentativas de refino de ouro com antimônio descritos por Goddard à Royal Society”, lembra Márcia. Antes de julgar, porém, é preciso conhecer a vinculação, na época, das ciências da matéria às ciências médicas, lugar preferencial desse hibridismo entre o antigo e o novo no campo de batalha dos laboratórios. “Os chamados

‘males da pedra’, a litíase renal, era uma das principais causas de morte até o século XIX. Nesse contexto, a alquimia se insinuou como tábua de salvação, já que sua suposta capacidade de ‘abrir’ os materiais mais resistentes, para extrair sua essência mais pura, poderia dissolver as pedras do organismo”, observa Ana.

Era preciso encontrar algo com o poder do ácido sem os seus efeitos colaterais letais para o corpo humano.

“Alkahest e a pedra filosofal, combinados, formariam o remédio ideal: o primeiro suavizaria os efeitos negativos do ácido e a pedra era o complemento ideal, pois seria potente o bastante para dissolver até um metal resistente como o ouro e, ao mesmo tempo, inócuo contra o organismo”, explica Márcia. Não se pode, porém, negar que a busca desses produtos alquímicos também esteve ligada ao desejo de produzir ouro, almejado por plebeus e monarcas, e a muito “filosofismo” esotérico, em voga na Inglaterra puritana. “Encontramos muitos documentos nos arquivos da Royal Society que revelam uma visão milenarista de muitos sábios da época”, diz Ana.

Menos vulgar do que o milenarismo medieval, os lentes britânicos preconizavam a “im-

É preciso conhecer a vinculação das ciências da matéria às ciências médicas na época

portação” de judeus dos Países Baixos para a Inglaterra, promovendo o encontro deles com os puritanos, uma mistura que criaria um “caldo natural” de onde nasceria o messias capaz de iniciar uma nova era de progresso científico, educacional e médico, onde todos poderiam se beneficiar dos avanços feitos nos laboratórios. “Eles queriam tornar tudo o que era incompreensível, logo ameaçador, em compreensível, via puritanismo, gerando o melhor e mais racional dos mundos”, conta Ana. Longe de delírio, era um debate que envolveu intensa troca de cartas entre membros da Royal Society e figuras como Espinoza e Leibniz. Einstein, que não jogava dados com o universo, tinha lá sua razão.

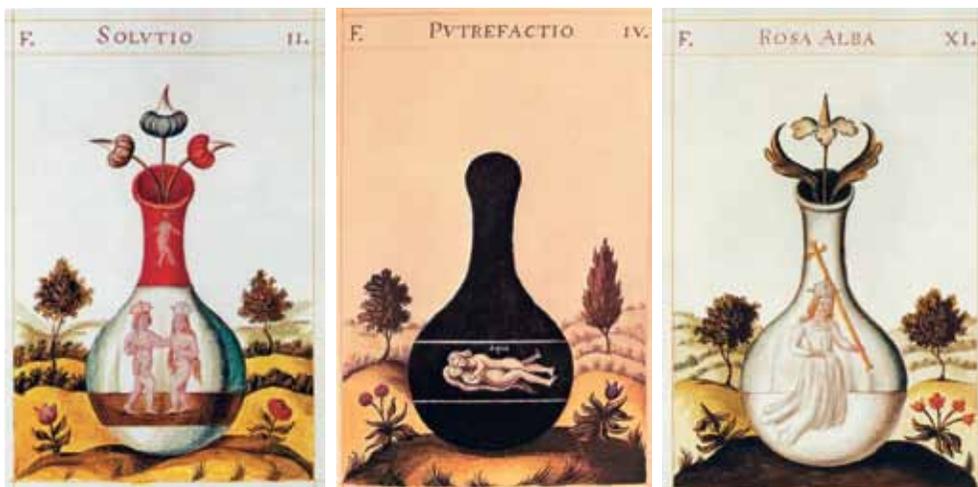
Ao lado das pesquisas híbridas com a alquimia, todos eram segredos guardados a sete chaves. “Muitas vezes, havia casos de suborno, espionagem e roubo de ‘receitas’ alquímicas a mando de Oldenburg, em nome do progresso científico”, conta a pesquisadora. Essas receitas, porém, levantavam questões que ajudaram na criação da nova ciência. Afinal, os papéis secretos tinham ingredientes exóticos ou não os descreviam com precisão. Assim, como obter o material certo, puro o suficiente, capaz de fazer o recheitório funcionar? Talvez, o malogro de se conseguir a pedra filosofal, por exemplo, se devesse a essas imprecisões. “Era a busca da transmutação, mas dentro de procedimentos que seriam a pedra fundamental da ciência moderna. O labo-

ratório se transforma no lugar da ‘prova’. Antes usado para criar produtos, agora, entre os séculos XVII e XVIII, ele passa a servir como centro de padronização de experimentos”, observa Ana.

A partir de questões alquímicas, iniciou-se a discussão sobre a necessidade de uma ciência universal, em cujo centro estava a preocupação com a capacidade de reproduzir um dado experimento, em se estabelecerem parâmetros científicos, um meio do caminho entre aspectos místicos e ciência. “O desenvolvimento gradativo da imprensa, que permitiu a maior circulação de informações, e as trocas entre os que haviam, tradicionalmente, guardado informações sigilosas, extraídas da antiga literatura e portadoras de seus vestígios, foi um fator de peso para o nascimento da nova ciência química”, analisa Ana. “Em troca das buscas obsessivas por materiais lendários, o laboratório acabou garantindo marcadores excelentes para os progressos de análise e síntese. Acima de tudo, pensava-se garantir através deles uma expressão material e visível para o estudo dos princípios ou bases elementares que, de outra forma, pareciam inatingíveis”, completa Márcia. Foram necessários mais de dois séculos para que o velho laboratório do alquimista se transformasse no do químico, com seus padrões modernos. Tempos em que a ciência tentava não mancar e parte da religião queria enxergar. ■

Foram necessários dois séculos para que o velho laboratório do alquimista se transformasse no laboratório do químico

Reproduções do livro *O museu hermético: Alquimia & Misticismo*, de Alexander Roob



O PROJETO

Revelando os processos naturais através do laboratório: a busca por princípios materiais nos três reinos até a especialização das ciências no setecentos – nº 2005/56638-7 (2006-2011)

MODALIDADE
Auxílio Pesquisa – Projeto Temático

COORDENADORAS
Ana Maria Alfonso – Goldfarb
Márcia Ferraz
Cesima – PUC- SP
INVESTIMENTO
R\$ 659.361,18

ARTIGOS CIENTÍFICOS

1. ALFONSO-GOLDFARB, A. M. *et al.* Gur, Ghur, Guhr or Bur? The quest for a metalliferous prime matter in early modern times. *British Journal for the History of Science*. v. 44, p. 1-15, 2011.

2. ALFONSO-GOLDFARB, A. M. *et al.* Chemical Remedies in the 18th Century: Mercury and Alkahest. *Circumscribere*. v. 7, p. 19-30, 2010.

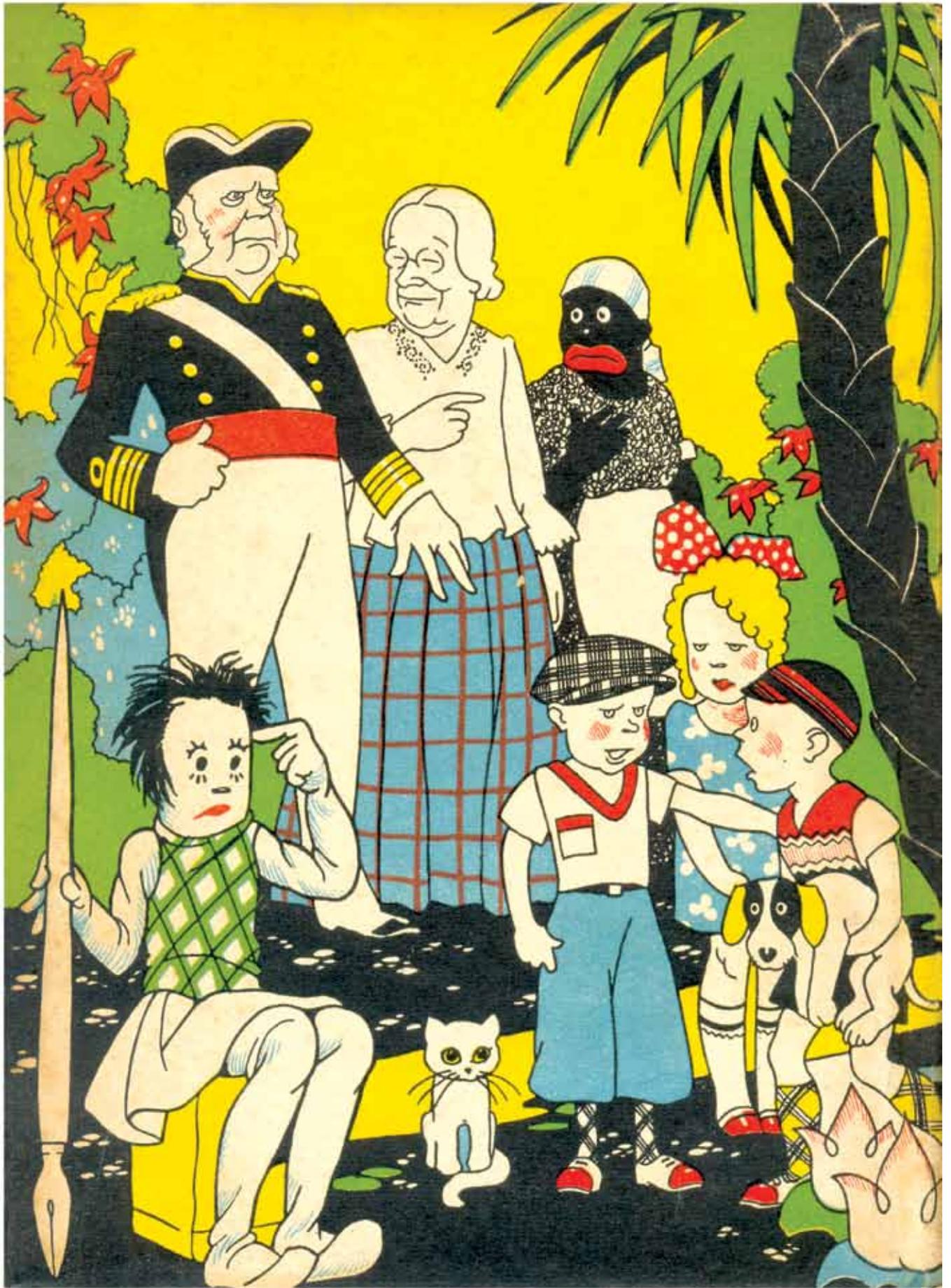
3. ALFONSO-GOLDFARB, A. M. *et al.* Lost Royal Society documents on ‘Alkahest’ (universal solvent) rediscovered. *Notes and Records of the Royal Society of London*. p. 1-23, 2010.

DE NOSSO ARQUIVO

A agenda secreta da química
Edição nº 154 – dezembro de 2008

Documentos que valem ouro
Edição nº 182 – abril de 2011

O ouro da sabedoria
Edição nº 177 – novembro de 2010



O Brasil visto do sítio

Estudos sobre Monteiro Lobato fazem ressurgir a complexidade do escritor em todas as suas contradições

Carlos Haag

Com grande precisão Monteiro Lobato (1882-1948) resumiu numa frase o credo de sua vida: “Um país se faz com homens e livros”. Ele tentou melhorar, modernizar e reunir, sem grande sucesso, este trio e por causa dessa mesma trinca amargou críticas ferozes, incompreensão e desilusão. Ele meteu o “narizinho” em todos os aspectos da sociedade brasileira com uma sabedoria digna de Dona Benta, atacando o conhecimento antiquado dos “sabugosas” e acertando o atraso nacional com um bodoque certo. Parecia ter tomado uma “pílula falante” e sua “torneirinha” e jorrava vitupérios contra os males nacionais. Foi, acima de tudo, um poço de contradições.

“Lobato é um pouco como todos nós, brasileiros. Ora assumindo posições polêmicas, ora se antecipando a seu tempo. Cresci lendo seus livros e muito de minha criatividade e liberdade de pensamentos devo a seus textos que levam à reflexão, ultrapassam o limite temporal. Ele era um brasileiro sob medida”, explica Marisa Lajolo, professora da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e da Universidade Presbiteriana Mackenzie, vencedora do Prêmio Jabuti de 2009 por *Monteiro Lobato: livro a livro*, obra

resultante do temático *Monteiro Lobato e outros modernismos brasileiros*, apoiado pela FAPESP, entre 2003 e 2007. “Como não podia deixar de ser, a presença múltipla de Lobato na vida de seu tempo é envolvida por paixões violentas, contradições e dicotomias. É justamente por isso que sua obra pede uma análise abrangente que, longe de fugir das contradições ou de abrandá-las, aprofunde as oposições, inserindo suas ações em contextos cada vez mais abrangentes”, observa a pesquisadora.

É nesse espírito que a equipe do temático prepara agora um novo estudo, desta vez dissecando “livro a livro” a sua obra adulta, pouco conhecida e apreciada em face do sucesso das criações infanto-juvenis. Ao longo dos anos, a história da literatura fixou uma imagem multiforme e em tanto contraditória do escritor. De um lado, nota Marisa, afirma-se o escritor inventivo, considerado o criador de nossa literatura infantil; de outro, despreza-se o crítico de pintura que tri-

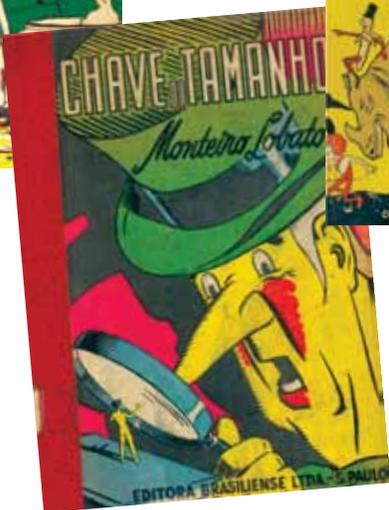
puidiu sobre os quadros inovadores da pintora modernista Anita Mafalti. Ele é malvisto como o fazendeiro que ridicularizou seus agregados na figura do Jeca Tatu, ao mesmo tempo que é exaltado como o cidadão progressista defensor do petróleo nacional.

A carreira poliédrica de Lobato foi fruto de uma visão de mundo arrojada e moderna, sempre em perfeita sintonia com o seu momento histórico”, analisa Marisa. “Ele deixou marcas profundas na cultura brasileira e sua herança está presente nos lugares mais diversos. Por exemplo, no perfil moderno da indústria livreira que criou, e também na problematização de vários aspectos de práticas nacionais de escrita e de leitura, de produção e da circulação de livros. Ele foi um dos primeiros e raros intelectuais a perceber a profunda alteração pela qual passavam, na modernidade, livros e leituras”, observa. Para tanto, empenhou o que tinha e o que não tinha.

Como comprovam, aliás, cartas inéditas recém-descobertas por pesquisadores da Unidade Especial de Informação e Memória da Universidade Federal de São Carlos (UFS-Car). No material descoberto, datado de 1925, Lobato pede ajuda financeira ao fazendeiro Carlos Leôncio de Magalhães, mais conhecido como Nhonhô Magalhães, para salvar sua editora da falência. “Na primeira carta ele diz ao fazendeiro que, se ajudasse a editora, quem sabe um dia os filhos do fazendeiro se interessariam por livros. Já na segunda, Lobato diz que, se Nhonhô o ajudasse, não ajudaria somente o Brasil, mas também a salvar sua vida, em um tom mais emotivo”, conta o professor João Roberto Martins, coordenador da Unidade Especial. A resposta de Nhonhô veio de forma impessoal e datilografada, explicando que não fazia mais negócios por “necessitar de repouso”. “Essa consciência aguda da dimensão econômica de livros e literatura são uma das maiores marcas da modernidade de Lobato”, analisa Marisa Lajolo.

Daí a importância de mergulhar na sua produção, em especial na quase esquecida literatura não infantil, que voltou a ser editada apenas a partir de 2007, quando a Editora Globo assinou um contrato com os herdeiros após anos de uma pendenga com a Brasiliense, que detinha todos os direitos sobre a obra lobatiana.

“As luzes sobre o modernismo paulistano jogaram Lobato no limbo. Ele virou o vilão.”



As capas de *Marquez de Rabicó*, 1925, por Voltolino; *Chave do tamanho*, 1949, por Augustus; e *Emília no País da Gramática*, 1934, por Belmonte



Ilustração de J.G. Villin para o livro *Reinações de Narizinho*, 1933

Iniciada a republicação, a grande surpresa foi o sucesso de venda dos livros para adultos, como *Urupês*, por exemplo, a coletânea de contos que introduziu o Jeca Tatu em 1918 e já está na quarta reimpressão. “Se o papel de renovador da literatura infantil brasileira é incontestado, os novos tempos pedem uma reavaliação do jornalista, crítico de arte, ensaísta e polemista. As luzes sobre o modernismo paulistano jogaram Lobato no limbo. Ele virou o vilão. Nos últimos anos há uma revisão disso”, diz Marisa. “Além disso, ele é um excelente contista, divertido, violento em relação à crítica social, despojado em termos de linguagem”.

Segundo Marisa, quem conhece Lobato apenas como o incrível inventor do *Sítio do Picapau Amarelo* pode conhecer o melhor Lobato, mas, mesmo assim, está perdendo um bocado da personalidade do paulista sem papas na língua. “Entre 1882 e 1948, o escritor viveu entre dois brasis. Um mais agrícola, patriarcal, tradicionalista. Com este, ele ajustou contas inventando um sítio onde impera o matriarcado, onde em vez de gado há um burro falante e um sabugo sábio. O outro era o Brasil que mudava de cara com a industrialização. Para este segundo, ele foi um cidadão sob medida, feito de encomenda”. Fazendo no Vale do

Paraíba, Lobato lutou contra as queimadas dos caipiras, desancou o Jeca chamando-o de parasita e predador da natureza.

Em menos de dez anos, mudou de ideia: era a falta de saúde o que ele tinha chamado de preguiça, escrevendo novos artigos redimindo o Jeca e denunciando a precariedade das políticas de saúde nacionais. “Vinte anos depois, ele vira a mesa novamente. Lobato entendeu que o Jeca era vítima da estrutura fundiária brasileira e se pôs a escrever sobre isso”, lembra Marisa. Sua relação com o presente nunca foi das melhores: brigou com o Estado Novo pela falta de liberdade e pelo desinteresse geral dos brasileiros em encontrar petróleo, tarefa a que se dedicou com entusiasmo exacerbado, a ponto de perder, novamente, seu patrimônio e parar na cadeia como subversivo. No final da vida, o Jeca, agora transformado em Zé Brasil, lutava não mais contra doenças endêmicas, mas contra o latifúndio e a distribuição injusta de terra.

“Monteiro Lobato fez mergulhos no imaginário coletivo e simultaneamente o fecundou; ‘taquigrafou’ novas ideias sobre infância, que circulavam nas várias esferas culturais de seu tempo – como, por exemplo, as teorias da Escola Nova – e as transpôs para sua obra literária”, analisa a pesquisadora Cilza Bignotto, professora de teoria literária e lite-



“Quero fazer livros para criança morar, como eu morei no *Robinson Crusóe*”

ratura brasileira na Universidade Federal de Ouro Preto. “Da mesma forma, percebeu e registrou de modo bastante peculiar as idéias sobre infância que existiam naqueles segmentos sociais que constituíam o ‘Brasil arcaico’: as comunidades caboclas, os grupos de camponeses caipiras do interior de São Paulo, a gente pobre da periferia que começava a se formar na capital do estado”, analisa. Foi, aliás, com um achado de Cilza que o temático coordenado por Mariza Lajolo ganhou matéria-prima de primeira. A pesquisadora, fazendo o seu mestrado, deparou-se num porão de um livreiro em Santos com montanhas de material inédito de Lobato e usou dinheiro da sua bolsa da FAPESP para adquirir os tesouros, que decidiu colocar ao alcance do público, doando tudo ao Instituto de Letras da Unicamp. Isso permitiu a criação do Fundo Monteiro Lobato, que reúne hoje um acervo de mais de dois mil itens, entre originais, cartas, fotos, primeiras edições, etc. Foi o “baú do Lobato” que ajudou os pesquisadores a adensar os trabalhos do temático *Monteiro Lobato e outros modernismos brasileiros*.

A análise dos novos achados deu novas peças ao quebra-cabeça que continua a ser montado pelo grupo e foi se configurando um Lobato ainda mais complexo. Afinal, como observa Marisa, sempre atento a sua realidade, ele soube incorporar, em uma obra ficcional pautada pela fantasia e pelo humor, informações muitas vezes coincidentes

com o currículo escolar. Em contraposição à escola convencional, alvo de frequentes críticas das personagens lobatianas, o *Sítio do Pica-Pau Amarelo* surge como uma escola alternativa. Nela, conhecimentos de gramática, matemática, geologia e até rudimentos de uma política nacionalista do petróleo são veiculados e assimilados de forma crítica, independente e sempre questionadora, especialmente na relação de ensino-aprendizagem entre Dona Benta e a discípula Emília.

Quero fazer livros para criança morar. Não ler e jogar fora, mas morar como eu morei no *Robinson Crusóe*”, escreveu o escritor em carta ao amigo Godofredo Rangel. A República Velha pregava o ideal do moço sério, um adulto em miniatura, quieto e pronto a obedecer e aceitar os valores estabelecidos. Na época, os livros reproduziam o sistema, ou seja, criança levada era castigada. “Ele rompeu essa tradição autoritária, inspirando-se no e inspirando o projeto de renovação educacional estabelecido após a revolução de 1930, quando os intelectuais passaram a pregar um novo sistema de ensino como forma de resolver os males do país”, observa Cilza. Entre eles, destacou-se o educador baiano Anísio Teixeira e sua Escola Nova, que pretendia democratizar o saber, fazê-lo agradável aos jovens. Lobato soube trocar a travessura por aventura, colocando ao alcance da criança o gesto libertário na figura da Emília. Lobato lutou por isso até morrer, ou melhor, até virar “gás inteligente”, sua metáfora da morte. Apesar do tempo, ele permanece o inconformista ideal para os tempos modernos, tão conformados. ■

À esquerda,
o primeiro desenho
da boneca Emília, de
1920, por Voltolino
À direita, o Minotauro,
por Augustus, 1949

O PROJETO

Monteiro Lobato e outros modernismos brasileiros – nº 2002/08819-4 (2003-2007)

MODALIDADE
Projeto Temático

COORDENADORA
Marisa Philbert Lajolo – Instituto de Estudos da Linguagem, Unicamp

INVESTIMENTO
R\$ 69.805,15

ARTIGOS CIENTÍFICOS

LAJOLO, M. P. Mário de Andrade e Monteiro Lobato: um diálogo modernista em três tempos. *Teresa* (USP). v. 8-9, p. 141-60, 2008.

LAJOLO, M. P. A figura do negro em Monteiro Lobato. *Presença Pedagógica*, Belo Horizonte. v. 04, n. 23, p. 21-31, 1998.

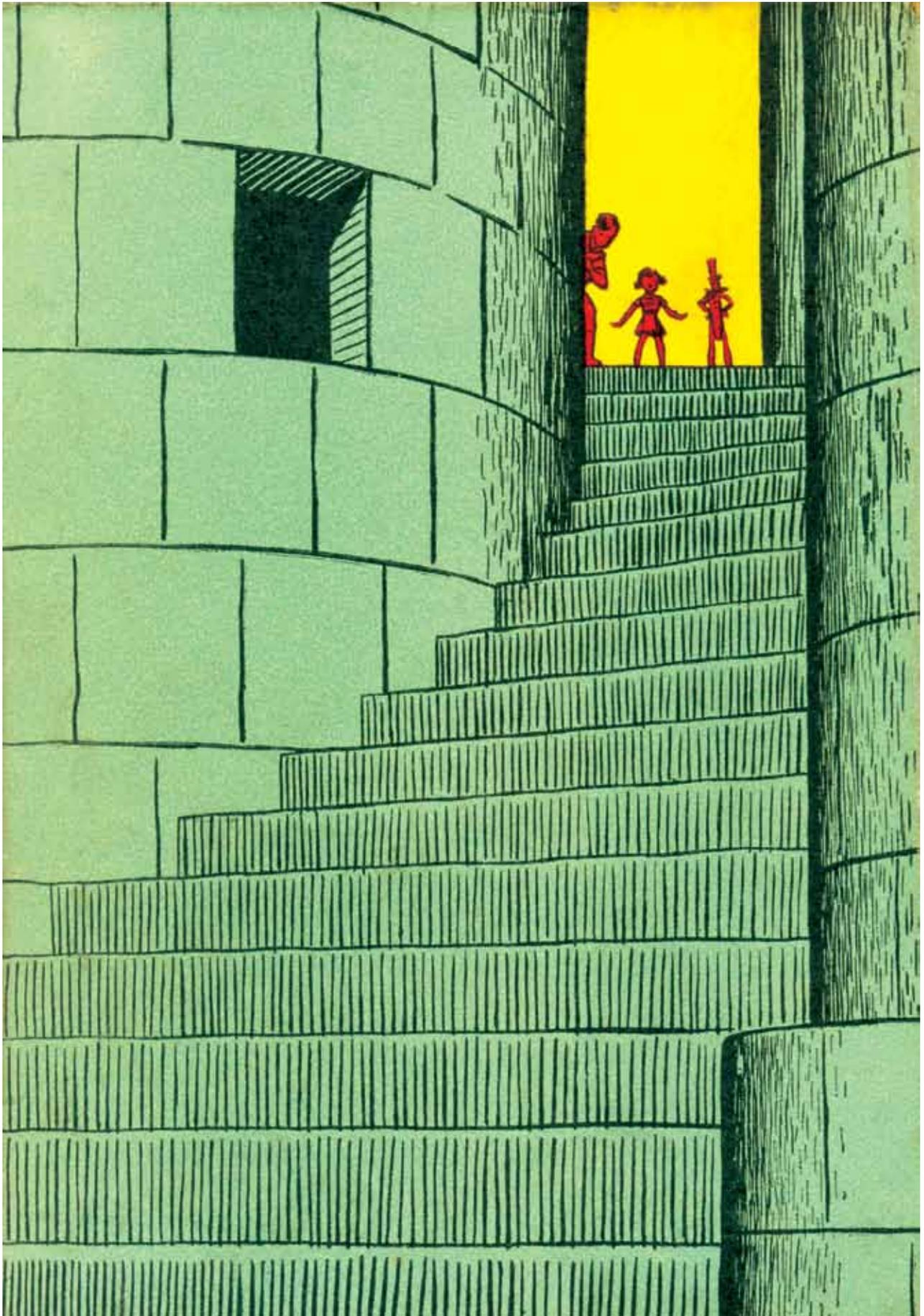
LAJOLO, M. P. Monteiro Lobato: um brasileiro sob medida. São Paulo: Editora Moderna, 2000. v. 1. 99 p.

DE NOSSO ARQUIVO

O futuro do presente no pretérito
Edição nº 184 – junho de 2011

O latifúndio de Lobato
Edição nº 157 – março de 2009

Independência ou morte
Edição Especial FCW – outubro de 2007



A FAPESP EM 50 ANOS



112 mil

bolsistas
desde 1962

96 mil

auxílios regulares
a pesquisas
desde 1962

1.185

pesquisadores
apoiados pelo
programa Jovens
Pesquisadores
desde 1995

54

convênios e
acordos de
cooperação
internacional
em vigor

1.535

Projetos
Temáticos
aprovados
desde 1991

1.200

projetos de
Pesquisa e
Inovação
Pequenas
Empresas
(em 2011, dois
aprovados
por semana),
desde 1997

