

Quando o espaço se curva

Porta-voz da colaboração científica Ligo, física argentina fala sobre como foi o processo de detecção das ondas gravitacionais

Marcos Pivetta e Ricardo Zorzetto | RETRATO LÉO Ramos

Na manhã do dia 11 de fevereiro deste ano, a argentina Gabriela González, uma simpática cordobesa radicada nos Estados Unidos há quase três décadas, tinha um compromisso inadiável no National Press Club, em Washington. A professora de física e astronomia da Universidade Estadual da Lousiana e porta-voz da colaboração científica do Observatório Interferométrico de Ondas Gravitacionais (Ligo) fora escalada para, ao lado de outros quatro renomados pesquisadores, divulgar um aguardado anúncio: pela primeira vez, havia sido detectada a passagem de ondas gravitacionais pela Terra. Coube a Gaby, como a chamam amigos e colegas, detalhar a descoberta, feita 100 anos depois de Albert Einstein ter previsto, na teoria da relatividade geral, a existência desse fenômeno, que deforma o espaço.

Separados por 3 mil quilômetros (km) de distância, os dois detectores gêmeos de segunda geração do Ligo – um em Hanford, no estado de Washington, e outro em Livingston, na Lousiana, ambos com braços em L de 4 km de extensão e dotados de espelhos e lasers – registraram quase simultaneamente as ondas geradas pela colisão e fusão de dois buracos negros distantes 1,3 bilhão de anos-luz da Terra. A detecção, ocorrida no dia 14 de setembro de 2015, é mais uma forte evidência da existência de buracos negros, dos quais nada, nem mesmo a luz, escapa (*ver Pesquisa FAPESP nº 241*).

Gaby esteve no início de novembro em São Paulo, onde deu uma palestra sobre o registro de ondas gravitacionais produzidas pela fusão de buracos negros durante o simpósio promovido

IDADE 51 anos

ESPECIALIDADE

Detecção de ondas gravitacionais

FORMAÇÃO

Graduação em física na Universidade Nacional de Córdoba (Argentina) em 1988. Doutorado em física na Universidade de Syracuse (EUA), de 1989 a 1995

INSTITUIÇÃO

Universidade Estadual da Lousiana (EUA)

PRODUÇÃO CIENTÍFICA

114 artigos. Orientou um mestrado, 6 doutorados e 10 pós-doutorados



para celebrar os cinco anos do Centro Internacional de Física Teórica/Instituto Sul-americano para Pesquisa Fundamental (ICTP-SAIJR, em inglês). O centro é uma colaboração entre o Instituto de Física Teórica da Universidade Estadual Paulista (IFT-Unesp), onde está sediado, o Centro Internacional de Física Teórica Abdus Salam (ICTP), em Trieste, na Itália, e a FAPESP.

“Estamos diante de uma nova astronomia, a das ondas gravitacionais”, afirma a pesquisadora, de 51 anos, casada com o compatriota Jorge Pullin, também professor (de física teórica) da Universidade Estadual da Louisiana. “Estamos descobrindo o lado escuro do Universo.” Nesta entrevista, concedida durante sua passagem pela capital paulista, Gaby fala da importância da detecção das ondas gravitacionais, comenta detalhes dos bastidores do trabalho no Ligo, um projeto que consumiu US\$ 1,1 bilhão ao longo de três décadas, e vislumbra o futuro dessa nova forma de observar o Universo.

As ondas gravitacionais foram detectadas pouco tempo depois de a segunda geração de detectores do Ligo entrar em funcionamento. Não desconfiaram que poderia ser um falso resultado positivo? Na verdade, havia várias semanas que estávamos registrando dados, mas em um modo de diagnóstico. Estávamos calibrando os detectores para eles ficarem mais sensíveis. É preciso empurrar os espelhos, simulando sinais em diferentes frequências. Estávamos tentando entender como as medições eram afetadas por ruídos [interferências] externos, sísmicos ou acústicos. Algumas horas antes de detectarmos as ondas, havia gente no laboratório de Livingston averiguando se a frenagem de um automóvel perto do edifício poderia afetar a medição.

E pode?

Sim, se o carro frear muito forte, mas a interferência não ocorre na banda de frequência que medimos, entre 20 hertz e 5 quilo-hertz. Os aviões também afetam, mas em menor medida e também em outras frequências. O ruído sísmico a baixas frequências é bem grande e procuramos formas de neutralizá-lo. A forma como empurramos os espelhos, sobretudo para deixá-los alinhados, pode introduzir ruídos. O ruído quântico da luz é outro problema a ser contornado. O laser é feito



Estamos diante de uma nova astronomia, a das ondas gravitacionais, e descobrindo o lado escuro do Universo

de fótons. Na fotocélula, contamos fótons e há uma incerteza quântica sobre quantos fótons detectamos. Esse ruído é muito conhecido, o *shot noise*. Combatemos o *shot noise* aumentando a potência do laser, usando muitos fótons. Outro ruído que nos limita é o movimento browniano, que é aleatório e produzido porque os átomos se movem e vibram se a temperatura não é zero.

Vocês logo se convenceram de que o sinal detectado em setembro passado eram ondas gravitacionais?

Não de imediato. Primeiro, sabíamos que não era um sinal falso, criado por uma equipe do próprio experimento. Ainda não havíamos aprendido a criar um sinal falso com a segunda geração do Ligo. Ainda assim, passei horas ligando para meus colegas para me certificar de que não era um teste. Podiam ter esquecido de anotar algum teste. O sinal era muito óbvio, bom demais para ser verdade. Tínhamos de nos certificar e eliminar todas as outras alternativas. Demoramos meses para ter certeza absoluta. Tivemos de afinar e revisar todos os códigos e softwares para registrar dados, algo que ainda não tínhamos tido tempo de fazer. Tomou muito tempo analisar todos os registros de magnetômetros, de sismógrafos e de raios cósmicos. Tínhamos de ter certeza de que não havia

ocorrido nada que pudesse ter originado o sinal. Encontramos várias ocorrências que tiveram de ser investigadas a fundo.

Por exemplo?

Encontramos uma tormenta elétrica na África que produziu um dos raios mais potentes que já se registrou com instrumentos modernos. Isso ocorreu segundos antes da detecção das ondas gravitacionais. Mas, com nossas análises, vimos que o raio não estava por trás da nossa detecção. Em paralelo, também tomou tempo interpretar o sinal das ondas gravitacionais, deduzir qual era a massa dos buracos negros, sua energia. Não queríamos ter nenhuma dúvida. Havíamos decidido, antes mesmo de começar a tomar dados com a segunda geração de detectores, que iríamos escrever um artigo e mandar para os revisores quando tivéssemos um possível registro das ondas. Precisávamos ouvir gente externa ao projeto. Somos mais de mil pessoas – todas querendo que o experimento desse certo.

Mas, antes de vocês fazerem o anúncio da descoberta, houve uma segunda e uma terceira detecção de ondas gravitacionais. Isso ocorreu antes de o paper do Ligo ser aceito?

Na verdade, desde o princípio, sabíamos que não tínhamos dados suficientes para excluir a possibilidade de que o sinal de setembro fosse uma flutuação estatística aleatória. Precisávamos registrar ao menos um mês de dados no Ligo, 15 dias para cada detector. Mas o sinal era tão forte que todos pensamos que era difícil extrapolar e saber quantos mais deveriam ocorrer. Então, em 12 de outubro, houve um novo sinal, mas muito fraco. Não servia de confirmação e não nos tranquilizou. Em 26 de dezembro houve outro sinal. Não tão forte como o primeiro, mas era estatisticamente muito significativo. Foi esse o sinal que nos convenceu. Era de um outro sistema de buracos negros, diferente do que havíamos visto. Esse sinal nos deixou mais tranquilos, embora tenha sido preciso mais alguns meses para confirmá-lo.

Mas, quando fizeram o anúncio da descoberta das ondas gravitacionais em fevereiro deste ano, só falaram do primeiro sinal.

Sim. Embora já tivéssemos registrado o terceiro sinal, ainda estávamos anali-



Françoise Cordova, diretora da NSF, David Reitze, diretor executivo do Ligo, e os físicos Gabriela González, Rainer Weiss e Kip Thorne se preparam para anunciar a descoberta das ondas gravitacionais

sando os dados. Não tínhamos certeza de sua natureza.

Se, depois da primeira detecção, não tivessem registrado mais nenhum sinal, vocês iriam divulgar a descoberta assim mesmo?

Sim. Mesmo que não tivéssemos registrado nem o de outubro ou o de dezembro, não teríamos nenhuma razão para não divulgar a descoberta. Todas as evidências que tínhamos era de que se tratava de ondas gravitacionais produzidas por buracos negros. Seria um pouco incômodo se só tivéssemos registrado um sinal, mas anunciaríamos mesmo assim.

Nos três casos, a fonte das ondas gravitacionais está situada em lugares distintos do Cosmos?

Sim, mas os três sinais são consistentes com a hipótese de que foram produzidos por um sistema com dois buracos negros.

Como sabem isso?

O primeiro sinal, de setembro, é mais claro. Qualquer sistema binário, com um par de massas girando – estrelas de nêutrons, anãs brancas, buracos negros ou a Terra e o Sol –, produz ondas gravitacionais oscilatórias. Conforme as estrelas se aproximam, elas giram mais rápido. O período diminui, mas a frequência e a amplitude são maiores. Quando estão próximas o suficiente, fundem-se em um só objeto. Nesse caso, espera-se uma oscilação que cresce e rapidamente decresce. Temos um banco de dados com cen-

tenas de milhares de modelos de sinal. Para cada par de massa distinta, há uma frequência distinta, um sinal distinto. Fazemos uma correlação do modelo com os dados de cada detector em função do tempo. Se encontramos um sinal em um detector, vemos se há, com uma diferença de não mais do que 10 milissegundos (que é a velocidade da luz entre os dois detectores), um sinal consistente com o mesmo modelo. É isso o que chamamos de uma coincidência. Tivemos cerca de mil coincidências nos primeiros meses em que registramos dados na segunda geração do Ligo. A maioria delas não é coincidência astrofísica. São flutuações aleatórias produzidas por um detector. As duas detecções mais fortes, a de setembro e a de dezembro, são muito significativas. É quase impossível que tenham sido produzidas pela flutuação de um detector. Estimamos que pode haver uma coincidência aleatória dessa magnitude a cada 200 mil anos. Já o sinal de outubro é muito menos significativo. Nesse caso, achamos que a cada par de anos pode haver uma coincidência desse tipo sem que seja de origem astrofísica.

Como se diferencia um sinal de um par de buracos negros e outro de um sistema de estrelas de nêutrons?

Pela massa. As estrelas de nêutrons são menores, têm geralmente uma massa solar. No máximo, estima-se que possam ter menos de três massas. Todos os sistemas associados aos sinais que vimos são bem maiores. O menor deles

tem oito massas solares. Então concluímos que devem ser ondas gravitacionais originadas pela fusão de buracos negros.

Como evitar que haja um vazamento de informação em um experimento que envolve tantos pesquisadores? Em janeiro, um pesquisador de fora do Ligo escreveu no Twitter que vocês tinham descoberto as ondas gravitacionais.

Todos nós temos de seguir um termo de confidencialidade até que um anúncio seja feito. Todos os membros do experimento estavam informados do andamento das análises. Apenas em 21 de janeiro nos sentimos seguros para enviar o artigo para publicação. Em dezembro, ainda estávamos investigando a natureza do tal raio na África. Mas as pessoas falam com colegas. Muita gente sabia que havia algo, mas todos tinham cuidado, pois era um dado que precisava ser confirmado. Seria uma vergonha dizer para um jornalista que havíamos descoberto algo e, mais tarde, ter de vir a público para desmentir. Esse anúncio no Twitter foi muito infeliz. Dizíamos aos jornalistas que não havia nada a dizer e que estávamos ainda analisando dados – e estávamos mesmo.

O que ocorre quando os detectores do Ligo registram um sinal que pode ser de ondas gravitacionais? Acende uma luz vermelha, aparece um aviso em um computador?

Temos programas de computador que analisam de forma rápida, mas não tão profunda, os dados para detectar sinais que podem ser de origem astrofísica. Tudo isso é eletrônico. Uma vez que haja um candidato a sinal, aparece em minutos em uma página de internet o alerta. Mas não estávamos prontos para a detecção do dia 14 de setembro.

Vocês não tinham um procedimento interno de injetar dados falsos para verificar se os pesquisadores do Ligo conseguem diferenciar um sinal plantado de um verdadeiro?

Sim, tínhamos uma equipe que fazia isso desde a primeira geração do Ligo. Alguns projetos lançam mão desse tipo de expediente para evitar que a equipe tenha uma atitude inconscientemente comprometida com o resultado que se almeja. No nosso caso, achávamos que estávamos demasiadamente acostumados aos resultados nulos e não estávamos preparados



Os dois observatórios do Ligo têm braços em formato de L com 4 km de extensão, um em Hanford, no estado de Washington, e outro em Livingston, na Louisiana (à esq.)

negros de estrelas que encontramos são muito grandes, de 30 massas solares. Há buracos negros enormes, mas no centro das galáxias. Os buracos negros estelares, acreditava-se, deveriam ter umas poucas massas solares. Pode haver fenômenos desconhecidos que não emitem luz, mas que emitem ondas gravitacionais.

Recentemente, foi assinado um acordo para a construção de um terceiro observatório do Ligo na Índia. Quando ele deve começar a funcionar?

Os Estados Unidos haviam aprovado inicialmente a construção de dois detectores em Hanford e um em Livingston. Depois surgiu a ideia de fazer o terceiro observatório em outro lugar, primeiro na Austrália e depois na Índia. Esse detector já existe e será instalado no observatório que vai ser construído na Índia. Acreditamos que ele só começará a registrar dados em 2024. Antes do Ligo Índia, deve entrar em operação em 2019 um observatório no Japão, o Kagra, que também vai cooperar conosco. Com o Virgo, na Itália, cooperamos desde a nossa primeira geração de detectores. Eles também assinam conosco o artigo deste ano sobre a descoberta das ondas gravitacionais. Então, em algum momento, teremos cinco observatórios de ondas gravitacionais.

Como começou a trabalhar no Ligo?

Em 1989, acabei minha licenciatura em física na Argentina e fui aos Estados Unidos fazer doutorado. Estava estudando a teoria da relatividade. Um professor que tinha acabado de ir para a Universidade de Syracuse, Peter Saulson, falava de como se podia medir com precisão as flutuações do espaço-tempo. Não era física experimental, mas isso me encantou. Naquela época, o Ligo era um projeto para o futuro. Sabíamos que seriam necessários muitos anos para ele começar. Comecei a trabalhar com o Ligo em 1992, quando o projeto foi aprovado nos Estados Unidos. Em 1995, começou a sua construção. Em 1999, ficaram prontos os detectores. Em 2001, passamos a registrar os primeiros dados. Em todo esse tempo, trabalhei em diferentes aspectos do Ligo.

Quando ainda era teórica, trabalhava com qual aspecto da teoria de Einstein?

Buscava soluções para as equações. Quando comecei a trabalhar no Ligo, minha tese foi sobre o movimento browniano

para um resultado positivo. Então, para ajudar esse processo psicológico e científico – afinal, a ciência é feita por seres humanos – enviamos sinais falsos em 2007 e também em 2010, quando trabalhávamos com a primeira geração de detectores. Enviamos em 2007 dois sinais: um marginal, que foi muito discutido por nossa equipe, e outro que simplesmente não vimos, passou despercebido.

Essa não detecção não era por causa da baixa sensibilidade da primeira fase do Ligo?

Não, era porque adotávamos um procedimento em que, primeiro, víamos os dados de mais qualidade e, depois, examinávamos o resto. Mas, em 2007, acabamos esquecendo de ver o resto dos dados. Isso foi uma prova de que não estávamos prontos. Depois em 2010 houve essa injeção de dados falsos, que ficou conhecida como Big Dog. Mais tarde descobrimos que era um sinal falso, mas não estávamos preparados para interpretá-lo.

Vocês fizeram até um paper sobre o Big Dog, não?

Sim, mas esse procedimento estava previsto no projeto. O combinado era não perguntar se o sinal era falso ou verdadeiro e escrever um artigo falando dos dados. Esse processo nos tomou muito mais tempo do que o previsto. Na segunda vez, estávamos preparados para descobrir o sinal, mas não para interpretá-lo, para medir seus parâmetros e dizer

quão grandes eram os buracos negros ou estrelas por trás do sinal.

Depois dos três registros de ondas gravitacionais no ano passado, houve novas detecções?

O Ligo não está fazendo detecções desde janeiro deste ano. Devemos retomar as medições neste mês, provavelmente com uma sensibilidade parecida com a que tínhamos antes, talvez uns 10% melhor. Não fizemos progressos nesse sentido tão rapidamente como queríamos. A segunda geração de detectores do Virgo [observatório de ondas gravitacionais perto de Pisa, na Itália] deve começar a funcionar no próximo semestre. Então, em algum momento do próximo ano, teremos três detectores em funcionamento.

Com a descoberta das ondas gravitacionais, muda o conhecimento do Cosmos?

Tenho a impressão de que esse evento foi como quando Galileu observou o céu com um telescópio e descobriu que Saturno tinha anéis. É algo assim. É ter um instrumento que agora pode ver o céu de uma maneira completamente distinta. Podemos ver buracos negros que não emitem luz. Estamos descobrindo o lado escuro do Universo. Posso dizer que também estamos escutando o Universo. A banda de frequência com que trabalhamos é audível. Com as ondas eletromagnéticas, vemos o Universo. Agora o escutamos também com as ondas gravitacionais. É uma revolução na astronomia. Os buracos

de pêndulos e como ele afeta diferentes frequências. O importante era saber como o movimento browniano, entre todos os ruídos, afetava a banda de frequências em que o Ligo toma dados. O que medimos no Ligo são distâncias entre os espelhos dos detectores. Mas os espelhos são feitos de átomos e ligados por fibras, que têm átomos. Tudo isso vibra. O que era difícil, na minha tese, era medir quanto desse ruído aparecia na banda de frequência do Ligo. Depois de terminar o doutorado em 1995, fui ao MIT [Massachusetts Institute of Technology] trabalhar com o professor Rainer Weiss no grupo do Ligo. Lá trabalhava no desenho dos pêndulos para a primeira geração de detectores.

Esperavam ter ganho neste ano o Nobel de Física pelo descobrimento das ondas gravitacionais?

Não. Na verdade, não sabemos exatamente como é o processo de escolha, quais são os critérios. O bóson de Higgs foi para os autores da teoria, não para os descobridores da partícula. Então, se Einstein estivesse vivo, ele poderia receber o Nobel outra vez pela predição das ondas gravitacionais. Não tivemos nenhuma desilusão por não ter ganho. Mas, claro, ficaria muito contente se algumas das pessoas que trabalham nesse campo há 40 anos recebessem o prêmio.

É a terceira vez que é porta-voz do Ligo. Por que se candidatou ao cargo?

É um cargo para o qual se é eleito. Sempre houve mais de um candidato. Lidero a colaboração científica desde 2011, época em que havíamos terminado de registrar dados com a primeira geração de detectores, mas ainda sem analisá-los totalmente. Me parecia importante que a colaboração não se dissolvesse. Nesse último período em que tenho sido porta-voz, minha prioridade foi estarmos preparados para registrar dados em setembro do ano passado, como realmente fizemos, e nos reorganizarmos para trabalhar de forma mais eficiente. Somos demasiado grandes. A reorganização, contudo, não foi possível de ser feita. Dedicamos muito tempo para nos preparar para tomar dados e, quando começamos, veio a detecção das ondas, o que nos tomou mais tempo ainda. Em março, deixo o cargo.

Há possibilidade de o Brasil participar mais do Ligo?



Não tivemos nenhuma desilusão por não ter ganho o Nobel. Se vivo, Einstein poderia receber de novo o prêmio

Sim. Além de já tomar parte dos experimentos e das análises de dados atuais, penso que o Brasil poderia contribuir para o desenvolvimento de uma terceira geração de detectores, que poderia registrar buracos negros muito mais distantes, ou seja, muito mais velhos, que surgiram no início do Universo. Assim, poderíamos saber como eram os buracos negros ao longo do tempo no Universo. Esse projeto seria muito caro e provavelmente precisaria de uma colaboração ainda mais internacionalizada. Isso me parece uma oportunidade para a América Latina. Por que não poderíamos instalar um detector aqui? Poderia instalar um nos Estados Unidos e outro aqui. Gosto de sonhar com isso.

Para quando seria essa terceira geração de detectores?

Esses projetos demoram décadas. São mais ou menos uns 10 anos para fechar as parcerias e a parte financeira e mais 10 para construí-los. A concepção do Ligo começou nos anos 1970. Acho que hoje não demoraria 40 anos, mas pelo menos uns 20. Um projeto assim não envolve apenas pesquisadores de astrofísica, mas

também engenheiros para o desenvolvimento de tecnologias para uma nova geração de detectores. É algo que gera muitos recursos humanos para a ciência e a tecnologia. Nessa terceira geração, precisaríamos de detectores novos. Não dá para atualizar os atuais. Esses detectores seriam provavelmente maiores, o que os tornaria mais sensíveis. Em vez de 3 ou 4 km, teriam 10 ou 40 km.

Como deve ser o lugar para abrigar um detector assim?

Depende, se ele for de superfície ou subterrâneo. Nesse último caso, ele não precisaria ser tão grande, mas provavelmente seria mais caro. Para um detector de superfície, o ideal é encontrar um lugar plano ou fácil de ser aplainado que tenha baixa sismicidade. Não estamos preocupados com terremotos porque os abalos de terra afetam as medições do observatório independentemente de sua localização. Registramos nos observatórios dos Estados Unidos um terremoto na China ou no oceano Índico. Depois de termos construído os dois observatórios, descobrimos que é melhor estarmos assentados sobre um solo firme e rochoso, que transmite menos os movimentos da Terra. A zona dos oceanos golpeia a costa e produz um ruído microsísmico. Quando se está perto da costa e o solo não é rochoso, a amplitude desse ruído é maior. Também é importante estar perto de um centro com estrutura, internet e recursos humanos.

Quais países da América Latina colaboram com o Ligo?

No momento, só o Brasil. Há dois grupos que colaboram com o Ligo. Um grupo experimental do Inpe, de São Paulo, chefiado por Odylio Aguiar, pesquisa outras maneiras de detectar as ondas gravitacionais, com um detector esférico. Eles têm muita experiência em como suspender objetos com baixo ruído e trabalhar em baixas temperaturas. Esse é o tipo de experiência que levamos para o Ligo. O outro grupo, do Riccardo Sturani, que estava em São Paulo [no IFT-Unesp] e se mudou para o Instituto Internacional de Física de Natal, faz análise de dados buscando sistemas binários. Na América Latina, há muita gente pesquisando a teoria da relatividade e das ondas gravitacionais. Mas não fazemos análise de dados. Espero que isso mude. ■