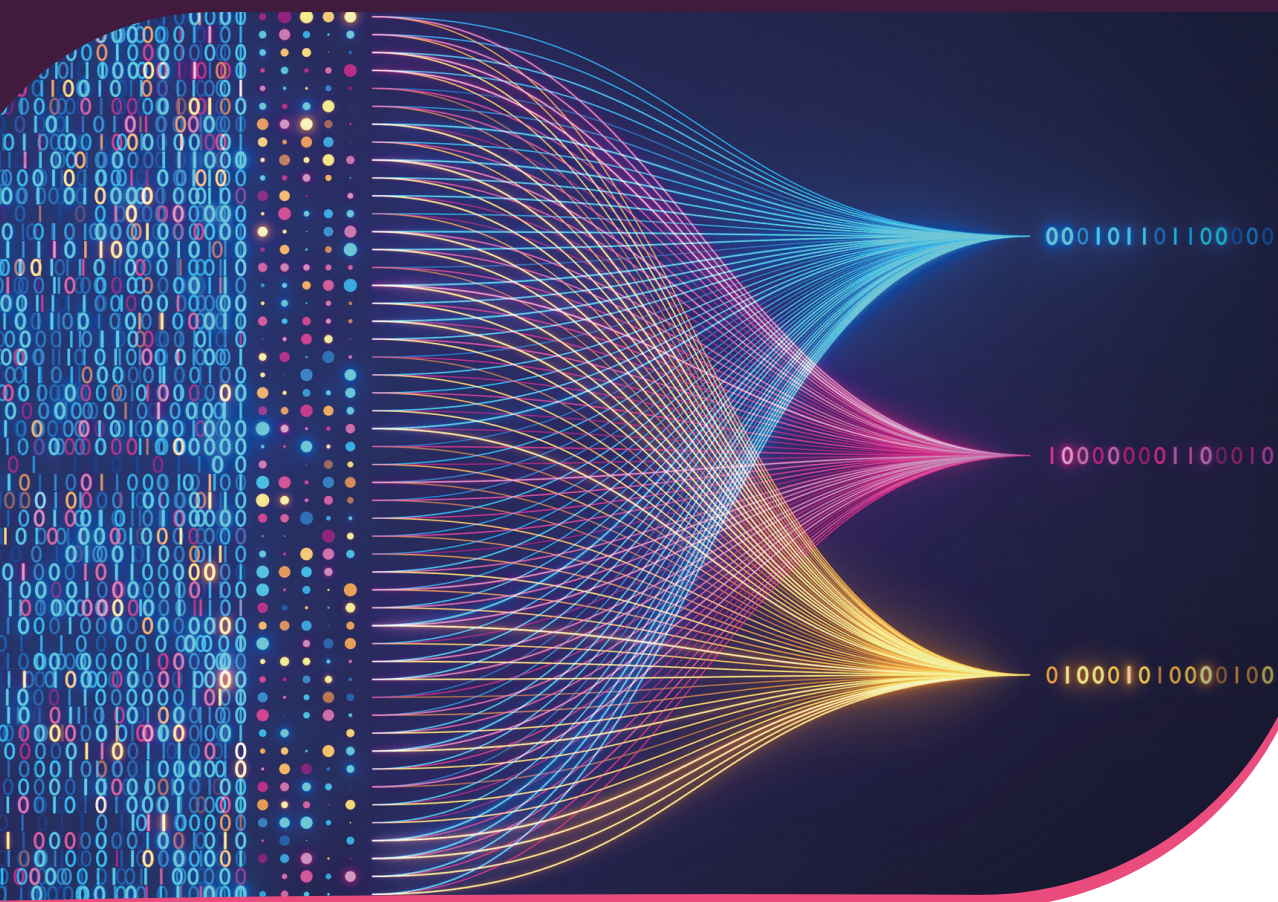


OSCAR GABRIEL FILHO

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E APRENDIZAGEM DE MÁQUINA

Aspectos teóricos e aplicações



Blucher

Oscar Gabriel Filho

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E APRENDIZAGEM DE MÁQUINA

Aspectos teóricos e aplicações

Inteligência artificial e aprendizagem de máquina: aspectos teóricos e aplicações

© 2023 Oscar Gabriel Filho

Editora Edgard Blücher Ltda.

Publisher Edgard Blücher

Editores Eduardo Blücher e Jonatas Eliakim

Coordenação editorial Andressa Lira

Produção editorial Kedma Marques

Preparação de texto Samira Panini

Diagramação Plínio Ricca

Revisão de texto Bruna Marques

Capa e redesenho das figuras Laércio Flenic

Imagem da capa iStockphoto

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel.: 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo o Novo Acordo Ortográfico, conforme 6. ed. do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*, Academia Brasileira de Letras, julho de 2021.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios sem autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Gabriel Filho, Oscar

Inteligência artificial e aprendizagem de máquina : aspectos teóricos e aplicações / Oscar Gabriel Filho. - São Paulo : Blucher, 2023.

462 p.

Bibliografia

ISBN 978-65-5506-620-3

1. Inteligência artificial 2. Engenharia da computação I. Título

23-3482

CDD 006

Índices para catálogo sistemático:

1. Inteligência artificial

Conteúdo

PARTE I – ASPECTOS TEÓRICOS

1 FUNDAMENTOS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	23
1.1 Introdução	23
1.2 Definição de IA	23
1.3 Como surgiu a IA	25
1.4 As abordagens da IA	26
1.5 Conceitos relacionados com a IA	27
1.6 Consumir IA	36
1.7 IA na atualidade e perspectivas	36
1.8 Conclusões	37
2 IA SIMBÓLICA	41
2.1 Introdução	41
2.2 IA simbólica: os sistemas de símbolos físicos	41
2.3 Sistemas baseados em conhecimento	42
2.4 Lógica <i>Fuzzy</i> clássica ou lógica <i>Fuzzy</i> do Tipo 1	55
2.5 Lógica <i>Fuzzy</i> intervalar ou lógica <i>Fuzzy</i> do Tipo 2	80
2.6 Método de defuzzificação Takagi-Sugeno-Kang (TSK)	84
2.7 Conclusões	85

3 IA CONEXIONISTA	87
3.1 Introdução	87
3.2 Modelos de neurônios artificiais	89
3.3 Modelos de arquitetura	106
3.4 Algoritmos de aprendizagem	110
3.5 Breve histórico sobre a evolução das redes neurais artificiais	131
3.6 Conclusões	133
4 RNA: ARQUITETURAS AVANÇADAS	137
4.1 Introdução	137
4.2 Redes neurais convolucionais	137
4.3 Aprendizagem profunda	146
4.4 Conclusões	160
5 IA EVOLUCIONISTA	163
5.1 Introdução	163
5.2 Computação evolucionária	163
5.3 Algoritmos genéticos	166
5.4 Conclusões	185
6 APRENDIZAGEM DE MÁQUINA	187
6.1 Introdução	187
6.2 Diferença entre parâmetro e hiperparâmetro	190
6.3 Etapas da aprendizagem de máquina	192
6.4 Métodos de aprendizagem de máquina	195
6.5 Aprendizagem automática de máquina	199
6.6 Anormalidades na aprendizagem: sobreajuste e subajuste	202
6.7 Avaliação do <i>modelo</i>	207
6.8 As Fontes de Incerteza na aprendizagem de máquina	216
6.9 Comentários sobre as técnicas de aprendizagem de máquinas	218
6.10 Conclusões	218
7 MAIS TÉCNICAS DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA (1)	221
7.1 Introdução	221
7.2 Análise discriminante linear	222
7.3 Máquina de vetor de suporte	231
7.4 Conclusões	259

8 MAIS TÉCNICAS DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA (2)	261
8.1 Introdução	261
8.2 Métodos de regressão	261
8.3 Bayes ingênuo	276
8.4 Árvore de decisão	281
8.5 K-Vizinhos mais próximos	295
8.6 Conclusões	299
PARTE II – APLICAÇÕES	
9 CONTROLE FUZZY	303
9.1 Introdução	303
9.2 Controlador industrial PID	304
9.3 Controlador Fuzzy aplicado no braço de um disco rígido (HD)	307
9.4 Conclusões	312
10 PILOTO AUTOMÁTICO FUZZY	315
10.1 Introdução	315
10.2 Projeto de um piloto automático <i>Fuzzy</i>	315
10.3 Etapa de fuzzificação	318
10.4 Etapa de inferência	319
10.5 Etapa de defuzzificação: Mamdani e Takagi-Sugeno-Kang	320
10.6 Conclusões	326
11 MODELOS POLINOMIAIS DISCRETOS: SIMULAÇÃO E PREDIÇÃO	327
11.1 Introdução	327
11.2 Estruturas e estabilidade	328
11.3 Outra forma de obter os preditores de saída	340
11.4 Exemplo: modelagem experimental, simulação e predição	342
11.5 Resumo: estruturas e estabilidade	346
11.6 Conclusões	347
12 IDENTIFICAÇÃO E CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS	349
12.1 Introdução	349
12.2 Modelagem de sistemas	350

12.3 Controle de sistemas industriais	361
12.4 Conclusões	376
13 ALOCAÇÃO DINÂMICA DE TAREFAS INDEPENDENTES	377
13.1 Introdução	377
13.2 Formulação do problema	377
13.3 A solução usando algoritmo genético	378
13.4 Conclusões	381
14 MODELAGEM EM GRANDE ESCALA	383
14.1 Introdução	383
14.2 Partes de um modelo grande	385
14.3 O transformador (transformer)	391
14.4 Outras tecnologias de modelo grande (LM)	393
14.5 Conclusões	393
PARTE III – APÊNDICES	
APÊNDICE A	
Método da Propagação Retroativa do Erro (Error Backpropagation)	397
APÊNDICE B	
Código Gray	417
APÊNDICE C	
Fundamentos de Matemática	423
REFERÊNCIAS	445
ÍNDICE REMISSIVO	449

CAPÍTULO 1

Fundamentos da inteligência artificial

1.1 INTRODUÇÃO

A palavra inteligência vem do Latim, do termo *intelligentia*, originário de *intelligere*, que é composto de *inter* = entre e de *legere* = escolha. Nesses termos, pode-se dizer que “inteligência é a capacidade de fazer boas escolhas”.

A palavra artificial é usada para indicar que um determinado produto não surgiu da criação divina (Teoria Criacionista) ou da evolução natural das espécies (Teoria Evolucionista) ou até mesmo da conjugação de ambas, como cada um queira acreditar, e sim foi um produto direto da invenção humana. Especificamente no que se refere à Inteligência Artificial (IA), esta denominação se aplica quando um produto apresenta certos comportamentos ditos inteligentes, os quais são resultantes da aquisição, manipulação e aplicação de conhecimentos acerca do mundo, com o objetivo de buscar boas soluções para as questões associadas às tarefas normalmente realizadas pelos seres humanos, como classificação, predição, controle, otimização e mais tantas outras.

1.2 DEFINIÇÃO DE IA

Ainda não há um consenso do que é IA, pois existem várias definições que, de uma certa forma, definem essa área do conhecimento, as quais são aceitas seja por um grupo ou por outro de especialistas e de cientistas estudiosos do assunto. Dentre as definições existentes na literatura, destacamos as seguintes:

- Ciência multidisciplinar que tem o objetivo de prover as máquinas com a capacidade de executar tarefas que exigem a concorrência de alguma habilidade característica do ser humano, como: inteligência, criatividade, atenção, perseverança etc. No campo da Psicologia, a inteligência é caracterizada pela manifestação de uma ou mais das seguintes qualidades: aprendizagem, adaptação e capacidade de resolver problemas.

Ser humano × Máquina

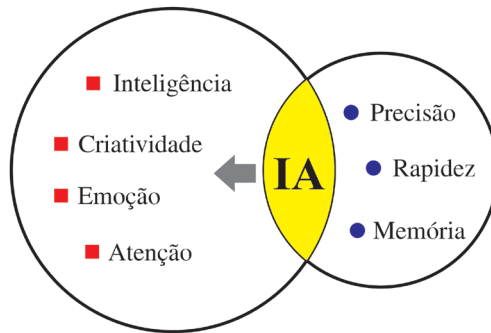


Figura 1.1 – Algumas habilidades do ser humano *versus* máquina.

A Inteligência Artificial (IA) tem o objetivo de prover as máquinas, as quais são possuidoras de precisão, rapidez de processamento e grande capacidade de armazenamento de dados (memória), com algumas habilidades próprias do ser humano -inteligência, criatividade, emoção, atenção, entre outras (Figura 1.1), com a finalidade de encontrar soluções para problemas que seriam difíceis ou até mesmo impossíveis de serem resolvidos pelos seres humanos. A seguir são apresentadas algumas definições, que sintetizam o que é IA, quais sejam:

- IA é o estudo de como fazer os computadores realizarem coisas que, no momento, as pessoas fazem melhor (Richt & Knight, 1994).
- Um dos objetivos principais da IA é encontrar modelos computacionais para os processos humanos inteligentes (Keller, 1991).

Um trabalho sobre o estado da arte foi publicado por Miller et al., em 1978, intitulado *State of the Art Report*, Fundação Sloan, Nova York, USA, com o objetivo principal de “descobrir as habilidades representacionais e computacionais da mente e sua representação estrutural e funcional no cérebro”. Uma importante contribuição desse relatório foi o estabelecimento das interrelações entre os campos do conhecimento relacionados com a IA (Figura 1.2), que ficou conhecido como o hexágono cognitivo.

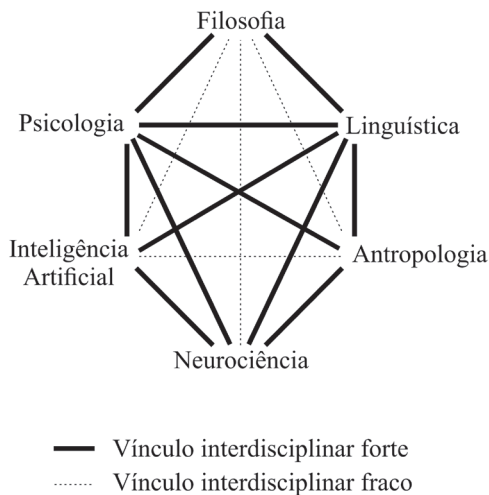


Figura 1.2 – O hexágono cognitivo (Miller et al., 1978).

A IA, antes de tudo, é considerada uma ciência cognitiva, pois está fundamentada sobre a crença de que é legítimo – na verdade necessário – postular a existência de um nível de conhecimento separado, que pode ser chamado de *representação*. Esse nível utiliza entidades representacionais, como os símbolos e suas operações, materiais normalmente encontrados entre um estímulo (entrada, em inglês *input*) e a sua resposta (saída, em inglês *output*). Além disso, ele também investiga as diversas possibilidades de combinar, comparar ou transformar as representações umas nas outras, que são os seus *processos*. O nível de representação é necessário para explicar a variedade do comportamento, da ação e do pensamento humano. Mais adiante, será visto que as abordagens ou as maneiras existentes de estudar IA, distinguem-se uma das outras exatamente pela técnica que cada uma delas utiliza no nível de representação, assim como as operações válidas que podem ser realizadas sobre esta representação.

Finalmente, não poderia deixar de registrar que a IA é uma ciência fortemente orientada a dados (*data-driven*), tanto no seu aspecto qualitativo, principalmente no que diz respeito à representatividade do espaço amostral, quanto ao seu aspecto quantitativo, devido aos seus valores estarem normalmente corrompidos por ruídos introduzidos durante a coleta de dados, realizada pelos processos de medição e aquisição de dados.

1.3 COMO SURTIU A IA

A história da Inteligência Artificial (IA) começou efetivamente no verão de 1956, em Hanover, New Hampshire, Estados Unidos, quando um grupo de cientistas formado

por John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon e Nathaniel Rochester organizou e realizou a primeira conferência sobre IA, no Dartmouth College. A conferência reuniu vários teóricos da computação, sob o patrocínio da Fundação Rockefeller. Nessa conferência foi criado o termo Inteligência Artificial (*Artificial Intelligence*), por John McCarthy, para, assim, dar nome à nova ciência que estava surgindo.

Daqueles tempos até os dias atuais, a IA está repleta de promessas excitantes que, apesar de estarem frequentemente associadas à ficção científica, já possui várias aplicações práticas. Embora ainda longe de concretizar as expectativas que se nutrem acerca da IA, pode-se dizer que não é um adulto que fracassou, mas sim uma ciência jovem que está evoluindo, seguindo seu próprio ritmo e adotando regras totalmente diferentes das ciências que serviram de arcabouço para o seu desenvolvimento. Os pesquisadores de IA vislumbram para as primeiras décadas deste século XXI, uma verdadeira revolução tecnológica, advinda do emprego maciço das técnicas de IA em diversos produtos de apoio à decisão, linguagem natural, de uso pessoal e comercial.

1.4 AS ABORDAGENS DA IA

Na atualidade, o estudo da IA é realizado em 3 vertentes distintas, diferenciando-se entre si pela forma de representação do conhecimento adquirido, que pode ser por meio dos símbolos, das conexões entre os neurônios (sinapses) e dos cromossomos, dando origem respectivamente às seguintes abordagens:

1.4.1 IA SIMBÓLICA

A unidade básica representativa do conhecimento é o símbolo. Essa técnica está diretamente relacionada à Psicologia, e teve em McCarthy (1963), Minsky (1967), Newell e Simon (1976) seus trabalhos pioneiros na área da IA. Essa linha reúne diversas técnicas, entre as quais se destacam os sistemas baseados no conhecimento, cujo principal representante são os Sistemas Especialistas (SE). Também pertencente a essa classe, não se pode deixar de mencionar a Lógica Nebulosa ou Imprecisa (*Fuzzy*), desenvolvida por Lotfi A. Zadeh em 1965, que veio para modelar matematicamente o raciocínio impreciso do ser humano, permitindo uma melhor interação entre o homem e a máquina. O simbolismo é o modo natural de representação do conhecimento, ou seja, os símbolos são a forma de representar o pensamento humano e a comunicação com o mundo exterior, nas suas mais diversas formas de expressão ou de linguagem.

1.4.2 IA CONEXIONISTA

A unidade básica representativa do conhecimento é a ligação sináptica (sinapse) entre os neurônios. Tem a sua inspiração no comportamento neurológico do cérebro humano, sendo que o primeiro trabalho nesta área, intitulado *A Logical Calculus of the Ideas*

Immanent in Nervous Activity deve-se a Warren McCulloch (neurofisiologista) e Walter Pitts (estatístico), publicado em 1943. Outras contribuições que se destacaram foram dadas por Hebb (1949), Rosenblatt (1962), Rumelhart e McClelland (1986). A IA Conexionista é inspirada no funcionamento do cérebro humano e, por isso, tem nas Redes Neurais Artificiais (RNA) seu representante de grande interesse científico e aplicação na atualidade. O termo conexionista é inspirado na enorme quantidade de conexões, aproximadamente 100 trilhões de conexões ligando cerca de 20 bilhões de neurônios existentes no cérebro. Atualmente, a arquitetura de rede denominada de Rede Neural Profunda (*Deep Neural Network* – DNN), formada por muitas camadas justapostas de neurônios artificiais com funções de ativação apropriadas, podendo chegar a ter bilhões de parâmetros de treinamento (pesos sinápticos), tem despertado um enorme interesse devido a sua capacidade de aprendizagem de grandes conjuntos de dados; uma aplicação recente desta tecnologia de IA são os Modelos Grandes de Linguagem (*Large Language Models* – LLMs), usados para geração de texto, tradução de idiomas, resposta a perguntas, conversação e muitas outras atividades de linguagem natural.

1.4.3 IA EVOLUCIONISTA

A unidade básica representativa do conhecimento é o cromossomo, no qual está baseada a Teoria da Evolução natural das espécies, que tem a sua origem nos trabalhos do naturalista inglês Charles Robert Darwin (1809-1882), que desvendou os mecanismos segundo os quais os animais evoluem a partir de formas mais simples, como resultado da necessidade de melhor adaptação ao seu meio ambiente. No decorrer desse processo, vai ocorrendo uma seleção natural – a sobrevivência dos mais aptos, de acordo com as Leis de Seleção Natural, formuladas, originalmente, pelo monge austríaco Gregor Mendel (1822-1884). O principal representante dessa vertente da IA são os Algoritmos Genéticos (AG), pertencentes a uma classe de algoritmos, cuja aplicação visa resolver problemas de classificação e de otimização numérica. Recentemente, surgiram vários algoritmos inspirados no comportamento grupal de animais (Colônia das Formigas, Algoritmo de Morcego, Enxame de Partículas, Algoritmo de Polinização de Flores e outros), denominados de meta-heurísticas.

1.5 CONCEITOS RELACIONADOS COM A IA

A IA se relaciona com várias áreas do conhecimento, utilizando de seus recursos para realizar e agilizar o processo de aprendizagem, e aplicando seus resultados com o único objetivo de produzir soluções para problemas práticos de interesse.

1.5.1 CIBERNÉTICA

É a ciência que estuda as comunicações e o controle entre os organismos vivos e as máquinas – interação ser humano *versus* máquina. Abrange alguns dos temas mais

atrativos do momento como: Inteligência Artificial, Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Jogos Interativos, Rede de Computadores, Automação, Robótica etc.

1.5.2 ROBÓTICA

Homero foi o primeiro escritor a usar a ideia de robô no Livro 18, da *Iliada* (provavelmente no século IX ou VIII a.C.). Há duas passagens, nas quais o personagem Hefesto – o famoso artífice, é descrito como o criador de robôs. Na primeira passagem, Hefesto está construindo simulacros de garçons automáticos (idealizados como carrinhos de chá) e, na segunda, ele é assistido por criadas inteligentes com poderes peculiares. Essas passagens são:

(Primeira passagem)

“Mesas de três pernas estava ele fazendo, vinte ao todo, para Colocar ao longo da parede da sua bem construída sala. A essas ele adaptou Rodas forjadas em ouro, pois elas iriam por si próprias ao banquete Dos deuses, a sua vontade, e voltariam deixando todos desconcertados”.

(Segunda passagem)

“Criadas vestidas de ouro prestavam grande ajuda aos senhores; Parecendo moças de verdade, elas davam provas de aguçado entendimento Por suas falas inteligentes, eficientes e habilidosas atuações”.

O termo robô foi introduzido pela primeira vez com o significado de máquinas assemelhando-se ao ser humano, por Karel Capek, em 1921, em sua peça teatral satírica R.U.R (*Rossum's Universal Robots*). Em 1959, a Unimation lançava o primeiro robô industrial. Em 1960, McCarthy desenvolveu um computador com mãos, olhos e ouvidos. Em 1962, H. A. Ernst reportava o desenvolvimento de uma mão mecânica com sensores táteis. Em 1968, o problema cinemático de manipuladores controlados por computador foi tratado por Pieper. Hoje em dia, os robôs são universalmente empregados nas mais diferentes tarefas, inclusive em serviços baseados na comunicação de pessoas por computador (*chatbot = chatter robot*, em português, conversa com robô).

Desse modo, a robótica se mostra uma ciência multidisciplinar que estuda o funcionamento dos robôs. A palavra foi inventada por Isaac Asimov, em 1942. A IA é importante para a robótica, por possibilitar uma alternativa viável para a execução de atividades com elevado grau de dificuldade, como o planejamento de tarefas e a interação com o meio ambiente para a detecção de obstáculos, a geração de trajetórias, a análise de cenas e a navegação autônoma, entre outras.

1.5.3 ESTADO, ESPAÇO DE ESTADOS E CAMINHO

Estado corresponde à situação em que um processo se encontra num determinado instante, dentro das possíveis situações que pode assumir desde seu início até o seu fim; é como se fosse uma fotografia do processo. Um processo pode se encontrar em um dos seguintes estados não excludentes: inicial, corrente, final e meta; quando o estado-final coincide com um dos estados-meta diz-se que o problema foi resolvido com sucesso.

Denomina-se *espaço de estados* o conjunto formado por todos os estados possíveis de um processo. *Caminho* é o percurso entre 2 estados quaisquer pertencentes ao espaço de estados.

1.5.4 BUSCA

Qualquer técnica que consiste em movimentar-se nos espaços de estado, percorrendo todos os caminhos possíveis, com o objetivo de encontrar uma solução para um determinado problema, que pode ser um estado (estado-meta) ou um caminho no espaço de estados.

- Um exemplo em que a solução é um estado.

O Jogo da Velha: é jogado entre 2 adversários e conquista o sucesso o jogador que conseguir ocupar primeiro as 3 casas situadas na mesma linha reta do tabuleiro de jogo, podendo ser na horizontal, vertical ou diagonal.

Exemplo: Na figura a seguir, a última coluna à direita é um estado-meta para o Usuário (U), ou seja, um estado que leva à vitória.

U	C	U
	C	U
C		U

Figura 1.3 – Jogo da Velha.

- Um exemplo em que a solução é um caminho.

O Problema do Caixeiro-Viajante: um vendedor tem uma lista de cidades que precisa visitar apenas 1 vez. Há estradas ligando cada par de cidades da lista. Encontre a

rota que o vendedor deverá seguir para que a distância percorrida seja a menor possível, de tal maneira que a viagem comece e termine numa mesma cidade, que poderá ser qualquer uma da lista.

Exemplo:

Tabela 1.1 – Distâncias (em km) entre as cidades A, B, C e D

CIDADE	A	B	C	D
A	0	170	180	130
B	170	0	140	80
C	180	140	0	70
D	130	80	70	0

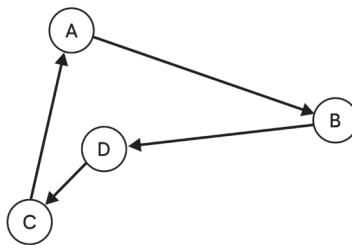


Figura 1.4 – Caminho ABDCA (Total = 500 km).

1.5.5 HEURÍSTICA

As heurísticas utilizam apenas parte do conhecimento do mundo, tanto genérico como específico, com o objetivo de encontrar uma solução para um problema difícil. O uso de heurísticas possibilita obter uma boa solução para um problema complexo, pois no mundo real raramente precisamos de uma solução ótima; uma boa aproximação normalmente será satisfatória. Em outras palavras, a heurística reduz a complexidade na solução de um problema, ajudando, assim, a encontrar uma solução aceitável.

Exemplo de uma heurística: no problema do caixeiro-viajante, pode ser usada a heurística do vizinho mais próximo; sem essa heurística estaríamos irremediavelmente presos em uma explosão combinatória.

1.5.6 EXPLOSÃO COMBINATÓRIA

É assim denominada a grande quantidade de alternativas que surge durante a busca de uma solução para um determinado problema. Voltando ao problema do caixeiro-viajante, se há N cidades a serem visitadas, então o número de caminhos possíveis é igual a N fatorial. Supondo que haja, por exemplo, 10 cidades a visitar, o número de alternativas seria $10! = 3.628.000$, um número bastante grande. A solução desse problema poderia demorar muito tempo, mais do que provavelmente ter-se-ia disponível para esperar. Esse fenômeno é chamado de explosão combinatória.

1.5.7 COMPLEXIDADE DE UM PROBLEMA

A complexidade de um problema no tempo indica o grau de dificuldade para que se obtenha uma solução, tomando por base a quantidade de operações elementares executadas durante a fase de resolução do problema. Trata-se, portanto, de um conceito relativo, cuja valoração é obtida por intermédio de comparações com valores de funções matemáticas simples. Normalmente, é adotado o valor da função matemática mais próxima por excesso (ou valor próximo superior).

A notação usada para indicar a complexidade de um problema é a “big O ”. Por exemplo, são citadas:

$O(n^2)$ → indica a complexidade de um problema que exige, no máximo, n^2 operações elementares para se obter uma solução aceitável;

$O(n!)$ → complexidade fatorial;

$O(k^n)$ → complexidade também conhecida como “exponencialmente difícil”.

1.5.8 DISTÂNCIA HAMMING (DH)

A distância Hamming (Hamming, 1950) mede o grau de *similaridade* ou *proximidade* entre 2 dados binários. Na verdade, o que é medido mesmo é o inverso, isto é, a “dissimilaridade”. É definida como o número inteiro de posições em que 2 dados diferem entre si.

Exemplo: Qual a DH entre os dados 1001 e 1100? Os dados diferem nas primeira e terceira posições, a contar da esquerda para a direita, portanto, sua DH vale 2. Certamente, se os dados fossem coincidentes, sua DH seria 0 (zero).

Agora, suponha que um determinado sistema inteligente usado para reconhecimento de padrões encontre-se diante do seguinte problema: Durante a fase de captura de dados, um dos dados sofreu distorção provocada por um ruído. Sabendo-se que o dado capturado equivale a 1011 e os padrões armazenados previamente na memória do tal sistema são 0110, 1001, 0100 e 1101, pergunta-se qual destes padrões poderia ser o dado original sem distorções. Um dos critérios para resolver esse tipo de problema poderia ser a DH, ou seja, o dado original sem distorções poderia ser 1001, por apresentar a menor DH (= 1).

DADO	PADRÃO	DH
1011	0110	3
	1001	1
	0100	4
	1101	2

Na prática, a DH é calculada executando o operador booleano ou-exclusivo (XOR) entre 2 dados binários, bit a bit, e contando o número de bits 1 ocorridos no resultado.

Exemplo:

1100

⊕ 1010

0110 (DH = quantidade de bits '1' = 2)

O conceito de DH pode ser aplicado, por exemplo, para detecção e correção de erros na transmissão de dados, endereçamento de memória por conteúdo (*content-addressable memory*).

1.5.9 PREDIÇÃO

É o ato de prever a saída (resposta ou *output*) de um sistema usando um modelo matemático, caso lhe seja aplicada uma determinada entrada (excitação ou *input*). Os valores envolvidos podem ser numéricos ou não numéricos (categóricos), correspondendo respectivamente a um problema de regressão ou a um problema de reconhecimento de padrões (classificação). A predição certamente constitui uma das mais importantes manifestações da inteligência, juntamente com a comunicação (linguagens), campo da IA que vem causando um grande impacto na sociedade nos últimos anos, com o surgimento dos Modelos Grandes de Linguagem (LLM) (Capítulo 14).

1.5.10 REGRESSÃO

Definida como: 1) é uma técnica de predição numérica; 2) é uma técnica que utiliza os valores atuais e passados para prever valores futuros; e 3) é uma técnica que utiliza uma ou mais variáveis de entrada para prever o valor de uma variável de saída. **Regressão linear:** quando a função matemática escolhida é uma reta.

Regressão logística: quando a função matemática escolhida é a função logística, também chamada de sigmoide unipolar.

1.5.11 RECONHECIMENTO DE PADRÕES

O que vem a ser um padrão? Rigorosamente falando, padrão significa que um determinado tipo foi definido como modelo ou referência. Então, reconhecimento de padrões significa identificar cada um dos diversos tipos existentes de um objeto (letras, números, rostos, figuras etc.), ou seja, classificar os tipos de objetos de acordo com uma determinada característica que seja de interesse. Assim, as expressões reconhecimento de padrões e classificação, para fins práticos, conduzem no mesmo resultado, portanto, serão usadas indistintamente neste livro.

1.5.12 MODELAGEM DE SISTEMAS

É o processo que tem por objetivo gerar modelos matemáticos, na forma de equações algébricas, tabelas e gráficos, que produzam respostas (saídas) tão próximas quanto desejável das respostas fornecidas pelos sistemas reais, supondo que ambos sejam excitados com as mesmas entradas.

1.5.13 MODELAGEM EXPERIMENTAL

É o processo para se obter um modelo a partir de dados experimentais, capaz de prever o valor de uma determinada variável de interesse. As variáveis de interesse podem ser quantitativas (numéricas) ou qualitativas (categóricas), sendo que as numéricas podem ser contínuas ou discretas. As variáveis categóricas são aquelas que dizem respeito às categorias que um objeto pode pertencer, como cor (verde, amarelo, azul), funcionalidade (com ou sem defeito), velocidade (baixa, média, alta) etc.

1.5.14 ESTABILIDADE ALGORÍTMICA

É a garantia de convergência do algoritmo para uma solução aceitável. Duas condições são fundamentais para que isso ocorra: 1ª) os dados de treinamento contêm informação suficiente sobre o problema a ser resolvido; e 2ª) o algoritmo é capaz de varrer todo o espaço de entrada de dados e é baseado numa técnica de otimização.

1.5.15 ROBUSTEZ ALGORÍTMICA

É a capacidade do algoritmo apresentar um desempenho ainda aceitável, mesmo diante de ocorrências desfavoráveis.

1.5.16 SOBREAJUSTE (*OVERFITTING*)

O sobreajuste ocorre quando o modelo matemático somente responde bem às entradas usadas para o seu treinamento, não fornecendo boas respostas quando testado com outras entradas, embora todas elas pertençam ao mesmo conjunto de dados coletados. Na modelagem de sistemas, os dados coletados do sistema real normalmente são separados em dados para treinamento e dados para validação. Ao final do treinamento, é possível determinar o erro cometido. Resta agora testar o modelo recém-treinado, com o objetivo de decidir pela sua validação. Para isso, os testes são realizados aplicando novas entradas (dados para validação), e calculando o erro cometido, comparando o valor da saída do modelo (predição) com a saída real conhecida, quer seja fornecida por experimentos quer por um especialista. Enfim, o sobreajuste é detectado pela ocorrência de um pequeno erro no treinamento e um grande erro na validação, ou seja, o modelo trabalha muito bem para os dados de treinamento, porém tem desempenho insatisfatório para os dados de validação. Nesse caso, diz-se que o modelo não consegue generalizar para novas entradas, embora apresente boas respostas para as entradas de treinamento. De uma maneira grosseira, sobreajuste significa que o “modelo aprendeu muito sobre pouco”.

1.5.17 SUBAJUSTE (*UNDERFITTING*)

Neste caso, diferentemente do sobreajuste (*overfitting*), o modelo “aprendeu pouco”, e por isto, não tem um bom desempenho nem para os dados de treinamento nem para os dados de validação, isto é, apresenta erro elevado em ambas as situações – treinamento e validação.

1.5.18 REALIDADE VIRTUAL

É formada por ambientes em que tudo o que se vê, fisicamente não existe. Esses ambientes são totalmente criados por computadores, e são independentes do mundo real.

1.5.19 APRENDIZAGEM DE MÁQUINA (*MACHINE LEARNING – ML*)

É a área da Inteligência Artificial em que se atribui à máquina a capacidade de aprender por intermédio dos dados, ou seja, da experiência, sem a necessidade de detalhar as relações fenomenológicas existentes no problema a ser resolvido, utilizando-se para isto apenas métodos clássicos de modelagem experimental (por exemplo, o recozimento simulado) e/ou de Inteligência Artificial, sendo que estes últimos são inspirados em alguma funcionalidade do corpo humano (por exemplo, o cérebro humano) ou no comportamento característico de um grupo de animais (por exemplo, a colônia de formigas ou o voo das aves). A ML é empregada para resolver problemas de

predição (regressão e reconhecimento de padrões), de modo a obter o valor de uma variável de saída, com base em modelos matemáticos que mapeiam as entradas nas saídas, de acordo com uma relação de causa e efeito bem definida entre elas.

1.5.20 APRENDIZAGEM PROFUNDA (*DEEP LEARNING – DL*)

Esta técnica é uma aplicação das Redes Neurais Artificiais, que consistem na tentativa de copiar o funcionamento do cérebro humano, como será visto mais adiante. O que justifica a denominação de Aprendizagem Profunda é a grande quantidade de camadas intermediárias da rede neural utilizada, o que vai exigir certas especificidades na configuração da rede para assegurar sua rápida convergência.

1.5.21 INTERNET DAS COISAS (*INTERNET OF THINGS – IOT*)

Consiste na utilização da Internet para interligar vários dispositivos de uma determinada área, podendo ser de natureza pessoal, residencial, predial ou industrial. A ideia é reunir todas as informações e funcionalidades dos dispositivos a serem monitorados e/ou operados a distância, por meio de um sistema microprocessado (pulseira, telefone móvel, tablet ou computador), com o objetivo de otimizar o seu funcionamento em relação a algum atributo de interesse – conforto, segurança, eficiência etc. Apenas para dar uma visão mais clara, no caso residencial os equipamentos a serem interligados poderiam ser: iluminação interna e externa, refrigeração (geladeira, freezer e ar-condicionado), som ambiente, irrigação, segurança física e patrimonial etc.

1.5.22 INDÚSTRIA 4.0

Também é conhecida como: a 4ª Revolução Industrial. Tem como fundamento a utilização de recursos tecnológicos mais recentes (nuvem, internet de alta velocidade, rede sem fio, inteligência artificial etc.), para aumentar a operacionalidade, segurança e eficiência dos equipamentos e instalações industriais.

1.5.23 FUNÇÃO DE ATIVAÇÃO DO NEURÔNIO (FAN)

Desempenha as seguintes funções: 1) serve para definir o comportamento matemático do neurônio; e 2) estabelece qual será a contribuição individual do neurônio na formação da saída final da rede neural artificial, na busca do melhor ajuste aos padrões de entrada-saída ou somente de entrada, apresentados para o seu treinamento, como ocorre na montagem de um quebra-cabeça.

1.6 CONSUMIR IA

No que se refere à IA, o leitor pode se enquadrar simplesmente como usuário, uma classe de pessoas que precisa apenas usufruir dos produtos disponíveis no mercado e saber distinguir a qualidade daquilo que consome no seu dia a dia, ou como um profissional capacitado ou que busca capacitação para desenvolver IA, com a finalidade de fornecer produtos mais atraentes para o mercado de consumo.

Na condição de usuário, o conhecimento exigido do assunto não seria maior do que saber realmente as vantagens de possuir um produto com IA, em relação a outro produto concorrente sem IA, pela avaliação da relação custo/benefício; ou seja, basta saber se o produto vale a pena.

Por outro lado, se o objetivo é desenvolver (*development*) IA para resolver problemas do mundo real, seja pela criação de um produto ou para sua utilização dentro de um escopo mais amplo, então este texto pode ser considerado como uma introdução à IA. Nesse sentido, existem duas maneiras de implementar a IA – pela construção de equipamentos (*hardware*) e por de programas de computador (*software*).

Para implementar técnicas de IA, se a tecnologia escolhida envolver a construção de equipamentos, certamente a eletrônica é o meio de fabricação mais apropriado. Por outro lado, se o objetivo for o desenvolvimento de programas de computador irá exigir o domínio de alguma linguagem de programação, e a indicada neste caso deve ser aquela que mais se adequa aos propósitos do desenvolvedor. Aqui, o termo computador é usado de modo amplo, podendo na sua forma mais elementar tratar-se apenas de um sistema programável, por exemplo, um microcontrolador ou até mesmo um computador de grande porte. Aqui cabe registrar que o termo máquina (*machine*), de uma maneira genérica, pode ter a conotação de equipamento e/ou de um programa de computador.

1.7 IA NA ATUALIDADE E PERSPECTIVAS

A utilização da IA tem crescido muito nos últimos anos, em diversas áreas, como:

- Comércio eletrônico;
- Jogos e entretenimento;
- Análise e diagnóstico de falhas;
- Processamento da linguagem natural;
- Tradução de idiomas;
- Controle de ativos;
- Controle de processos industriais;
- Residências, prédios e cidades inteligentes;

- Serviços financeiros;
- Veículos inteligentes e muitas outras.

Essas áreas têm diversas aplicações práticas, que vão desde a segurança pública e privada até programas de computador capazes de prever o desempenho de um ativo financeiro no decorrer de um determinado tempo futuro.

Algumas tecnologias da atualidade trazem embutida a IA para ajudar a executar suas tarefas automáticas com eficiência, com o mínimo ou até mesmo sem a interferência humana. Dentre elas citamos a Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) e a Indústria 4.0. O funcionamento dessas tecnologias se apoia normalmente na utilização de sensores, os quais fornecem as informações necessárias do ambiente (sinais de entrada) para as unidades de processamento, que são dotadas de Inteligência Artificial, e essas, por sua vez, atuam (sinais de saída) sobre o sistema específico, fazendo-o comportar de acordo com a maneira desejada previamente estabelecida pelo projetista.

Um dos gargalos atuais para a aceitação da IA pela sociedade de um modo geral, nas aplicações em tempo real (*online*), é a exigência de altas velocidades de transmissão (Internet) e maior capacidade de processamento de dados dos dispositivos digitais. Essas dificuldades, entretanto, estão sendo superadas, graças à implantação de Internet 5G e a viabilização técnica-econômica dos novos sistemas de processamento de dados, por exemplo o processamento distribuído, a computação em nuvem e a computação quântica, tudo isso associado ao desenvolvimento de algoritmos inteligentes mais eficientes.

1.8 CONCLUSÕES

A finalidade deste capítulo foi oferecer ao leitor uma visão geral do que se entende por Inteligência Artificial (IA), em inglês, *Artificial Intelligence* (AI), seu conceito e as formas de abordar o seu estudo, conforme a fundamentação teórica que dá suporte ao seu desenvolvimento e implementação, quer pelos equipamentos (*hardware*), quer pelos programas (*software*) de computador.

A Inteligência Artificial, assim denominada oficialmente a partir de 1956, vem sendo muito difundida na atualidade em diversos campos dos negócios (*business*), da segurança operacional e patrimonial (*security*), e de tantos outros campos de aplicação da ciência, que estão tirando proveito de algoritmos inteligentes para obter resultados mais eficientes, fazendo uso da manipulação de uma grande quantidade de dados disponíveis. Isso somente foi possível nos tempos atuais, notadamente a partir do século XXI, com o aprimoramento de antigas técnicas existentes, fazendo assim surgirem ferramentas como a Aprendizagem Profunda (*Deep Learning*), a ser tratada no Capítulo 4, e que nada mais é do que uma evolução das Redes Neurais Artificiais, diferentemente da forma como era aplicada originalmente.

Faz-se necessário registrar que o aparecimento da IA se deu com a abordagem simbólica, tendo os símbolos como armazenadores do conhecimento, com o advento dos Sistemas Especialistas. Corroborando com essa afirmação, é possível encontrar algumas obras de autores renomados tratando a IA como se fosse uma denominação específica de sistemas de raciocínio simbólico. Entretanto, a IA não contempla só a parte simbólica, pois surgiram posteriormente a conexionista e a evolucionista, e tampouco se afasta a possibilidade de surgirem novas abordagens no futuro. Ainda dentro da abordagem simbólica, não se pode deixar de mencionar a Lógica Nebulosa ou Difusa (*Fuzzy*), desenvolvida por Zadeh (1965), importante contribuição que permitiu a interação do ser humano com a máquina.

Outro fato relevante para a IA foi o surgimento de algoritmos de classificação e otimização baseados em meta-heurísticas, os quais são inspirados no comportamento coletivo de animais, como Colônia de Formigas, Voo dos Pássaros, Algoritmo dos Morcegos e muitos outros desta natureza.

Mesmo com esses avanços, nos dias atuais a impressão que se tem é que a IA pouco se desenvolveu em termos científicos nas últimas décadas, notadamente após a criação, em 1986, do algoritmo de aprendizagem conhecido como Propagação Retroativa do Erro (*Error Backpropagation*, ou simplesmente *Backpropagation*) (Anexo A), cujo desenvolvimento é creditado a Rumelhart, Williams e Hinton (Haykin, 2001), trazendo a solução para a aprendizagem de redes neurais supervisionadas com múltiplas camadas. A importância histórica do algoritmo *Backpropagation* foi bastante significativa para o ressurgimento das Redes Neurais Artificiais, isto porque foi decisivo para superar o pessimismo descrito por Minsky e Papert (1969), baseado na incapacidade de se estender a aprendizagem do *Perceptron* (Rosenblatt, 1957) para redes interligadas contendo vários *perceptrons*, por ter apontado limitações sobre o que efetivamente poderiam aprender (Rumelhart, McClelland e outros – PDP Group, 1986), devido principalmente à inexistência na época de um algoritmo eficiente de aprendizagem.

Entretanto, a partir de 1986, com a publicação do *Backpropagation*, o entusiasmo pelo conexionismo foi retomado e, o que se observa na atualidade, é uma oferta abusiva de produtos divulgados como possuidores de IA. Basta ver a propaganda de diversos produtos oferecidos por meio dos meios de comunicação, com o atrativo de executarem serviços ou tarefas de modo inteligente. Deixando de lado os casos de exagero, a verdade é que não se pode ignorar essa tecnologia que está vindo com a proposta de facilitar as nossas vidas, nas mais diversas áreas de relacionamento e atividades do ser humano, surgindo com uma velocidade difícil de acompanhar, em determinadas situações vivenciadas no nosso dia a dia.

Resumindo: conhecer a IA tornou-se praticamente indispensável para o enfrentamento de situações que surgem nas mais diversas atividades do ser humano, muitas delas caracterizadas pela necessidade de levar em conta uma grande quantidade de informações disponíveis, na busca de uma maior eficiência na utilização dos recursos. Por esse ponto de vista, a atitude adequada é ver a IA como uma aliada e encará-la

como conhecimento a ser adquirido, idealmente por todos, à medida que possa ser empregada para satisfazer os seus próprios interesses – pessoal ou profissional. Mas, o tempo não muito distante vai torná-la um conhecimento útil bastante disseminado na sociedade – como dirigir um veículo ou utilizar o celular. Pode demandar algum tempo para que isso aconteça, porém a evolução é inevitável, como condição imprescindível para se desfrutar de uma vida com melhor qualidade.

Os próximos capítulos foram divididos em 3 partes. Na Parte I - Aspectos Teóricos, as vertentes da IA são apresentadas detalhadamente, iniciando pela abordagem simbólica, que utiliza os símbolos para representar o conhecimento, passando pela abordagem conexionista, que por sua vez procura imitar o funcionamento do cérebro humano e, finalmente, a abordagem evolucionista, que teve a sua inspiração nos princípios da Teoria da Evolução Natural, de Charles Darwin. Ainda dentro da Parte I, foram incluídos capítulos sobre os mais recentes avanços da IA, notadamente as arquiteturas de Redes Convolucionais e Redes Profundas (*Deep Learning*), com uma ênfase especial para a Aprendizagem de Máquinas (*Machine Learning*), em um nível introdutório, porém sem deixar de lado a sua fundamentação teórica, com extensa apresentação de exemplos ilustrativos.

A Parte I dedica seus últimos 3 capítulos para um assunto importante da IA, que atualmente vem merecendo grande atenção dos desenvolvedores e pesquisadores da área, que é a Aprendizagem de Máquina (*Machine Learning*), apresentando seus principais conceitos e técnicas.

Para não ficar restrito apenas aos aspectos teóricos, a Parte II - Aplicações apresenta algumas aplicações interessantes na área da IA, incluindo uma visão do que são os Modelos Grandes de Linguagem (*Large Language Models* - LLM), conhecidos como sistemas generativos e usados para a geração de texto e imagem, o que têm causado muitas expectativas e preocupações à sociedade. Finalmente, a Parte III - Apêndices contém complementos para auxiliar na leitura do livro, entre eles um dedicado a Fundamentos de Matemática, com o objetivo de proporcionar ao leitor uma breve revisão sobre os principais conceitos utilizados na maioria dos assuntos tratados neste livro.

Este livro tem o objetivo de servir como guia para o estudo da Inteligência Artificial e da Aprendizagem de Máquina, fundamentado nos símbolos, nas ligações entre os neurônios e nos cromossomos, apresentando e indicando também uma grande parte das principais técnicas existentes na atualidade, sem a pretensão de esgotar tão vasto assunto, mas procurando motivar a prosseguir no seu aprofundamento.

Tem como público-alvo todas as pessoas interessadas em conhecer as abordagens e dominar uma grande parte dos conceitos básicos e avançados da Inteligência Artificial e Aprendizagem de Máquina, incluindo profissionais de TI, Ciências Exatas e Engenharias. Com uma leitura acessível e instigante, ilustrada com muitas figuras, exemplos e aplicações.

A IA deixou de bater à sua porta, ela já está na sala de visitas, prestes a invadir todos os outros cômodos da sua vida!

A evolução das *machina intelligentes* traz de volta um antigo enigma, na sua versão atual: entenda-me ou devoro-te.



www.blucher.com.br

Blucher



Clique aqui e:

[VEJA NA LOJA](#)

Inteligência artificial e aprendizagem de máquina

Aspectos teóricos e aplicações

Oscar Gabriel Filho

ISBN: 9786555066203

Páginas: 462

Formato: 17 x 24 cm

Ano de Publicação: 2023
