

Artigo de Opinião

## Ano 57 da Inteligência Artificial: O desafio da Saúde Pública

Year 57 of Artificial Intelligence: The challenge of Healthcare

Helder Coelho<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto das Ciências da Complexidade, Laboratório da Modelação de Agentes, Departamento de Informática da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

**Apresenta-se a disciplina da IA de uma forma breve, chamando-se a atenção para factos recentes que iluminam alguns desafios sobre o setor da saúde pública, no que respeita a melhoria da qualidade dos tratamentos e os custos da gestão associada.**

*We briefly present the discipline AI, focusing on recent facts that are able to show some challenges for healthcare, namely the improvement of the quality of treatments and the management of costs.*

**PALAVRAS-CHAVE:** *Resolução de problemas; raciocínio probabilístico; diagnóstico médico.*

**KEY WORDS:** *Problem solving; probabilistic reasoning; medical diagnosis.*

Submetido e aceite em 28 fevereiro 2012; Publicado em 31 março 2013.

\* **Correspondência:** Helder Coelho. Email: [hcoelho@di.fc.ul.pt](mailto:hcoelho@di.fc.ul.pt)

### INTRODUÇÃO

1. Em 2001, obrigado a escolher entre um médico recém-saído da Universidade e um sistema inteligente para diagnosticar doenças, Pedro Domingos, professor da Universidade de Washington (Seattle, EUA), optou pelo programa. E, porquê? O que diferencia então uma ferramenta poderosa de uma correta?

A Inteligência Artificial (IA), nascida em 1956, nos EUA e em Dartmouth, graças a um conjunto de 10 pioneiros, é hoje uma disciplina científica jovem mas sólida, capaz de reconhecer erros e falhas do passado e de ir aos seus fundamentos e em profundidade (Coelho, 1999).

Iniciou os seus primeiros passos através da imitação e da réplica de aspetos cruciais da mente humana, recorrendo à Lógica de 1.<sup>a</sup> ordem para representar o conhecimento e para raciocinar com (e sobre) ele. Aventurou-se pela resolução de problemas como quebra-cabeças triviais (missionários e canibais, torre de Hanoi, jogo do galo) e depois enfrentou a compreensão da língua natural (Inglês), a demonstração de teoremas (geometria plana euclidiana), a resolução algébrica, ou ainda a visão/reconhecimento de objetos. Num Segundo fôlego ousou atacar problemas complicados, a descoberta de petróleo ou de estruturas de moléculas orgânicas, o reconhecimento de padrões, ou mesmo o diagnóstico médico. Os anos de ouro ocorreram na década de 80, saltando os conhecimentos tecnológicos das universidades para os circuitos comercial e industrial, com empresas e planos para conceber os computadores de quinta geração (Coelho, 1999). Nem tudo foram rosas, e os seus cientistas tornaram-se mais humildes, recuaram para as trincheiras, e esperaram pelo aprofundamento de técnicas (aprendizagem mecânica, reconhecimento da voz, procura, planeamento), pelas novas descobertas no raciocínio automático (monótono, não monótono) e na representação do conhecimento - certo, incerto, incompleto (Coelho, 2004). Ver Tabela 1.

**Tabela 1 – Sistemas periciais e sistemas baseados em conhecimento:**

CASNET (Kulikowski, 1972)  
 PIP (Szolovits e Pauker, 1976)  
 INTERNIST (Miller, Pople e Myers, 1982)  
 MYCIN (Buchanan e Shortliffe, 1984)  
 QMR (Miller, Masarie e Myers, 1986)  
 DIXPLAIN (Barnett, 1987)

Porém, a ciência não estagnou em redor da IA. As Ciências da Complexidade ganharam potencial nas décadas seguintes, as Ciências do Cérebro (a década de 90 foi a do cérebro) avançaram muito e as Ciências da Mente (a década 00 foi a da mente) alargaram-se, sobretudo graças às Neurociências (neurobiologia, neuro-engenharia, neuropsicologia, neuro-informática), às Biologias, em particular, a Biologia Molecular, e ainda às Tecnologias da Informação e da Comunicação que passaram de promessas a serem indispensáveis na vida quotidiana. A decisão da CEE (Civil and Environmental Engineering, Universidade da Califórnia, Berkeley), em fevereiro deste ano, de apoiar massivamente o “Human Brain Project”, destinado à construção de um cérebro artificial para estudar as doenças complexas, como Alzheimer, Parkinson, epilepsia, autismo, e depressões, com supercomputadores, é uma consequência do amadurecimento de certas disciplinas.

2. A Informática (e as Ciências da Computação e do Computador) mudou imenso nas últimas décadas. Desde os anos 70, os computadores abandonaram a centralização do poder de cálculo/processamento da informação e do conhecimento e das memórias dos dados, descentralizaram-se, e, a partir dos anos 90, distribuíram-se e passaram de em cima da secretária (*Desktop*) para as nossas pastas (*Laptops*), ou para as nossas mãos (*Tablets*).

A primeira década do século XXI passou-se muito depressa. O avanço da Neurobiologia do cérebro (Damásio, 2010), a procura/descoberta de conhecimentos (no *Google*, via algoritmos de procura cada vez mais poderosos), os carros sem condutor (*Stanley* apoiado pela *Google*), os agentes inteligentes autónomos - nos jogos de computador/vídeo e no cinema - (Coelho, no prelo a, b), os planeadores das viagens espaciais, ou os robôs que jogam futebol e ajudam a gerir calamidades, foram sendo conhecidos e apoiados (Tabela 2).

## Tabela 2 – Alguns sistemas recentes:

GermWatcher: para acompanhar as culturas microbiológicas e testar infeções hospitalares adquiridas.

PEIRS: para ajudar a compor os relatórios patológicos.

PhysiScore (Koller, D. e Penn, A.): para prever a saúde futura, com uma probabilidade (grau de certeza), de um bebé prematuro.

PUFF (1977): ainda em uso, é um velho sistema pericial para o diagnóstico de doenças pulmonares.

QMR-DT (Domingos, P.): para diagnóstico médico automático (modela 600 doenças significativas e 4000 sintomas relacionados).

A segunda década trouxe dois exemplos em 2011, o Watson da IBM que ganhou o jogo do Jeopardy! (com recurso ao Inglês corrente e num jogo de perguntas de cultura geral, em que as respostas são diversas e anotadas com um grau de confiança, uma espécie de gerador de hipóteses), na televisão Americana e em direto, aos dois campeões nacionais, e o Siri da Apple (desenvolvido pela Universidade de Stanford, nos EUA) para entender perguntas feitas com a voz no *iPhone*, buscar e descobrir informação útil (graças a uma máquina de descoberta como o *TrapIt*) no dia-a-dia (quais os restaurantes gregos num bairro de Lisboa) e fornecer as respostas mais aproximadas em voz, mas outros exemplos (descoberta de doenças de bebés prematuros, tradução de conversas e de textos) mostraram a capacidade das máquinas raciocinarem como os seres humanos, em mundos caóticos e barulhentos.

O programa Watson está a ser estendido à saúde (nomeadamente, no cancro), desde 2012 pela IBM, que prometeu fornecer aconselhamento e conhecimento médico em frações de segundo (estima-se que o erro de diagnóstico, que na maior parte dos casos é devido a falta de informação é de 10%, mas, em cancros “complicados”, pode ser muito maior). A informação individual de um doente é a chave, e poder-se-á dizer que ela tem diferentes dimensões. Ao libertar a carga cognitiva sobre o médico em relação ao conhecimento, o Watson irá

permitir que este se concentre nas relações e isso aumentará o seu poder de fazer palpites e de construir a história do doente (Tabela 3).

## Tabela 3 – Tipos de tarefas clínicas:

Gerar alertas e lembranças.

Assistência no diagnóstico.

Crítica e planeamento de terapias.

Agentes para pesquisa de informação.

Reconhecimento e interpretação de imagens.

O poder de ver à distância (por exemplo, a Terra do alto de um satélite), de deduzir o que está por detrás de um objeto escondido, de interpretar as imagens (e não só as médicas), o que está além da colina ou das árvores, de responder a perguntas feitas via voz em Inglês, e em Português, ou de explorar, em zonas inacessíveis ao homem, o fundo do mar gelado, um vulcão, as zonas contaminadas pela energia nuclear, são agora realizadas por *rovers* autónomos, na Terra ou em Marte.

3. A prática da Medicina é caracterizada por uma enorme quantidade de conhecimento para garantir um bom desempenho profissional (Groopman, 2008). No entanto, há uma sensação de grande sobrecarga cognitiva no exercício da profissão, porque é difícil seguir os dados de 2000 a 2500 doentes, e de os transformar em hipóteses de trabalho para diagnóstico, tratamento e prognóstico a longo prazo (Tabela 4).

## Tabela 4 – Falhas de diagnóstico médico

### Problemas cognitivos

Superconfiança

Falta de atenção

### Problemas sistémicos

Falta de comunicação

Ineficiência

Trabalho de equipa pobre

Por detrás da nova IA, visando o setor da Saúde e a Medicina em geral, está o raciocínio probabilístico, cujo poder combina a Lógica com a Estatística e as Probabilidades. Esta unificação de teorias suporta que as máquinas possam compreender o mundo que nos cerca (ambiente rico) e de pensar sobre ele: o sonho do britânico Alan Turing (Coelho, 2012) que, se fosse vivo, teria feito 100 anos em 2012. Esta mistura ajudamos, hoje em dia, na tradução de línguas, na conjectura de investimentos financeiros pelos bancos, ou na descoberta de certos cancros.

Por detrás do raciocínio probabilístico (Pearl, 1988) está o Teorema de Bayes, que diz que há uma ligação entre a probabilidade condicional de um evento P ocorrer dado que o evento Q ocorra, e que exista uma probabilidade condicional de Q dado P. Uma tal descrição do conhecimento aborda a causalidade (cadeias de causas e efeitos), suporta os processos de inferência, permitindo observar os efeitos e o trabalho para trás em direção às probabilidades das diferentes causas.

As redes bayesianas são fundamentais para este tipo de trabalho. Modelam as várias variáveis aleatórias, cada uma com uma distribuição de probabilidades que depende de qualquer outra variável. Ao alterar o valor de uma delas, mudar-se-á a distribuição de probabilidades de todas as outras, e assim dado o valor de uma ou mais variáveis, a rede permite inferir a distribuição de probabilidades das outras variáveis (as quais podem representar sintomas, doenças e resultados de análises). Por exemplo, sabendo os resultados de análises (infecção viral) e os sintomas (febre e tosse), podemos atribuir probabilidades às suas possíveis causas (constipação, muito possível; pneumonia, muito pouco possível). Por detrás desta técnica, desenvolveram-se algoritmos que podem usar e aprender a partir dos dados existentes. A eficiência e a eficácia destes algoritmos (rapidez, esperteza) para as redes bayesianas (Tabelas 5 e 6) foram essenciais para os êxitos da nova IA (a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa [FCUL] vem colaborando com as universidades brasileiras Universidade Federal do Rio Grande do Sul [UFRGS] e Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre [UFCSA] desde há anos). O mesmo

### **Tabela 5 – Cooperação entre a UL (Portugal), a UFRGS e a UFCSA (Brasil) – Projetos de 1992 a 2013**

(contatos: Professores Helder Coelho, Rosa Vicari e Cecília Flores)

SEAMED (1992-95)

SCCI (2000-03)

AIMED (2000-04)

AMPLIA (2002-04)

WE-LEARN (2004-07)

FORMED (2007-10)

OBAA (2010-13)

### **Tabela 6 – Produtos da Cooperação Luso-Brasileira**

Apoio à Decisão em Grupo e em ambientes incertos e estocásticos.

Raciocínio de Diagnóstico.

Ferramentas: PortEdu, Editor, “Computer-supported medical learning environment”.

Editor de redes colaborativas e probabilísticas.

Conhecimento abordado: Anestesia, Medicina Interna, Cardiologia (AVC, TAC’s), Neurologia (Epilepsia), UTI’s, Saúde de Família, Imagiologia (Cérebro).

se passou com os algoritmos da procura, do planeamento e da aprendizagem, os quais foram concorrendo uns com os outros, em campeonatos, e nas últimas duas décadas!

Um exemplo da generalidade de uma máquina de inferência é o trabalho do professor Stuart Russell, da Universidade de Berkeley, nos EUA, em redor do cálculo da verosimilhança de uma explosão nuclear, isto é, da capacidade para detetar as assinaturas sísmicas de explosões nucleares longínquas e de as distinguir de terremotos naturais. Este exemplo pode generalizar-se para a saúde e ser aplicado aos graus de certeza de certas doenças.

O desenvolvimento de algoritmos para as redes

bayesianas que possam usar e aprender a partir dos dados existentes foi um passo em frente nos anos 90 do século XX, pois anteriormente só podiam aprender a partir de cada novo problema. Ora, os seres humanos são mais capazes pois a aprendizagem apoia-se na compreensão prévia, e estes novos algoritmos também o fazem agora, sendo capazes de aprender modelos mais complexos e precisos de menos dados.

4. Quando se cruza a IA com a saúde é bom sermos cautelosos, porque existem problemas no imediato e as boas soluções não estarão prontas em breve. Em primeiro lugar, há que combinar as técnicas das representações sofisticadas e as da computação com as intuições de médicos experientes para produzir ferramentas que sejam capazes de melhorar a saúde. Não basta termos já algoritmos espertos. Os problemas têm a ver com o espaço de procura e com a quantidade dos dados. No que respeita ao espaço, o que está por detrás é, em certos casos, podermos ter quantidades elevadas de opções e isso significa precisarmos de computadores muito grandes, como no caso do projeto do cérebro artificial (veja-se a revista *Science et Vie*, de fevereiro de 2013). Ver Tabela 7 (10 desafios para a saúde).

O grande espaço lembra também a necessidade da rapidez do tempo de processamento. Para alguns observadores, o diagnóstico e o tratamento de doenças não é como um jogo de xadrez, mas como o jogo *go* e isso significa aprender a ignorar possibilidades em vez de procurar através delas. O segundo problema tem a ver com os dados, e com a quantidade de novos artigos publicados por ano em Medicina, ou seja, com a gestão do conhecimento.

Mas há mais, o problema também envolve as ontologias das doenças e dos tratamentos, e a correção dos códigos (fiabilidade dos dados, incluindo as histórias dos doentes). Donde, dois movimentos são necessários de articular: manter os algoritmos focados nos dados e deixar os médicos olharem mais para os pacientes.

5. O valor das tecnologias da informação para a saúde pública pode ver-se através de uma metáfora, a dos

#### Tabela 7 – 10 Desafios para a Saúde

- 1) Registo médico eletrónico baseado em técnicas de representação semântica do conhecimento.
- 2) Captura automática de informação clínica.
- 3) Representações informatizadas da literatura.
- 4) Diagnóstico automatizado.
- 5) Apoio à decisão sobre as trajetórias dos tratamentos.
- 6) Melhoria do acesso à informação e da explicação para os doentes.
- 7) Fornecimento de documentação e educação contínua dos médicos.
- 8) Demonstração da razão eficácia-custo das tecnologias avançadas de informação.
- 9) Criação de novos conhecimentos médicos à custa de técnicas de aprendizagem mecânica e de prospeção de dados (“Data Mining”).
- 10) Acesso diversificado e equilibrado destas tecnologias pelas populações.

quatro degraus de um escadote, os da informação, da educação, da assistência na cura, e da prevenção. Ao considerarmos estes novos instrumentos temos de valorizar as suas contribuições para cada um daqueles degraus. Por exemplo, os seres humanos são inconsistentes nos seus julgamentos, incluindo o diagnóstico. Mas, sem a digitalização dos registos médicos (a informatização das unidades hospitalares), como as fichas dos doentes, é difícil explorá-los e distribuí-los. A melhoria da precisão do reconhecimento da voz, nos últimos anos, viabilizou também a transcrição automática da voz de um médico (ao ditar os relatórios de análises dos pacientes) e a produção mais rápida de documentos eletrónicos, disponíveis em qualquer lado do hospital por acesso a bases de dados, ou por simples correio eletrónico.

Investigação realizada recentemente na Universidade de Indiana, nos EUA, encontrou que se usarmos algoritmos de aprendizagem sobre os dados dos doentes podemos melhorar simultaneamente o custo e a qualidade da saúde, via simulação e modelação (prevê-se que os custos atinjam 30% do PIB em 2050).

O professor Kris Hauser selecionou aleatoriamente 500 doentes de uma amostra de 6700, onde 60%70% tinham depressões, diabetes, hipertensão e doenças cardiovasculares. Os investigadores compararam o desempenho do médico e os resultados dos doentes contra modelos de tomada de decisão. Os modelos de IA permitiram um aumento de 30%-35% nos resultados dos doentes. E, se certos parâmetros do modelo fossem afinados poder-se-ia esperar 50% de melhoria com metade do custo. O custo de diagnóstico e de tratamento era de 189 USD, comparado com o custo habitual de 497 USD (Mearian, 2013). A conclusão tirada foi: a IA pensa como um médico, mas é mais rápida e com mais informação. Ver Tabelas 8 e 9.

### Tabela 8 – Quantidade de conhecimentos em Medicina

(25% do total é só para o Cancro)

PubMed 20.000.000 de resumos médicos

750.000 novos artigos

ClinicalTrials.gov lista 100.000 ensaios

Gene Expression Omnibus BD inclui 450.000 conjuntos

ASCO Congresso anual 4.000 resumos

### Tabela 9 – Salvar doentes

Procura adaptativa em tempo real por melhores tratamentos exige dados genómicos e resultados (o conhecimento de um doente é transferido em tempo para ajudar o próximo).

Envolvimento dos médicos, de doentes e de cientistas, em colaboração total, para fazer uma terapia individualizada e eficiente.

Processo: 1) dar a cada doente a possibilidade de melhores resultados através de terapias; 2) aprender a partir das respostas dos doentes; e, 3) disseminar o que foi aprendido rapidamente.

Até agora há uma exceção, o Gleevec (Imatinib) da Novartis. É um remédio para as terapias orientadas por um alvo: bloqueia uma enzima particular (BCR-ABL) e assinala o trajeto do cancro. Tem eficácia em vários cancros.

Ao nível molecular, o cancro tem milhares de doenças únicas. Existem mais de 800 terapias em desenvolvimento visando mutações específicas.

Precisamos de um modo mais esperto para procurar tratamentos efetivos, que usem os perfis clínicos e moleculares dos doentes necessitados.

Urgência de Conhecimento Especializado.

## REFERÊNCIAS

Coelho (1999). *Sonho e razão*. Lisboa, Portugal: Relógio D'Água Editores.

Coelho (2004). *Explorações, ligações e reflexões: Rede de 30 anos de pesquisas em IA com sentido prático*. Lisboa, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian.

Coelho (2012). Turing, 100 anos depois do seu nascimento já pode uma máquina pensar? *Boletim da Sociedade Portuguesa de Matemática*, 67, 1-13.

Coelho (no prelo a). *Teoria da agência: Arquitetura e cenografia*. Versão 1.0, 2008.

Coelho (no prelo b). *Inteligência artificial distribuída, sistemas multiagente*. Versão 2.0, 2010.

Damásio (2010). *O livro da consciência: A construção do cérebro consciente*. Lisboa, Portugal: António Damásio, Círculo de Leitores, Temas e Debates.

Groopman (2008). *How doctors think*. Boston, United States of America: Mariner.

Mearian (2013). *AI found better than doctors at diagnosing, treating patients*. Disponível em: [http://www.computerworld.com/s/article/9236737/AI\\_found\\_better\\_than\\_doctors\\_at\\_diagnosing\\_treating\\_patients](http://www.computerworld.com/s/article/9236737/AI_found_better_than_doctors_at_diagnosing_treating_patients)

Pearl (1988). *Probabilistic reasoning in intelligent systems: Networks of plausible inference*. San Francisco, United States of America: Morgan Kaufmann Publishers.