

FUNDAMENTOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Aula 2:

Disciplinas da IA

Prof. Dr. Rodrigo Xavier de Almeida Leão
Cientista de Dados e Big Data



FILOSOFIA

- Regras formais podem ser usadas para obter conclusões válidas?
- Como a mente (o intelecto) se desenvolve a partir de um cérebro físico?
- De onde vem o conhecimento?
- Como o conhecimento conduz à ação?

FILOSOFIA

- **Aristóteles (384-322 a.C.)** foi o primeiro a formular um conjunto preciso de leis que governam a parte racional da mente.
- Ele desenvolveu um sistema informal de **silogismos** para raciocínio apropriado que, em princípio, permitiam gerar conclusões mecanicamente, dadas as premissas iniciais.
- **Silogismo** é um modelo de raciocínio baseado na ideia da dedução, composto por duas premissas que geram uma conclusão.



FILOSOFIA

SILOGISMO

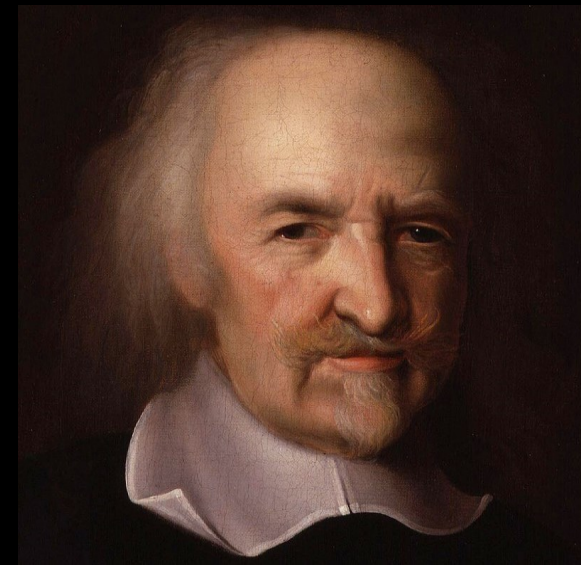
Todo homem é mortal. Sócrates é homem. Sócrates é mortal.

FILOSOFIA

- **Ramon Lull (1315)** apresentou a ideia de que o raciocínio útil poderia na realidade ser conduzido por um artefato mecânico.
- **Thomas Hobbes (1588-1679)** propôs que o raciocínio era semelhante à computação numérica, ou seja, que “efetuamos somas e subtrações em nossos pensamentos silenciosos”.



Catalunha



Inglaterra – Leviatã (1651)

FILOSOFIA

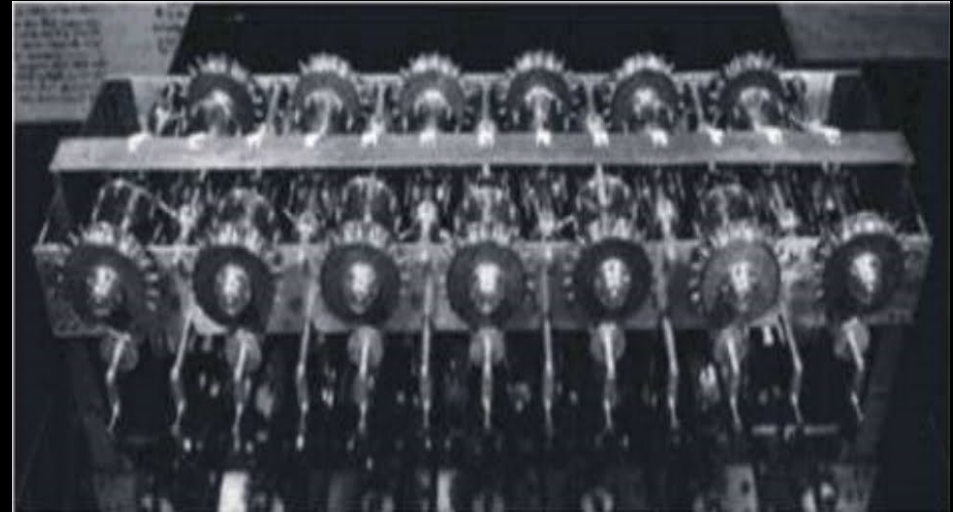
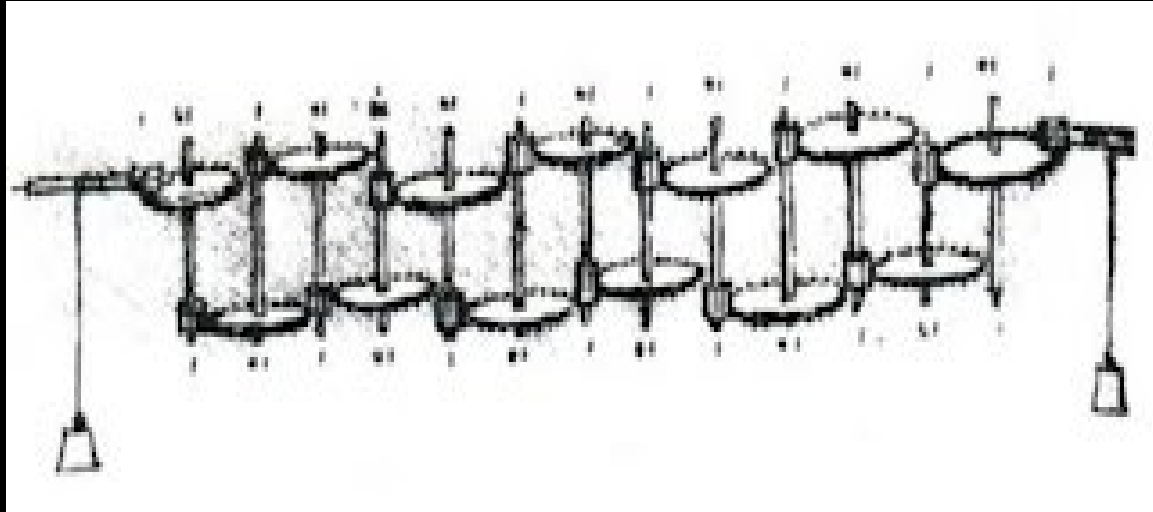
Thomas Hobbes (1588-1679)

- Em seu livro de 1651, Leviatã, Thomas Hobbes sugeriu a ideia de um “animal artificial”, argumentando:
- “Pois o que é o coração, senão uma mola; e os nervos, senão tantas cordas; e as articulações, senão tantas rodas.”

FILOSOFIA

Leonardo da Vinci (1452 - 519)

Projetou, mas não construiu, uma calculadora mecânica; reconstruções recentes mostraram que o projeto era funcional.

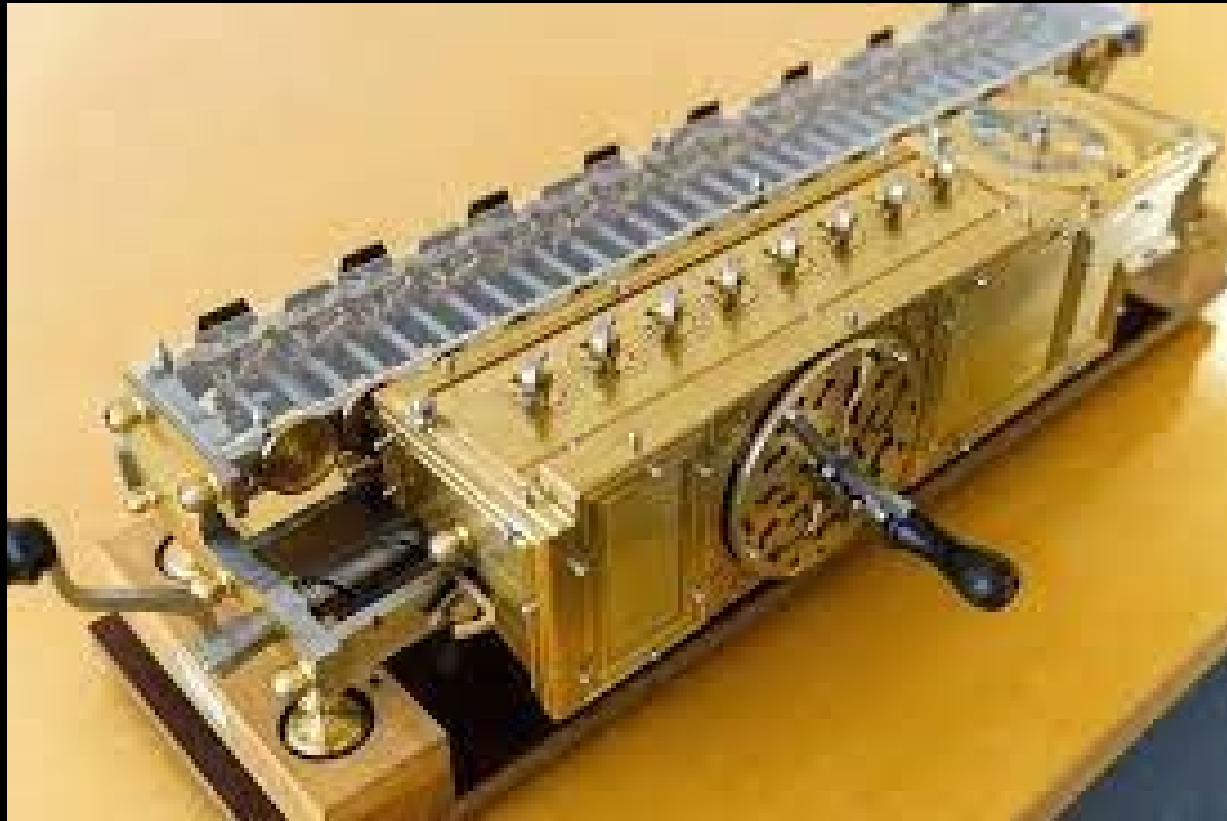


FILOSOFIA

- A primeira máquina de calcular conhecida foi construída em torno de 1623 pelo cientista alemão **Wilhelm Schickard (1592-1635)**.
- Embora a Pascaline, construída em 1642 por **Blaise Pascal (1623-1662)**, seja mais famosa.
- **Gottfried Wilhelm Leibnitz (1646-1716)** superou Pascal através da construção de uma calculadora que podia somar, subtrair, multiplicar e extrair raízes, enquanto a Pascaline só podia adicionar e subtrair.

FILOSOFIA

Calculadora de Leibnitz (1646-1716)



FILOSOFIA

- Dizer que a mente opera, pelo menos em parte, de acordo com regras lógicas e construir sistemas físicos que emulam algumas dessas regras é uma coisa; outra é dizer que a mente em si é esse sistema físico.
- **René Descartes (1596-1650)** apresentou a primeira discussão clara da distinção entre mente e matéria, e dos problemas que surgem dessa distinção.



FILOSOFIA

Um dos **problemas relacionados com uma concepção puramente física da mente** é o fato de que ela parece deixar pouco espaço para o livre arbítrio:

- se a mente é governada inteiramente por leis físicas, então ela não tem mais livre-arbítrio que uma pedra que “decide” cair em direção ao centro da Terra.
- Descartes advogava fortemente a favor do poder da razão em entender o mundo, uma filosofia hoje chamada de **racionalismo**, e que tinha Aristóteles e Leibnitz como membros.

FILOSOFIA

- Descartes também era um proponente do **dualismo**.
- Ele sustentava que havia uma parte da mente humana (ou alma, ou espírito) que transcende a natureza, isenta das leis físicas.
- Uma alternativa para o dualismo é o **materialismo**, que sustenta que a operação do cérebro de acordo com as leis da física constitui a mente.
- O **livre-arbítrio** é simplesmente o modo como a percepção das escolhas disponíveis se mostra para a entidade que escolhe.

FILOSOFIA

- Dada uma mente física que manipula o conhecimento, o próximo problema é estabelecer a origem do conhecimento.
- O movimento chamado **empirismo**, iniciado a partir da obra de Francis Bacon (1561-1626), *Novum Organum*,² se caracterizou por uma frase de John Locke (1632-1704):
- “Não há nada na compreensão que não estivesse primeiro nos sentidos.”

FILOSOFIA

- A obra de David Hume (1711-1776), *A Treatise of Human Nature* (Hume, 1739) propôs aquilo que se conhece hoje como o **princípio de indução**:
- As regras gerais são adquiridas pela exposição a associações repetidas entre seus elementos.
- A **teoria da confirmação** de Carnap e Carl Hempel (1905-1997) tentava compreender a **aquisição do conhecimento** através da **experiência**.

FILOSOFIA

- O livro de Carnap, **The Logical Structure of the World (1928)**, definiu um procedimento computacional explícito para extrair conhecimento de experiências elementares. Provavelmente, foi a primeira teoria da mente como um processo computacional.
- O último elemento no quadro filosófico da mente é a **conexão entre conhecimento e ação**. Apenas pela compreensão de como as ações são justificadas podemos compreender como construir um agente cujas ações sejam justificáveis (ou racionais).

FILOSOFIA

Na obra *Ética a Nicômaco* (Livro III. 3, 1112b), Aristóteles desenvolve esse tópico um pouco mais, sugerindo um algoritmo:

- Não deliberamos sobre os fins, mas sobre os meios. Um médico não delibera sobre se deve ou não curar nem um orador sobre se deve ou não persuadir, (...) Eles dão a finalidade por estabelecida e procuram saber a maneira de alcançá-la; se lhes parece poder ser alcançada por vários meios, procuram saber o mais fácil e o mais eficaz;

FILOSOFIA

- e se há apenas um meio para alcançá-la, procuram saber como será alcançada por esse meio e por que outro meio alcançar esse primeiro, até chegar ao primeiro princípio, que é o último na ordem de descoberta. (...) e o que vem em último lugar na ordem da análise parece ser o primeiro na ordem da execução. E, se chegarmos a uma impossibilidade, abandonamos a busca; por exemplo, se precisarmos de dinheiro e não for possível consegui-lo; porém, se algo parecer possível, tentaremos realizá-lo.

FILOSOFIA

- O algoritmo de Aristóteles foi implementado 2.300 anos mais tarde, por Newell e Simon. Agora, poderíamos denominá-lo sistema de planejamento regressivo (Capítulo 10.)
- A análise baseada em metas é útil, mas não nos diz o que fazer quando várias ações alcançarem a meta ou quando nenhuma ação a alcançar por completo.

FILOSOFIA

- Antoine Arnauld (1612-1694) descreveu corretamente uma fórmula quantitativa para definir que ação executar em casos como esse (Capítulo 16).
- O livro de John Stuart Mill (1806-1873), Utilitarianism (Mill, 1863), promoveu a ideia de critérios de decisão racionais em todas as esferas da atividade humana. **A teoria de decisões.**

MATEMÁTICA

- Quais são as regras formais para obter conclusões válidas?
- O que pode ser computado?
- Como raciocinamos com informações incertas?

Os filósofos demarcaram a maioria das ideias importantes sobre a IA, mas o salto para uma ciência formal exigiu certo nível de formalização matemática em três áreas fundamentais: **lógica, computação e probabilidade.**

LÓGICA

- George Boole (1815-1864), que definiu os detalhes da lógica proposicional ou lógica booleana (Boole, 1847).
- Em 1879, Gottlob Frege (1848-1925) estendeu a lógica de Boole para incluir objetos e relações, criando a lógica de primeira ordem que é utilizada hoje.
- Alfred Tarski (1902-1983) introduziu uma teoria de referência que mostra como relacionar os objetos de uma lógica a objetos do mundo real.

COMPUTAÇÃO

- Em 1931, Kurt Gödel mostrou que existem de fato limites sobre dedução lógica.
- Seu **teorema da incompletude** mostrou que, em qualquer teoria formal tão forte como a aritmética de Peano (a teoria elementar dos números naturais), existem afirmações verdadeiras que são indecidíveis no sentido de que não existem provas na teoria.
- Isso motivou Alan Turing (1912-1954) a tentar caracterizar exatamente que **funções são computáveis** – capazes de ser computáveis.

COMPUTAÇÃO

Tratabilidade

- Um problema é chamado de intratável se o tempo necessário para resolver instâncias dele cresce exponencialmente com o tamanho das instâncias.
- A distinção entre crescimento polinomial e exponencial da complexidade foi enfatizada primeiro em meados da década de 1960 (Cobham, 1964; Edmonds, 1965).

COMPUTAÇÃO

Tratabilidade

- Ela é importante porque o crescimento exponencial significa que até mesmo instâncias moderadamente grandes não podem ser resolvidas em qualquer tempo razoável.
- Portanto, devemos procurar dividir o problema global de geração de comportamento inteligente em subproblemas tratáveis, em vez de subproblemas intratáveis.

PROBABILIDADE

- O italiano Gerolamo Cardano (1501-1576) foi o primeiro a conceber a ideia de probabilidade, descrevendo-a em termos dos resultados possíveis de jogos de azar.
- Em 1654, Blaise Pascal (1623-1662), numa carta para Pierre Fermat (1601-1665), mostrou como predizer o futuro de um jogo de azar inacabado e atribuir recompensas médias aos jogadores.

PROBABILIDADE

- Thomas Bayes (1702-1761), que aparece na capa deste livro, propôs uma regra para atualizar probabilidades à luz de novas evidências.
- A regra de Bayes e o campo resultante chamado análise bayesiana formam a base da maioria das abordagens modernas para raciocínio incerto em sistemas de IA.

ECONOMIA

- Como devemos tomar decisões para maximizar a recompensa?
- Como devemos fazer isso quando outros não podem nos acompanhar?
- Como devemos fazer isso quando a recompensa pode estar distante no futuro?

ECONOMIA

- A ciência da economia teve início em 1776, quando o filósofo escocês Adam Smith (1723-1790) publicou **An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations.**
- A maioria das pessoas pensam que a economia trata de dinheiro, mas os economistas dirão que, na realidade, a economia estuda **como as pessoas fazem escolhas que levam a resultados preferenciais.**

ECONOMIA

- O tratamento matemático de “**resultados preferenciais**” ou **utilidade** foi formalizado primeiro por Léon Walras (1834-1910) e aperfeiçoado por Frank Ramsey (1931) e, mais tarde, por John von Neumann e Oskar Morgenstern em seu livro *The Theory of Games and Economic Behavior* (1944).

ECONOMIA

- **A teoria da decisão**, que combina a teoria da probabilidade com a teoria da utilidade, fornece uma estrutura formal e completa para decisões (econômicas ou outras) tomadas sob a incerteza, ou seja, em casos nos quais as descrições probabilísticas captam de forma apropriada o ambiente do tomador de decisões.

ECONOMIA

- Como tomar decisões racionais quando as recompensas das ações não são imediatas, mas resultam de várias ações executadas em sequência?
- O trabalho de Richard Bellman (1957) formalizou uma classe de problemas de decisão sequencial chamados **processos de decisão de Markov**.

ECONOMIA

Complexidade da tomada de decisões racionais

Herbert Simon (1916-2001), o pesquisador pioneiro da IA, ganhou o Prêmio Nobel de economia em 1978 por seu trabalho inicial demonstrando que modelos baseados em satisfação – a tomada de decisões “boas o suficiente”, em vez de calcular laboriosamente uma decisão ótima – forneciam uma descrição melhor do comportamento humano real (Simon, 1947).

NEUROCIÊNCIA

Como o cérebro processa informações?

- A neurociência é o estudo do sistema nervoso, em particular do cérebro.
- A conclusão verdadeiramente espantosa é que uma coleção de células simples pode levar ao pensamento, à ação e à consciência ou, nas palavras incisivas de John Searle (1992), os cérebros geram mentes.

NEUROCIÊNCIA

	Supercomputador	Computador pessoal	Mente humana
Unidades computacionais	10^4 CPUs, 10^{12}	4 CPUs, 10^9	10^{11} neurônios
Unidades de armazenamento	transistores 10^{14} bits RAM 10^{15} bits disco	transistores 10^{11} bits 10^{13} RAM bits disco	10^{11} neurônios 10^{14} sinapses
Tempo de ciclo	10^{-9} seg	10^{-9} seg	10^{-3} seg
Operações/seg	10^{15}	10^{10}	10^{17}
Atualizações de memória/seg	10^{14}	10^{10}	10^{14}

Figura 1.3 Comparação grosseira dos recursos computacionais brutos disponíveis entre o supercomputador Blue Gene da IBM, um computador pessoal típico de 2008 e o cérebro humano. Os números do cérebro são fixos essencialmente, enquanto os números do supercomputador crescem por um fator de 10, mais ou menos a cada cinco anos, permitindo-lhe alcançar paridade aproximada com o cérebro. O computador pessoal está atrasado em todas as métricas, exceto no tempo de ciclo.

PSICOLOGIA

Como os seres humanos e os animais pensam e agem?

- O cérebro como um dispositivo de processamento de informações, **psicologia cognitiva**, tem suas origens nos trabalhos de William James (1842-1910).

PSICOLOGIA

Como os seres humanos e os animais pensam e agem?

- Kenneth Craik (1943) especificou os **três passos fundamentais de um agente baseado no conhecimento**: (1) o estímulo deve ser traduzido em uma representação interna, (2) a representação é manipulada por processos cognitivos para derivar novas representações internas e (3) por sua vez, essas representações são de novo traduzidas em ações.

PSICOLOGIA

Como os seres humanos e os animais pensam e agem?

- Se o organismo transporta um “modelo em escala reduzida” da realidade externa e de suas próprias ações possíveis dentro de sua cabeça, ele é capaz de experimentar várias alternativas, concluir qual a melhor delas, reagir a situações futuras antes que elas surjam, utilizar o conhecimento de eventos passados para lidar com o presente e o futuro e, em todos os sentidos, reagir de maneira muito mais completa, segura e competente às emergências que enfrenta. (Craik, 1943)

PSICOLOGIA

Como os seres humanos e os animais pensam e agem?

- Pode-se dizer que o campo da **Ciência Cognitiva** teve início em um seminário em setembro de 1956 no MIT, onde George Miller apresentou **The Magic Number Seven**, Noam Chomsky apresentou **Three Models of Language** e Allen Newell e Herbert Simon apresentaram **The Logic Theory Machine**.

PSICOLOGIA

Como os seres humanos e os animais pensam e agem?

- Esses três documentos influentes mostraram como modelos de computadores podiam ser usados para tratar a psicologia da memória, a linguagem e o pensamento lógico, respectivamente.
- Agora é comum entre os psicólogos a visão de que “uma teoria cognitiva deve ser como um programa de computador” (Anderson, 1980).

ENGENHARIA DE COMPUTADORES

Como construir um computador eficiente?

- Para a inteligência artificial ter sucesso, **precisamos de inteligência e de um artefato**. O computador tem sido o artefato preferido.
- **O computador eletrônico digital moderno** foi criado independentemente e quase ao mesmo tempo por cientistas de três países que participavam da Segunda Guerra Mundial.
- **O primeiro computador operacional** foi a máquina eletromecânica de Heath Robinson, construída em 1940 pela equipe de Alan Turing com um único propósito: decifrar mensagens alemãs.

TEORIA DE CONTROLE E CIBERNÉTICA

- A figura central na criação daquilo que se conhece hoje como teoria de controle foi **Norbert Wiener** (1894-1964).
- O livro de Wiener, **Cybernetics** (1948), tornou-se bestseller e despertou o público para a possibilidade de máquinas dotadas de inteligência artificial.
- A **moderna teoria de controle**, em especial o ramo conhecido como controle estocástico ótimo, tem como objetivo o projeto de sistemas que maximizam uma função objetivo sobre o tempo.

LINGUÍSTICA

- **Chomsky** chamou a atenção para o fato de que a teoria behaviorista não tratava da noção de criatividade na linguagem – ela não explicava como uma criança podia compreender e formar frases que nunca tinha ouvido antes.
- A **teoria de Chomsky** – baseada em modelos sintáticos criados pelo linguista indiano Panini (c. 350 a.C.) – podia explicar esse fato e, diferentemente das teorias anteriores, era formal o bastante para poder, em princípio, ser programada.

LINGUÍSTICA

- Portanto, a linguística moderna e a IA “nasceram” aproximadamente na mesma época e cresceram juntas, cruzando-se em um campo híbrido chamado **linguística computacional ou processamento de linguagem natural**.
- A compreensão da linguagem exige a compreensão do assunto e do contexto, não apenas a compreensão da estrutura das frases.

LINGUÍSTICA

- A representação do conhecimento (o estudo de como colocar o conhecimento em uma forma que um computador possa utilizar) estava vinculado à linguagem e era suprido com informações da pesquisa em linguística que, por sua vez, estava conectada a décadas de pesquisa sobre a análise filosófica da linguagem.