

## MATERIAIS SOB CONDIÇÕES EXTREMAS

Narcizo Marques Souza Neto  
Ricardo Donizeth dos Reis

**C**ondições extremas são aquelas atualmente consideradas como o limite, a fronteira do conhecimento. Com o avanço tecnológico mundial, o que é considerado um ambiente extremo hoje será em poucos anos algo convencionalmente obtido, com o desenvolvimento de condições experimentais para isso. Com a demanda mundial pelo desenvolvimento e entendimento de materiais com propriedades avançadas, ambientes extremos (de pressão, temperatura e campos elétrico e magnético) têm sido essenciais para suprir essa necessidade. Alguns exemplos de aplicação desses métodos na sociedade moderna vão desde otimizar processos de conservação de alimentos, passando por promover a cristalografia de algumas proteínas, otimizar propriedades de materiais magnéticos, supercondutores e/ou ferroelétricos para aplicações tecnológicas, entender efeitos geológicos com possíveis implicações catastróficas, até o desenvolvimento de novos materiais avançados possíveis apenas em ambientes extremos de outros planetas gigantes.

A pressão é provavelmente a variável termodinâmica com a maior amplitude no universo, oscilando de  $10^{-32}$  atmosferas no espaço intergaláctico até  $10^{31}$  atmosferas no centro de estrelas de nêutrons (Figura 1), tendo assim implicações em todas as áreas do conhecimento e nos mais diversos tipos de materiais avançados – desde os muito leves até os ultradensos. Na natureza são observadas pressões do tipo estática, como a encontrada no centro da Terra ou nas profundezas dos oceanos, e também pressões dinâmicas, como as causadas pelo impacto de meteoros ou de um terremoto que pode originar um tsunami.

Recentemente, se tornou possível, em laboratórios de ponta, usar técnicas de altas pressões para comprimir materiais até o ponto em que os espaçamentos entre os átomos sejam reduzidos por até dois fatores e as densidades aumentem mais de uma ordem de grandeza. Nessas densidades, as mudanças na estrutura eletrônica começam a influenciar nossas noções básicas de interações químicas e ligações atômicas (1). Em resumo, mudanças em estados eletrônicos ocorrem dramaticamente quando átomos são colocados perto uns dos outros. Há, ainda hoje, vários desafios para um completo entendimento de mecanismos físicos da matéria sob forte compressão: é possível prever e controlar o

movimento de elétrons para formar ligações sob pressão? Existem formas totalmente novas de ligações nesses regimes? Os materiais formados nessas condições terão propriedades físicas (eletrônica, magnética e supercondutora) únicas? Esses conhecimentos abrirão novas oportunidades no uso de condições termomecânicas extremas para projetar novas classes de materiais.

Estudar materiais sob condições extremas nos propicia entender uma enorme gama de fenômenos naturais e sintetizar novos materiais, além de possibilitar aplicações em tecnologias de defesa e de geração de energia. Neste artigo nos concentramos em alguns exemplos de áreas de estudos em condições extremas para as quais laboratórios síncrotrons têm grande potencial, considerando também a motivação da comunidade científica brasileira. Além da área de geociências, que tem sido a grande motivadora por desenvolvimentos técnicos em altas pressões e temperaturas nas últimas décadas – devido à necessidade de entender as propriedades dos componentes químicos presentes no interior da Terra nas suas condições naturais de altas pressões e temperaturas –, outras áreas como magnetismo e supercondutividade e materiais baseados em carbono, dentre outros materiais avançados, têm alavancado grande interesse mais recentemente visto o potencial destes para mudar completamente a sociedade e o mundo como conhecemos.

**MAGNETISMO** O ordenamento magnético de materiais é uma propriedade física normalmente bastante influenciada por altas pressões, visto que o contínuo aumento da densidade atômica por meio de uma pressão externa aplicada ao sólido magnético deve eventualmente culminar com a supressão de todas as formas de magnetismo no estado sólido. Isso se dá porque os elétrons no sólido precisam fazer uma escolha entre magnetismo ou ligações atômicas. No entanto, altas pressões podem por exemplo trazer íons 4f em terras raras tão próximos que as suas funções de onda resultarão na formação de

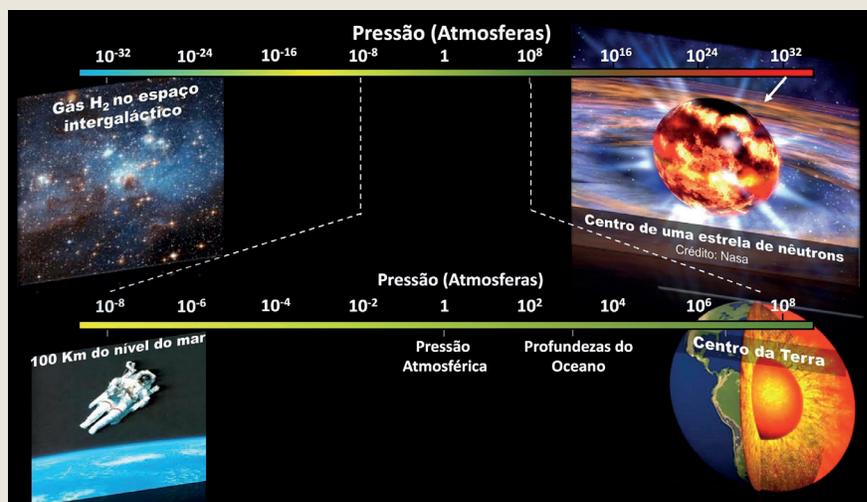


Figura 1. Variações de pressão observadas no universo.

bandas 4f. Durante esse processo de hibridização de bandas eletrônicas, as pressões não suficientes para destruir as propriedades magnéticas afetam fortemente as interações magnéticas de troca. Sejam relativas à interação direta, indireta, de super troca ou RKKY, altas pressões podem fortalecer ou enfraquecer a capacidade de um sólido apresentar alguma forma de magnetismo.

Um bom exemplo disso são os semicondutores ferromagnéticos baseados em európio (Eu) e elementos calcogênios (EuX; sendo X = O, S, Se, Te) (2). Quando sujeitos a altas pressões, a temperatura de ordenamento magnético sobe de 70 K até 200 K no caso de EuO, ou de 16 K até 290 K para o caso de EuS (3). Esse drástico aumento da temperatura de ordenamento magnético até muito próximo da temperatura ambiente (300 K), utilizando altas pressões, abre oportunidades para possíveis aplicações práticas em termos de dispositivos semicondutores baseados em um material ferromagnético, o que possibilitaria, por exemplo, dispositivos eletrônicos que combinariam as funções de processamento e armazenamento de informações de forma ultrarrápida. O entendimento completo do mecanismo que rege essa mudança no magnetismo somente foi possível, porém, utilizando a técnica de dicroísmo circular magnético como função da pressão aplicada, utilizando um laboratório síncrotron para sondar seletivamente as contribuições dos orbitais 5d e 4f como função da pressão aplicada (2).

**SUPERCONDUTIVIDADE** A descoberta do fenômeno da supercondutividade aconteceu em 1911, quando foi observado que em temperaturas mais baixas que 4 K o mercúrio conduzia eletricidade sem nenhuma resistência. Desde então, a busca por mecanismos que permitam aumentar essa temperatura de transição ( $T_c$ ) de modo a aumentar o potencial de aplicabilidade desse fenômeno tornou-se um dos grandes desafios modernos na física. A descoberta de um material supercondutor em temperaturas próximas da ambiente mudaria completamente a sociedade moderna, visto que todas perdas de energia pelo efeito de resistência elétrica (seja em eletrodomésticos, motores, eletrônicos, indústrias, transportes etc.) seriam eliminados. Além de propiciar, por exemplo, equipamentos de ressonância magnética de muito mais alta performance a custos mais baixos.

Nessa área, a aplicação de pressão pode aumentar/diminuir instabilidades estruturais (presentes em todos os materiais supercondutores de alta  $T_c$ ) promovendo variações nas propriedades básicas que determinam a supercondutividade em um material. A uma pressão alta o suficiente praticamente qualquer estrutura cristalina se torna instável e é transformada em uma estrutura de maior densidade e, frequentemente, de maior simetria. Por exemplo, dentre os elementos da tabela periódica a aplicação de pressão fez com que o número de elementos supercondutores aumentasse de 29 (a pressão ambiente) para 52 sob pressão aplicada.

Em supercondutores convencionais as vibrações na rede cristalina de um material ligam elétrons em pares, os quais podem fluir sem resistência. Em princípio, considera-se que os elementos mais leves sejam melhores candidatos a se tornarem supercondutores porque

os seus átomos podem vibrar em frequências mais altas, facilitando a supercondutividade a temperaturas mais elevadas. Nesse sentido, previa-se que alguns materiais como o hidrogênio teoricamente poderiam apresentar uma fase supercondutora em temperaturas tão altas quanto a temperatura ambiente (4). No entanto, a temperatura crítica mais elevada alcançada experimentalmente entre os materiais leves era de 39 K no diboreto de magnésio ( $MgB_2$ ), que é bastante inferior à temperatura de 164 K reportada para os óxidos de cobre. Mais recentemente, Eremets (5) e seu grupo mostraram que os sulfetos de hidrogênio ( $H_2S$ ), quando submetidos a 150 GPa, se tornam supercondutores abaixo de 203 K. Eles propõem que, sob pressão, o sulfureto de hidrogênio se decompõe e muda de  $H_2S$  para  $H_3S$  com o surgimento de supercondutividade convencional originada através das vibrações da rede cristalina. Tal descoberta nos remete à ideia de que pode ser possível conseguir um material supercondutor a temperatura ambiente desde que se aplique pressão alta o suficiente, uma vez que não existe limitação teórica para isso. Essa nova possibilidade tem renovado o interesse pela área de física com técnicas de altas pressões, visto o grande impacto que pode trazer à sociedade.

**MATERIAIS BASEADOS EM CARBONO** Nanotubos de carbono, grafeno, polímeros avançados, compostos medicamentosos, proteínas e outros, são exemplos de materiais baseados em carbono que têm alavancado grande interesse da comunidade científica devido às suas várias aplicações em diferentes áreas de grande importância para a sociedade. O efeito da pressão aplicada nas propriedades desses materiais tem atraído atenção na comunidade científica, já que algumas funcionalizações ou rotas de produção apenas podem ser acessadas em condições de alta pressão. Isso acontece em particular na cristalização e modificação de algumas proteínas sob efeito de pressão aplicada (6). O uso de altas pressões também tem auxiliado na compreensão seletiva de nanotubos de carbono com parede dupla e tripla, principalmente pelo grupo de pesquisa na Universidade Federal do Ceará (7, 8, 9). Estudos de medicamentos (como betacaroteno, ácido acetilsalicílico, dentre outros) nas condições de altas pressões também têm sido desenvolvidos recentemente por vários grupos no Brasil. Em relação aos materiais orgânicos, até mesmo o processamento de comida em “ultra altas pressões” tem atraído grande interesse desde a década de 1980 (10) e continua com grande atividade e implicações até hoje. Nessa área de materiais grande esforço é concentrado em pressões não tão extremas, com muitos estudos na faixa de até 30 GPa (300 mil atmosferas), uma vez que a estrutura cristalina desses compostos normalmente é destruída em altas pressões (o composto se transforma em amorfo).

Por outro lado, a pressão em conjunto com alta temperatura é também utilizada para sintetizar materiais ultraduros de forma única. Exemplos são os diamantes nanopolicristalinos sintetizados diretamente a partir de grafite, fulereno e grafeno (9, 11, 12), o que tem atraído grande interesse recentemente devido às suas propriedades (principalmente dureza) terem melhor performance que as dos dia-

mantes naturais. Esse material é também um exemplo de composto que, apesar de não ser encontrado no nosso planeta, possivelmente poderia ser comum em outros planetas maiores onde essas condições de pressão e temperatura são mais facilmente encontradas. O estudo de materiais similares a esse tem sido realizado no Brasil nas últimas décadas pelo grupo de altas pressões da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde o trabalho de João Alziro Herz da Jornada e seu grupo foi um precursor de altas pressões no Brasil. A utilização de técnicas de difração de raios X em laboratórios síncrotrons tem sido essencial para entender qual o comportamento cristalino desses materiais como função da pressão aplicada.

**TÉCNICAS DE ALTAS PRESSÕES** Os estudos de materiais em condições de altas pressões são conduzidos a partir de três principais classes de desenvolvimentos técnicos. O mais difundido entre eles baseia-se em colocar a amostra entre duas bigornas de diamante com uma ponta de área muito pequena. A uma dada força exercida sobre a bigorna, quanto menor a área da sua ponta maior será a pressão aplicada sobre a amostra (Figura 2). Outra estratégia comumente utilizada em processos de síntese em altas pressões é utilizar grandes prensas hidráulicas (14) para aplicar altas pressões em amostras de grandes dimensões (até alguns centímetros) utilizando uma grande força aplicada. Enquanto esses dois métodos são aplicados para estudar materiais sob condições estáticas de pressão aplicada, um terceiro método pode ser empregado para estudar materiais em condições dinâmicas de pressões aplicadas utilizando a incidência de ondas de choque, o que produz pressões de ordens de grandeza maior que nos dois primeiros métodos.

Células de bigorna de diamante (DAC, do inglês *diamond anvil cell*) têm impulsionado a área de altas pressões desde a década de 1980, sendo hoje possível alcançar pressões mais altas que as encontradas no

centro da Terra (365 GPa e 5500°C). Técnicas recentes, como o uso dos raios X para obter informações de estruturas eletrônicas, atômicas e magnéticas, adaptadas a aparatos experimentais com DAC, fornecem um bom nicho de pesquisa ainda pouco explorado no mundo. Para isso, o feixe de raios X pode incidir na amostra através dos diamantes ou através da gaxeta metálica (Figura 2). Em ambos os casos a limitação para atingir altíssimas pressões é o tamanho da focalização do feixe de raios X, que define quão pequena é a área da ponta do diamante que pode ser usada. No LNLS, atualmente, é possível usar feixes tão pequenos quanto 0.1 mm, o que deve permitir experimentos de até no máximo 80 GPa. Na futura fonte de luz síncrotron – Sirius – será possível atingir feixes tão pequenos quanto 80nm, o que possibilitará experimentos a pressões tão altas quanto os desenvolvimentos na técnica de células de diamante permitirão (hoje é possível atingir >800 GPa estaticamente com células de diamante).

Outro dispositivo utilizado para gerar altas pressões em laboratório é um arranjo de múltiplas bigornas em conjunto com uma grande prensa hidráulica (14), que possibilita experimentos nos quais o volume pressurizado é da ordem de centímetros cúbicos (células de bigorna de diamante, por sua vez, possuem volume pressurizado da ordem de dezenas de micrômetros cúbicos). Essa classe de equipamento é essencial para, por exemplo, produzir amostras em condições de altas pressões e temperaturas, como diamantes nanocristalinos (11). Como a definição de pressão é a relação da força pela área, para se atingir altas pressões em um grande volume é necessário aplicar uma grande força no sistema. Isso é possível usando prensas hidráulicas industriais de 1000 a 6000 toneladas (10 a 60 MN). Altas temperaturas são alcançadas através de um sistema de resistências elétricas em contato com um material condutor envolvendo a montagem da amostra. Além de uma pressão hidrostática, também é possível usar o mesmo arranjo para causar deformações e tensões na amostra (15). Em laboratórios

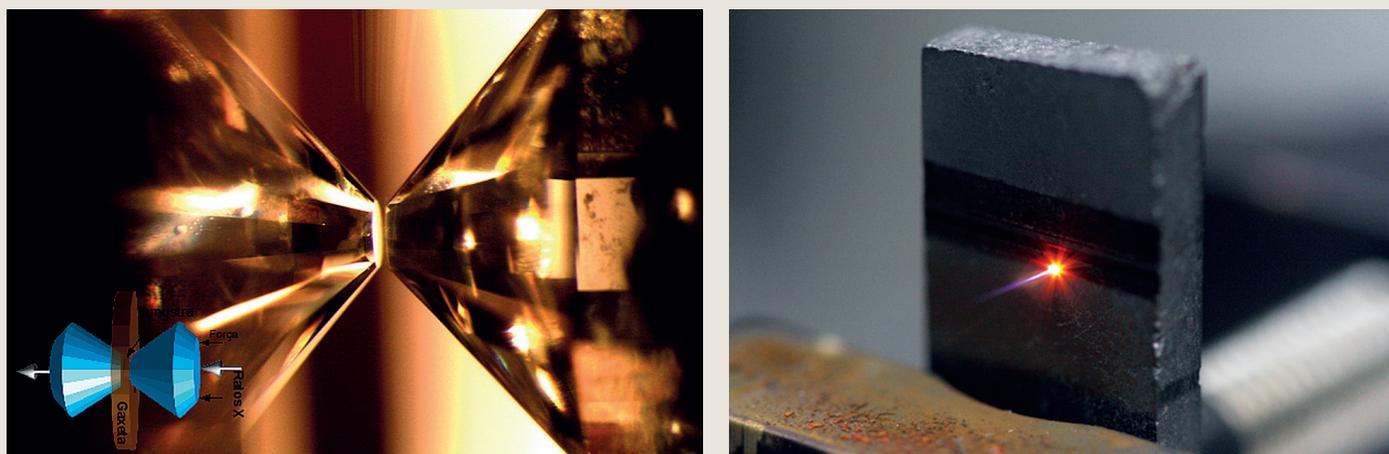


Figura 2. À esquerda, um esquema e foto de bigornas de diamante utilizadas para experimentos em altas pressões, onde a força é convertida em pressão numa área pequena nas pontas dos diamantes. À direita, foto de experimento conceito de onda de choque utilizando laser de alta potência e pulsos ultracurtos para induzir altas pressões e temperaturas na superfície de grafite

síncrotron, essa metodologia é empregada para acompanhar a síntese *in situ* de materiais sujeitos a altas pressões e temperaturas utilizando difração de raios X, bem como para a realização de experimentos de tomografia de raios X com resolução micrométrica de amostras sujeitas a altas pressões aplicadas (13).

Enquanto esses métodos para alcançar altas pressões na amostra estudada utilizam métodos de compressão estática, é também possível realizar experimentos de compressão dinâmica nos quais as altas pressões (e também as altas temperaturas) podem ser alcançadas por meio do impacto de ondas de compressão dinâmica ou ondas de choque, que são direcionadas ao material através de uma rápida deposição de energia – por meio de explosivos, lasers ou feixes de partículas. Esse método é baseado nas relações de Rankine-Hugoniot (16) que relacionam parâmetros dinâmicos com variáveis termodinâmicas. Nesses casos a taxa de deposição de energia irá determinar o máximo de pressão da onda de choque. O método de compressão dinâmica já demonstrou em laboratórios ser capaz atingir pressões e temperaturas mais altas que 1 TPa ( $=10^7$  atmosferas) e 50.000 K respectivamente (17).

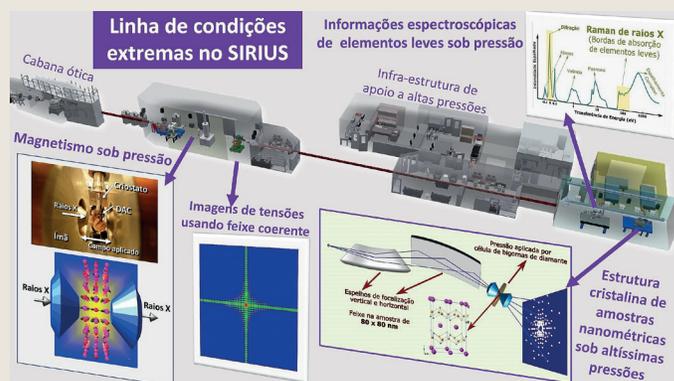
Em pressões e temperaturas extremas, tais como as encontradas dentro de planetas e estrelas, materiais comuns formam novas fases com arranjos atômicos compactos e propriedades físicas intrigantes. A síntese e o estudo de novas fases da matéria em pressões acima de 100 GPa e temperaturas acima de 10000 K podem revelar detalhes funcionais dos interiores de outros planetas e estrelas, levando à descoberta de materiais com propriedades extraordinárias para aplicação cotidiana. Recentemente, um experimento de prova de conceito (esquemático na Figura 2) realizado em parceria entre o LNLS (Laboratório Nacional de Luz Síncrotron) e o IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares) mostrou ser possível gerar diamantes nano estruturados a partir de grafite comum usando ondas de choque geradas por um laser de alta potência e pulso ultracurto, que gerou uma pressão de 15 GPa e temperaturas de aproximadamente 2500°C (18).

Essas várias possibilidades de métodos e aplicações de técnicas de altas pressões, para o estudo de propriedades de materiais quando sujeitos a condições extremas, levou a equipe do LNLS a propor a construção de uma linha de luz para estudos em condições extremas na nova fonte de luz síncrotron, Sirius, como descrito a seguir.

**LINHA DE CONDIÇÕES EXTREMAS** A linha de condições extremas que está sendo construída no Sirius foi pensada de forma a aproveitar a baixa emitância da fonte, para permitir feixes de raios x focalizados a tamanhos entre 80 nanômetros até 5 micrômetros com um fluxo de fótons altíssimo ( $10^{13}$  fótons/s) chegando na amostra. Isso será essencial para possibilitar diversos experimentos em condições extremas de pressão e temperatura utilizando células de bigorna de diamante. Considerando as necessidades para a resolução de problemas científicos de fronteira em condições extremas, nessa linha de luz será possível utilizar vários tipos de técnicas de raios x nas condições extremas de pressão, temperatura e campo magnético, como esquematicamente apresentado na Figura 3.

As duas principais técnicas implementadas nessa linha são experimentos de difrismo circular magnético e espectroscopia de absorção de raios X em condições de altas pressões (até 250 GPa), baixas temperaturas (1.6 K) e altos campos (11 T), e experimentos de difração de raios X em condições de altas pressões (> 400 GPa) e altas temperaturas (>6000 K) utilizando um feixe focalizado a tamanhos de até  $80 \times 80 \text{ nm}^2$ . Essas duas técnicas serão fortemente correlacionadas visto que em materiais magnéticos, por exemplo, ambas são essenciais para entender a física dos materiais objetos de estudo (2). Outra técnica que está sendo implementada é a de espalhamento inelástico de raios X com resolução de energia média (0.4 eV) para sondar bordas de absorção de elementos leves (19, 20) como o boro, por exemplo, em condições de altas pressões em um material *bulk*. Tal técnica será essencial para toda a comunidade brasileira com interesse em materiais baseados em carbono, por exemplo, não somente em condições de altas pressões, mas também em condição ambiente. Por fim, o alto fluxo de fótons coerentes nessa linha de luz possibilitará utilizar a técnica de imagem por difração coerente (CDI) em amostras dentro de células de bigorna de diamante para sondar mapas de tensões nanométricas em cristais quando sujeitos a altas pressões (21, 22). A gama de possibilidades abertas com essas instrumentações deve certamente impulsionar a comunidade brasileira em altas pressões de forma singular.

É necessário ter em mente, no entanto, que um instrumento apenas não é suficiente para produzir resultados científicos inovadores. Para isso, são essenciais o envolvimento e a participação da comunidade científica. Nesse sentido, nos últimos anos, várias ações estratégicas têm sido realizadas na comunidade de altas pressões no Brasil: dois workshops internacionais foram realizados no LNLS, como tentativa para fomentar uma maior comunicação da comunidade brasileira nessa área, tendo em mente os grandes desafios atuais no mundo; um projeto INCT (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia) na área de altas pressões coordenado por João Alziro Herz da Jornada foi



**Figura 3. Linha de condições extremas (EMA) no Sirius. Layout do projeto identificando as técnicas possíveis: difrismo magnético, difração de raios X, raman de raios X e imagem por feixe coerente, sendo todas possíveis em condições de altas pressões utilizando células de bigorna de diamante**

recomendado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico); estão sendo organizados simpósios anuais da área de altas pressões dentro da reunião anual da SBPMat (Sociedade Brasileira de Pesquisa em Materiais); a conferência internacional AIRAPT, a maior do mundo na área de altas pressões, será realizada no Rio de Janeiro, em 2019. Com todas essas iniciativas e com a abertura da linha de condições extremas no Sirius, em 2019, as comunidades brasileira e mundial poderão desfrutar de oportunidades únicas para resolver problemas científicos em condições extremas de forma nunca antes possível em outros lugares. Assim, essa nova linha de luz já começa a ser vista pela comunidade brasileira não apenas como uma grande oportunidade de pesquisa, mas também como um catalisador e elo de união para fomentar um grande futuro para a comunidade científica em condições extremas no Brasil.

*Narcizo Marques Souza Neto é físico e pesquisador no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), em Campinas. Recebeu em 2015 o prêmio Dale Sayers Award da sociedade internacional de XAFS.*

*Ricardo Donizeth dos Reis é físico, realizou as pesquisas de seu doutorado no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) e o seu estágio de pós-doutorado no Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids em Dresden, Alemanha.*

## REFERÊNCIAS

1. Ashcroft, N. W. *Proceedings of the International School of Physics Course CXLVII*, 2002.
2. Souza-Neto, N. M. et al. *Physical Review Letters*, v.102, 057206, 2009.
3. Rupperecht, K. Tese de doutorado, 2004.
4. Ashcroft, N. W. *Physical Review Letters*, v.21, n.26, p.1748-1749, 1968.
5. Drozdov, A. P. et al. *Nature*, 525, p.73-76, 2015.
6. Fourme et al. *Journal of Synchrotron Radiation* 18, p. 31-6, 2011.
7. Andrade et al. *Journal of Physical Chemistry*, 119, p. 10669-76, 2015.
8. Alencar et al. *Journal of Physical Chemistry*, 118, p. 8153-8, 2014.
9. Lim et al. *Nature Communication* 4, 1556, 2013.
10. Hendrickx and Knorr. *Ultra high pressure treatment of foods*, Springer US, 2001.
11. Irifune, et al. *Nature*, 421, 600, 2003.
12. Dubrovinskaia et al. *Diamond & Related Materials*, 14, 16, 2005.
13. Y. Wang et al. *Review of Scientific Instruments*, 76, 073709, 2005.
14. Liebermann, R. C. *High Pressure Research*, 31, 493, 2011.
15. Wang et al. *Review of Scientific Instruments*, 74, 3002, 2003.
16. Mitchell and Nellis. *Journal of Chemical Physics*, 76, 6273, 1982.
17. McWilliams et al. *Science*, 338, 1330, 2012.
18. Maia F. C. B. et al. *Scientific Reports* 5, 11812, 2015.
19. Mao, W. L. et al. *Science*, 302, 425, 2003.
20. Sahle et al. *Journal of Synchrotron Radiation*, 24, p. 269-275, 2017.
21. Robinson, I.; Harder, R. *Nature Materials*, 8, 291, 2009.
22. Yang, W. et al. *Nature Communications* 4, 1680, 2013.

## NOVOS MATERIAIS

Eduardo Granado

Uma parte relevante da pesquisa com luz síncrotron é realizada em novos materiais. Desde os tempos mais remotos até a atualidade, o progresso de civilizações e nações tem sido em boa parte ancorado na descoberta ou desenvolvimento de materiais que permitam a criação de tecnologias visando ganhos de eficiência em processos já existentes ou ainda de novos processos que sequer poderiam ser vislumbrados anteriormente. Alguns exemplos clássicos são o desenvolvimento do bronze no milênio 4 a.C., possibilitando ferramentas e armas mais duras e resistentes; e do concreto na Roma Antiga, que permitiu a construção de novas estruturas. Exemplo mais recente foi a descoberta, com a participação do físico brasileiro Mário Baibich, da magnetorresistência gigante – em outras palavras, de uma resistência elétrica fortemente dependente do campo magnético, em multicamadas de filmes finos magnéticos de Fe e Cr (1). Esse achado desencadeou uma intensa atividade de pesquisa que culminou no desenvolvimento de dispositivos de memória magnética mais compactos, levando à atual miniaturização de dispositivos eletrônicos cujo símbolo mais emblemático são os *smartphones*.

No desenvolvimento de novos materiais modernos, a caracterização das estruturas geométricas formadas pelas ligações dos átomos com seus vizinhos e a dinâmica de vibração dessas ligações químicas na escala atômica (da ordem de  $10^{-10}$  m), seus agrupamentos e conformações moleculares em escala nanométrica ( $10^{-8}$ - $10^{-9}$  m), sua microestrutura ( $10^{-5}$ - $10^{-7}$  m), bem como o conhecimento das energias dos elétrons que compõem o material (i.e., sua estrutura eletrônica), são de grande importância para a compreensão das propriedades dos materiais e otimização para uma determinada aplicação. Para isso, experimentos envolvendo técnicas de espalhamento, difração e absorção da luz síncrotron pelos materiais são essenciais.

Desde o início da operação do laboratório em 1997, usuários do LNLS (Laboratório Nacional de Luz Síncrotron) têm produzido um grande número de estudos em novos materiais. Tais pesquisas envolvem, por exemplo, materiais bidimensionais ou com superfície nanoestruturada, óxidos cerâmicos, ligas metálicas, compostos intermetálicos, bem como nanopartículas de diversas composições, formas e tamanhos, apresentando uma gama de propriedades com potenciais aplicações tecnológicas e/ou fenômenos interessantes que em muitos casos ainda não foram inteiramente compreendidos. Considerando o grande número de materiais estudados e grupos de pesquisa envolvidos, não é possível neste texto fazer justiça e mencionar todos, ou sequer um número significativo de contribuições relevantes feitas por usuários do LNLS nos últimos anos. Ainda assim, uma pequena amostra de estudos publicados em 2016 nos permite ter uma visão, mesmo que limitada, das atividades na área.