

**MEMÓRIAS
DA
ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE
LISBOA**

CLASSE DE CIÊNCIAS

**As Ciências Matemáticas em Portugal
50 anos após o 25 de abril de 1974**

JOSÉ FRANCISCO RODRIGUES · IRENE FONSECA · LUÍS OLIVEIRA E SILVA
MÁRIO FIGUEIREDO · JORGE MILHAZES DE FREITAS



**ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE LISBOA**

LISBOA • 2026

Título: As Ciências Matemáticas em Portugal

50 anos após o 25 de abril de 1974

Edição: Academia das Ciências de Lisboa

Data de edição: 2026

DOI: <https://doi.org/10.58164/cxzs-4y96>

As Ciências Matemáticas em Portugal 50 anos após o 25 de abril de 1974

JOSÉ FRANCISCO RODRIGUES^{1,2}, IRENE FONSECA^{1,3}, LUÍS OLIVEIRA E SILVA^{1,4},
MÁRIO FIGUEIREDO^{1,4} E JORGE MILHAZES DE FREITAS^{1,5}

Na sequência da Celebração Prospetiva dos cinquenta anos após o *25 de Abril*, realizada em maio de 2024 pela Academia das Ciências de Lisboa, a sua Classe de Ciências promoveu uma Sessão Extraordinária, sob a presidência de Carlos Salema, com o objetivo de analisar e discutir a evolução das Ciências Matemáticas e das suas áreas afins procurando questionar e avançar perspetivas sobre a sua evolução futura.

Na primeira das cinco comunicações, José Francisco Rodrigues apresentou um breve enquadramento histórico sobre a evolução da investigação nas Ciências Matemáticas em Portugal, desde a criação do Centro de Estudos de Matemática de Lisboa, pelo Instituto para a Alta Cultura em 1940, até à situação atual, referindo a existência de um Instituto de Física e Matemática em 25 de abril de 1974 e a necessidade de uma instituição complementar aos centros de investigação matemática nas universidades. Irene Fonseca abordou alguns dos desafios que se colocam hoje em dia à Matemática, na sua perspetiva de diretora do Center for Nonlinear Analysis, da Carnegie Mellon University, e de quem tem uma larga experiência de avaliadora e conselheira dos Centros de Matemática portugueses. Luís Oliveira e Silva apresentou alguns dos relevantes aspetos da permanente interdisciplinaridade entre a Física e a Matemática, que continua a impulsionar o desenvolvimento das duas disciplinas, mencionando alguns aspetos e desafios que a investigação científica hoje apresenta. Mário Figueiredo salientou as interações entre as Ciências Matemáticas e as Ciências de Informação num futuro digital inundado de dados e de algoritmos fundamentais com a Inteligência Artificial e Aprendizagem Automática. Finalmente Jorge Milhazes de Freitas questionou o futuro das Ciências Matemáticas em Portugal, referindo o papel dos

¹ Academia das Ciências.

² Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.

³ Carnegie Mellon University.

⁴ Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

⁵ Faculdade de Ciências, Universidade do Porto.

Centros de Matemática e os desafios do Centro Internacional de Matemática, como catalisador de um novo salto qualitativo.

1. DA NECESSIDADE DE UM INSTITUTO DE MATEMÁTICA EM PORTUGAL

José Francisco Rodrigues

Procurando levar esta celebração prospetiva um pouco mais adiante na sequência da Celebração do *25 de Abril* realizada nos passados dias 2 e 9 de maio de 2024 no Salão Nobre da Academia, abordam-se agora as Ciências Matemáticas, com as quais a Academia das Ciências teve uma interação desde os seus primórdios, com relevância sobretudo no século XIX (Saraiva, 2008). No passado dia 28 de junho de 2024, durante o 37.º Seminário Nacional de História da Matemática efetuado na Academia das Ciências, falei sobre dois aspetos do seu início relacionados com o matemático e poeta José Anastácio da Cunha, que foi proscrito da Universidade em 1778 pela Inquisição: a influência direta das suas *Notícias Literárias de Portugal*, de 1780, na controversa “Oração de abertura” de Teodoro de Almeida, a 4 de julho do mesmo ano, e as propostas daquele matemático para o concurso da Academia aos primeiros prémios das Ciências de Cálculo, feitas através daquele sócio fundador, as quais também foram motivo de uma posterior e amarga controvérsia com outro sócio fundador, o professor da Universidade de Coimbra José Monteiro da Rocha. Muito para além desta controvérsia inicial dos seus primórdios, as Ciências Matemáticas continuaram ligadas à Academia das Ciências de várias formas.

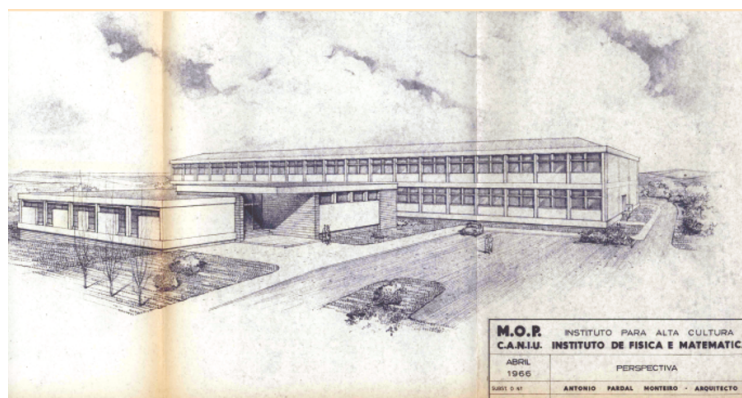


Figura 1. Planta do edifício do Instituto de Física e Matemática (1971–1975) do Instituto de Alta Cultura.

Em 25 de abril de 1974 existia a funcionar em Lisboa o Instituto de Física e Matemática (IFM), cujo projeto arquitetónico data de 1966 (Figura 1) e foi criado por um Decreto-Lei, que *“saiu precipitadamente em 28 de dezembro de 1966 com o número 47.424. Para não atrasar a publicação, deixou-o sair com algumas imperfeições”*, conforme escreveu o seu diretor António da Silveira (1904-1985) (Silveira, 1985). Este professor de Física do Instituto Superior Técnico de Lisboa, fora o fundador daquele instituto de investigação do Instituto de Alta Cultura (IAC) e, como membro Academia das Ciências, apresentou na sessão de 17 de janeiro de 1985 da Classe de Ciências uma comunicação onde se lê nos seus *Comentários imperfeitos*, a seguinte frase: *“eu posso dizer agora que aceitei a presidência do IAC, em 1964, unicamente para fundar o Instituto de Física, fazer sair a física da clandestinidade”* (Silveira, 1985). Esta frase é importante para perceber o enquadramento institucional e a história das instituições neste país, em particular ligados à investigação científica fundamental, e está escrita num tom académico e, ao mesmo tempo, muito cáustico e contundente.

O matemático João Paulo Carvalho Dias, atual decano da Secção de Matemática da Academia, integrou o grupo inicial de jovens investigadores que trabalharam entre 1971 e 1976 no Instituto de Física e Matemática e, já como professor da Faculdade de Ciências, prosseguiu a sua investigação naquele edifício integrado no Centro de Matemática e Aplicações Fundamentais (CMAF). Este foi um dos centros de investigação criados pelo Instituto Nacional de Investigação Científica (INIC) criado em 1976, sucedendo ao Instituto de Altos Estudos. Eu próprio tive o privilégio, enquanto matemático de uma segunda geração e professor da Faculdade de Ciências integrado no CMAF, de que fui diretor em duas ocasiões mais de nove anos, de beneficiar de um gabinete e da excelente biblioteca de Física e de Matemática que existiu até 2015 naquele edifício. O ex-Instituto de Física e Matemática, entretanto transformado num dos Complexos Interdisciplinares do INIC, serviu para acolher centros de Física e de Matemática, um dos quais o CMAF, na linha do antigo Centro de Estudos Matemáticos do IAC. O CMAF teve um papel central na recuperação da *Portugaliae Mathematica*, a revista da Sociedade Portuguesa de Matemática atualmente publicada pela *European Mathematical Society*, e da sua Biblioteca de Permuta, a partir de 1993. Em 2015, todas as bibliotecas de Matemática e de Física existentes no ex-IFM (Figura 2) foram transferidas com os centros de investigação para a Faculdade de Ciências

da Universidade de Lisboa, na sequência da junção federativa da Universidade de Lisboa com a Universidade Técnica de Lisboa, ocorrida em 2013.



Figura 2. Biblioteca de Física e Matemática do Complexo Interdisciplinar em 2015.

Se era necessário “fazer a Física sair da clandestinidade” nos últimos meses de 1964, quando António da Silveira iniciou a presidência do IAC, para, com o apoio do ministro da época, conseguir os meios financeiros para criar em 1966 o IFM, a Matemática não estava então muito melhor, mas desempenhou um papel essencial no aparecimento daquele instituto. Com efeito, em meados de 1965, José Sebastião e Silva (1914–1972), diretor do Centro de Estudos Matemáticos e então já professor da Faculdade de Ciências, foi falar com o presidente do IAC levando-lhe um regulamento de um Instituto Português de Matemática, resultante da proposta de 1953 em que tinha participado, no âmbito também do IAC, por convite do ministro Leite Pinto. Uns anos mais tarde, num momento de polémica pública sobre a criação daquele instituto de investigação fora da universidade, Sebastião e Silva (1970) num artigo publicado no *Diário de Lisboa*, manifesta o seu apoio a Silveira escrevendo “o essencial é que o IFM comece a funcionar quanto antes — dentro ou fora da universidade — mas com estatuto próprio e dirigido por pessoas idóneas”. Essa controvérsia, num contexto completamente diferente da criação em 1837 da Escola Politécnica de Lisboa pela monarquia liberal, para dar a base da formação dos militares, que sempre foi a Matemática, a Física e outras ciências da Engenharia, faz lembrar a oposição da Universidade de Coimbra a essa inovação liberal e também lembrar uma placa,

provavelmente dessa época, que tinha inscrito “Instituto de Física e Matemática” e que um dia vi no arquivo do Museu da Universidade de Lisboa.

Na década de sessenta, a investigação em Matemática, ainda que muito reduzida e muito asfixiada na universidade, não estava tanto “na clandestinidade” e não tinha o problema laboratorial com que a Física se defrontava quando o governo decidiu investir na Física Nuclear em Sacavém. Recuando três décadas, a investigação em matemática moderna em Portugal iniciou-se após o regresso de António Aniceto Monteiro (1907-1980) de Paris em 1936, onde se doutorara com Maurice Fréchet (1878–1973), e com a criação do Centro de Estudos Matemáticos (CEM), anexo à Faculdade de Ciências de Lisboa, e criado pelo Instituto para a Alta Cultura, em 1940.

Pedro José da Cunha, que na altura era o decano da Matemática na Academia de Ciências, tinha sido professor primeiro na Escola Politécnica e depois na Faculdade de Ciências, onde teve Monteiro como aluno, foi o primeiro presidente do CEM. António Monteiro, que tinha ganho em 1939 o primeiro prémio Artur Malheiros, instituído um ano antes pela Academia de Ciências, com o “Ensaio sobre os Fundamentos da Análise Geral” (Monteiro, 1939), foi efetivamente o diretor científico do CEM nos três primeiros anos do CEM, cuja atividade de investigação foi fortemente influenciada por aquele Ensaio (Rodrigues, 2020).

A Análise Geral, uma designação introduzida em 1906 pelo matemático norte-americano E. H. Moore, era então uma nova disciplina, que veio dar lugar à Análise Funcional e aos Espaços Vetoriais Topológicos, e que Monteiro trouxera não só dos *Séminaires Julia*, a que assistira no *Institut Henri Poincaré* (IHP) em Paris, mas também dos seus estudos parisienses sob a orientação de Fréchet. O seu ensaio premiado só foi publicado em 2020 no Tomo XLVII das Memórias da Classe de Ciências da Academia das Ciências, mas foi certamente estudado pelos seus discípulos, nomeadamente Hugo Ribeiro e José Sebastião e Silva, no triénio 1940–1942 durante o qual o CEM constituiu uma pequena escola pioneira em topologia geral, criada em Lisboa sob a direção de António Monteiro.

O CEM funcionou durante os três primeiros anos numa sala da Faculdade de Ciências, acolheu a vinda de Maurice Fréchet em 1942 (Figura 3) e foi essencial na consolidação da recém-criada revista *Portugaliae Mathematica*, que, nessa altura, estava associada a esse centro.



Figura 3. A. Monteiro, M. Fréchet e J. Sebastião e Silva, respetivamente o terceiro, o sexto e o sétimo a contar da esquerda, no Jardim Botânico da Faculdade de Ciências de Lisboa em fevereiro de 1942.

Em 1943, por razões políticas, o IAC terminara o magro apoio a António Monteiro, que desde 1938 vivia dando lições particulares e trabalhando para um primeiro serviço de inventariação de bibliotecas científicas do IAC, Sebastião e Silva vai para Roma, Hugo Ribeiro vai para a ETH, em Zurique, e inicia-se um hiato na investigação matemática em Lisboa. O CEM permanece em estado letárgico até 1952, quando José Sebastião e Silva, já professor catedrático no Instituto Superior de Agronomia, retoma a sua direção e o vai dirigir durante vinte anos até ao seu falecimento. O CEM de Lisboa, que foi o primeiro centro de investigação matemática que existiu em Portugal, foi seguido pelo Centro de Estudos Matemáticos do Porto, em 1942, dirigido por Ruy Luís Gomes.

Em 1952, em Portugal, dá-se a transformação do Instituto para a Alta Cultura em Instituto de Alta Cultura (IAC) pelo Ministério da Educação Nacional. No Brasil, também em 1952, é criado o Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA). A fundação deste instituto no Rio de Janeiro correspondia a um movimento de cientistas e matemáticos que vinha de entre as duas guerras mundiais, em particular, com a criação do *Institut Henri Poincaré*, em Paris em 1928, do *Institute for Advanced Studies*, em Princeton em 1930, do *Istituto Nazionale per le Applicazione del Calcolo*, em 1932 em Roma, do *Instituto Matemático Steklov*, em

1934 em Leningrad, atual St.Petersburg, e do *Istituto di Alta Matematica*, em 1939, também em Roma.

No ano seguinte à transmutação do IAC, de I(p)AC em I(d)AC, a 6 de fevereiro de 1953, Sebastião e Silva envia uma carta ao Secretário do IAC, Medeiros Gouveia, com um manuscrito do projeto do Instituto de Matemática, que, sob a forma de Projeto de Decreto-Lei, será a cópia do regulamento do Instituto Português de Matemática, entregue em 1965 a António da Silveira (Silveira, 1985).

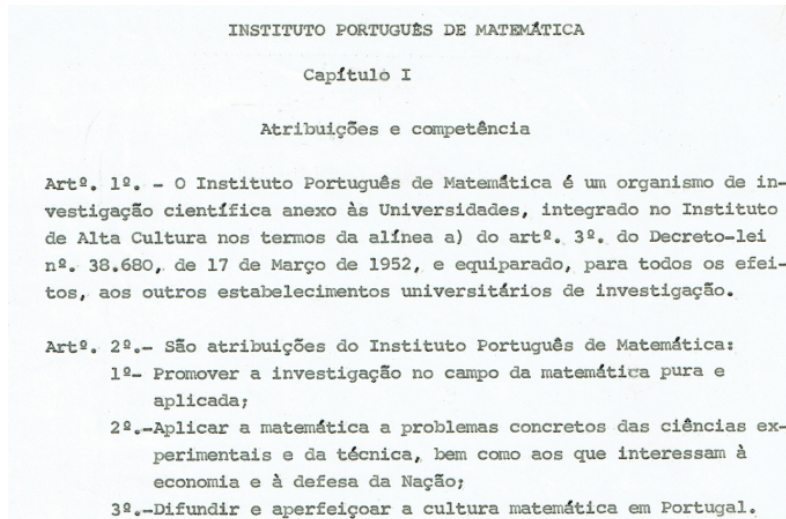


Figura 4. Cópia do Projeto de Decreto-Lei de 1953 do Instituto Português de Matemática do arquivo de J. Sebastião e Silva.

Um projeto de Instituto de Matemática era não só natural para os poucos matemáticos que faziam investigação isoladamente nos três departamentos de matemática existentes na altura em Lisboa, Coimbra e Porto, como uma necessidade nacional sentida por quem estava a par do desenvolvimento científico do pós-guerra, como José Sebastião e Silva. Este projeto está datado e não vingou, mas tem um regulamento que, essencialmente, ainda hoje é atual (Figura 4). Segundo as palavras do próprio António da Silveira (1985) na conversa com Sebastião e Silva, em meados de 1965, este lhe havia dito que “o Ministro Leite Pinto tinha encarregado uma Comissão de que ele fez parte, de elaborar o regulamento do Instituto, mas que elementos das Universidades do Porto e de Coimbra, sobretudo desta, tinham levantado dificuldades e encravado tudo”, e depois dessa sua conversa com o matemático que muito considerava “a ideia de um Instituto de Física e de um Instituto de Matemática associados” se instalara no seu espírito “sob a forma de um Instituto de Ciências

Físicas e Matemáticas". Nos seus *Comentários imperfeitos* (Silveira, 1985), escreve ainda: "Sebastião e Silva defendia também, com convicção, a ideia de um Instituto de investigação autónomo — independente das Universidades, mas em colaboração com elas, naturalmente — com um *staff* de investigadores em regime de *full time*, onde professores e assistentes universitários, ou outros, interessados na investigação, pudessem ter lugar."

Apesar das fortes reações contra, da Universidade de Coimbra e de vários professores influentes da Faculdade de Ciências de Lisboa, ainda antes do fim do mandato de Silveira na presidência do IAC, em novembro de 1967, começaram as obras do Instituto de Física e Matemática e, depois de várias vicissitudes, o primeiro seminário de Teorias Físicas e Física Nuclear por Rui Vilela Mendes foi efetuado e gravado no novo anfiteatro do IFM a 18 de novembro de 1971, a seis meses do prematuro falecimento de Sebastião e Silva, já então muito doente.

Este caso de sucesso efémero foi resultante de uma convergência de dois "estrangeirados", António da Silveira, que passara por Paris, físico, primeiro experimental e depois teórico numa escola de engenharia sem qualquer tradição de investigação, e Sebastião e Silva, que estivera em Roma entre 1943 e 1946, matemático que então dirigia o primeiro centro de investigação matemática em Portugal. Isso contribuiu significativamente para inverter a tendência universitária asfixiante da investigação isolada intramuros, preenchendo a necessidade de criar novas instituições, anexas mas fora das universidades, para além dos centros de investigação que existiam desde os anos quarenta. No entanto, entre os próprios matemáticos da Faculdade de Ciências, em particular os ilustres académicos Dias Agudo e Tiago de Oliveira, que eram adversos à existência de um instituto fora das universidades, existiram fortes críticas ao novo IFM que integraram a fortíssima reação dos meios universitários tradicionais e conduziu à sua extinção a seguir ao 25 de Abril, na substituição do IAC pelo INIC em 1976.

Seguiu-se-lhe um Complexo Interdisciplinar do INIC com vários centros de Matemática e de Física, e também um pequeno centro de Biologia, até que, em 1991, com a extinção do INIC, o edifício transitou com os centros para a Universidade de Lisboa, paralelamente à absorção de um outro Complexo pelo Instituto Superior Técnico e à integração de um terceiro em Oeiras na Universidade Nova de Lisboa.

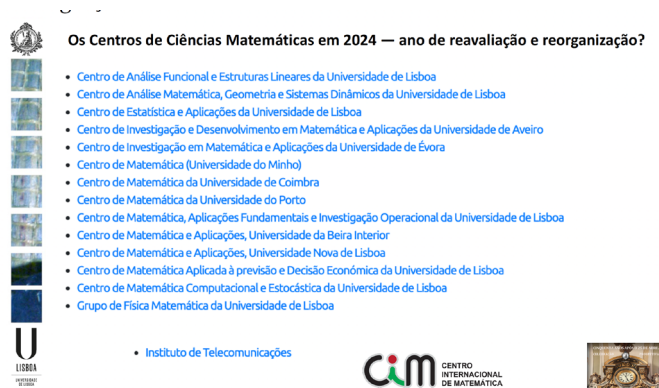


Figura 5. Lista das instituições de investigação associadas do CIM em julho de 2024.

Entretanto, em 1993 foi constituído o [Centro Internacional de Matemática](#) (CIM) com sede no Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra, não como um instituto, mas como uma federação, uma associação privada, sem fins lucrativos, das Unidades de Investigação e de Universidades, incluindo todos os atuais Centros de Matemática e o Instituto de Telecomunicações, onde existem matemáticos ativos. Atualmente, em 2024 (Figura 5), existem 14 centros de Matemática, todos universitários, em processo de avaliação pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

As origens do CIM remontam aos finais de 1990 e a uma iniciativa da Sociedade Portuguesa (SPM), cujo delegado participou no encontro fundador da *European Mathematical Society* (EMS), realizado a 27-28 de outubro desse ano em Madralin, nos arredores de Varsóvia. O CIM iniciou as suas atividades e a publicação do seu *Bulletin* em 1996, uma primeira série de *workshops* temáticos em 1998 e a série anual das *Pedro Nunes' Lectures* em 2008, em colaboração com a SPM e o apoio da Fundação Calouste Gulbenkian.

Apesar das imensas dificuldades financeiras e de instalações, o CIM tem mantido uma atividade notável em Portugal, estabelecendo pontes entre os matemáticos portugueses com os seus pares internacionais, entre a Matemática e as áreas afins interdisciplinares. Por exemplo, foi através dos contactos internacionais do CIM que um dos *European Study Groups with Industry* se realizou em Portugal, no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, dando origem à atual rede portuguesa de matemática para a indústria e inovação (PT MATHS IN) da SPM. Muitos outros exemplos se poderiam dar, como os ilustrados nos dois cartazes da

Figura 6, com destaque para a sessão sobre Matemática e Património Cultural, realizada a 19 de dezembro de 2018 no Salão Nobre da Academia no âmbito do Ano Europeu do Património Cultural.



Figura 6. Cartazes de duas iniciativas do CIM, uma em colaboração com o Instituto de Telecomunicações, em 2016 e outra com a Academia das Ciências em 2018.

O CIM é atualmente um dos 32 centros do [European Research Centres on Mathematics](#) (ERCOM), que é um fórum da European Mathematical Society (EMS) de comunicação e colaboração entre os seus membros, que inclui, entre outros, o *Instituto de Ciencias Matemáticas* (ICMAT) em Madrid, o *Istituto Nazionale di Alta Matematica* em Roma, o IHP e o *Institut des Hautes Études Scientifiques* (IHES) em Paris, o *Isaac Newton Institute* em Cambridge, ou o *Weierstrass Institute* (WIAS) em Berlim, alguns com orçamentos anuais da ordem dos milhões de euros (Figura 7).

Por exemplo, o *Institut Henri Poincaré* (IHP), onde organizei em novembro de 1993 uma reunião do programa de matemática sobre *Free Boundary Problems*, (CMAF/ULisboa, 1993), da *European Science Foundation* (ESF) coordenado entre 1993 e 1998 a partir do CMAF na Universidade de Lisboa, e a cujo *Conseil de l'IHP* pertenço atualmente, para além das salas, anfiteatros e biblioteca do edifício principal do Instituto, abriu recentemente a *Maison Poincaré* num outro edifício, contíguo aos também históricos *Institut Curie* e *Institut de biologie physico-chimique*, que é um moderno centro/museu interativo de matemáticas aberto ao público no centro de Paris, e tem um orçamento anual superior a três milhões de euros.



Figura 7. Uma lista parcial dos membros do ERCOM, dos quais o *Institut Henri Poincaré* é o mais antigo.

E agora? O que fazer 50 anos após o *25 de Abril* para continuar a desenvolver ao mais alto nível as Ciências Matemáticas em Portugal, perante os desafios contemporâneos, promovendo a sua internacionalização e a interdisciplinaridade com as outras Ciências, em particular com as Ciências Físicas e as da Informação?

2. O PAPEL DOS CENTROS E DOS INSTITUTOS DE INVESTIGAÇÃO EM MATEMÁTICA

Irene Fonseca

Quando estive nesta casa, virtualmente, no dia 9 de maio, a pedido de José Francisco Rodrigues falei sobre a evolução da matemática em Portugal desde *25 de Abril* segundo a minha perspetiva e não me vou repetir. Hoje vou focar-me na questão dos centros de investigação.

Sou diretora de um centro de investigação desde 1998, na minha universidade nos Estados Unidos, e farei, essencialmente, uma apologia dos centros de investigação em matemática. Durante décadas, a partir de 2000, fui responsável pela avaliação dos centros de investigação matemática no país, desde a formação dos painéis de peritos, com reputação internacional, até à atribuição de classificações. Da última vez que eu fiz uma avaliação, havia mais do que 20 centros de

matemática e atualmente são 14. Esses 20 centros de investigação em matemática estavam todos inseridos em universidades, tal como todos os atuais.

Os centros de investigação em matemática e os institutos de matemática, desempenham um papel crucial no avanço da matemática e nas suas aplicações em várias disciplinas. Permitem a identificação de áreas emergentes de investigação e também, o que eu acho muito importante, têm um papel fundamental na formação dos novos investigadores e dos novos matemáticos. E grandes descobertas científicas notáveis resultaram de programas em institutos de investigação nos Estados Unidos, na Europa e também na Ásia.

Vou dividir em quatro vertentes os aspetos que considero chave da importância da existência destes institutos ou centros. As quatro vertentes são: i) o avanço da disciplina, ii) a inovação interdisciplinar, iii) a educação e treino e iv) o impacto económico e social.

Começando pelo avanço da disciplina, os centros de investigação em matemática estão na vanguarda da descoberta de novas teorias e princípios matemáticos. Proporcionam um ambiente dedicado à investigação, onde os matemáticos podem focar o seu trabalho na teoria e podem transformar a nossa compreensão do universo matemático e do universo para além da matemática. Facilitam a colaboração nacional e internacional. Promovem uma comunidade onde as ideias podem ser partilhadas, criticadas e desenvolvidas. Criam redes de profissionais e facilitam a colaboração que pode não ocorrer em ambientes mais isolados.

Falando da inovação interdisciplinar, a matemática é a linguagem da ciência e da engenharia, como foi dito no início da sessão. Idealmente, os centros de investigação promovem a colaboração interdisciplinar, onde ferramentas matemáticas são aplicadas para resolver problemas complexos em Física, Biologia, Ciência da Computação, Economia e mais. Ao integrar a investigação matemática com outras disciplinas, novas tecnologias e metodologias podem ser desenvolvidas. Por exemplo, a matemática e a análise de dados são cruciais em áreas como a inteligência artificial, ciência climática e engenharia financeira.

Falando agora sobre educação e treino, os institutos e os centros de matemática frequentemente desempenham um papel significativo na educação e treino de futuros matemáticos, oferecendo cursos avançados, seminários e workshops e eu, em particular, beneficiei imenso durante a minha educação destas atividades

que ocorreram no Instituto de Física e Matemática, que aqui já foi referido. Muitos centros desenvolvem também atividades de educação pública e promovem a literacia matemática e a apreciação entre o público em geral, ajudando a desmistificar a disciplina e inspirar a próxima geração de matemáticos.

Relativamente ao impacto económico e social, a investigação matemática pode levar a soluções práticas para problemas do mundo real, contribuindo para o crescimento económico e o bem-estar social. Isto inclui otimização em indústrias, avaliação de riscos em finanças e desenvolvimento de algoritmos para a tecnologia. Os modelos matemáticos são críticos em processos de tomada de decisão pública e política, como o planeamento da saúde pública, a conservação ambiental e o desenvolvimento urbano, onde análise quantitativa e previsões são essenciais.

Uma pergunta que se coloca é: será necessário para um país da dimensão de Portugal ter esta descentralização de esforços? Não sei se o Centro Internacional de Matemática (CIM) será a resposta portuguesa a esta necessidade. Eu considero que não é, pois não tem o orçamento que é necessário para um instituto de envergadura, nem esse carácter, visto ter uma finalidade diferente.

Muitos países reconheceram o papel fundamental e emergente de centralizar em grandes institutos o avanço dos objetivos científicos nacionais, e aqui repito casos já referidos por José Francisco Rodrigues, por exemplo, o *Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences* em Cambridge, Reino Unido, o *Centro Ennio De Giorgi* em Pisa, Itália, o *Instituto Max Planck de Matemática*, em Bona, o *Institute of Pure and Applied Mathematics* em Los Angeles, o *Simons Laufer Mathematical Sciences Institute* (que era o antigo *Mathematical Sciences Research Institute*) em Berkeley, EUA, o *Pacific Institute for Mathematical Sciences* no Canadá, e outros. Estes e muitos outros juntaram-se às fileiras de institutos estabelecidos, como o *Institut Henri Poincaré* e o *Institut des Hautes Études Scientifiques*, em Paris, o *Institute for Advanced Study*, em Princeton, o *Santa Fe Institute*, no Novo México, ambos nos EUA.

Em conclusão, a investigação em matemática e os institutos de matemática são indispensáveis para impulsionar os limites do conhecimento matemático e suas aplicações. Servem como centros de inovação, colaboração e educação, com impacto significativo em vários domínios científicos, tecnológicos e sociais.

Atualmente, em Portugal não há institutos com este carácter nas universidades, nem fora delas. Eu considero isso uma lacuna no portfólio institucional nacional, e de, certo modo, isto torna também difícil para os investigadores portugueses em áreas fundamentais, ditas abstratas e puras, contribuírem no cenário internacional para os desenvolvimentos interdisciplinares em áreas como a biotecnologia, sistemas ambientais complexos, ciências sociais. Portugal tem os recursos científicos para o fazer, já que o desenvolvimento de programas interdisciplinares está ancorado na excelência disciplinar que existe.

Para rematar, insisto que as boas estruturas de investigação interdisciplinar não abrem apenas áreas de investigação, mas também oferecem flexibilidade e possibilidade de expansão para as disciplinas ditas tradicionais.

3. A PERMANENTE INTERDISCIPLINARIDADE ENTRE A FÍSICA E A MATEMÁTICA — DESAFIOS PARA O FUTURO

Luís Oliveira e Silva^{6,7}

A Física é, entre as Ciências Naturais, a disciplina que mais naturalmente se associa à Matemática. A relação entre ambas não é meramente instrumental, mas estrutural: a Matemática constitui o quadro conceptual e formal através do qual a Física formula as suas leis e constrói os seus modelos. Neste texto, recorda-se essa complementaridade e evidencia-se o modo como o diálogo entre as duas áreas tem sido particularmente fecundo para o avanço do conhecimento científico. A partir dos desafios contemporâneos colocados à Física, identificam-se ainda aqueles que envolvem de forma mais direta a Matemática e discutem-se possíveis iniciativas que, no contexto nacional, poderão reforçar esta interdisciplinaridade.

Grande parte dos avanços da Física foi impulsionada por desenvolvimentos matemáticos. Em sentido inverso, muitos progressos na Matemática tiveram origem em problemas físicos. A história da Ciência oferece exemplos paradigmáticos desta interação. Newton, em paralelo com Leibniz, desenvolveu o cálculo

⁶ O trabalho aqui apresentado foi parcialmente financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, projetos UID/50010/2025 (<https://doi.org/10.54499/UID/50010/2025>) e LA/P/0061/2020 (<https://doi.org/10.54499/LA/P/0061/2020>).

⁷ O autor declara que recorreu a ferramentas de inteligência artificial generativa exclusivamente para apoio na revisão linguística e estilística da versão final do texto, sendo o conteúdo inteiramente da sua responsabilidade.

infinitesimal, instrumento fundamental para a formulação da mecânica clássica. Maxwell explorou sistematicamente o cálculo diferencial para estruturar a teoria do eletromagnetismo. Einstein, apoiando-se na geometria diferencial e no cálculo tensorial, que aprofundou com Marcel Grossmann, e beneficiando dos contributos de matemáticos como Hilbert e Minkowski, formulou a teoria da Relatividade Geral⁸. Esta continua, ainda hoje, a suscitar novos desenvolvimentos matemáticos. De forma mais abrangente, a física teórica contemporânea apoia-se em estruturas matemáticas cada vez mais sofisticadas e, simultaneamente, constitui um estímulo permanente à criação de novos desenvolvimentos formais.

Entre as Ciências Naturais, a Física é aquela em que a Matemática assume um papel mais central e estruturante. À medida que outras disciplinas incorporam formalismos matemáticos e adotam métodos quantitativos rigorosos, aproximam-se do paradigma epistemológico da Física. Esta ligação profunda suscitou reflexões sobre o estatuto da Matemática na descrição da Natureza. No ensaio *The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences*, Eugene Wigner (1960) sublinhou aquilo que designou como a “irrazoável eficácia da Matemática”. Sendo uma construção do espírito humano, a Matemática revela uma capacidade notável para descrever, com precisão e economia conceptual, as leis fundamentais da Natureza. Não raramente, teorias matemáticas desenvolvidas sem intenção de aplicação prática acabam por desempenhar um papel decisivo nas Ciências Naturais. A imprevisibilidade dessas aplicações futuras constitui um traço marcante desta relação. Para Wigner tal eficácia poderá apontar para uma ligação mais profunda, ainda não inteiramente compreendida, entre a estrutura da mente humana e a estrutura do mundo físico⁹.

O diálogo entre Física e Matemática é contínuo e estrutural. A Matemática fornece o formalismo necessário à formulação de leis, à construção de modelos e ao desenvolvimento de algoritmos que permitem descrever e prever fenómenos físicos. Com o avanço das tecnologias da informação e da computação, esta interação intensificou-se de forma significativa. A possibilidade de simular, *in silico*, sistemas físicos

⁸ Apesar da visão de Einstein sobre a relação entre a Física e a Matemática ter evoluído ao longo da sua carreira, a sua Herbert Spencer Lecture, em Oxford, a 10 junho de 1933, descreve de forma detalhada a sua perspetiva do ponto de vista da Física Teórica, (Einstein, 1934).

⁹ O conceito de “Universo Matemático” tem também sido explorado mais recentemente por Roger Penrose e Max Tegmark.

complexos, desde escalas microscópicas até estruturas cosmológicas, transformou profundamente a prática científica contemporânea. A simulação computacional tornou-se um instrumento central de exploração teórica e de teste de hipóteses e de cenários, ampliando o alcance da modelação matemática.

Como salientou Pinto Peixoto (1987) “A simulação matemática consiste na construção de réplicas matemáticas que reproduzam com fidelidade os processos físicos e a sua evolução (...) que deixou de ser um mero exercício acadêmico e passou a constituir um instrumento imprescindível para o estudo da variabilidade de um fenómeno e da sua evolução futura. Pode dizer-se que a simulação produzida matematicamente ao permitir reproduzir tantos fenómenos, processos e situações, se transformou, hoje, numa verdadeira forma de experimentação. De facto, podem impor-se ou controlar matematicamente muitos condicionamentos no modelo tornando possível identificar as relações causa-efeito (...) Ao permitir a realização de experiências matemáticas e numéricas sob uma variedade de condições, a simulação matemática constitui um laboratório “dentro de casa”, da Natureza e da própria sociedade. Esta metodologia consolidou-se como um dos três pilares da investigação científica contemporânea.

A ligação entre física teórica e matemática permanece igualmente central em domínios como a teoria das cordas, os materiais topológicos ou os sistemas quânticos de muitos corpos. O reconhecimento internacional atribuído a trabalhos situados nestas zonas de interseção, incluindo Prémios Nobel e Medalhas Fields, constitui testemunho da relevância científica dessas convergências.

Numa análise prospetiva recente sobre as tendências da Física (Oliveira e Silva, 2026), esta interligação não surge sempre de modo explícito, mas encontrava-se subjacente a vários dos vetores identificados e das principais tendências: o papel crescente das grandes infraestruturas científicas; a integração cada vez mais estreita com as ciências e tecnologias da informação e da computação; a crescente dimensão global da investigação; o aumento das implicações sociais, económicas, geoestratégicas e éticas; o reforço do financiamento filantrópico e privado; e a complexidade crescente dos problemas científicos.

Em particular, a centralidade das tecnologias digitais, a valorização de iniciativas multidisciplinares com objetivos definidos no tempo e a natureza cada vez mais complexa dos desafios científicos exigem equipas com competências diversificadas e um diálogo permanente entre áreas disciplinares e, principalmente, entre as que se encontram mais próximas.

Neste contexto, importa analisar os instrumentos que, a nível internacional, têm sido utilizados para promover a interdisciplinaridade entre Física e Matemática e avaliar em que medida tais modelos poderão ser adaptados ao contexto nacional. Entre os diversos exemplos existentes, destacam-se a *Simons Foundation*¹⁰, em particular, o seu *Flatiron Institute*¹¹, e o *Princeton Center for Theoretical Science*¹².

A *Simons Foundation*, fundada em 1994 pelo matemático e filantropo James Simons, desenvolve um conjunto amplo de iniciativas na interface entre Matemática e Ciências Naturais. As suas *Simons Collaborations* financiam programas interdisciplinares centrados em problemas matemáticos e teóricos de relevância fundamental. Projetos nas áreas da geometria, teoria dos números, computação científica, teoria das cordas, cromodinâmica quântica, materiais topológicos, astrofísica relativista ou teoria das ondas e simetrias ilustram a diversidade e a profundidade desse esforço. Estes programas promovem não apenas a interação entre disciplinas, mas também a cooperação entre instituições.

Adicionalmente, a fundação apoia centros de investigação com equipas de pós-doutorados e docentes associados a universidades da região de Nova Iorque e de Nova Jérсия, tendo frequentemente a computação como eixo estruturante das atividades científicas.

Num enquadramento estritamente universitário, o *Princeton Center for Theoretical Science* constitui outro exemplo relevante. Estruturado em torno de uma comunidade de pós-doutorados integrados e provenientes de diferentes departamentos na universidade, o centro organiza programas temáticos de curta duração (tipicamente de uma semana) destinados a fomentar o diálogo interdisciplinar. Com estruturas permanentes reduzidas e financiamento relativamente modesto, estes programas demonstram a eficácia de modelos organizativos flexíveis e focados, reforçando o papel das interações sociais entre comunidades como instrumento para acelerar os desenvolvimentos interdisciplinares.

A análise destes exemplos permite retirar algumas conclusões. Em primeiro lugar, o diálogo entre Física e Matemática é hoje mais central e mais importante

¹⁰ <https://www.simonsfoundation.org> “(...) mission is advance the frontiers of research in mathematics and the basic sciences” (acesso em 17/2/2026).

¹¹ <https://www.simonsfoundation.org/flatiron/> “(...) mission is to advance scientific research through computational methods, including data analysis, theory, modeling and simulation.” (acesso em 17/2/2026).

¹² <https://pcts.princeton.edu/> “(...) dedicated to exploring the frontiers of theory in the natural sciences” (acesso em 17/2/2026).

do que nunca. Em segundo lugar, muitas das iniciativas mais inovadoras emergem fora das estruturas universitárias tradicionais, frequentemente organizadas de forma excessivamente compartimentada. Estas novas entidades criam comunidades em que a interdisciplinaridade constitui parte integrante da cultura institucional, potenciando efeitos transformadores nas próprias instituições universitárias que as acolhem.

Estas iniciativas permitem identificar áreas científicas emergentes e concentrar recursos nas fronteiras mais dinâmicas do conhecimento. A sua flexibilidade organizativa, aliada a estruturas permanentes reduzidas e a critérios exigentes de seleção, constitui um fator determinante do seu sucesso. Simultaneamente, funcionam como polos de atração de talento, que posteriormente reforça o sistema universitário.

Importa considerar de que modo estes elementos poderão ser adaptados ao contexto português. Portugal possui alguma tradição nesta articulação entre Física e Matemática, bem exemplificada nos anos 70 pelo Instituto de Física e Matemática criado por iniciativa de António da Silveira (1985). O desafio atual consiste em atualizar esse modelo à luz das práticas internacionais, promovendo a criação de uma comunidade dinâmica assente em programas temáticos de curta duração, no apoio a jovens investigadores em início de carreira pós-doutoral e na mobilização de recursos filantrópicos, em articulação com o envolvimento institucional das universidades.

Uma iniciativa desta natureza, centrada nas “ciências teóricas” ou nas “ciências computacionais”¹³, e nas suas ligações estruturais à Matemática, poderia reforçar a posição de Portugal neste domínio e contribuir de forma significativa para o desenvolvimento científico nacional.

Espera-se que esta reflexão contribua para reforçar a consciência da urgência e oportunidade desta discussão e estimule a criação de pontes institucionais e iniciativas concretas. É convicção do autor que um projeto com estas características é exequível em Portugal e poderá produzir efeitos duradouros nas nossas disciplinas e instituições.

¹³ Importa aqui creditar a Fundação Calouste Gulbenkian que, à data da revisão deste texto, tem em curso uma iniciativa nestas linhas (o *Gulbenkian Institute for Advanced Study*) <https://gulbenkian.pt/gias/>, (acesso em 1/2/2026) para já com foco nas Humanidades.

4. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, APRENDIZAGEM AUTOMÁTICA E AS CIÊNCIAS MATEMÁTICAS

Mário Figueiredo

Não me considerando de todo um matemático, vou tratar brevemente da interação entre inteligência artificial (IA), aprendizagem automática (*AA-machine learning*) e as ciências matemáticas, referindo alguns pontos de contacto que me parecem relevantes. Vou começar pela história da IA e as suas raízes matemáticas.

Começo invocando três matemáticos que considero serem os três pilares da moderna inteligência artificial e da aprendizagem automática. O primeiro é Norbert Wiener, que em 1948 escreveu um livro seminal, de título *Cybernetics*, que tem um subtítulo que acho extraordinário e gosto sempre de citar: *A study of vital importance to psychologists, physiologists, electrical engineers, radio engineers, sociologists, philosophers, mathematicians, anthropologists, psychiatrists and physicists* (Figura 8). Trata-se de uma obra visionária que, ao formalizar matematicamente os conceitos de controlo, retroalimentação (*feedback*) e comunicação como processos idênticos em organismos biológicos, máquinas e outras estruturas, incluindo sociedades, estabeleceu os alicerces que hoje fundamentam os algoritmos de aprendizagem automática e a IA moderna.

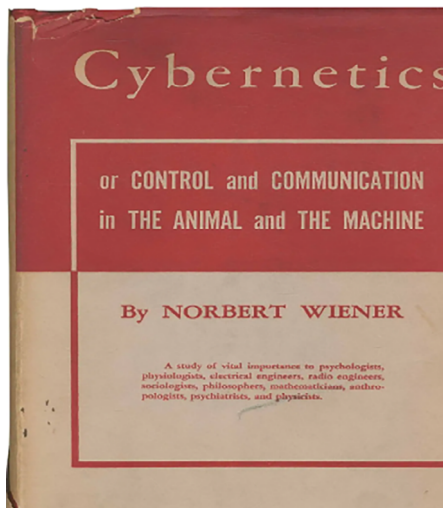


Figura 8: Capa do livro *Cybernetics* (1948).

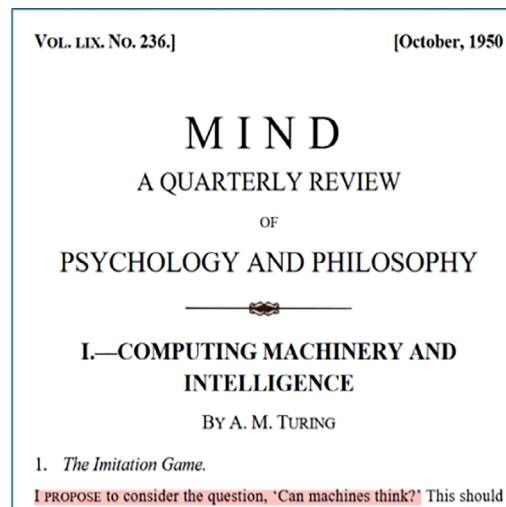


Figura 9: Título e primeira linha do artigo de Alan Turing (1950).

Outro matemático fundamental nos alicerces da IA, é Alan Turing que, em 1950, escreveu o famoso artigo *Computing Machinery and Intelligence* (Figura 9), frequentemente considerado um dos escritos fundadores da ideia de tentar colocar as máquinas a “pensar”. A primeira frase do artigo é revelador: “Proponho considerar a seguinte questão: podem as máquinas pensar?”. A última secção do artigo de Turing tem o título *Learning Machines* (“Máquinas que Aprendem”) e é vista como um texto fundador também da ideia de aprendizagem automática.

O terceiro matemático que quero referir é Claude Shannon, uma figura seminal das modernas telecomunicações. O seu famoso artigo de 1948, “A Mathematical Theory of Communication”, estabeleceu os alicerces para as modernas teorias da informação e da comunicação, ferramentas essenciais da moderna engenharia das telecomunicações. Uma das contribuições intelectuais deste artigo foi trazer para a engenharia algumas técnicas da matemática, nomeadamente as provas não construtivas, que lhe permitiram, por exemplo, mostrar a existência de códigos com certas características, sem necessariamente saber como obter estes códigos. Para além desta contribuição, Shannon é também considerado um dos pais fundadores da IA, nomeadamente devido ao seu trabalho na resolução automática de labirintos, visto como um dos primeiros exemplos de aprendizagem automática por uma máquina, tendo publicado o artigo *Presentation of a Maze-Solving Machine* na conferência *Cybernetics* em 1952 (Figura 10).

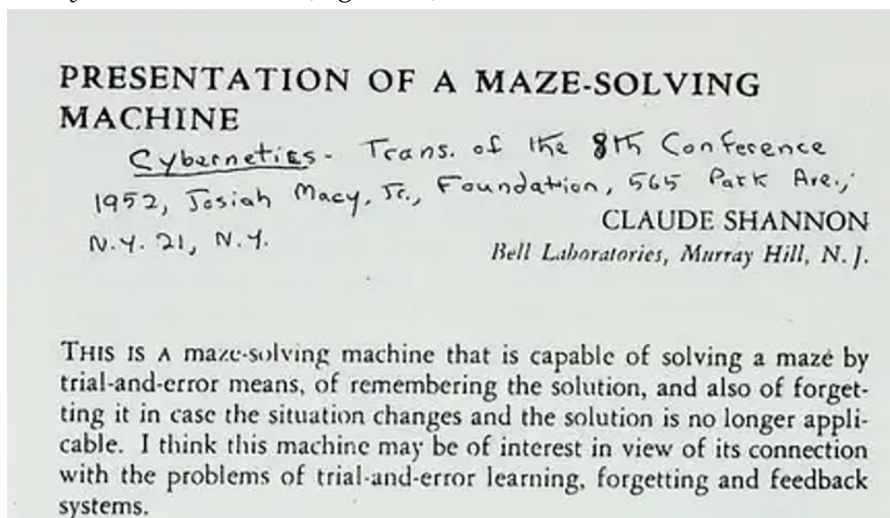


Figura 10: Título e parágrafo inicial do artigo de Claude Shannon (1952).

Podemos assim concluir que os trabalhos de Wiener, Turing e Shannon, três matemáticos das décadas centrais do século XX, são pilares fundamentais da aprendizagem automática e da inteligência artificial.

O próximo trabalho que quero referir é um famoso artigo de Eugene Wigner (físico-matemático, também das décadas centrais do século XX e que recebeu um prémio Nobel da Física em 1963), de título “*The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences*” (Figura 11). O primeiro parágrafo do artigo conta a história de dois amigos, sendo que um deles é estatístico e trabalha em distribuições de populações. O estatístico refere-se à distribuição de Gauss e mostra-a ao amigo, sendo que na expressão desta distribuição surge o famoso número π . Este facto causa enorme espanto ao amigo leigo nestes assuntos: porque é que o número π , sendo a relação entre o perímetro e o diâmetro de uma circunferência, aparece na estatística das populações? Certamente a população nada tem a ver com o cálculo de perímetro de um círculo! Relativamente a esta pequena passagem, o artigo poder-se-ia chamar “*The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in Statistics*”.

Muito mais recentemente, em 2009, Alon Halevy, Peter Norvig (autor do livro considerado a referência fundamental da IA moderna, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*) e Fernando Pereira (investigador português da Google) escreveram um artigo cujo título é uma homenagem ao artigo de Eugene Wigner, mas numa direcção diferente: *The Unreasonable Effectiveness of Data* (Figura 12).

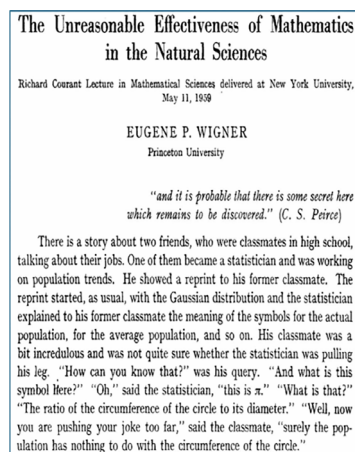
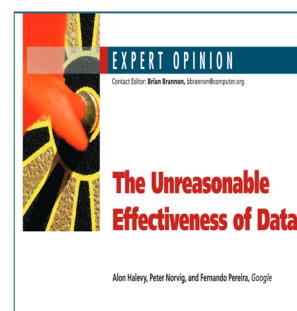


Figura 11: Título e primeiro parágrafo do artigo de Eugene Wigner (1959).



Abstract: Problems that involve interacting with humans, such as natural language understanding, have not proven to be solvable by concise, neat formulas like $F = ma$. Instead, the best approach appears to be to embrace the complexity of the domain and address it by harnessing the power of data: if other humans engage in the tasks and generate large amounts of unlabeled, noisy data, new algorithms can be used to build high-quality

Figura 12: Título do artigo de Halevy, Norvig e Pereira (2009).

Neste artigo, os autores argumentam que, em áreas como a IA e o processamento de linguagem natural (*natural language processing*, NLP), os investigadores devem deixar de ter “inveja da física” — o desejo de ter equações elegantes e compactas como $E=mc^2$, para explicar fenómenos complexos — e admitir que modelos simples e muitos dados superam modelos mais elaborados baseados em menos dados. De facto, o artigo de Halevy, Norvig e Pereira previu a atual IA generativa (como os grandes modelos de linguagem). Estes autores anteviram que não precisávamos de uma “teoria da linguagem” perfeita (nomeadamente regras gramaticais); apenas precisávamos de dados suficientes para que as máquinas aprendessem a estatística de como as palavras se encaixam. Ainda mais recentemente, Richard Sutton (um dos criadores da aprendizagem por reforço — *reinforcement learning* — e vencedor do Prémio Turing de 2024) escreveu um artigo, muito conhecido, de título *The Bitter Lesson (A Lição Amarga)*. A referida lição é que ao longo de 70 anos de investigação em IA, os métodos gerais que aproveitam o aumento do poder computacional (como a lei de Moore) e o acesso a grandes quantidades de dados têm-se revelado, a longo prazo, sempre superiores aos métodos que utilizam engenharia e conhecimento humanos para desenhar as soluções.

Para continuar a contextualizar a história da IA, observemos na Figura 13 uma trajetória definida por três grandes ondas de entusiasmo (os “booms”) e dois famosos “invernos da IA,” marcados por alguma desilusão e desinvestimento. Tudo começou nas décadas de 50 e 60 com a chamada IA simbólica clássica (que veio a ficar conhecida pelo acrónimo simpático GOFAI – *Good Old-Fashioned AI*). Foi uma época de previsões audazes — como a de Herbert Simon, que declarou em 1968 que estaríamos a uma década de criar máquinas pensantes — mas que acabou por esbarrar na complexidade da realidade, levando ao primeiro inverno, justificado pela frustração de previsões não concretizadas. O interesse renasceu nos anos 80 com os “sistemas periciais” (*expert systems*), mas foi o contexto tecnológico envolvente que preparou o terreno para a revolução atual. Enquanto o interesse nos “sistemas periciais” declinava, o mundo via a ascensão do computador pessoal e da Internet. Logo depois assistimos à criação das grandes plataformas digitais (como a Google e a Amazon) que geraram o volume de dados necessário para alimentar o terceiro boom: o da aprendizagem automática. Hoje, este ciclo domina totalmente o panorama da IA, desde as vitórias do AlphaGo até à condução autónoma, culminando na atual revolução da IA generativa e

ferramentas como os modernos robots de conversação (*chatbots*) baseados nos grandes modelos de linguagem (*large language models*).

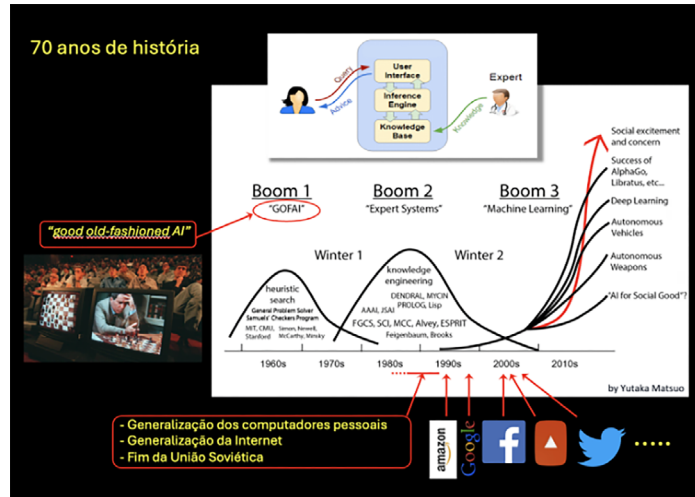


Figura 13: A história da inteligência artificial resumida numa figura.

Na última década, assistimos à chamada revolução da aprendizagem profunda (*deep learning*). Esta mudança alterou profundamente o paradigma da aprendizagem automática ao dispensar uma boa fração da intervenção humana especializada na estruturação dos problemas. O foco passou para a aprendizagem “ponta a ponta” (*end-to-end learning*), um processo onde, definida a arquitetura, o sistema aprende autonomamente todos os parâmetros necessários. Depois de décadas em que uma grande parte do trabalho de investigação em aprendizagem automática se debruçava sobre que características (*features*) se devem extrair de um objeto (por exemplo, uma imagem ou um texto) que permitem, por exemplo, classificá-lo, este processo tornou-se automático, a partir de grandes quantidades de dados. No entanto, é crucial compreender que esta evolução técnica radical não ocorreu no vácuo: ela sustenta-se num substrato económico, sem o qual nada disto seria possível, dada a necessidade que estas abordagens têm de enormes quantidades de dados de treino.

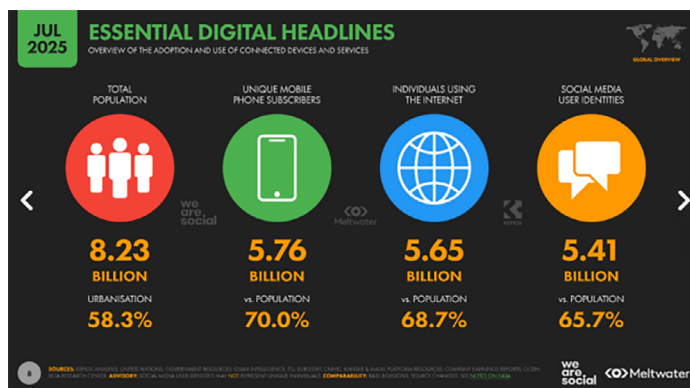


Figura 14: Sumário de números de utilizadores de Internet e de redes sociais.

Para compreender a dimensão deste substrato económico, basta olhar para os números: numa população mundial que ultrapassa os 8 mil milhões de pessoas, mais de 5 mil milhões são já utilizadores de *smartphones*, da Internet e de redes sociais (Figura 14). Contudo, o dado mais relevante não é o acesso, mas sim a produção. Este conjunto de pessoas gera, continuamente, quantidades astronómicas de informação. Falamos de um rastro digital detalhado que abrange tudo: desde a localização física e preferências de consumo até opiniões políticas e estados de saúde. É esta imensidão de dados comportamentais, disponível na rede, que alimenta a máquina atual.

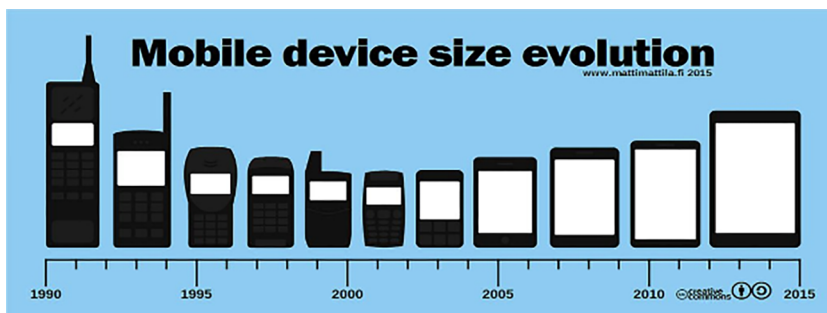


Figura 15: Evolução dos dispositivos de comunicações móveis, vulgo *telemóveis*.

A par desta realidade, assistimos a uma revolução no *hardware* com a ubiquidade dos *smartphones*. Se há duas décadas estes dispositivos serviam apenas para telefonar, hoje essa é, ironicamente, a sua função mais básica (Figura 15). Transformaram-se em terminais de acesso contínuo à Internet, catalisando uma explosão de dados sem precedentes. O crescimento tem sido exponencial, permitindo

constatações impressionantes: o volume de dados multiplicou-se 50 vezes na última década e cerca de 90% de toda a informação digital existente foi gerada apenas nos últimos dois anos.

Mas como é possível armazenar e processar este volume colossal de dados? A resposta reside, relativamente ao armazenamento, na queda vertiginosa do respetivo custo. Desde 1950, o preço por *megabyte* caiu de forma exponencial até se tornar, hoje, virtualmente gratuito (menos de uma fração de cêntimo). Deixámos de gerir o espaço: guardamos todas as fotografias e vídeos sem hesitação, um comportamento que seria impensável há poucas décadas. Este fenómeno tem sido acompanhado por uma evolução também exponencial no poder de cálculo. Por exemplo, entre 1995 e 2015, a capacidade de processamento a custo constante aumentou um milhão de vezes. Para visualizar esta escala, usemos uma analogia com a indústria automóvel: se os carros tivessem evoluído a este ritmo, hoje um veículo custaria apenas alguns cêntimos e bastariam alguns mililitros de combustível para durar a vida inteira. Finalmente, chegamos ao motor físico desta revolução: os *graphics processing units* (GPUs). Não é por acaso que a NVIDIA ascendeu recentemente ao estatuto de empresa mais valiosa do mundo, ultrapassando gigantes históricas como a Apple. Esta valorização astronómica reflete uma realidade simples: a empresa detém a chave do *hardware* indispensável — os GPUs — que serve de coração a toda a IA moderna.

Mas como se financia esta infraestrutura colossal? A resposta reside numa profunda alteração do paradigma económico da informação. A lei da oferta e da procura é implacável: a superabundância de conteúdos na internet fez com que o seu valor caísse a pique. O valor deixou de estar na informação em si e migrou para a capacidade de encontrar aquela que é relevante para cada utilizador — a arte de descobrir a agulha no palheiro. Foi aqui que residiu o golpe de génio da Google: perceber que a pesquisa podia ser monetizada através da publicidade. Mas não uma publicidade qualquer. Falamos de publicidade cirúrgica, moldada pelos perfis detalhados que as plataformas constroem sobre cada um de nós enquanto navegamos nos nossos dispositivos móveis.

O mesmo modelo foi aplicado nas redes sociais e plataformas de *e-commerce*. Do *YouTube* ao *Facebook*, passando pela *Amazon*, a lógica é idêntica: monetizar a atenção através de publicidade e sistemas de recomendação. E qual é o motor

disto tudo? A IA! Estas empresas operam sistemas de *aprendizagem automática* colossais que não se limitam a mostrar anúncios; eles aprendem quem somos para prever o que faremos a seguir. Em linguagem económica, negociam-se aqui “futuros comportamentais”: a venda da probabilidade de um utilizador ter intenção de comprar algo nos próximos meses. A rentabilidade deste mercado é estonteante. Em 2025, a *Alphabet* (dona da *Google* e do *YouTube*) faturou mais de 400 mil milhões de dólares apenas em publicidade. Para colocar este valor em perspetiva, o PIB de Portugal no mesmo ano rondou os 338 mil milhões. Ou seja, uma única linha de receita de uma empresa tecnológica superou toda a riqueza produzida por um país de 10 milhões de habitantes. Se somarmos a *Meta* (*Facebook*, *Instagram*), que faturou perto de 200 mil milhões, percebemos que só estas duas entidades geraram mais de 600 mil milhões de dólares a vender previsões sobre o nosso comportamento e tentam influenciá-lo através de publicidade.

Estes lucros astronómicos não ficam parados; são reinvestidos massivamente em Investigação e Desenvolvimento (I&D), criando um fosso abissal entre o setor privado e o público. Tomemos como exemplo a *Amazon*, o maior investidor mundial nesta área, que em 2022 aplicou cerca de 70 mil milhões de dólares em I&D. Para colocar este número em perspetiva, basta olhar para o auge da engenharia científica mundial: o *Large Hadron Collider* (LHC) do CERN. Esta infraestrutura custou cerca de 7,5 mil milhões a construir. Ou seja, a *Amazon* investe, num único ano, quase dez vezes o custo total da maior máquina científica da humanidade. A luta pela liderança tecnológica tornou-se, assim, profundamente desigual, com os estados a perderem terreno para a capacidade financeira das grandes empresas tecnológicas.

Para compreender a gravidade do momento, é fundamental cruzar três leituras essenciais (Figura 16). Primeiro, a lógica da captura, descrita por Tim Wu em “Os Mercadores de Atenção” (*The Attention Merchants*, 2016): a batalha feroz pelo nosso tempo de ecrã. Depois, o mecanismo de extração exposto por Shoshana Zuboff em “A Era do Capitalismo de Vigilância” (*The Age of Surveillance Capitalism*, 2019), onde essa atenção serve apenas de porta de entrada para pilhar a experiência humana e prever comportamentos. Mas o alerta mais visceral chega-nos agora com o manifesto “Attensity!” (2026), do coletivo *The Friends of Attention*. A obra vai além da economia e toca na ferida existencial:

argumenta que a nossa atenção — essa capacidade essencial de nos darmos ao mundo — está a ser “aprisionada, esventrada e vendida”. O resultado não é apenas lucro, mas a redução da nossa própria individualidade (*selfhood*) a métricas transacionáveis, num processo que, em última análise, abala os próprios alicerces da democracia. Mas o crescimento explosivo da IA não se explica apenas pelo incentivo financeiro; existe um acelerador metodológico crucial. David Donoho, renomado matemático e estatístico, identificou-o no seu artigo (Donoho, 2024) “*Data Science at the Singularity*” como “*frictionless reproducibility*” (reprodutibilidade sem atrito).

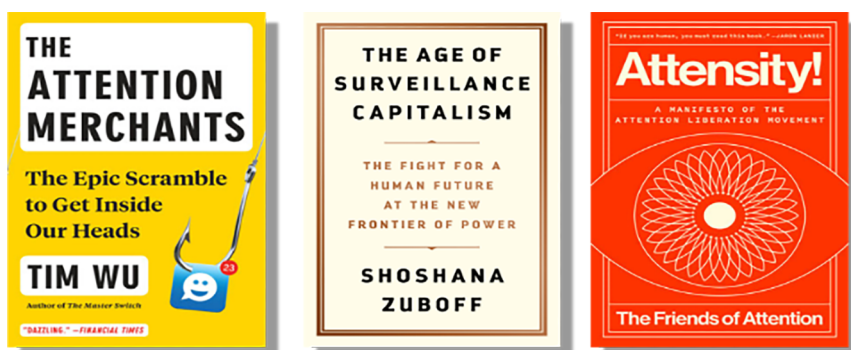


Figura 16: Três livros essenciais para se compreender a economia da atenção.

Ao contrário da ciência tradicional, onde a validação de resultados pode demorar meses ou anos, na Ciência de Dados moderna a partilha é imediata. Um artigo é publicado e, simultaneamente, o seu código é disponibilizado no GitHub. Isto permite que, em questão de dias, outros investigadores em qualquer parte do mundo testem, validem e publiquem versões melhoradas do mesmo algoritmo. É este ciclo virtuoso de partilha aberta e verificação instantânea que imprime um ritmo de evolução vertiginoso à área. A norma deixou de ser o segredo ou a publicação hermética; a norma é a transparência total do código e dos dados. O que antes era uma barreira, hoje é uma autoestrada: alguém publica uma inovação e, na semana seguinte, a comunidade global já a dissecou, melhorou e construiu sobre ela. Foi esta cultura de “ciência aberta” e iterativa que permitiu transformar anos de progresso em apenas alguns dias.

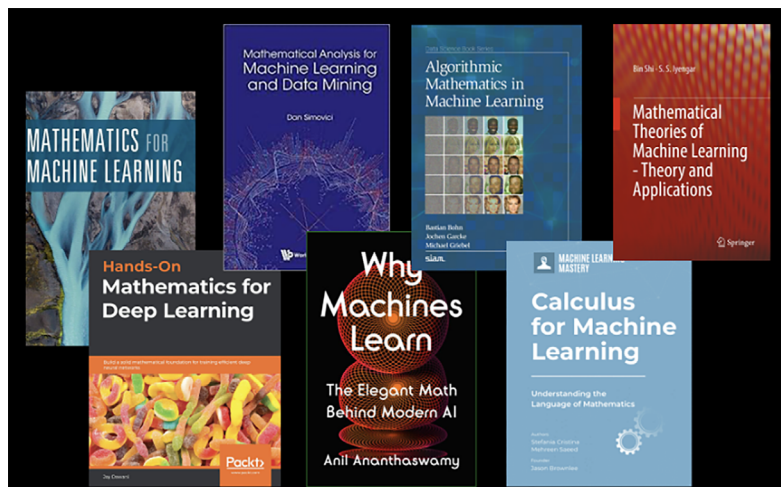


Figura 17: Exemplos de livros que ilustram o papel fundamental da matemática na aprendizagem automática.

Nas Figuras 17 e 18 apresenta-se um conjunto avulso de livros que ilustram a importância fundamental que a matemática desempenha na aprendizagem automática, mostrando que é um alicerce essencial da moderna IA.

Um exemplo perfeito desta vertigem inovadora ocorreu muito recentemente. Durante décadas, assumiu-se que o sucesso do *deep learning* assentava num famoso “teorema da aproximação universal” de Cybenko (publicado em 1989). Mas a ciência não estagnou. Uma equipa do MIT, incluindo o físico Max Tegmark, propôs recentemente uma arquitetura radicalmente diferente: as *Kolmogorov-Arnold networks* (KAN). Resgatando um teorema matemático alternativo, esta abordagem sugere que funções complexas podem ser mais bem representadas pela superposição de funções univariadas, em vez das tradicionais camadas de neurónios fixos. O resultado? O artigo original explodiu em popularidade. Em poucas semanas, surgiram dezenas de novos estudos e citações baseados nesta ideia, demonstrando que, na IA moderna, o “estado da arte” pode ser reescrito de um mês para o outro.

Invertendo agora a lente, importa olhar não apenas para a matemática que constrói a IA, mas para como a IA está a revolucionar a própria matemática. Thomas Fink, diretor do London Institute for Mathematical Sciences, argumentou

recentemente na Nature¹⁴ que a matemática é o campo de testes ideal para a descoberta assistida por IA, devido à abundância de “dados baratos” e à “ausência de coincidências”. A tese de Fink é clara: a IA tem um potencial único para gerar conjecturas e hipóteses, mas caberá sempre aos humanos distinguir as boas das más. A intuição e a imaginação matemática continuam a ser insubstituíveis para dar sentido aos padrões que a máquina encontra. Um exemplo fascinante desta simbiose é a Ramanujan Machine¹⁵, um sistema de IA capaz de gerar autonomamente novas conjecturas em teoria de números, abrindo caminhos de investigação que, sem ela, poderiam permanecer ocultos.



Figura 18: Exemplos de livros que ilustram o papel fundamental da matemática na aprendizagem automática.

Para dissipar quaisquer dúvidas sobre o papel da tecnologia na matemática, basta ouvir Terence Tao, vencedor da Medalha Fields e considerado uma das mentes mais brilhantes da atualidade, que descreve a IA não como um rival, mas como um copiloto¹⁶. Terence Tao resume a mudança de paradigma de forma lapidar: a futura clivagem não será entre humanos e máquinas, mas entre matemáticos que usam IA e aqueles que não a usam. Ele próprio admite recorrer a estas ferramentas diariamente, destacando uma vantagem crucial em relação aos motores de busca tradicionais. Enquanto o Google exige que saibamos o nome

¹⁴ <https://www.nature.com/articles/d41586-024-01413-w>.

¹⁵ <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03229-4>.

¹⁶ <https://www.scientificamerican.com/article/ai-will-become-mathematicians-co-pilot/>.

exato do teorema para o encontrar (pesquisa por palavra-chave), um modelo de linguagem permite-nos descrever o problema de forma abstrata e, por meio de uma “pesquisa baseada no conteúdo/semântica”, identifica o conceito matemático que procuramos. Ver alguém com o génio de Tao abraçar esta inovação é o sinal definitivo de que a matemática entrou numa nova era.

Para concluir, deixo uma reflexão inquietante retirada de um artigo da *Nature*: “Passaram vinte e cinco anos desde que o último relatório de investigação original foi submetido aos nossos editores (...) tornando apropriado revisitar a questão: qual é o papel dos cientistas humanos numa época em que as fronteiras da investigação ultrapassaram a nossa compreensão?”. Se esta premissa parece assustadora, descansem: trata-se de ficção. É o parágrafo inicial do conto¹⁷ “*Catching Crumbs from the Table*” (“Apanhar Migalhas da Mesa”), do visionário autor de ficção científica Ted Chiang. Publicado no ano 2000, o texto imagina um futuro onde ‘meta-humanos’ digitais realizam ciência tão avançada que aos humanos resta apenas a hermenêutica: a tentativa de interpretar o que as máquinas descobriram. É curioso verificar que o conto foi escrito há exatamente 25 anos. Hoje, na fronteira dessa data simbólica, o meu desejo é que a realidade não imite a ficção. Que o futuro da humanidade não seja o de apanhar as migalhas da mesa, mas o de continuar a participar, de forma integral e decisiva, na construção do conhecimento matemático e científico.

5. SOBRE A EVOLUÇÃO RECENTE DAS CIÊNCIAS MATEMÁTICAS EM PORTUGAL

Jorge Milhazes de Freitas¹⁸

Fui desafiado por José Francisco Rodrigues a contribuir para esta sessão prospectiva evocativa dos cinquenta anos do *25 de Abril*, refletindo sobre a evolução das Ciências Matemáticas em Portugal e, em particular, sobre o papel do Centro Internacional de Matemática (CIM), cuja presidência assumi recentemente.

¹⁷ <https://www.nature.com/articles/35014679>.

¹⁸ O autor declara que recorreu a ferramentas de inteligência artificial generativa exclusivamente para apoio na revisão linguística e estilística da versão final do texto, sendo o conteúdo inteiramente da sua responsabilidade.

O CIM constitui uma estrutura de referência dedicada à promoção da matemática de excelência, ao reforço da cooperação científica internacional e à valorização do papel da matemática na ciência, na tecnologia e na sociedade. Integra como associados todas as unidades de investigação na área da Matemática em Portugal. Não obstante a relevância da sua missão, dispõe de um orçamento muito reduzido, inferior a vinte mil euros anuais. Entre as suas principais atividades contam-se a organização das *Pedro Nunes Lectures* — no âmbito das quais foi estabelecida uma parceria com a Academia das Ciências de Lisboa —, a publicação do *CIM Bulletin*, a representação nacional no *European Research Centres on Mathematics* (ERCOM), comissão da *European Mathematical Society*, e o apoio à realização de eventos científicos. Entre estes, destacam-se, para além das *Pedro Nunes Lectures* realizadas nesta Academia em 2017 e 2023, a jornada “Matemática e Património Cultural”, realizada no Salão Nobre da Academia em 19 de dezembro de 2018, que abordou temas tão diversos como a matemática na tradição dos azulejos, os relógios de sol, a calçada portuguesa, a arquitetura, a pintura, a literatura e a música.

Antes de abordar diretamente o papel do CIM, importa traçar uma breve perspetiva da evolução recente das Ciências Matemáticas em Portugal. A recolha de dados históricos fiáveis revela-se complexa, sobretudo quando se recua várias décadas. Contudo, com base na base de dados *SCImago Journal & Country Rank*, verifica-se que, em Portugal, foram publicados 278 artigos na área da Matemática em 1996, número que ascendeu a 2.402 em 2023. Este crescimento é particularmente expressivo quando comparado com o de países cientificamente mais consolidados, que não partiam de uma situação de atraso estrutural e, por isso, apresentam taxas de crescimento menos acentuadas. Mesmo face a países congêneres, como Espanha, a taxa de crescimento portuguesa revela-se superior.

Este aumento não se traduziu apenas numa expansão quantitativa da produção científica, mas também numa elevação qualitativa significativa, refletida no reconhecimento internacional alcançado por vários matemáticos portugueses.

Diversas iniciativas contribuíram para esta evolução. Entre elas destaca-se o programa Delfos, criado em Coimbra em 2001, destinado à preparação de jovens para as Olimpíadas Internacionais de Matemática e que, para além desse objetivo específico, proporciona formação matemática avançada de elevada qualidade. Outra iniciativa relevante é o programa Novos Talentos, da Fundação Calouste

Gulbenkian, em funcionamento desde 2000, que tem apoiado jovens de elevado potencial científico. Na qualidade de vice-presidente da Sociedade Portuguesa de Matemática (SPM), tive a oportunidade de instituir o Prémio António Aniceto Monteiro, destinado a distinguir o matemático português com menos de 40 anos que mais se destacasse pelo seu mérito científico. Foi particularmente significativo constatar que, entre os candidatos ao prémio, todos tinham participado no programa Delfos e haviam sido bolseiros do programa Novos Talentos da Fundação Calouste Gulbenkian.

A conjugação destas iniciativas demonstra que Portugal dispõe de capital humano altamente qualificado e da capacidade para o cultivar e motivar. O principal desafio reside, porém, na retenção desse talento, frequentemente absorvido por instituições estrangeiras que oferecem melhores condições estruturais e profissionais.

Entre os obstáculos estruturais ao desenvolvimento científico destacam-se o excesso de burocracia, o subfinanciamento crónico do ensino superior e a fragmentação institucional do sistema científico nacional. A estrutura organizativa das instituições revela-se frequentemente compartimentada e pouco flexível, dificultando a articulação entre unidades de investigação e estruturas departamentais. As unidades de investigação, não dispendo de autonomia para criar posições permanentes, enfrentam limitações significativas na atração e retenção de talento.

O subfinanciamento gera ainda hiatos prolongados na contratação de docentes. A título ilustrativo, entre 2001 e 2023 o Departamento de Matemática da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto não procedeu a qualquer contratação, tendo a primeira ocorrido apenas no contexto do Programa de Recuperação e Resiliência (PRR). Tais circunstâncias tornam particularmente exigente a manutenção de padrões elevados de excelência científica.

Neste contexto, tem sido defendida a criação de um Instituto de Matemática — eventualmente articulado com a Física e a Inteligência Artificial — capaz de promover sinergias interdisciplinares e consolidar massa crítica científica. A concretização de tal objetivo levanta, porém, a questão central do financiamento, tanto público como privado, num país onde a ciência fundamental permanece largamente dependente do financiamento estatal.

O contraste com instituições internacionais é significativo. Em centros de referência, como o *Simons Laufer Mathematical Sciences Institute*, é visível o apoio

de grandes empresas tecnológicas (p.e., Microsoft, Apple, Google, IBM), enquanto os centros portugueses permanecem quase exclusivamente dependentes de financiamento público. Tal constatação não visa atribuir responsabilidades específicas, mas antes sublinhar a necessidade de refletir sobre modelos alternativos de financiamento e sobre estratégias de diversificação de recursos.

No que respeita ao CIM, a ambição é procurar caminhos inovadores, apesar das limitações orçamentais. A participação em reuniões do ERCOM evidencia a dimensão reduzida do CIM quando comparado com instituições como o *Isaac Newton Institute*, o *Mittag-Leffler Institute* ou o *Institut des Hautes Études Scientifiques*. Ainda assim, tal comparação pode constituir um estímulo para a definição de uma estratégia própria, adaptada à realidade nacional.

Uma possível via consiste na adoção de um modelo cooperativo, envolvendo as unidades associadas do CIM na construção de um novo paradigma de financiamento e organização de eventos científicos de curta e média duração. A realização regular de encontros científicos de qualidade, beneficiando das condições culturais e geográficas de Portugal, poderá contribuir para afirmar progressivamente uma imagem internacional sólida. A médio prazo, tal estratégia poderá permitir atrair novos financiamentos e oportunidades, aproximando, ainda que em escala distinta, o CIM do modelo de institutos europeus como o *Centre International de Rencontres Mathématiques* (CIRM) ou o *Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach* (MFO). Apesar das limitações existentes, importa reconhecer que a construção de reputação científica é um processo cumulativo e consistente. A consolidação de uma imagem institucional sólida, sustentada em iniciativas regulares e de qualidade, poderá abrir novas possibilidades de financiamento e reforçar a posição da matemática portuguesa no panorama internacional.

BIBLIOGRAFIA

- CMAF/Universidade de Lisboa. (1993, November–December). *FBP News* (No. 3). ESF Scientific Programme Free Boundary Problems.
- Donoho, D. (2024). Data science at the singularity. *Harvard Data Science Review*, 6(1). <https://doi.org/10.1162/99608f92.b91339ef>
- Einstein, A. (1934). On the method of theoretical physics. *Philosophy of Science*, 1(2), 163-169.

- Monteiro, A. (1939/2020). Ensaio sobre os fundamentos da análise geral. *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa, Classe de Ciências*, 47, 27-169.¹⁹
- Oliveira e Silva, L. (2026). Desafios para o futuro das ciências exatas em Portugal. *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa, Classe de Ciências*. No prelo.
- Pinto Peixoto, J. (1987). A física e a empiriologia do real. *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa, Classe de Ciências*, 27, 35-76.
- Rodrigues, J. F. (2020). O Ensaio de 1939 de António Monteiro, o seu contexto e a sua importância. *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa, Classe de Ciências*, 47, 9-26.²⁰
- Saraiva, L. M. R. (2008). Mathematics in the Memoirs of the Lisbon Academy of Sciences in the 19th century, *Historia Mathematica*, 35(4), 302-326.
- Sebastião e Silva, J. (1970, 20 de fevereiro). Um Instituto de Física-Matemática fora da Universidade? *Diário de Lisboa*.
- Silveira, A. (1985). Comentários imperfeitos com elementos para uma história dos estabelecimentos científicos em Portugal. *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa, Classe de Ciências*, 26, 149-201.
- Wigner, E. P. (1960). The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences. *Communications in Pure and Applied Mathematics*, 13(1), 1-14.

COMUNICAÇÕES APRESENTADAS À CLASSE DE CIÊNCIAS
NA SESSÃO EXTRAORDINÁRIA DE 2 DE JULHO DE 2024²¹

COMUNICAÇÕES RECEBIDAS A 23 DE FEVEREIRO DE 2026

¹⁹ <https://www.acad-ciencias.pt/books/o-ensaio-de-1939-de-antonio-monteiro-o-seu-contexto-e-a-sua-importancia/>

²⁰ <https://www.acad-ciencias.pt/books/o-ensaio-de-1939-de-antonio-monteiro-o-seu-contexto-e-a-sua-importancia-ensaio-sobre-os-fundamentos-da-analise-geral/>

²¹ As cinco comunicações gravadas estão disponíveis no canal YouTube da Academia das Ciências de Lisboa (ACL), <https://www.youtube.com/watch?v=C07qbNmqqEg> com início nos instantes seguintes, respetivamente: 03:25 — José Francisco Rodrigues; 27:35 — Irene Fonseca; 37:00 — Luís Oliveira e Silva; 53:10 — Mário Figueiredo; 1:16:50 — Jorge Milhazes de Freitas