



# Terreno fértil para a INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Com a crescente evolução da ferramenta tecnológica, consórcio de pesquisadores cria instituto dedicado a estabelecer parcerias entre universidades e empresas

Suzel Tunes

VERSÃO ATUALIZADA EM 21/01/2019

**E**m constante crescimento, principalmente nesta década, a inteligência artificial (IA) começa 2019 com mais um incentivo no Brasil. A partir da inauguração oficial do Instituto Avançado de Inteligência Artificial (AI<sup>2</sup>), prevista para fevereiro, surge mais uma ponte entre universidade e empresa para o desenvolvimento de pesquisas em parceria. A expectativa é de que a organização promova projetos voltados às mais diversas aplicações, em consonância com a própria multidisciplinaridade desse ramo da ciência da computação. “A IA busca simular a inteligência humana utilizando não apenas conhecimentos da computação, mas também de biologia, engenharias, estatística, filosofia, física, linguística, matemática, medicina e psicologia, apenas para citar algumas áreas”, enumera o cientista da computação André Carlos Ponce de Leon Carvalho, vice-diretor do Institu-

to de Ciências Matemáticas e de Computação da (ICMC), coordenador do Núcleo de Pesquisa em Aprendizado de Máquina em Análise de Dados, ambos da Universidade de São Paulo (USP), e um dos integrantes do futuro instituto.

Organizado como um consórcio de pesquisadores de inteligência artificial, o AI<sup>2</sup> (<https://advancedinstitute.ai>) reúne especialistas de algumas das maiores universidades do país – todas localizadas no estado de São Paulo – que oferecerão sua expertise para o desenvolvimento de projetos de interesse acadêmico e comercial. O físico Sérgio Novaes, do Núcleo de Computação Científica da Universidade Estadual Paulista (NCC-Unesp) e organizador do grupo, explica que o instituto não pretende se limitar aos pesquisadores de São Paulo ou mesmo do Brasil: “Nossa meta é agregar parcerias no mundo inteiro para a realização de projetos de grande impacto socioeconômico”.



Segundo Novaes, o suporte financeiro do instituto virá de seus parceiros privados. “O dinheiro será utilizado no recrutamento de recursos humanos, organização de eventos, mobilidade de pesquisadores e, eventualmente, aquisição de software e hardware”, explica. A intenção é estabelecer colaborações que envolvam interesses recíprocos e convergentes para que o AI<sup>2</sup> possa desenvolver atividades relevantes de pesquisa, desenvolvimento e inovação, e não apenas como meros prestadores de serviços para o setor privado. O instituto não terá sede própria. “O modelo envolve espaços de coworking nas instituições participantes ou fora delas, conectados por meio de um sistema de telepresença”, detalha. Os professores que atuarão como mentores dos projetos com o setor privado deverão ficar em suas instituições de origem e o pessoal das empresas continuará em suas respectivas sedes.

Não é por acaso que o AI<sup>2</sup> reúne, inicialmente, pesquisadores paulistas. O estado e, em especial, a cidade de São Paulo, apresentam uma grande concentração de empresas, pesquisadores e mão de obra qualificada, o que representa um poderoso atrativo para o desenvolvimento de novas tecnologias. Historicamente, o estado também concentra pesquisadores nessa área de conhecimento (*ver reportagem na página 24*). O Departamento de Matemática da USP tem visto as pesquisas em IA triplicarem nos últimos três anos, afirma o cientista da computação Roberto Marcondes Cesar Junior, do Instituto de Matemática e Estatística (IME) da USP e coordenador do programa Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid) da FAPESP. “Muitos de nossos alunos são absorvidos por startups do setor”, relata. Essa é a mesma percepção da cientista da computação Ana Carolina Lorena, da Divisão de Ciência da Computação do

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), de São José dos Campos (SP). “Alunos de graduação e orientandos de pós-graduação estão sendo contratados por empresas para desenvolver sistemas de IA”, conta a pesquisadora.

O apoio de agências de fomento como a FAPESP tem sido determinante para a evolução do setor no estado de São Paulo, sobretudo por meio de programas como o Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe). “Entre as agências de fomento, a FAPESP é a que mais apoia startups avançadas”, ressalta Sérgio Queiroz, coordenador adjunto de Pesquisa para Inovação da FAPESP e professor do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). A partir de 2012, o número de projetos Pipe concedidos em IA apresentou um significativo crescimento. Foi o que constatou o engenheiro eletrônico Marcelo Finger, chefe do Departamento de Ciência da Computação do IME-USP. No dia 26 de novembro, em evento realizado pela Fundação com o Instituto do Legislativo Paulista – o Ciclo ILP-FAPESP –, coube a Finger dar um panorama da pesquisa em IA em São Paulo. “A FAPESP apoia projetos de inteligência artificial desde 1992. Em 1997, quando começou o Pipe, havia uma média de cinco projetos por ano nessa área do conhecimento. Nos últimos dois anos esse número saltou para 40”, relata (ver gráficos na página 23).

Entre os projetos é possível encontrar pesquisadores estrangeiros atraídos pelo alto nível da pesquisa realizada e pelas boas condições de trabalho. Um exemplo é o inglês Brett Drury, que desenvolve, com apoio do Pipe, um sistema

## Pesquisadores estrangeiros são atraídos pelo alto nível da pesquisa realizada e pelas boas condições

inteligente de análise de risco para a agricultura. “Vim para o Brasil por causa do grande mercado agrícola, da excelente reputação da USP e do meu orientador, Alneu de Andrade Lopes”, lembra.

Drury conta que conheceu o cientista da computação Lopes, do ICMC-USP, em 2013, quando fazia seu doutorado na Universidade do Porto, em Portugal, trabalhando em um sistema de previsão voltado ao mercado de ações. No estágio de pós-doutorado trocou o mercado de ações pelas *commodities*: sob supervisão de Lopes, com bolsa da FAPESP, estudou rendimentos da cana-de-açúcar. Agora, como pesquisador-chefe da empresa SciCrop, com sede em São Paulo, desenvolve uma ferramenta computacional para avaliação do risco envolvido em cultura agrícola, com base em dados provenientes de fontes textuais, satélites, meteorologia, séries históricas de produtores e até mesmo notícias relacionadas a fatores econômicos e sociais. “O sistema ajudará na decisão de *hedging* [a adoção de estratégias para proteger o investimento contra possíveis perdas]”, diz.

## Marcos históricos

Os primórdios desse ramo da ciência da computação remontam a 75 anos



Os cientistas norte-americanos Warren McCulloch e Walter Pitts publicam trabalho pioneiro de inteligência artificial (IA): um modelo de **NEURÔNIOS ARTIFICIAIS**

O britânico Alan Turing propõe o **TESTE DE TURING**: uma máquina deve se fazer passar por ser humano, respondendo a perguntas. Se não der para distinguir suas respostas daquelas de uma pessoa real, a máquina pode ser considerada inteligente

A expressão inteligência artificial é usada para batizar um novo campo da ciência pelo cientista **JOHN MCCARTHY**, da Universidade Stanford (EUA)

Os pesquisadores norte-americanos Herbert Simon, J. Cliff Shaw e Allen Newell criam o **SOLUCIONADOR DE PROBLEMAS GERAIS** (GPS), que resolvia problemas simples expressos em uma representação lógica

John McCarthy desenvolve o **LISP**, linguagem de programação que se tornaria dominante no campo de IA. No mesmo ano, o psicólogo Frank Rosenblatt lança o primeiro algoritmo de aprendizado de máquina

O cientista da computação norte-americano Joseph Weizenbaum, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), cria o **ELIZA**, programa capaz de processar linguagem e conversar por meio de frases pré-programadas



A startup Treevia criou um sistema para monitorar florestas a distância usando sensores: os dados são processados em tempo real utilizando IA

Este ano a FAPESP também financiará, dentro da modalidade Escola São Paulo de Ciência Avançada, um evento organizado pelo IME-USP que incluirá 10 minicursos, com seis a oito horas cada um, envolvendo pesquisadores estrangeiros e brasileiros. O conteúdo abrangerá aprendizado de máquina, estatística, sistemas de bancos de dados e computação de alto desempenho e aplicações com impacto social.

#### TECNOLOGIA COTIDIANA

Desde a década de 1990, projetos de IA apoiados pela FAPESP em parceria com empresas resultaram em novos produtos e processos industriais. Um dos pioneiros nesse campo é Claudio Oller do Nascimento, do Departamento de Engenharia

Química da USP. Em 1997, um projeto desenvolvido em parceria com a Petrobras, por meio do Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (Pite), resultou em um ganho adicional de US\$ 0,25 por barril de petróleo refinado. “O processo de refino envolve diversas variáveis, como temperatura e pressão. Usamos redes neurais para ajustar esses parâmetros e otimizar o processo”, conta o pesquisador.

Parceria diversa ocorreu com a Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Ambiental (Cetesb), de São Paulo, em 2001. Ele utilizou redes neurais no desenvolvimento de uma tecnologia para análise dos dados meteorológicos, com o objetivo de prever a formação do ozônio na baixa atmosfera. “A previsão era feita para um período de três horas. Com o sistema, consegui prever com 24 horas de antecedência”, relata. Atualmente, Oller é um dos coordenadores do programa de físico-química do Centro de Pesquisa de Inovação em Gás (RCGI), financiado pela FAPESP e Shell, criado em 2015.

O físico Silvio Salinas, professor aposentado do Instituto de Física da USP (IF-USP), foi outro pesquisador a receber os primeiros apoios da FAPESP na área de IA. “Nunca imaginei que os meus projetos das décadas de 1980 e 1990 pudessem ter conexões com as atividades atuais de IA”, diz. No início dos anos 1990 Salinas desenvolveu pesquisas teóricas em física estatística que, mais tarde, seriam base para o desenvolvimento de redes neurais. “Nossos projetos com a FAPESP contribuíram para a formação de um bom número de alunos. Nestor Caticha, por exemplo, que ainda está no IF, era o pesquisador do nosso grupo envolvido com a análise de modelos de redes neurais, incluindo problemas de tomada de decisões e aprendizagem”, conta Salinas.



O norte-americano Edward Shortliffe desenvolve o **MYCIN**, pioneiro entre os sistemas especialistas. Ele codificava o conhecimento para realizar diagnóstico de algumas infecções bacterianas



Realização do 1º **SIMPÓSIO Brasileiro de Inteligência Artificial**, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre



O computador **DEEP BLUE**, da IBM, vence uma partida de xadrez contra o campeão mundial russo Garry Kasparov



Um **CARRO AUTÔNOMO** desenvolvido na Universidade Stanford vence a DARPA Grand Challenge, competição de automóveis de direção automática



O computador **EUGENE** passa no Teste de Turing. Criado na Rússia, ele se fez passar por um menino de 13 anos e “enganou” um terço dos juizes



A Microsoft lança o **chatbot** (computador que simula conversação) **TAY**, com capacidade de aprendizado. Colocado em teste nas redes sociais, ele se torna, em um dia, racista, xenófobo e homofóbico



A I.Systems desenvolveu um sistema de envase empregando software baseado em IA, que diminui o desperdício

Depois de um período no ostracismo, a partir de 2010 o estudo de redes neurais tornou-se uma das principais linhas de pesquisa em IA. “No começo deste século, a área de redes neurais chegou a ser dada como morta. Em 10 anos, o jogo virou. Atualmente, a maior parte das aplicações de IA vêm das redes neurais”, declara Marcelo Finger.

O físico Nestor Caticha Alfonso, um dos integrantes do AI<sup>2</sup>, afirma que o momento atual é de uma explosão de projetos em IA em razão do uso dos algoritmos de aprendizado de máquina, com um número cada vez maior de aplicações. Essa ferramenta tecnológica já se incorporou de tal maneira ao cotidiano que passa despercebida em atividades corriqueiras, corroborando uma frase atribuída ao pai da inteligência artificial, o norte-americano John McCarthy (1927-2011): “Assim que funciona, ninguém mais chama de IA”. Hoje, algoritmos de aprendizagem de máquina estão presentes, por exemplo, no *smartphone* com reconhecimento facial, nos leitores biométricos e nos serviços de recomendação de *playlists* e serviços de *streaming* de vídeo.

Empregadas em um número crescente de setores, as tecnologias que embutem sistemas inteligentes estão ampliando o vocabulário empresarial. Multiplicam-se as *fintechs*, startups que atuam no mercado financeiro; *healthtechs*, da área da saúde; *retailtechs*, no varejo; *agritechs*, no agronegócio; *logtechs*, na logística; *legaltechs* ou

*lawtechs* na área jurídica (ver Pesquisa FAPESP nº 271). O crescimento das *lawtechs* motivou a criação, em 2018, de um instituto de inovação voltado para o direito: o Future Law Innovation Center, em São Paulo. É o primeiro centro de inovação patrocinado pela multinacional de tecnologia Thomson Reuters na América Latina.

#### LINGUAGEM ACESSÍVEL

Para o cientista da computação Ígor Braga, sócio da Big Data, empresa com sede em São Paulo especializada em ciência de dados e aprendizado de máquina, é crescente o número de negócios que buscam adotar soluções de IA. Um dos desafios é traduzir os resultados e as decisões dos algoritmos em uma linguagem acessível. “O cliente quer otimizar o seu negócio, mas também quer saber, na medida do possível, o porquê das decisões do algoritmo”, afirma Braga.

“Companhias de grande porte tendem a ser mais conservadoras na adoção de novas tecnologias, embora o cenário esteja mudando”, declara Esthevan Augusto Goes Gasparoto, CEO da Treevia, uma *agritech* de São José dos Campos (SP). Com recursos do Pipe, a empresa criou um sistema web para monitoramento a distância de florestas, que utiliza IA para processar dados coletados em tempo real por sensores de internet das coisas (IoT). “A cada dia, vemos mais companhias com times de inovação e estimulando iniciativas de inovação

aberta [que buscam conhecimento fora de seus departamentos de pesquisa e desenvolvimento]. É aí que as startups podem contribuir, desenvolvendo soluções com velocidade a que as grandes corporações não estão acostumadas.”

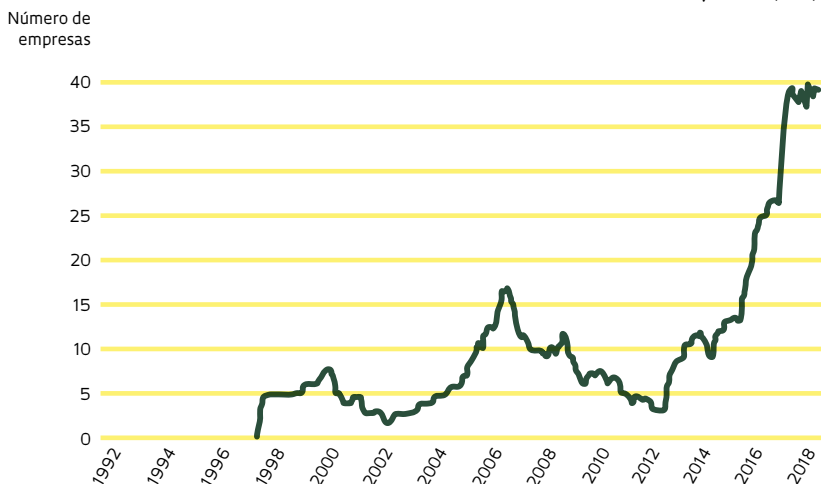
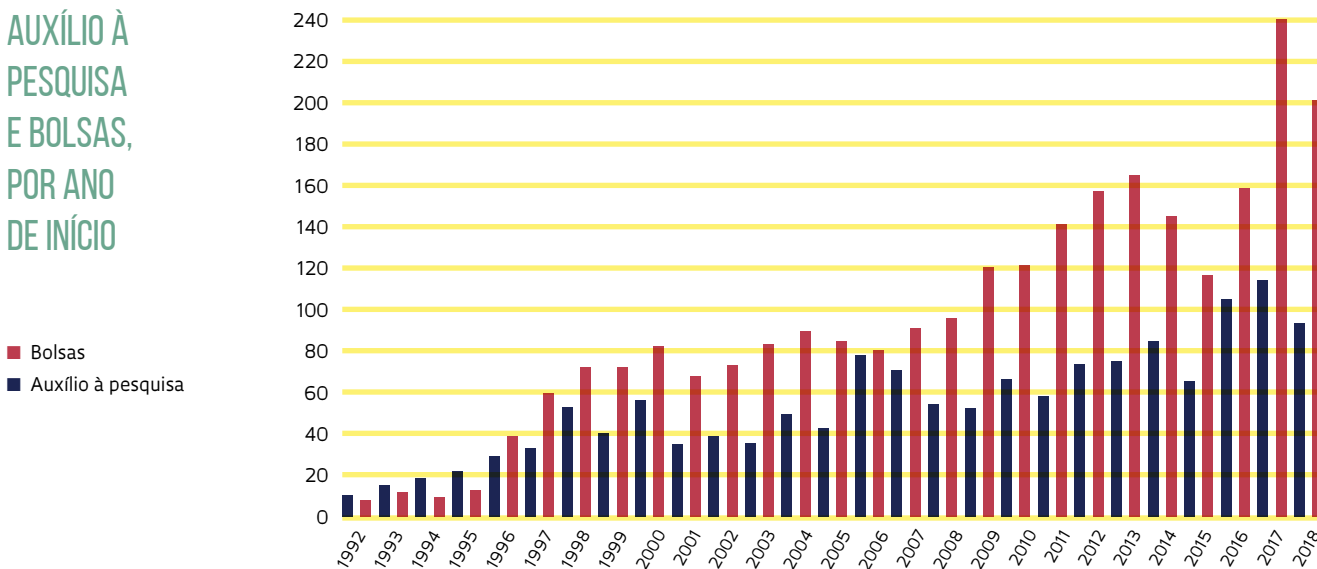
Startups focadas no desenvolvimento de inovações com auxílio de ferramentas inteligentes já começam a sentir os efeitos da alta demanda por profissionais. É o caso da Status4, de Sorocaba (SP). “Temos grande dificuldade em encontrar profissionais capacitados para tocar projetos baseados em IA. Quando são encontrados, os salários que pedem são altos, o que dificulta a contratação por parte de pequenas empresas e startups em estágio inicial”, diz Antônio Carlos Oliveira Júnior, diretor técnico da empresa. O problema é comum a quem precisa dos profissionais de computação. Para ajudar a resolver a questão, a FAPESP criou a categoria de bolsas TT4A e TT5, que paga mais para os que têm experiência comprovada em tecnologia da informação.

## Startups que fazem inovações com ferramentas inteligentes começam a sentir os efeitos da alta demanda de profissionais

# Histórico de fomento à IA

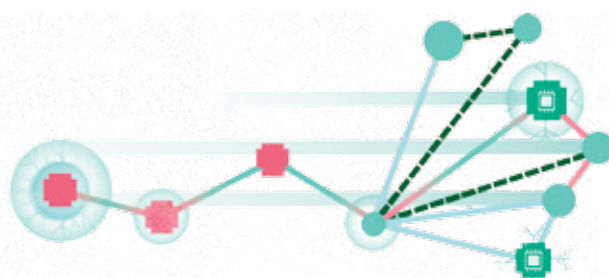
FAPESP apoia essa área do conhecimento desde 1992

## AUXÍLIO À PESQUISA E BOLSAS, POR ANO DE INÍCIO



FONTES: BIBLIOTECA VIRTUAL DA FAPESP E MARCELO FINGER (IME-USP) / FAPESP

## IMPULSO ÀS EMPRESAS (PIPE)



A Status4 desenvolveu um sistema de detecção de vazamento de água utilizando aprendizagem de máquina, uma subárea de IA focada na capacidade do reconhecimento de padrões e aquisição de conhecimento por meio da análise de dados. Para elaborar o protótipo de um sensor que registra as vibrações de água que flui pelos canos e identifica vazamentos pela análise do som, tendo como referência uma base de dados armazenada em nuvem, a empresa teve apoio do Pipe. “A participação do Pipe no desenvolvimento desse setor tem sido fundamental por permitir a contratação de bolsistas TT5 da área de IA”, conta Oliveira.

Especializada no controle e automação de processos industriais, a empresa I.Systems, de Campinas, também recebeu apoio da FAPESP no início de sua operação. Criada em 2007 por quatro ex-alunos da Unicamp, a startup teve, dois anos depois, seu primeiro projeto aprovado pela Fundação para desenvolver um software de controle industrial baseado em técnicas de IA. Segundo o engenheiro de computação Igor Bittencourt Santiago, sócio-fundador da I.Systems (ver suplemento especial “Pipe, 20 anos de inovação”), o software, batizado de Leaf, foi empregado com sucesso em uma indústria de refrigerantes, reduzindo o desperdício na hora

do envase. A empresa tem cerca de 60 funcionários, a maioria engenheiros, e atende a mais de 40 companhias.

A Cobli, outra startup apoiada pelo Pipe, é focada no desenvolvimento de soluções de IoT para monitoramento e gestão de frotas. A empresa tem mais de 70 funcionários, 20 deles especializados em desenvolvimento de produto, e mais de 600 clientes em todo o país. Essa estrutura surgiu em apenas três anos. A Cobli nasceu depois que o empreendedor norte-americano Parker Treacy identificou o Brasil como uma oportunidade de negócios e decidiu investir no setor de logística no país. Fundou a empresa com o engenheiro Rodrigo Mourad, com recursos próprios e sem apoio de incubadoras.

Com sede em São Paulo, a startup recebe recursos do Pipe para aprimorar uma ferramenta capaz de identificar o padrão de comportamento de motoristas por meio de aprendizado de máquina utilizando dados obtidos por rastreadores movidos a energia solar. “Com o apoio do programa podemos firmar uma parceria com a academia. Através de IA, é possível revolucionar o mercado propondo soluções inovadoras”, diz o diretor técnico Lucas Fernandes Brunialti.

Uma das áreas que mais tem investido em IA é a da saúde. Empresas do setor têm desenvolvido mecanismos de suporte ao diagnóstico médico. Um exemplo é a Onkos Diagnósticos Moleculares, localizada no Supera Parque de Inovação e Tecnologia de Ribeirão Preto, ligado à USP. Em 2018, a empresa recebeu o 9º Prêmio Octávio Frias de Oliveira pelo desenvolvimento de um teste diagnóstico que usa algoritmos de IA para a classificação de tumores metastáticos de origem desconhecida, chamado de teste de origem tumoral (TOT).

Além do TOT, a startup também usou IA no desenvolvimento de um segundo exame diagnóstico, dessa vez para avaliação de nódulos de tireoide indeterminados. O método tradicional da avaliação desses nódulos consiste na análise do material coletado por um procedimento denominado Paaf (sigla de punção aspirativa por agulha fina). Ocorre que o resultado não é conclusivo entre 15% a 30% dos casos. O teste molecular criado pela Onkos destina-se a pacientes desse grupo. Batizado de mir-THYpe, ele utiliza IA para classificar o nódulo indeterminado em “negativo” ou “positivo” para malignidade a partir da análise da expressão de 11 microRNAs, pequenas sequências de RNA reguladoras de expressão gênica. Segundo a Onkos, o exame pode reduzir até 81% das cirurgias desnecessárias de tireoide. ■

Os projetos citados estão listados na versão on-line desta reportagem.

# Imitação do cérebro



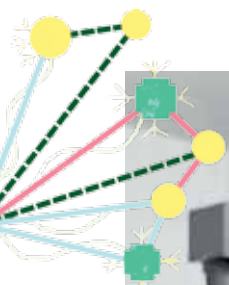
Inteligência artificial nasceu como campo científico nos anos 1940 em consequência de estudos matemáticos

VERSÃO ATUALIZADA EM 21/01/2019

A inteligência artificial (AI) é um dos poucos campos da ciência que têm uma data definida de início, segundo Marcelo Finger, do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo (IME-USP). Foi em 1956, durante uma conferência realizada no Dartmouth College, em New Hampshire, Estados Unidos, que o cientista da computação John McCarthy usou pela primeira vez a expressão “inteligência artificial”. Batizava assim um novo campo do conhecimento que, desde a década de 1940, buscava produzir modelos matemáticos que simulassem o funcionamento dos neurônios cerebrais.

No entanto, essa abordagem biológica esbarra nas limitações técnicas da época. Não existiam computadores capazes de processar a imensa quantidade de dados necessária à evolução da rede neural. Desenvolveu-se, então, outra vertente da IA chamada de “simbólica” e baseada em linguagem de programação, que opera por meio de regras para resolver um problema. Popularizaram-se os sistemas especialistas, alimentados por conhecimentos previamente definidos.

Um desses primeiros sistemas, criado pelo norte-americano Edward Shortliffe no começo da década de 1970, recomendava uma seleção de antibióticos para ajudar médicos no tratamento de infecções bacterianas. “No Brasil, uma das precursoras nesse campo foi Maria Carolina Monard, professora do ICMC-USP, de São Carlos”, destaca



John McCarthy no Laboratório de IA da Universidade Stanford, em 1974: pesquisador deu nome ao novo campo da ciência da computação em 1956

a cientista da computação Ana Carolina Lorena, do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Segundo ela, alunos de Monard desbravaram algumas áreas de IA pouco exploradas no Brasil. Um exemplo é Maria das Graças Volpe Nunes, também do ICMC-USP, que se tornou referência em processamento de linguagem natural no país e liderou o projeto de desenvolvimento de revisor gramatical disponível na ferramenta Office do Windows.

No 1º Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial, realizado em 1984 na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre, predominaram os trabalhos com sistemas especialistas. No entanto, a exemplo do que ocorria no exterior, também no Brasil as pesquisas em IA, especialmente no campo das redes neurais, já se desenvolviam muito tempo antes.

Um dos pioneiros no estudo de redes neurais no Brasil é Nelson Mascarenhas, professor aposentado da Universidade Federal de São Carlos e docente do Programa de Mestrado em Ciência do Centro Universitário Campo Limpo Paulista. Engenheiro eletrônico, ele havia concluído seu mestrado em 1969 pesquisando máquinas elétricas, quando resolveu mudar de área. “Decidi estudar processamento digital de imagens, que era uma área considerada meio exótica”, diz. Mascarenhas iniciou suas pesquisas em um dos primeiros laboratórios do mundo de processamento digital de imagens, na University of Southern California, Estados Unidos. Ao concluir o doutorado, em 1974, o pesquisador trabalhou alguns anos no ITA e depois no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), que já contava com um programa de sensoriamento remoto. “Fomos os únicos, durante muito tempo, na

área de processamento digital de imagens e reconhecimento de padrões”, conta.

Apesar dos avanços, há desconfiança com relação ao futuro. “Países como França, Inglaterra e China criaram políticas públicas para terem protagonismo em IA. No Brasil, essa oportunidade está sendo desperdiçada”, ressalta o cientista da computação André Ponce de Leon Carvalho. Opinião semelhante tem o cientista da computação Sílvio Meira, da Universidade Federal de Pernambuco e presidente do Conselho de Administração do Porto Digital, parque tecnológico do Recife. “O Brasil tem grande capacidade de absorção de tecnologia e é responsável por metade de todo mercado de tecnologia da América

Latina”, diz. “Mas falta estratégia. Desde a década de 1970, não se estabeleceu um grande desafio tecnológico. Não sabemos em que campo queremos competir. Enquanto isso não ocorrer, não teremos competitividade.”

Relatório lançado no começo de dezembro pela editora Elsevier reforça essa percepção. Intitulado *Artificial Intelligence: How knowledge is created, transferred, and used*, o documento se concentrou na China, Estados Unidos e Europa. Os dois primeiros são apontados como líderes na produção de pesquisa nesse campo, enquanto os países da Europa estão entre os lugares de maior diversidade de estudos a respeito de IA. Índia e Irã ganham destaque como centros emergentes.

Roberto Marcondes, do IME-USP, está entre os especialistas que escreveram no documento e alertou para a necessidade de se desenvolver novos indicadores que permitam descrever melhor a pesquisa em IA. “Tradicionalmente, os avanços nas pesquisas são descritos em artigos publicados em periódicos ou comunicado em conferências”, diz. “Agora, com o crescimento da IA, está claro que esses indicadores cobrem apenas uma fração dos avanços realizados no setor”, afirma.

No site da Elsevier, há indicadores sobre IA no mundo, no *AI Resource Center*. Um deles traz o levantamento das publicações científicas sobre o tema de 1998 a 2017. A China, com 134.990 publicações, está em primeiro lugar, seguida pelos Estados Unidos (106.600), Índia (36.736), Reino Unido (35.302) e Japão (35.302). O Brasil fica em 15º lugar (12.094). No ranking da colaboração internacional, o país está em 18º, com 2.979 produções feitas em parceria com pesquisadores do exterior. Estados Unidos (31.174), China (21.547) e Reino Unido (16.054) são os primeiros. ■ Suzel Tunes