



REVISTA DA

sbfoton

Vol. 1 - Set/2022

ISSN 2966-0726



Foto: Grupo de Óxidos Semicondutores (GOx) - UFSCar



Revista de divulgação
científica da Sociedade
Brasileira de Ótica e Fotônica

Expediente

Editor-chefe

Marcio Peron Franco de Godoy

Colaboradores

Camilla Teodoro

Bruno Rafael Caldeira

Autores dos artigos

Eduardo S. Rosa, Francisco M. Smolka, Gabriel R. da Ascensão, Luís A. M. Barêa, Patricia A. da Ana, Rafael C. Figueiredo, Sergio Machado Rezende, Tiago Sutili e Yesica R. R. Bustamante.

Diretoria SBFoton

Presidente: Alexandre de Almeida Prado Pohl/ UTFPR

Diretor Administrativo: André Luiz Nunes de Souza/ Infinera

Diretor de Relações Institucionais: Claudio Costa Motta/ USP

Diretor de Relações com Empresas: Alberto Paradisi/ Fundação CPqD

Diretor de Eventos: Uira Celine de Moura/ NKT Photonics

Diretor de Publicações: Marcio Peron Franco de Godoy/ UFSCar

Diretor de Educação: Manuel Steidle/ Fundação CERTI

ISSN 2966-0726

Os artigos publicados nesta Revista representam a visão e opinião dos autores e podem não representar a opinião da Editoria da Revista.

ENDEREÇO: Cidade universitária Zeferino Vaz, Av. Albert Einstein, 400.
Distrito de Barão Geraldo, CEP 13083-852 - Campinas - SP

Carta do Editor

A ótica e fotônica são um campo fértil do ponto de vista tecno-científico cujas proporções aumentaram sensivelmente nos últimos anos devido às aplicações em diversas áreas do cotidiano, como saúde, telecomunicações, processos industriais e novos produtos comerciais. Enquanto muitos aspectos são tratados em periódicos especializados, a SBFoton notou a ausência de um veículo de disseminação do conhecimento que incluísse, além de técnicos e cientistas, uma parcela significativa da sociedade. Para preencher esta lacuna, elaboramos este primeiro número da Revista da SBFoton, convidando especialistas do ramo para, em artigos curtos, guiar este esforço singular. O leitor perceberá ao “folhear” estas páginas, ainda que em um navegador, a abordagem de temas diversos que essa área fascinante exhibe.

A divulgação de ciência e tecnologia em linguagem acessível permite uma interlocução mais efetiva entre sociedade, academia e indústria, além de ser uma ferramenta primordial no combate ao negacionismo presente em diversos discursos. Agradecemos aos autores deste primeiro número que aceitaram o desafio, à diretoria e presidência da SBFoton pelo apoio, em especial ao prof. Alexandre Pohl, e aos estagiários Camilla Teodoro e Bruno Caldeira pela formulação e edição do formato.

Esperamos que esta iniciativa prospere e que a revista, que seguirá em constante construção, agrade aos leitores.

Ótima Leitura,
Marcio Peron Franco de Godoy



*Marcio Peron Franco de Godoy,
Editor-Chefe*

Mensagem do Presidente

Com imensa satisfação e orgulho a Sociedade Brasileira de Ótica e Fotônica lança o primeiro número de sua revista. Tal publicação nasceu da necessidade de divulgarmos, em caráter informativo e didático, fatos e acontecimentos relevantes do mundo da fotônica e de interesse de nossos associados e público em geral. Com significativos avanços alcançados ao longo das últimas décadas, a área de conhecimento que denominamos fotônica abrange não somente o estudo da interação da radiação eletromagnética com a matéria, mas também uma vasta gama de aplicações, que se estendem desde o desenvolvimento de emissores de radiação coerente (lasers) e não-coerente, de fibras óticas, das comunicações óticas, de sistemas para geração de energia fotovoltaica, até a criação de técnicas avançadas para monitoração de parâmetros ambientais e biológicos e o tratamento de doenças como o câncer.

Gostaria de agradecer nosso diretor de publicações e editor responsável, Prof. Marcio Godoy, da Universidade Federal de São Carlos, pelo seu entusiasmo e dedicação ao propor e levar a cabo a ideia desta revista, que hoje se torna realidade. Não menos, agradeço também a importante contribuição dos autores presentes neste número inicial que nos prestigiaram com seus artigos. Finalmente, desejo a todos uma agradável e estimulante leitura, fazendo votos para que esta publicação tenha uma vida longa e alcance o maior número de leitores e de interessados no mundo da Fotônica.

Cordiais Saudações,
Prof. Alexandre Pohl
Presidente da SBFoton



*Alexandre Pohl,
Presidente da SBFoton*

SUMÁRIO

3

Carta do Editor

4

Mensagem do Presidente

6

Notícias da SBFoton

7

A saga na Ciência no Brasil

11

Diagnóstico osteoporose com luz: uma nova abordagem, sem complicações

15

Moléculas fotônicas e seu impacto na Fotônica Integrada e em sensores ópticos

20

Inteligência Artificial em Comunicações Ópticas

24

40 anos da Fibra Óptica brasileira

Notícias SBFoton

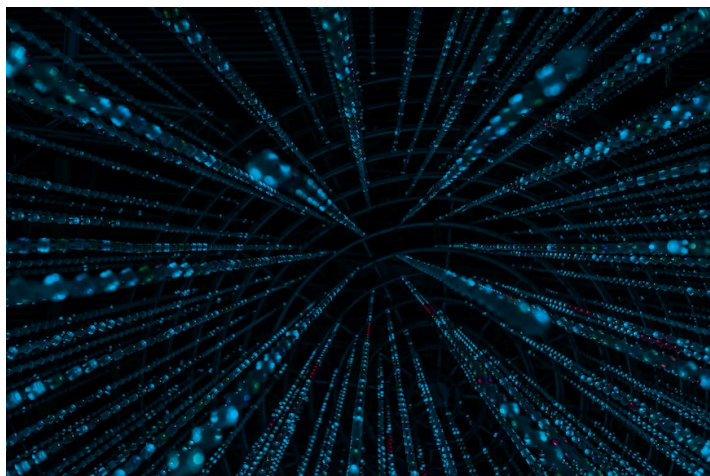


A SBFoton, fundada em 2017, é pessoa jurídica de direito privado, sob a forma de associação civil sem fins lucrativos, exclusivamente de caráter científico, tecnológico e de inovação. Seus objetivos são o incremento da pesquisa e inovação em ótica e fotônica e a criação no Brasil de um ambiente propício ao seu desenvolvimento.

Seus associados são docentes, pesquisadores, empresários, engenheiros, técnicos, estudantes e empresas, todos interessados no estudo, desenvolvimento e aplicação da luz em diversas áreas do conhecimento.

Você também pode ser parte desta sociedade.
Associe-se em:

<https://www.sbfoton.org.br/associese>



Newsletter

A *Newsletter da SBFoton* é um veículo de comunicação quinzenal com as principais notícias de Ótica e Fotônica do Brasil e do mundo. Com mais de 100 edições, conta com editorias especializadas em biofotônica, comunicações e redes óticas, lasers, ótica e instrumentação, ótica integrada e sensores. Além das notícias técnicas, divulga também convites para eventos, conferências e oportunidades profissionais e acadêmicas.

Acesse as edições anteriores e assine nossa newsletter.

Eventos

Periodicamente, a SBFoton realiza eventos de forma presencial e remota. Destacam-se o encontro anual SBFoton Conference e os *webinars*. No caso dos eventos remotos, sua acessibilidade é aberta na página: <http://www.sbfoton.org.br/eventos/outros>

A saga na Ciência no Brasil

Sergio Machado Rezende, Professor Emérito da Universidade Federal de Pernambuco, foi Ministro da Ciência e Tecnologia (2005-2010) no Governo do Presidente Lula.

Em 1960, quando o transistor completava 12 anos de sua invenção por físicos e já era um produto comercial que começava a revolucionar a eletrônica, e o laser também já tinha sido inventado, o Brasil tinha apenas cerca de uma dúzia de físicos do estado sólido. As áreas de ciências agrárias, biológicas e da saúde tinham muito mais cientistas, mas eles não passavam de algumas centenas. A pesquisa científica era restrita a alguns centros de pesquisa e algumas faculdades, pois não havia nas universidades regime de tempo integral para docentes nem programas de pós-graduação. Também não haviam engenheiros ou especialistas em setores básicos da indústria, nosso parque industrial era incipiente e não existia cultura de inovação nas empresas. Desde então o quadro da ciência no País mudou completamente. Neste artigo apresentaremos uma breve história da ciência no Brasil contextualizando o grande progresso feito nas últimas décadas e as dificuldades dos últimos anos.

Um passo muito importante na construção do Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNTCI) foi a reforma do sistema federal de ensino superior iniciada em 1968, com a reestruturação das universidades federais, a criação dos regimes de tempo integral e de dedicação exclusiva para docentes e a institucionalização da pós-graduação. Alguns anos antes, o BNDE tinha criado o FUNTEC para financiar os primeiros programas de pós-graduação modernos em engenharia e ciências exatas, provendo recursos para remunerar professores em tempo integral e custear instalações e atividades de pesquisa. Também na mesma

época foi criada a FAPESP, que passou a apoiar a pesquisa e a pós-graduação no estado de São Paulo. Durante as décadas de 1970 e 1980, o CNPq e a CAPES, ambas fundadas em 1951, junta-mente com a FINEP, criada em 1967 e que passou a gerir o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) quando este foi criado em 1971, implantaram diversas modalidades de apoio financeiro para a pesquisa e a pós-graduação que se tornaram bem estabelecidas e conhecidas da comunidade científica e tecnológica.

O CNPq concedia bolsas e auxílios solicitados individualmente pelos candidatos na forma de demanda espontânea, em prazos estabelecidos em calendário anual. As principais modalidades de bolsas eram: iniciação científica, para estudantes de graduação; mestrado e doutorado, para estudantes de pós-graduação; e bolsas de pesquisa para pesquisadores de universidades e de instituições de pesquisa (como complementação salarial). Os auxílios contemplavam, principalmente, o desenvolvimento de projetos de pesquisa, a realização de eventos (congressos, conferências, etc) e viagens ao exterior, tanto para programas de formação e estágios, como para participação em eventos científicos.

O BNDE, com o FUNTEC, e posteriormente a FINEP, com o FNDCT, concediam financiamentos não-reembolsáveis para centros, institutos ou departamentos acadêmicos, com recursos para obras e reformas físicas, aquisição de equipamentos, material permanente e de consumo e outros custos das atividades de pesquisas, inclusive pagamento de pessoal técnico. Não ha-

via calendário fixo: em qualquer época a instituição interessada apresentava uma carta-consulta que, uma vez aprovada, habilitava a formalizar a proposta de financiamento. Esta modalidade de apoio financeiro institucional proporcionou a criação ou a consolidação de centenas de unidades de pesquisa e de pós-graduação nas décadas seguintes.

Enquanto isso, a CAPES dedicava a maior parte de seu esforço para apoiar os programas de pós-graduação, basicamente através da concessão de bolsas de mestrado e doutorado, como também desenvolvia uma competente sistemática de credenciamento e avaliação dos cursos de pós-graduação. Um fato importante nas décadas de 1980 e 1990 foi a criação de fundações estaduais de apoio à pesquisa (FAPs) no Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Pernambuco, todas inspiradas pelo sucesso da FAPESP.

Ao ser criado em 1985, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) absorveu em sua estrutura a FINEP, o CNPq e seus institutos de pesquisa. O MCT conseguiu recuperar, parcialmente, os recursos do FNDCT que haviam sido reduzidos substancialmente em relação aos maiores níveis da década de 1970. Contando com um maior volume de recursos, o CNPq e a CAPES passaram a conceder bolsas de pós-graduação de forma institucional, aprovando cotas para as instituições credenciadas que, por sua vez, se encarregavam de selecionar os candidatos.

O final da década de 1980 e o início dos anos 1990 foram marcados por grande instabilidade na estrutura de gestão de C&T do Governo Federal, tendo o MCT sido extinto e recriado mais de uma vez. Em 1991, a CAPES foi extinta, mas foi recriada depois da mobilização da comunidade científica. No

CNPq, o número de bolsas passou a diminuir anualmente a partir de 1995, enquanto o programa de auxílios à pesquisa foi interrompido em 1997. Nesse mesmo ano, a FINEP rescindiu os convênios institucionais em vigor, face à drástica redução dos recursos do FNDCT.

Somente no final dos anos 1990 o quadro melhorou, com a retomada dos auxílios do CNPq por meio do edital universal, e a criação dos programas Institutos do Milênio e PRONEX, e principalmente o advento dos Fundos Setoriais de Ciência e Tecnologia. Criados a partir de 1999, eles são formados por contribuições compulsórias de empresas de vários setores da economia e incorporados ao FNDCT. Com a criação dos fundos setoriais, a comunidade científica imaginou que o FNDCT passaria a ter recursos crescentes assegurados, mas infelizmente isto não ocorreu. Em 2001, o governo federal passou a usar o artifício do contingenciamento, medida pela qual parte dos recursos arrecadados nos fundos setoriais e alocados ao FNDCT é retida para melhorar o *superavit* fiscal.

No período de 2004 a 2014, o MCT formulou e implantou uma Política e um Plano Nacional de CT&I, tendo como objetivos o estabelecimento e a consolidação de um novo aparato institucional para a promoção de ciência, tecnologia e inovação, a partir da adoção de novos marcos legais e reguladores e do fortalecimento de mecanismos, instrumentos e programas de financiamento. Estas medidas foram acompanhadas de uma vigorosa e sem precedentes expansão dos recursos financeiros para o SNTCI.

A Política e do Plano de CT&I tinham quatro prioridades estratégicas: I- Expansão e Consolidação do SNTCI; II- Promoção da I-

novação Tecnológica nas Empresas; III- Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em Áreas Estratégicas; e IV- Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Social. Estas prioridades eram expressas em 21 linhas de ação que compreenderam 87 programas, todos com objetivos claros, institucionalidade, metas e orçamentos. Como parte dos instrumentos para viabilizar as metas do Plano, o contingenciamento do FNDCT foi gradualmente diminuído e em 2010 foi eliminado, enquanto os orçamentos do CNPq e da CAPES foram ampliados. Com isso, o orçamento total do Plano executado no período 2007-2010 atingiu cerca de R\$ 70 bilhões em valores de 2022.

O aumento dos recursos possibilitou uma forte expansão nos programas de pós-graduação, de modo que o número de mestres e doutores formados anualmente cresceu continuamente até 2019. O apoio para infraestrutura e custeio da pesquisa também cresceu muito, com recursos concedidos através de editais diversos para selecionar projetos de grupos e redes de pesquisa, para a ampliação do PRONEX, e com o lançamento do Programa Institutos Nacionais de CTI em 2008, dentre outras iniciativas. O fato do PRONEX passar a ser executado em parceria entre o CNPq e os estados contribuiu para o fortalecimento de muitas FAPs em todas as regiões do País. Na verdade, com a redução do orçamento do CNPq nos anos recentes, em vários estados o PRONEX é mantido pelas FAPs. O fato é que, apesar das dificuldades históricas e da falta de continuidade nas políticas de C,T&I, o Brasil construiu nas últimas cinco décadas uma comunidade científica e tecnológica robusta, que conta hoje com cerca de 200 mil pesquisadores com o doutorado, sendo a maior e a mais qualificada da América Latina. Dentre as áreas da Física e da Engenharia

que mais se desenvolveram estão a Óptica e a Fotônica, por conta de seus desafios científicos e de suas aplicações tecnológicas em diversos setores. Levantamento recente feito por encomenda do MCTI revela que há hoje centenas de grupos de físicos e engenheiros realizando atividades de pesquisa e desenvolvimento nessas áreas voltados para aplicações em comunicações, biofotônica, conversão de energia fotovoltaica, mostradores, tecnologias médicas, iluminação, etc. Se, por um lado, a competência científica nacional ainda não contribuiu de maneira mais abrangente para o nosso desenvolvimento, por outro há inegáveis exemplos de sucesso de desenvolvimento tecnológico quando a área de C,T&I contou com recursos e oportunidades de engajamento. Os mais notáveis são a tecnologia de exploração de petróleo em águas profundas, dominada pela Petrobrás, e que possibilitou ao País alcançar a autossuficiência em petróleo; o projeto e a fabricação de aeronaves modernas pela Embraer; a liderança mundial no agrobusiness possibilitada pela pesquisa na Embrapa; e um número enorme de empresas de pequeno e médio porte criadas por jovens pesquisadores atuando em vários segmentos tecnológicos.

Lamentavelmente, nos anos recentes, tem havido um retrocesso sem precedentes nas políticas de C&T no país. A partir de 2015 os orçamentos do CNPq e da CAPES caíram continuamente e o FNDCT voltou a ser fortemente contingenciado. O desmonte das instituições públicas, na direção do estado mínimo, é a marca de um governo que aprofunda a agenda neoliberal e um ajuste fiscal irrealista. Vamos na direção oposta da China e de outros países que se desenvolveram por conta de investimentos crescentes e continuados em educação e C,T&I. Ultrapassando as piores previsões, ca-

minhamos na direção do obscurantismo, sob um governo que nega a ciência em cada um de seus atos.

O próximo governo terá o enorme desafio de retomar o crescimento econômico, criar empregos, superar a pobreza e reduzir a desigualdade. Certamente contará com o empenho de nossa comunidade científica, que fez o Brasil se tornar o 13º maior produtor mundial de Ciência. Será fundamental restabelecer uma política e um plano de C,T&I, recuperar as agências federais e prover orçamentos adequados, em esforço conjunto dos governos federal e estaduais, de universidades, centros de pesquisa e empresas.

Diagnóstico osteoporose com luz: uma nova abordagem, sem complicações

Patricia A. da Ana, Universidade Federal do ABC - UFAB

Muito se tem falado sobre o envelhecimento da população, suas causas e consequências. Para se ter uma ideia, no Brasil, estima-se que, até 2050, cerca de 30% da população será formada de pessoas com mais de 60 anos [1]. Este fato motiva a preocupação com o aumento da incidência de doenças e condições mais prevalentes nos idosos, dentre as quais destacamos a osteoporose.

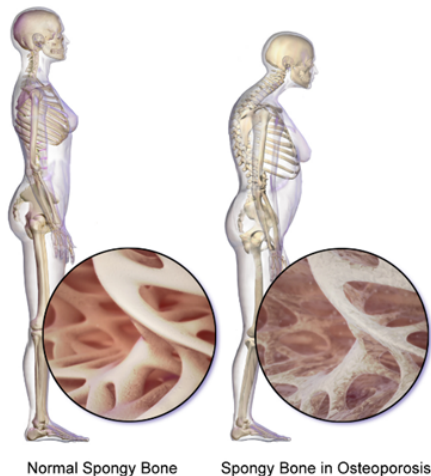


Figura 1: Efeitos da osteoporose na matriz óssea. Fonte: Wikimedia Commons.

A osteoporose é um distúrbio esquelético silencioso caracterizado pela perda progressiva da densidade mineral óssea (DMO) [2] (Figura 1). É um grave problema de saúde pública, de acordo com a Organização Mundial de Saúde, devido à sua prevalência crescente, principalmente em mulheres no período pós-menopausa, com uma importante relação com a queda na produção de estrogênio que ocorre nesta ocasião [3]. Como consequências, observa-se o com-

prometimento da resistência óssea, cujos sinais manifestam-se clinicamente como dores na coluna e nas articulações, assim como aumento do risco de fraturas principalmente em vértebras, fêmur, punho e braços. Só no Brasil, a osteoporose custa 1,2 bilhão de reais anuais, e acomete cerca de 10 milhões de pessoas [4].

O diagnóstico e acompanhamento da doença se faz com uso de exames de densitometria óssea (absortometria de raio-X de dupla energia), os quais empregam radiação ionizante para imagear e avaliar a coluna lombar e fêmur [2]. É uma técnica bastante precisa e de alta sensibilidade diagnóstica, cujo uso de radiação X muitas vezes impede o monitoramento frequente da doença ou mesmo seu diagnóstico precoce justamente devido à precaução quanto aos efeitos da radiação ionizante nos tecidos biológicos. Visando minimizar este problema, o estudo de tecnologias ópticas tem sido efetuado como alternativa, considerando os resultados promissores na avaliação de diferentes patologias relacionados na literatura científica, assim como os benefícios da luz em possibilitar diferenciação bioquímica e/ou estrutural dos tecidos biológicos sem efeitos colaterais.

As buscas por um método não invasivo e que se utiliza de radiação não ionizante datam dos últimos vinte anos. Estudos de “biópsia óptica” iniciaram-se com o uso da espectroscopia

Raman com fibra óptica em túbias [5] assim como com métodos de espectroscopia de pluma de ablação a laser, empregando um laser de Nd:YAG Q-switched [6]. O último método se mostrou promissor em avaliar a quantidade de cálcio em cabelos e unhas de forma não invasiva, o que poderia permitir um melhor monitoramento da doença. Na mesma época, as técnicas de espectroscopia de absorção no infravermelho com transformada de Fourier [7] e a espectroscopia Raman [8,9] foram usadas para entender a qualidade óssea e o risco de fratura em ossos com osteoporose. Contudo, tais técnicas têm sido usadas apenas em estudos laboratoriais e geralmente como técnicas de microscopia, pois não existem métodos não invasivos para obter medidas em locais clinicamente relevantes.

Em 2013, pesquisadores italianos efetuaram um estudo com 146 voluntários e relataram que um sistema de laboratório para espectroscopia de refletância e transmitância resolvida no tempo pode detectar uma diminuição geral da DMO e aumento de lipídios com a idade, quando medidos em calcâneo [10]. Para tal, foram empregados um laser de corante e um laser de titânio-safira que, juntamente com um espectrômetro de refletância e transmitância resolvidos no tempo, garantiram um sistema de excitação entre 600 a 1000 nm; faixa espectral útil na determinação de porcentagens de osso mineral, água, lipídios, oxí e desoxi-hemoglobina.

Mais recentemente, descobriu-se que o cabelo também pode ser empregado como diagnóstico para osteoporose de uma forma simples e rápida por meio de espectroscopia de fluorescência UV-visível [11]. Para isso, foi empregado um diodo emissor de luz (LED)

com excitação em 365 nm em cabelos de pacientes com osteoporose, osteopenia ou saudáveis, após prévia análise de densidade óssea mineral padrão. Foi relatada uma importante correlação entre a DMO e a fluorescência do cabelo com pico em 485 nm, que coincide com a fluorescência de queratina, elastina, vitaminas D e A. Em outro estudo de 2021 [12], o mesmo grupo comprovou, por meio de técnica LIBS (*laser induced breakdown spectroscopy*), que a proteína S100A3 (proteína de ligação ao cálcio rica em cisteína, presente em abundância na cutícula do cabelo) está correlacionada com o pico de 485 nm e que, portanto, pode ser um biomarcador da osteoporose e osteopenia no cabelo humano.

Pesquisadores brasileiros também têm investigado métodos ópticos para diagnóstico precoce tanto da osteopenia quanto da osteoporose. Visando o desenvolvimento de técnicas não invasivas, os estudos foram conduzidos *in vitro* por meio da simulação da osteoporose em osso alveolar de maxila e mandíbula de suínos, tendo em vista que a doença se desenvolve também em osso alveolar, com mudanças como redução da DMO, modificação da microarquitetura dos poros, assim como redução volumétrica dos rebordos alveolares e da espessura cortical [13].

O primeiro dos estudos conduzidos em osso alveolar buscou avaliar o potencial da tomografia por coerência óptica (OCT, do inglês *optical coherence tomography*) no diagnóstico de diferentes graus de desmineralização óssea [14]. A OCT é uma técnica de imageamento não invasiva que emprega uma fonte de luz laser ou LED para a obtenção de cortes tomográficos, com alta resolução. No estudo, foi proposto um mode-

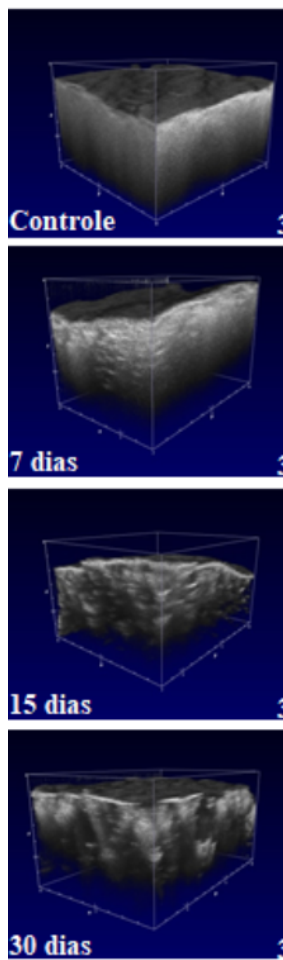


Figura 2: Imagens tridimensionais de OCT obtidas de mandíbula suína após diferentes períodos de desmineralização.

lo de análise baseado em coeficiente de atenuação total e coeficiente de atenuação médio, em ambiente *MatLab*, para avaliar a desmineralização das amostras de maxila e mandíbula suínos. Por este modelo, notou-se uma excelente correlação entre os dados de coeficiente de atenuação total e coeficiente de atenuação médio e os dados de volume ósseo/volume de tecido e porosidade total obtidos pela técnica de micro-tomografia (micro-CT). Ainda, foi possível discriminar osteopenia e diferentes graus de osteoporose em maxila e mandíbula, com diferenciação entre os tecidos (Figura 2). Este estudo indicou

um grande potencial da OCT para diagnóstico precoce e monitoramento em tempo real de forma não invasiva e com radiação não ionizante de osteoporose, indicando perspectivas para futura implementação clínica.

O mesmo grupo de pesquisa também avaliou outra técnica óptica, o imageamento por laser e captação de padrões de *biospeckle*, como alternativa para diagnóstico da doença [15]. As mesmas amostras de ossos de mandíbula e maxila suínas foram iluminadas por um sistema composto por um laser de comprimento de onda de 638 nm e 1,3 mW, sendo a validação metodológica efetuada por meio de perfilometria a laser. Também foi relatada uma forte correlação entre a técnica e a rugosidade superficial das amostras, embora não tenha sido possível discriminar entre os ossos da maxila e mandíbula, considerando que a diferença entre estes tecidos se encontra em profundidade, o que não é possível avaliar por *biospeckle*. Vale a pena ressaltar que o imageamento do osso alveolar se mostra bem próximo de um futuro clínico, bastando a adição de um sistema de fibras para acesso ósseo via sulco periodontal de forma não invasiva e de fácil repetição.

Embora sejam observados poucos estudos, podemos notar que a Biofotônica tem muito a contribuir com um diagnóstico cada vez mais precoce e menos oneroso da osteoporose e da osteopenia por meio de soluções simples e de fácil execução e reprodução por um profissional clínico. Desta forma, vemos uma luz capaz de trazer grandes benfeitorias não apenas aos pacientes, mas também que favorece a diminuição dos gastos com uma doença cada dia mais prevalente em âmbito mundial.

Referências

- [1] L. Tramuja Vasconcellos Neumann, S.M. Albert, Aging in Brazil, *Gerontologist*. 58 (2018) 611–617. <https://doi.org/10.1093/geront/gny019>.
- [2] A.K. Anam, K. Insogna, Update on Osteoporosis Screening and Management, *Med. Clin. North Am.* 105 (2021) 1117–1134. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2021.05.016>.
- [3] R. Eastell, M. Schini, Prevention and management of osteoporosis, *Med. (United Kingdom)*. 49 (2021) 572–577. <https://doi.org/10.1016/j.mpmed.2021.06.010>.
- [4] R. Aziziyeh, M. Amin, M. Habib, J.G. Perlaza, R.K. McTavish, A. Lüdke, S. Fernandes, K. Sripada, C. Cameron, A scorecard for osteoporosis in four Latin American countries: Brazil, Mexico, Colombia, and Argentina, *Arch. Osteoporos.* 14 (2019) 69. <https://doi.org/10.1007/s11657-019-0622-1>.
- [5] K.A. Esmonde-White, J. Sottnik, M. Morris, E. Keller, Raman spectroscopy of bone metastasis, in: 2012: p. 82076P. <https://doi.org/10.1117/12.909327>.
- [6] M. Ohmi, M. Nakamura, S. Morimoto, M. Haruna, Nanosecond Time-Gated Spectroscopy of Laser-Ablation Plume of Human Hair to Detect Calcium for Potential Diagnoses, *Opt. Rev.* 7 (2000) 353–357. <https://doi.org/10.1007/s10043-000-0353-x>.
- [7] E.P. Paschalis, R. Mendelsohn, A.L. Boskey, Infrared Assessment of Bone Quality: A Review, *Clin. Orthop. Relat. Res.* 469 (2011) 2170–2178. <https://doi.org/10.1007/s11999-010-1751-4>.
- [8] M.D. Morris, G.S. Mandair, Raman Assessment of Bone Quality, *Clin. Orthop. Relat. Res.* 469 (2011) 2160–2169. <https://doi.org/10.1007/s11999-010-1692-y>.
- [9] P. Matousek, N. Stone, Recent advances in the development of Raman spectroscopy for deep non-invasive medical diagnosis, *J. Biophotonics*. 6 (2013) 7–19. <https://doi.org/10.1002/jbio.201200141>.
- [10] R. Cubeddu, E. Giambattistelli, A. Pifferi, P. Taroni, A. Torricelli, In vivo optical biopsy of the calcaneous: a novel diagnostic tool for osteoporosis?, in: Proc. Second Jt. 24th Annu. Conf. Annu. Fall Meet. Biomed. Eng. Soc. [Engineering Med. Biol., IEEE, n.d.: pp. 2247–2248. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2002.1053265>.
- [11] I. Cherni, H. Ghalila, S. Hamzaoui, I. Rachdi, F. Daoued, Simple and fast diagnosis of osteoporosis based on UV-visible hair fluorescence spectroscopy, *Appl. Opt.* 59 (2020) 6774. <https://doi.org/10.1364/AO.393646>.
- [12] I. Cherni, H. Ghalila, S. Hamzaoui, I. Rachdi, F. Daoued, N. Jaidane, Diagnosis of osteoporosis by UV-visible fluorescence of hair in relation to calcium deficiency assessed by the LIBS technique, *OSA Contin.* 4 (2021) 2053. <https://doi.org/10.1364/OSAC.430740>.
- [13] Ö. Erdoğan, D.M. Shafer, P. Taxel, M.A. Freilich, A review of the association between osteoporosis and alveolar ridge augmentation, *Oral Surgery, Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endodontology*. 104 (2007) 738.e1–738.e13. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2007.04.008>.
- [14] M. Del-Valle, E. Lins, P. Ana, Assessment of simulated osteoporosis in alveolar bone using optical coherence tomography, *J. Biophotonics*. 12 (2019). <https://doi.org/10.1002/jbio.201900171>.
- [15] M.M. Amaral, M. Del-Valle, M.P. Raelle, L.R. De Pretto, P.A. Ana, Osteoporosis evaluation through full developed speckle imaging, *J. Biophotonics*. 13 (2020). <https://doi.org/10.1002/jbio.202000025>.

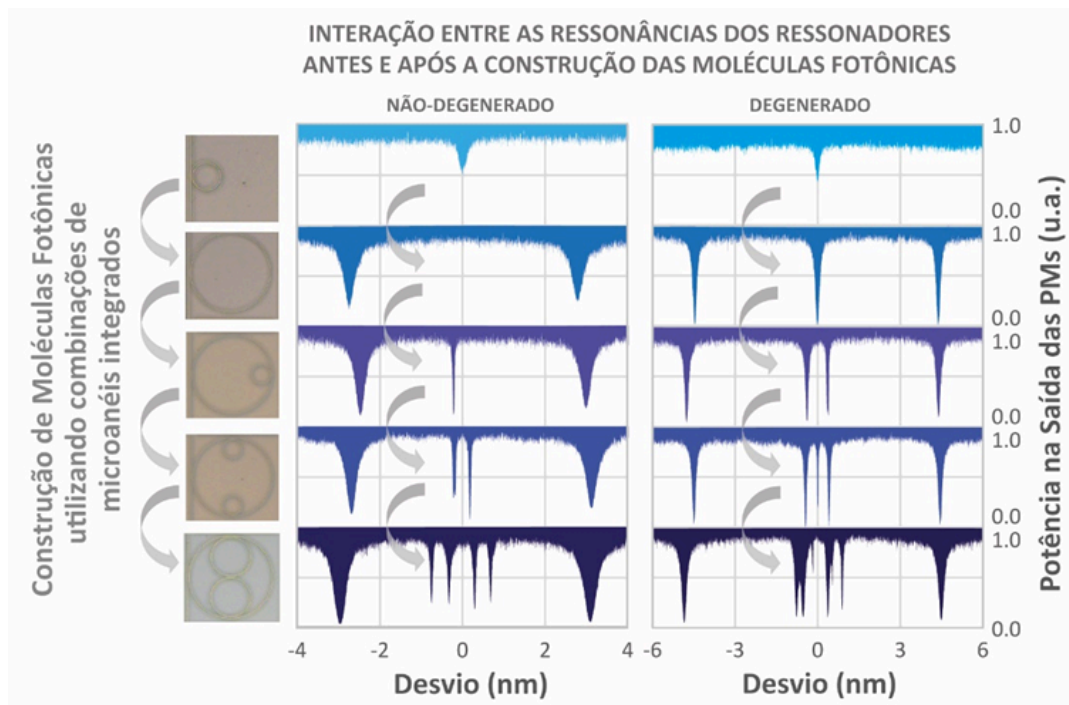
MOLÉCULAS FOTÔNICAS E SEU IMPACTO NA FOTÔNICA INTEGRADA E EM SENSORES ÓPTICOS

Gabriel R. da Ascensão e Luís A. M. Barêa, Universidade Federal de São Carlos -UFSCar

Na última década, tem ocorrido um aumento exponencial na demanda de dados da rede mundial de computadores alavancado por um número cada vez maior de dispositivos conectados e de novos serviços oferecidos, como o *streaming* e a hospedagem de dados em nuvem. A conectividade à Internet cresce a taxas superiores ao aumento global da população e para suprir toda essa demanda é imprescindível aumentar a capacidade e velocidade de transmissão e processamento de informações, mas sem gerar acréscimos significativos na potência dissipada e dimensão dos componentes empregados. Nesse contexto, a fotônica integrada vem cada vez mais provando ser uma tecnologia necessária e facilitadora para suprir essas demandas atuais, aumentando os limites da taxa de transferência e processamento de dados na forma de sinais ópticos ao mesmo tempo que contribui para progressos substanciais em áreas emergentes, como em sensores ópticos integrados.

Diversas aplicações da fotônica integrada baseiam-se em blocos de construção versáteis e um componente quase onipresente é um ressonador na forma de anel ou disco, com diâmetros menores que o de um fio de cabelo. Esses ressonadores são capazes de armazenar a luz em volumes diminutos, gerando ressonâncias estreitas e com alto fator de qualidade (Q), proporcionando baixo consumo de energia e alta velocidade de processamento aos dispositivos baseados neles. No entanto, quando esses ressonadores são utilizados sozinhos, seu desempenho é limitado em algumas aplicações devido, por exemplo, à

dependência intrínseca do tempo de vida do fóton armazenado, da distância entre as ressonâncias e do tamanho do ressonador, que reduz sua versatilidade. Para superar esse e outros desafios, novas combinações de anéis e discos vêm sendo propostas e desenvolvidas por grupos de pesquisa no Brasil [1–5] e no exterior [6–11], e sua construção tem uma estreita comparação com a formação de moléculas a partir de átomos. Quando olhamos para natureza é bem sabido que o potencial eletrostático entre o núcleo e os elétrons de um átomo define os níveis discretos de energia dos seus estados eletrônicos. Esse mesmo efeito ocorre quando olhamos para um ressonador em anel, onde a quantização das frequências ópticas surge das múltiplas voltas que a luz realiza no seu interior, aprisionando fótons assim como os átomos aprisionam os elétrons. De forma análoga (mas não equivalente) às moléculas, que resultam da hibridização dos estados eletrônicos entre dois átomos vizinhos, quando dois ou mais anéis são construídos muito próximos, em uma escala típica do comprimento de onda da luz, eles funcionam como “átomos fotônicos” e suas combinações geram as chamadas “moléculas fotônicas” (PMs). Pesquisadores brasileiros, nos últimos anos, já demonstraram que a construção de moléculas fotônicas integradas pode ocorrer por meio da combinação de anéis acoplados no interior de um anel externo, construídos em uma plataforma de silício sobre isolante (SOI) e utilizando processos de micro e nanofabricação similares aos empregados na fabricação de circuitos eletrônicos integrados [1–5].

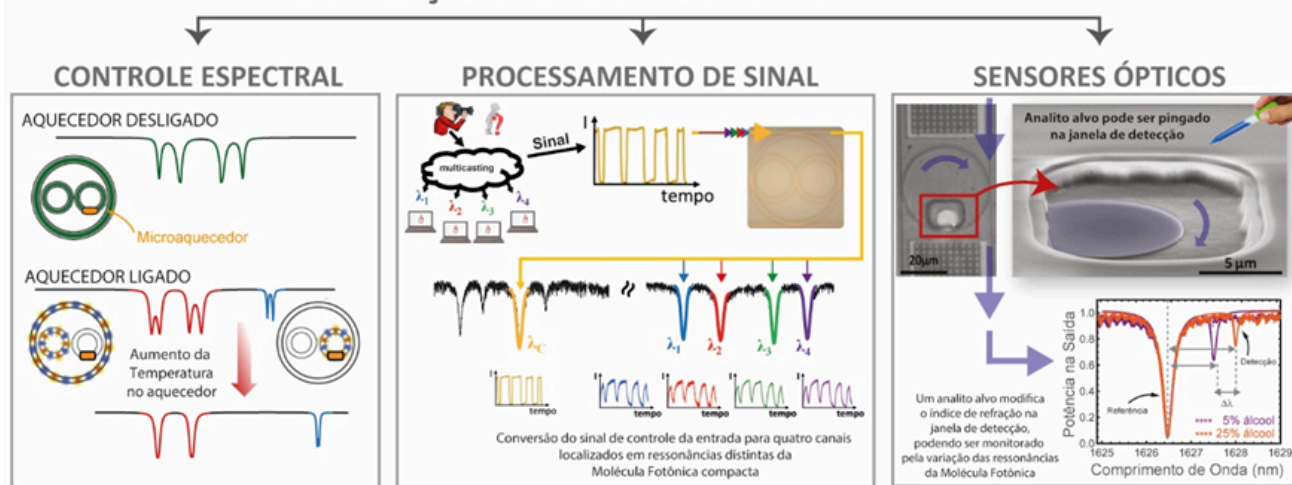


Nessas moléculas fotônicas, o acoplamento entre os anéis gera respostas espectrais complexas graças à interação entre as ressonâncias de cada um dos ressonadores acoplados, preservando a área do *chip*, uma vez que são utilizadas regiões usualmente desprezadas, como o interior dos anéis, para realizar o acoplamento dos ressonadores. À medida que o número de anéis acoplados é incrementado, as respostas espectrais mostram condições não-degeneradas, quando as ressonâncias dos anéis internos e externo não são coincidentes em um mesmo comprimento de onda, e condições degeneradas, quando essas ressonâncias coincidem. Essas condições permitem o surgimento de dupletos, tripletos e quadrupletos de ressonâncias, podendo contabilizar até seis ressonâncias empregando apenas três anéis, desde que garantido o acoplamento dos anéis internos entre si.

Essa engenharia espectral habilita a construção de espectros com reduzidos espaçamentos entre as ressonâncias e larguras de linhas finas, mesmo com anéis de reduzidos raios, quebrando a dependên-

cia entre esses parâmetros presentes em um dispositivos baseados em um único anel. Essa engenharia espectral também pode ser sintonizada controlando-se a posição das ressonâncias com microaquecedores integrados sobre os guias de onda que formam os anéis. Por meio do efeito termo-óptico, o índice de refração local do guia de onda é alterado com o aumento da temperatura no microaquecedor, tornando a engenharia espectral sintonizável. Essa característica garante a realização de divisão de modos ópticos para ajustar a resposta espectral em dispositivos integrados compactos. Alguns trabalhos na literatura [4,12] já demonstraram que uma molécula fotônica com três anéis acoplados (dois anéis internos acoplados entre si) permite realizar essa divisão de modo óptico de maneira contínua e ajustável, mitigando as mudanças indesejadas em algumas ressonâncias que acontecem nesse tipo de aplicação. Em particular, esse dispositivo permitiu a transição de um dupletos, com largura de banda de 80 GHz, para uma única ressonância, empregando baixa potência (35mW) e área compacta ($40 \times 40 \mu\text{m}^2$). Os autores demonstraram ainda

APLICAÇÕES DE MOLÉCULAS FOTÔNICAS



que o controle em apenas um dos anéis internos é suficiente para sintonizar o acoplamento entre esses anéis, cessando o acoplamento contra-propagativo presente, garantindo a transição de um quadrupeto, por exemplo, para um dupletto de ressonâncias.

Esses resultados provam que as moléculas fotônicas podem criar dispositivos ultrarrápidos, compactos e com eficiência de energia para aplicações em filtros ópticos com largura de banda ajustável, modulação de banda lateral única e fotônica de micro-ondas. Para citar outro exemplo, essa mesma molécula fotônica compacta pode ser utilizada para aplicações em processamento de sinais ópticos, como *multicasting* totalmente óptico em comprimento de onda [3]. *Multicasting* é uma importante ferramenta utilizada para gerenciar o trânsito de dados em redes, permitindo replicar um sinal transmitido em um comprimento de onda para outros múltiplos comprimentos de onda, que podem ser individualmente processados e transmitidos para diferentes destinatários. Explorando efeitos de modulação óptica causada pela dispersão de portadores livres, capaz de cobrir toda a resposta espectral da molécula fotônica e causar deslocamentos similares em todas as suas ressonâncias, pesquisadores brasileiros demonstraram a transmissão de um mesmo sinal para quatro ressonâncias separadas de 50 GHz, exigindo a-

penas 1 mW de potência de controle [3]. Para saber o potencial dessa demonstração, se ela fosse realizada em um anel único, exigiria dimensões e potência de controle dez vezes maiores que a empregada na molécula fotônica utilizada.

E para demonstrar que as moléculas fotônicas são capazes de impulsionar áreas emergentes, como a de sensores ópticos e laboratórios em um único *chip*, pesquisadores brasileiros também demonstraram recentemente uma plataforma fotônica integrada que compreende um sensor de índice de refração baseado em uma molécula fotônica compacta [13,14]. Essa molécula fotônica consiste em um ressonador de microdisco, parcialmente revestido, acoplado a um ressonador de anel externo e totalmente revestido, ambos fabricados em uma plataforma SOI. Essa configuração de ressonadores permitiu utilizar as ressonâncias do anel como referência e as do microdisco como de detecção, garantindo monitoramento de qualquer analito-alvo colocado na janela de detecção por meio de medidas diferenciais entre essas ressonâncias. Esse esquema de medição diferencial foi capaz de mitigar a influência de perturbações ambientais, enquanto fornecia ressonâncias estreitas e com alto

valor de Q. A caracterização experimental desse sensor demonstrou que o emprego da molécula fotônica garante uma sensibilidade de 24 nm/RIU, alcançando um limite de detecção (LOD) da ordem de 10^{-3} unidades de índice de refração (RIU). Ademais, a resposta desse sensor às variações de temperatura é cerca de 16 vezes menor que as respostas individuais do anel de referência e do disco de detecção, provando ser uma solução importante para aplicações da vida real em que as condições de medição não são facilmente controláveis.

Referências

- [1] L.A.M. Barea, F. Vallini, G.F.M. de Rezende, N.C. Frateschi, Spectral Engineering With CMOS Compatible SOI Photonic Molecules, *IEEE Photonics J.* 5 (2013) 2202717–2202717. <https://doi.org/10.1109/JPHOT.2013.2289977>.
- [2] L.A.M. Barea, F. Vallini, P.F. Jarschel, N.C. Frateschi, Silicon technology compatible photonic molecules for compact optical signal processing, *Appl. Phys. Lett.* 103 (2013) 201102. <https://doi.org/10.1063/1.4829743>.
- [3] M.C.M.M. Souza, L.A.M. Barea, F. Vallini, G.F.M. Rezende, G.S. Wiederhecker, N.C. Frateschi, Embedded coupled microrings with high-finesse and close-spaced resonances for optical signal processing, *Opt. Express.* 22 (2014) 10430. <https://doi.org/10.1364/OE.22.010430>.
- [4] M.C.M.M. Souza, G.F.M. Rezende, L.A.M. Barea, A.A.G. von Zuben, G.S. Wiederhecker, N.C. Frateschi, Spectral engineering with coupled microcavities: active control of resonant mode-splitting, *Opt. Lett.* 40 (2015) 3332. <https://doi.org/10.1364/OL.40.003332>.
- [5] M.C.M.M. Souza, G.F.M. Rezende, L.A.M. Barea, G.S. Wiederhecker, N.C. Frateschi, Modeling quasi-dark states with temporal coupled-mode theory, *Opt. Express.* 24 (2016) 18960. <https://doi.org/10.1364/OE.24.018960>.
- [6] Ó.B. Helgason, F.R. Arteaga-Sierra, Z. Ye, K. Twayana, P.A. Andrekson, M. Karlsson, J. Schröder, Victor Torres-Company, Dissipative solitons in photonic molecules, *Nat. Photonics.* 15 (2021) 305–310. <https://doi.org/10.1038/s41566-020-00757-9>.
- [7] K. Liao, X. Hu, T. Gan, Q. Liu, Z. Wu, C. Fan, X. Feng, C. Lu, Y. Liu, Q. Gong, Photonic molecule quantum optics, *Adv. Opt. Photonics.* 12 (2020) 60. <https://doi.org/10.1364/AOP.376739>.
- [8] M. Wang, N. Yao, R. Wu, Z. Fang, S. Lv, J. Zhang, J. Lin, W. Fang, Y. Cheng, Strong nonlinear optics in on-chip coupled lithium niobate microdisk photonic molecules, *New J. Phys.* 22 (2020) 073030. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/ab97ea>.
- [9] S. Woska, P. Rietz, O. Karayel, H. Kalt, Tunable coupling of chip-scale photonic molecules via thermal actuation, *Opt. Mater. Express.* 11 (2021) 3194. <https://doi.org/10.1364/OME.432655>.
- [10] M. Borghi, A. Trenti, L. Pavesi, Four Wave Mixing control in a photonic molecule made by silicon microring resonators, *Sci. Rep.* 9 (2019) 408. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36694-5>.
- [11] M. Zhang, C. Wang, Y. Hu, A. Shams-Ansari, T. Ren, S. Fan, M. Lončar, Electronically programmable photonic molecule, *Nat. Photonics.* 13 (2019) 36–40. <https://doi.org/10.1038/s41566-018-0317-y>.

- [12] M.C.M.M. Souza, G.F.M. Rezende, A.A.G. von Zuben, G.S. Wiederhecker, N.C. Frateschi, L.A.M. Barea, Tunable Photonic Molecules for Spectral Engineering in Dense Photonic Integration, in: *Futur. Trends Microelectron.*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2016: pp. 337–348. <https://doi.org/10.1002/9781119069225.ch3-7>.
- [13] L.A.M. Barea, M.C.M.M. Souza, A.L. Moras, Á.R.G. Catellan, G.A. Cirino, A.A.G. Von Zuben, N.C. Frateschi, J.W.M. Bassani, Photonic molecules for application in silicon-on-insulator optical sensors, in: G.T. Reed, A.P. Knights (Eds.), *Silicon Photonics XIII*, SPIE, 2018: p. 46. <https://doi.org/10.1117/12.2287844>.
- [14] A.L. Moras, V.C.S. Junior, M.C.M.M. Souza, G.A. Cirino, A.A.G. Von Zuben, L.A.M. Barea, N.C. Frateschi, Integrated Photonic Platform for Robust Differential Refractive Index Sensor, *IEEE Photonics J.* 12 (2020) 1–10. <https://doi.org/10.1109/JPHOT.2020.3024856>.

Inteligência Artificial em Comunicações Ópticas

*Tiago Sutili, Eduardo S. Rosa, Yesica, R. R. Bustamante, Rafael C. Figueiredo
CPQD, Soluções em Comunicações Ópticas - Campinas, SP, Brasil*

Para suportar uma sociedade crescentemente conectada, as últimas décadas demandaram um ciclo virtuoso de revoluções científicas, seguidas pelo desenvolvimento de novos paradigmas tecnológicos, permitindo que a infraestrutura global de telecomunicações evoluísse das primeiras redes de telégrafos para um sistema capaz de interconectar continentes e países de maneira transparente para o usuário final. Na prática, tal estrutura depende, fundamentalmente, dos enlaces ópticos de comunicação, os quais exploram nossa capacidade de manipular e guiar a luz para a transmissão de canais modulados a centenas de gigabits por segundo (Gb/s) com alcance de milhares de quilômetros, atingindo taxas agregadas de centenas de terabits por segundo por fibra óptica e petabits por segundo por cabo instalado, que tipicamente é composto por várias fibras. Além de possibilitar o tráfego de um volume de informações inviável para outras tecnologias, os sistemas ópticos também se tornaram dominantes dada a possibilidade de serem reconfigurados, com a adição e retirada de canais em estações intermediárias, pelo baixo consumo energético considerando a taxa e alcance das transmissões realizadas e pelas dimensões e peso do próprio meio de propagação dos sinais ópticos. Em específico, tais características fizeram com que conexões ópticas se tornassem a melhor solução em termos de custo-benefício para cenários de aplicação com alcances progressivamente menores, passando a dominar não somente as conexões intercontinentais e entre grandes centros populacionais, mas também a inter- e intraconexão de centrais de dados e as re-

des metropolitanas, não sendo raro chegarem diretamente na casa do consumidor final.

Entretanto, a sua estabelecida onipresença em tantos cenários cruciais para a infraestrutura de telecomunicações tem trazido desafios significativos para o desenvolvimento de novos sistemas ópticos de telecomunicações, especialmente ao considerar a crescente demanda pelo tráfego de um volume exponencialmente crescente de dados. De fato, os atuais sistemas ópticos de comunicação operam muito próximo do seu limite teórico e têm demandado o desenvolvimento de soluções cada vez mais complexas para prover os ganhos requeridos pelo mercado. Em tal cenário, soluções advindas de técnicas baseadas em Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina têm sido progressivamente exploradas no ambiente acadêmico e em aplicações industriais, sendo responsáveis por ganhos tangíveis em termos de desempenho e custos de instalação (CAPEX) e operação (OPEX). Neste sentido, algoritmos de inteligência artificial vêm sendo aplicados, destacando-se o uso de aprendizado de máquinas (ML - *Machine Learning*), o qual permite que um sistema computacional aprenda a emular processos físicos ou execute determinadas operações com base em melhoras progressivas de seu desempenho mensuradas em função de um objetivo originalmente determinado. Dessa forma, a aprendizagem de máquina possibilita que problemas complexos sejam resolvidos com tempo reduzido de processamento e mínima intervenção humana. Os algoritmos desenvolvidos para tal fim podem ser dividido em três principais categorias: su-

pervisionados, onde o algoritmo é treinado conhecendo os dados de entrada e de saída (dados rotulados); não supervisionados, onde o algoritmo é treinado com os dados de entrada e precisa aprender as saídas (dados sem rótulos); e o aprendizado por reforço, onde o algoritmo aprende com base nas experiências anteriores (penalidade ou recompensa).

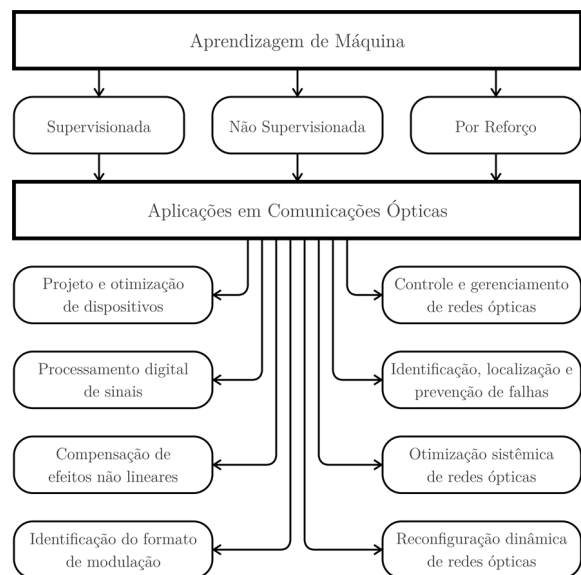


Fig. 1. As três principais categorias de aprendizagem de máquina e algumas de suas possíveis aplicações na área de comunicações ópticas.

Mais especificamente, uma grande parcela das aplicações explora o uso de redes neurais artificiais como uma ferramenta para modelar, de forma simplificada, os complexos modelos físicos de operação de sistemas ópticos, seja no nível dos processos físicos que regem o funcionamento de dispositivos ópticos ou no nível do controle e gerência de redes ópticas dinâmicas e reconfiguráveis. Dessa forma, considerando que os cuidados necessários tenham sido tomados para a obtenção dos bancos de dados e treinamento das redes, pode-se inferir o comportamento de determinado sistema com alta precisão e exatidão e com menor custo computacional, não sendo raro

também empregar técnicas de otimização bio-inspiradas aliadas a tais redes neurais.

Na perspectiva de uma rede óptica reconfigurável, a aplicação de inteligência artificial tem sido explorada como uma ferramenta para maximizar a eficiência de tais sistemas, permitindo que as camadas de gerência e de controle decidam com assertividade e velocidade a melhor configuração dos elementos de rede e caminho ótimo para a transmissão de cada canal em termos de carga da rede, nível de degradação dos canais transmitidos, consumo energético, capacidade agregada, estabilidade e resiliência. Adicionalmente, redes neurais podem ser empregadas para monitorar elementos críticos, sendo capazes de antever falhas em dispositivos ou eventos de pico de demanda, agindo de acordo com protocolos para atuar de modo preventivo a fim de manter a boa operação da rede e reduzir os riscos de seus clientes. Analisando a própria camada física de uma rede óptica e os elementos que a compõem, redes neurais artificiais são normalmente utilizadas para modelar os processos físicos, comumente de natureza não linear, que regem a propagação e manipulação de sinais ópticos. Um interessante exemplo de tais aplicações se dá no projeto e na otimização de amplificadores ópticos, elementos responsáveis por aumentar a potência dos canais transmitidos por determinado enlace, empregando fenômenos físicos de alta complexidade para transferir energia entre sinais ópticos. Entretanto, o seu projeto não deve considerar somente tais processos físicos que ocorrem no domínio óptico, mas também o seu impacto no desempenho da rede como um todo, no domínio das camadas de gerência e controle, uma vez que terão impacto sistêmico em todo o conjunto de canais transmitido por determinado enlace.

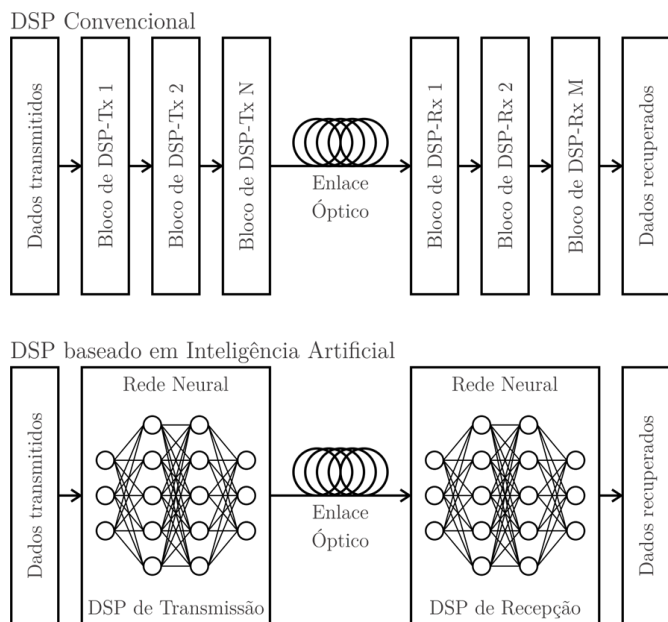
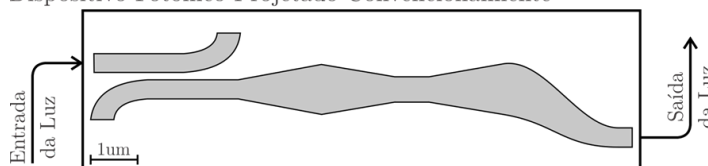


Fig. 2. Os diversos blocos que compõem um DSP convencional, tanto do lado transmissor (Tx) quanto do receptor (Rx), podem ser substituídos por redes neurais, com potencial ganho de desempenho ao possibilitar a compensação de efeitos degradantes que nem sempre podem ser compensados usando os blocos convencionais.

Portanto, não é raro o uso de inteligência artificial visando otimizar o projeto de tais elementos, possibilitando explorar topologias de amplificação mais complexas sob a perspectiva da maximização do desempenho geral da rede e não somente de cada elemento individualmente. Outra aplicação interessante se dá pela possibilidade de empregar redes neurais artificiais como alternativa às cadeias de processamento digital de sinais, caracterizadas por serem compostas por complexos blocos de filtragem e equalização digital, empregados para codificar e recuperar as informações transmitidas na própria portadora óptica. A substituição dos códigos convencionais por redes neurais, especialmente treinadas para tal fim, permite que o transmissor e receptor se adaptem à própria resposta não-linear do enlace óptico em certa condição de operação, obtendo ganhos na capacidade de transmissão e adaptando-se dinamicamente para a compensação de variações do sistema.

Por fim, também é relevante destacar o uso de inteligência artificial no projeto de dispositivos em fotônica integrada, os quais são responsáveis por revoluções tecnológicas nas telecomunicações e também em aplicações nos campos de sensoriamento, computação e criptografia quântica. A operação de tais elementos é marcada por intrincadas interações entre os sinais eletromagnéticos e as estruturas projetadas em dimensões nanométricas, de forma que o uso de inteligência artificial tem possibilitado ganhos sensíveis em termos de desempenho e velocidade de projeto e otimização. Em específico, o uso de algoritmos de otimização bio-inspirados permite que uma pluralidade de fatores sejam considerados conjuntamente no projeto, encontrando, em tempo reduzido, as combinações que permitem obter o desempenho objetivado. Mais ainda, o uso de redes neurais possibilita que estruturas não intuitivas, empregando metamateriais, sejam projetadas obtendo-se resultados até então inviáveis a partir de técnicas de projeto convencionais.

Dispositivo Fotônico Projetado Convencionalmente



Dispositivo Fotônico Projetado com Inteligência Artificial

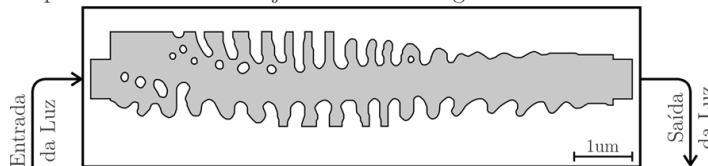


Fig. 3. O uso de aprendizagem de máquina possibilita o projeto de dispositivos integrados com formas não convencionais e não intuitivas, trazendo potenciais ganho de desempenho e redução de dimensões.

Os exemplos aqui apresentados são um pequeno compilado da revolução possibilitada pelo uso de inteligência artificial em mais um campo do conhecimento, comprovadamente trazendo ganhos não só em termos de desempenho, mas também de velocidade, flexibilidade e confiabilidade nas atuais redes de telecomunicações, baseadas em comunicações ópticas. Conforme tais sistemas continuam crescendo em importância e complexidade, impulsionados pela Internet das Coisas, tecnologias imersivas e pelas redes 5G e além, será crucial que os projetistas e operadores de sistemas ópticos contem com técnicas de inteligência artificial em seu ferramental, inclusive demandando um profundo intercâmbio de conhecimento entre especialistas de ambas as áreas.

40 ANOS DA FIBRA ÓPTICA BRASILEIRA

Francisco M. Smolka, Optolink Indústria e Comércio

Em maio de 1982 foi instalado, no Rio de Janeiro, o primeiro sistema de comunicação óptica com tecnologia brasileira desenvolvido pela Telebrás. Faziam parte desta instalação todo um pacote, como o equipamento multiplex de 480 canais à 34 M-bits/s, o terminal de linha óptica para o laser @830nm-detetor óptico e o cabo de fibra óptica para a conexão. Além destes, outros itens como a tecnologia de emenda por fusão, caixa de emenda e suportes mecânicos, técnicas de medida do cabo, emendas, perda óptica e largura de banda do link. Hoje em dia tudo isto é normal, mas na década de 1970, quando se iniciou o programa de comunicação óptica, era tudo novidade no Brasil.

Para se iniciar nessa e outras novas tecnologias, a Telebrás e o Ministério das Comunicações montaram todo um programa suportado na criação de um centro próprio de desenvolvimento e pesquisa (o CPqD) e financiamentos em universidades como a PUC/RJ, USP e principalmente a Unicamp. Nesta, foram iniciados e gerados os primeiros trabalhos para o programa de comunicação óptica, laser de semicondutor e tecnologia de fibra óptica. Esta última será o foco deste texto daqui em diante.

Em 1978, após os trabalhos iniciais da Unicamp terem sido considerados suficientes para o desenvolvimento da tecnologia de fabricação, parte dos equipamentos e do pessoal foi transferido para o CPqD além de acontecerem novas contratações. Não para

as instalações atuais, que não existiam na época, mas para salas alugadas da Embratel no centro de Campinas, perto do mercado municipal. Após um breve início, em condições muito precárias, como por exemplo, o laboratório de deposição de vidro em uma cozinha que envolvia maçaricos de alta temperatura e líquidos agressivos como tetracloreto de silício, não foi possível continuar. Decidiu-se pela montagem de um laboratório provisório, em um galpão industrial, o chamado Barracão da Fibra Óptica, equipado ao longo do tempo com os melhores equipamentos da época. Manteve-se até 1986.

Neste novo ambiente e em função de todo o entusiasmo com a nova tecnologia, surgiram várias demandas em rápida sucessão. A primeira delas foi a oportunidade de fabricar um lote inicial de uma fibra do tipo PCS (*Plastic Silica Fiber*) que consistia em um núcleo de sílica pura, uma casca óptica de silicone e uma capa de proteção mecânica polimérica. Apelidada fibra Itaipu, era para uso no sistema de disparo óptico dos tiristores na conversão AC-DC da usina de Itaipu, que seria terminada em 1982. Porém, apesar de realização de vários testes ópticos, elétricos e mecânicos positivos, não foi possível convencer a empresa europeia responsável pelo sistema a empregar esta fibra. No entanto, acabou sendo utilizada em duas subestações elétricas, num projeto conjunto entre o CPqD, CEPEL da Eletrobrás e a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) para

monitoramento de chaves. Foi, por assim dizer, o primeiro uso prático da fibra óptica brasileira.

A segunda demanda foi desenvolver e fabricar uma quantidade suficiente de fibra para uma instalação piloto em uma empresa do grupo Telebrás. Este era um assunto super urgente pois já estavam ocorrendo várias pressões de empresas internacionais para instalar sistemas de comunicação óptica e fincar um pé neste mercado, que todos já percebiam ser de grande potencial no médio prazo. Foi a posição firme do presidente da Telebrás, o General Alencastro que, por assim dizer, “segurou a barra” e impediu as instalações destes sistemas estrangeiros. Ele era uma entusiasta e firme defensor em desenvolver tecnologia própria e da criação do CPqD, com seu modelo de trabalho.

A fibra fabricada para o teste inicial foi do tipo multimodo de índice degrau com núcleo nominal de 50 microns para uso no comprimento de onda na região de 850 nm e com revestimento primário de silicone termo curável. Foram produzidas, no final de 1981, pelo método MCVD (*Modified Chemical Vapor Deposition*) à 1200 °C, da ordem de 62 preformas, que é o bastão sólido vítreo ultra puro, contendo o núcleo e a casca da fibra, com um diâmetro na faixa de 10 mm. Estes são em seguida, transformadas em fibra por estiramento em um forno à 2000 °C. A eficiência obtida foi de 62%, para fibras maiores que 1 km, atenuação óptica média de 4,5 dB/km e a largura de banda de 400 MHz.km. Resultados estes bem comparados à tecnologia da época, praticado em empresas líderes no exterior, ainda mais considerando ser o lote inicial.

O desafio seguinte era cabear as fibras e para tanto foi escolhida uma empresa, que deveria ser nacional e sem vínculo com empresa internacional na área de fibra óp-

tica, por demanda da Telebrás. Após uma fase de aprendizado, junto com acompanhamento técnico do pessoal do CPqD, foram produzidos da ordem de 15 km de cabo. Estes com quatro fibras com revestimento secundário em nylon e no interior de tubos de 3 mm nas cores nacionais, verde, amarelo azul e branco, contendo também elemento de tração. A capa final era vermelha para diferenciar de cabos elétricos. Esta combinação de cores suscitou algumas preocupações aos técnicos, considerando ser época do regime militar.

Para o teste piloto, foi escolhida a CETEL (empresa da Telebrás) no Rio entre as estações de Jacarepaguá e Cidade de Deus, com uma distância de 3,3 km em dutos sob as ruas. O pessoal do grupo de fibras ópticas do CPqD seria responsável pelo projeto da instalação do cabo, junto com técnicos da CETEL. O desafio agora era escolher as caixas de emenda, como fundir e colocar fibras emendadas no seu interior e a mecânica para fixar nas paredes das caixas subterrâneas, que costumavam estar cheios de água. Os equipamentos para a instalação foram montados em duas kombis especialmente preparadas. Só para lembrar, o equipamento OTDR (Reflectômetro Óptico) de medida das perdas do cabo e emendas das fibras, era um conjunto de caixas que quando montados em *rack* 19, era quase do tamanho de uma geladeira. O registro da medida era com uma câmera instantânea Polaroid, fixada na tela do osciloscópio. Hoje tudo isto, é da dimensão de um celular.

Em maio de 1982, a instalação estava concluída e aprovada. O restante do cabo, foi em seguida instalado, pelo mesmo pessoal do CPqD, em duas aplicações conectando subestações da Light no Rio. Seguiu-se a partir daí uma serie de convites para apresentações e textos sobre os detalhes deste projeto, mostrando o grande interesse pelo potencial das comunicações ópti-

ca assim como da importância de trabalhos de tecnologia aplicada própria no país. Infelizmente, algo que se perdeu no correr do tempo.

Mas a história não terminou aí. Pelo modelo da Telebrás, a próxima etapa seria realizar a transferência da tecnologia para a indústria. Este processo começou no início de 1983 em uma decisão da Telebrás com alguns dos requerimentos como, ser empresas brasileira, não ter vínculo com empresas estrangeiras na área de fibras ópticas, montar a empresas junto ao CPqD em Campinas além de algo não totalmente claro como absorver a Xtal do Brasil, fabricante de cristais osciladores no Rio de Janeiro. Um dos requerimentos seria ter capacidade anual de 1500 km de fibra por ano. Valor este totalmente irrelevante face ao que acontece hoje, onde se consome isto em menos de uma hora de trabalho. E talvez o item que gerou mais confusão, foi a reserva de mercado por 5 anos para fornecer ao Sistema Telebrás, que envolvia concessionárias em todo o país. Deve ser lembrado que era a época logo antes da Lei de Informática.

Várias empresas se apresentaram, mas nenhuma delas tinha experiência do assunto. No final, ganhou o grupo ABC (Atual ALGAR), proprietário de uma empresa privada de telecomunicações. Foi formada a Xtal Fibras Ópticas juntamente com a outra Xtal e logo se construiu a fábrica em Campinas. Porém tinha ficado de resolver, o problema de patentes e direitos, que grandes empresas internacionais estavam defendendo com “unhas e dentes” mundo afora. Foi realizado uma varredura na literatura e descobertas referências anteriores às patentes publicadas, de modo que foram consideradas de uso público, tornando o Brasil juntamente com a Suíça e Finlândia países sem patente. Após um período de treinamento no CPqD, do pessoal recém-contratado, em paralelo com a construção da fábrica, o primeiro lote

de fibras foi entregue em agosto de 1984. Estes lotes iniciais foram para o programa PICO (Programa de Introdução de Comunicação Ópticas) que visava instalar fibras em todas as vinte tantas empresas da Telebrás.

Na fase seguinte, o Projeto Fibras Ópticas se dedicou à tecnologia de fibra monomodo e, em 1986, feita a transferência para a Xtal Fibras Ópticas e colocada imediatamente em produção, sendo hoje o tipo de fibra mais utilizada em telecomunicações. Até o final da época de reserva de mercado em 1989, foram produzidos um total de mais de 30.000 km de fibra, logo bem superior a quantidade colocada pela Telebrás nas condições para a industrialização, em 1983. O preço da fibra, como esperado inicialmente, era alto, mas em 1994 com uma maior produção, equivalente ao internacional.

Pode se dizer que o CPqD-Telebrás no seu projeto de fibra óptica atingiu as metas. Lembrando que no período de 1978 até a industrialização se passaram menos de 5 anos, partindo praticamente do zero em tudo, a partir dos trabalhos iniciais da Unicamp. Sem estes, não teria acontecido em um prazo tão curto. Até o ano de 2001 a indústria com tecnologia do CPqD produziu mais de 2,5 milhões de quilômetros de fibra óptica até ser engolfada pela aquisição por uma empresa americana, logo depois pela crise da bolha da internet e deixando de existir. Mais trágico ainda é que hoje em dia não se tem nenhuma empresa nacional, fabricando com a tecnologia desenvolvida. É tudo estrangeiro.

No entanto, como lembrança, pode se colocar que a interação Universidade-Centro de Pesquisa-Indústria, visando o uso de tecnologias e guiados por uma política clara partindo do governo e sustentada por um período razoável, pode gerar frutos importantes.



REVISTA DA

sbfoton

Vol. 1 - Set/2022

sbfoton.org.br

