

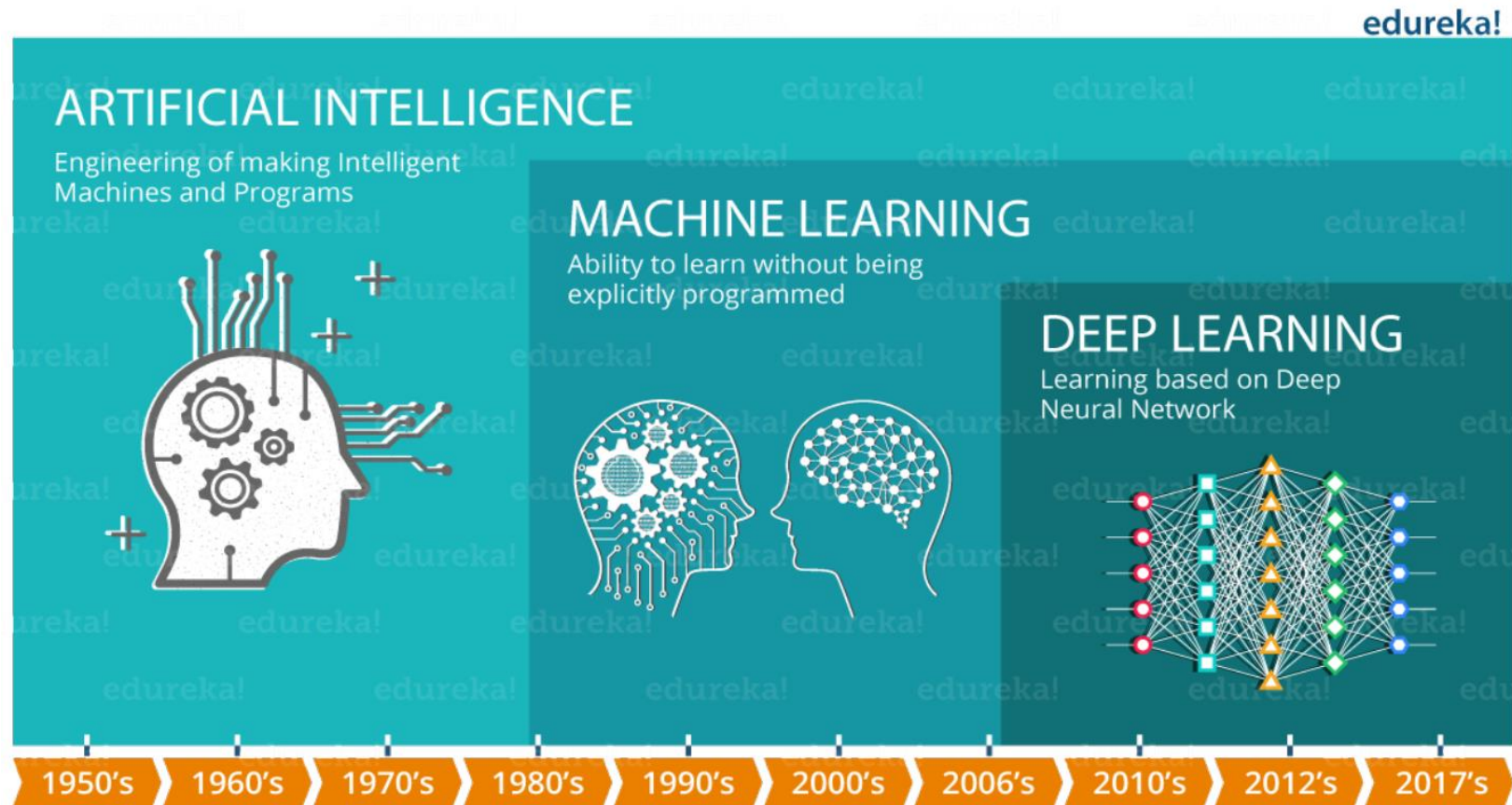
IA353 – Redes Neurais

Tópico 1 – Introdução e Motivação

Índice Geral

1	Introdução	2
2	Uma visão geral de aprendizado de máquina	5
3	Um exemplo didático em treinamento supervisionado	14
4	A realidade e a inteligência artificial	43
5	Computação Digital e Neurocomputação	50
6	Lei de Moore e a expansão tecnológica	54
7	O poder da simulação computacional	64
8	Ser igual × Ser não-distinguível	67
	8.1 Etapas do processo de aprendizado	73
	8.2 A sala chinesa de Searle	76
	8.3 O teste de Turing	78
9	Uma excursão por <i>deep learning</i>	82
10	Referências bibliográficas	96

1 Introdução



- Procedimentos e métodos gerais em **aprendizado de máquina** começam no pré-processamento dos dados disponíveis para treinamento e incluem também a sintonia de hiperparâmetros dos modelos de aprendizado.
- Muitos aspectos envolvidos no treinamento de redes neurais artificiais com camadas profundas (*deep learning*) não contam com uma fundamentação teórica adequada. Perguntas que ainda não podem ser apropriadamente respondidas são:
 - Em que circunstâncias vai funcionar bem?
 - Como definir hiperparâmetros como número de camadas, tipos de camadas, número de neurônios por camada, taxa de *dropout* e dimensões de filtros convolutivos?
 - Como definir aspectos de modelagem como sequência de tipos de camadas e uso ou não de neurônios recorrentes?
- Para essas questões, um procedimento válido ainda é tentativa-e-erro, embora casos de sucesso na literatura geralmente balizem novas aplicações. Já há também iniciativas de otimização automática de hiperparâmetros.

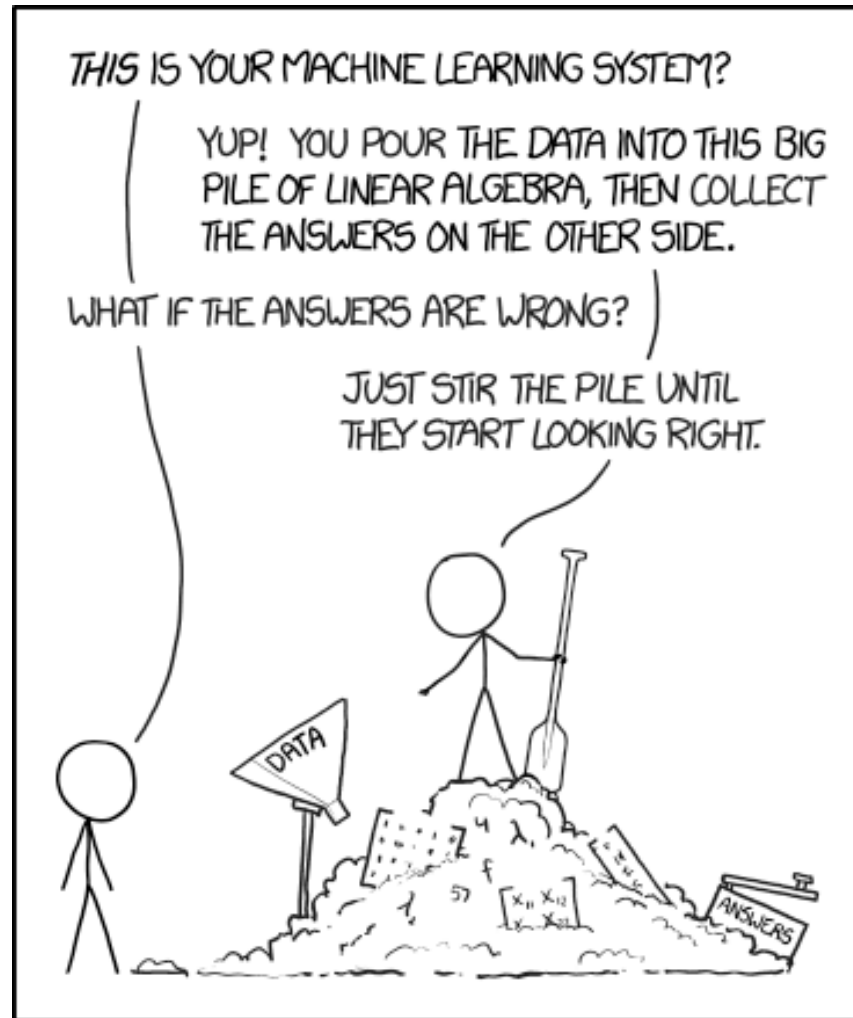


Figura 1 – Perspectiva crítica para o aprendizado de máquina [extraída de
<https://xkcd.com/1838/>]

2 Uma visão geral de aprendizado de máquina

- O aprendizado de máquina envolve a extração de conhecimento diretamente de dados disponíveis, visando realizar previsões e dar suporte à tomada de decisão, dentre outras aplicações.
- Ele está fundamentado em teoria de probabilidade, estatística e otimização, sustenta técnicas indispensáveis em soluções para *big data*, ciência dos dados, reconhecimento de padrões, recuperação de informação e mineração de dados, além de fomentar os principais progressos recentes em inteligência artificial.
- Em termos de aplicações práticas, técnicas de aprendizado de máquina se tornaram ingredientes críticos em reconhecimento de padrões, visão computacional, processamento de linguagem natural e robótica.
- Usualmente, a área de aprendizado de máquina é dividida em: aprendizado supervisionado, aprendizado não-supervisionado e aprendizado por reforço.

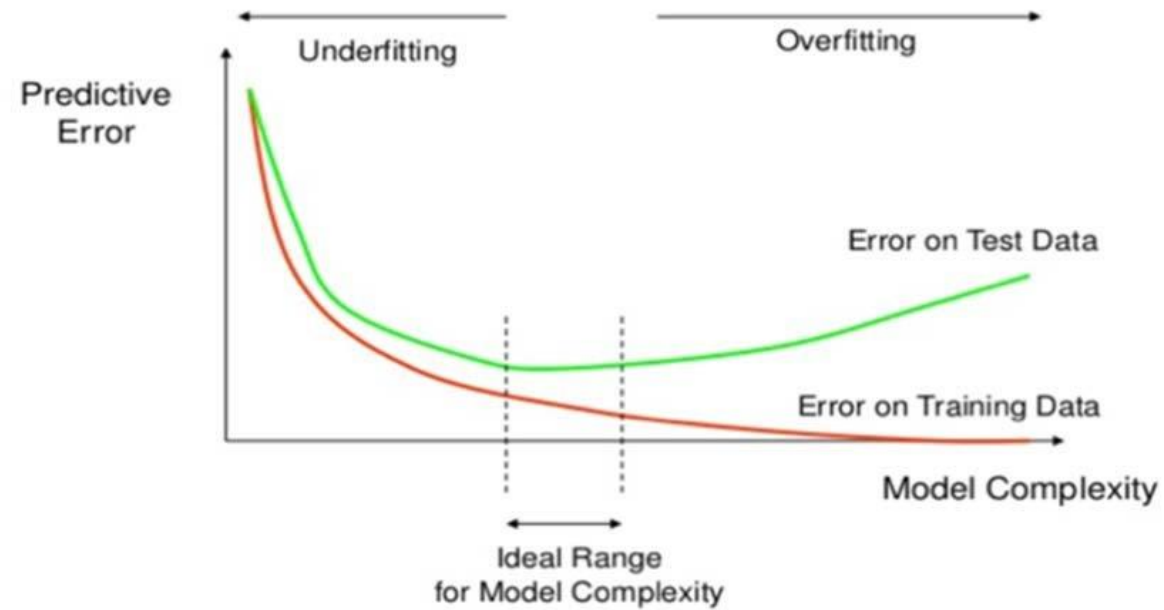
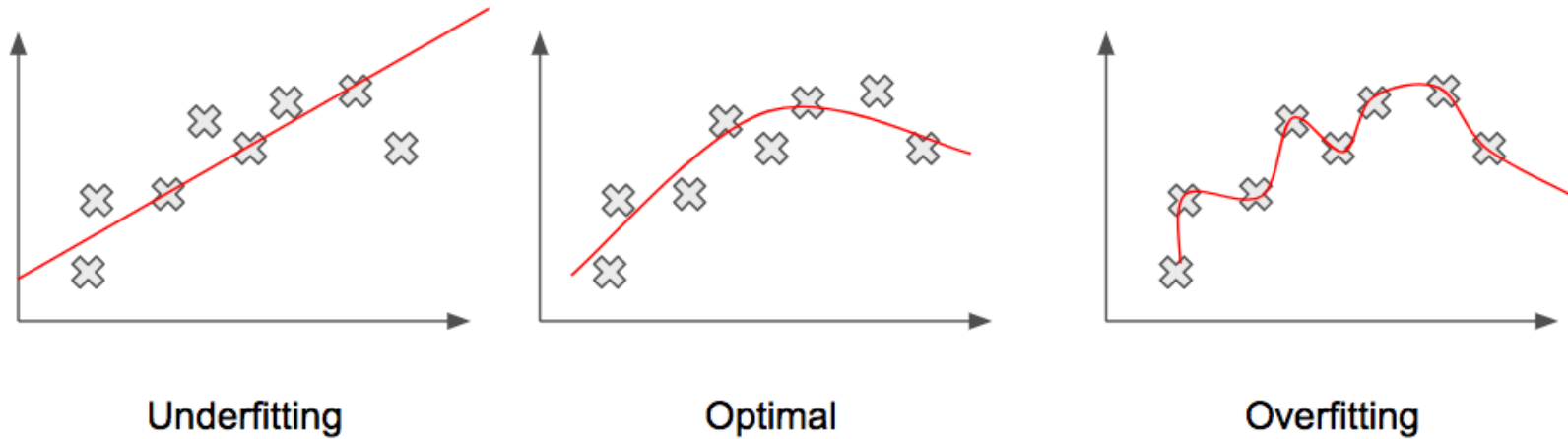
- Em **aprendizado supervisionado**, há uma quantidade finita e possivelmente ruidosa de dados rotulados, indicando (com limitações) o comportamento desejado para a máquina de aprendizado. Quando as saídas desejadas são discretas ou categóricas, geralmente se fala de **problemas de classificação** supervisionada. Já para o caso de saídas contínuas ou numéricas, tem-se **problemas de regressão**, com destaque para predição de séries temporais e aproximação de mapeamentos multidimensionais de entrada-saída. É comum, portanto, que os cenários de aprendizado supervisionado envolvam múltiplos estímulos de entrada e múltiplas saídas desejadas.
- Técnicas de **aprendizado não-supervisionado** buscam extrair conhecimento a partir de dados não-rotulados, por exemplo, realizando clusterização e estimação de densidade. A clusterização visa agrupar / classificar objetos que apresentem atributos similares, mantendo em grupos distintos objetos que apresentem

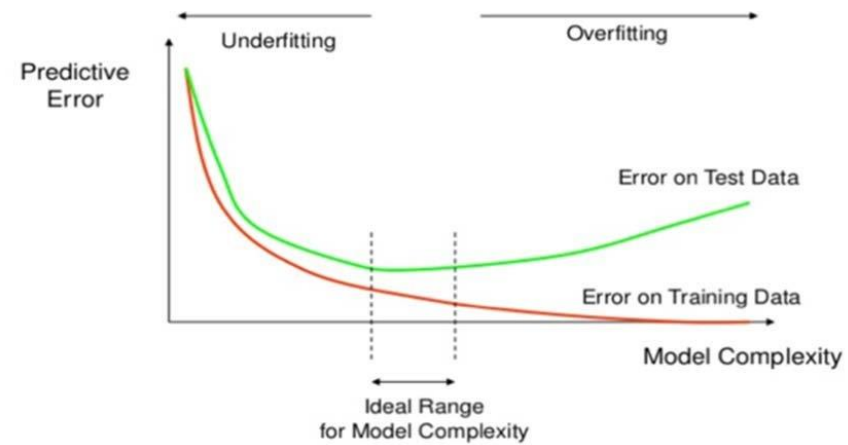
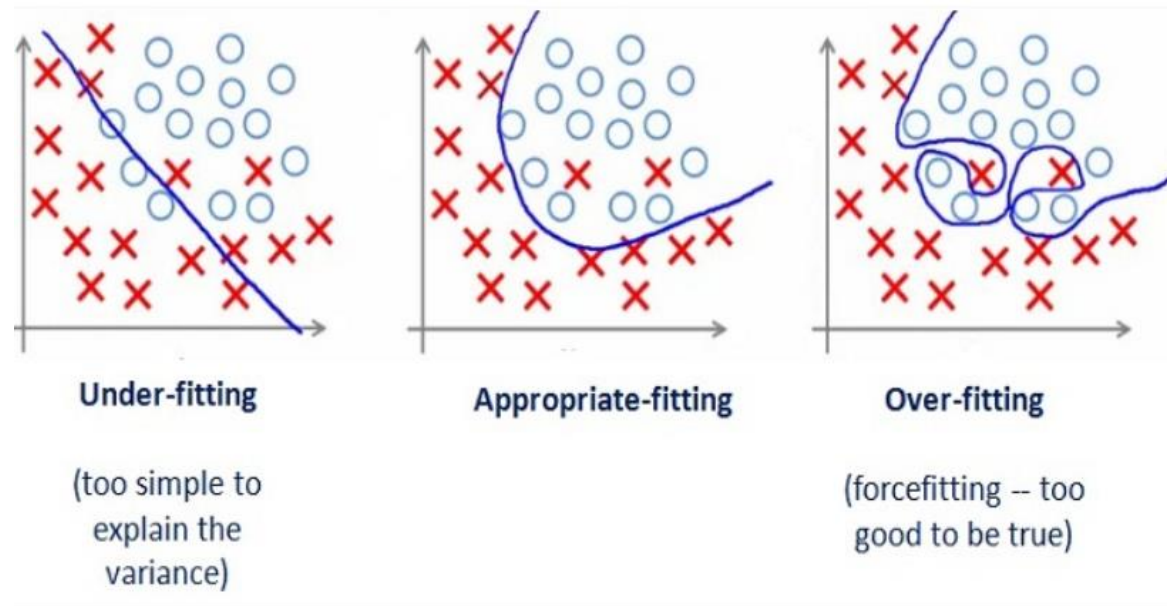
atributos dissimilares. A estimação de densidade procura aproximar a função densidade de probabilidade que supostamente gerou os dados.

- **Aprendizado de representação**, tema muito relevante para o estudo e a síntese de modelos de *deep learning*, é predominantemente associado a técnicas de aprendizado não-supervisionado, embora possa ser implementado por aprendizado supervisionado em arquiteturas profundas de redes neurais artificiais, como iremos descrever mais adiante. O objetivo é encontrar uma ou mais representações (em cascata) que preservem o máximo possível de informação relevante dos dados originais, ao mesmo tempo em que conduzem a uma configuração mais simples e acessível dos dados, quando comparada com a configuração original.
- Configurações mais simples e acessíveis são geralmente associadas a representações em espaços de menor dimensão, representações que promovem esparsidade e representações que produzem maior independência entre os atributos.

- Em **aprendizado por reforço**, não há um sinal supervisionado, mas esporadicamente é recebido um grau de avaliação de desempenho (recompensa ou punição) de uma tarefa caracterizada por uma sequência de decisões. O objetivo então é maximizar a recompensa acumulada a longo prazo.
- Redes neurais com arquiteturas profundas, que requerem *deep learning*, estão entre as mais bem-sucedidas vertentes de aprendizado de máquina e se inserem como módulos decisivos em sistemas caracterizados por aprendizado supervisionado, não-supervisionado e por reforço.
- Em termos formais, toda técnica de aprendizado de máquina possui como componentes:
 - Um **conjunto de dados**: pode ser particionado nos conjuntos de treinamento, validação e teste.
 - Um **modelo matemático** que expressa um comportamento de entrada-saída e que possui algum grau de plasticidade, com a presença de parâmetros livres.

- Uma **função de perda ou de custo** que mede o desempenho do modelo: por exemplo, pode ser o erro quadrático médio em problemas de regressão e a taxa de erro de classificação em problemas de classificação.
- Um **procedimento de otimização** de parâmetros livres do modelo visando minimizar a superfície de erro, que pode ou não ser convexa.
- A **capacidade de generalização** de uma máquina de aprendizado é medida pelo erro junto aos dados de validação durante o treinamento, e junto aos dados de teste após o término do treinamento. Essencialmente, busca-se reduzir o erro junto aos dados de treinamento, de forma iterativa, sendo que o treinamento é interrompido quando se minimiza o erro junto aos dados de validação. Parar o treinamento antes deste mínimo junto ao erro de validação é considerado subajuste (do inglês *underfitting*), enquanto que prosseguir no treinamento após este mínimo é considerado sobreajuste (do inglês *overfitting*).





- Este procedimento é eficaz quando os conjuntos de treinamento, validação e teste são **independentes e suficientemente representativos do processo que se quer aprender**.
- Serão vistas outras formas de se buscar maximizar a capacidade de generalização, com ênfase na adição de um termo de regularização que penaliza a flexibilidade do modelo de aprendizado.
- Em *deep learning*, maximizar a capacidade de generalização é bastante desafiador e não depende apenas dos parâmetros ajustáveis (geralmente associados aos pesos sinápticos), uma vez proposta a arquitetura de rede neural. Parâmetros estruturais da arquitetura e hiperparâmetros associados à capacidade do modelo e a termos de regularização devem ser adequadamente definidos.
- A técnica ilustrada acima para evitar *overfitting* é denominada *holdout*. Uma forma estatisticamente mais robusta é denominada *cross-validation*, sendo caracterizada por uma melhor exploração do conjunto de dados.

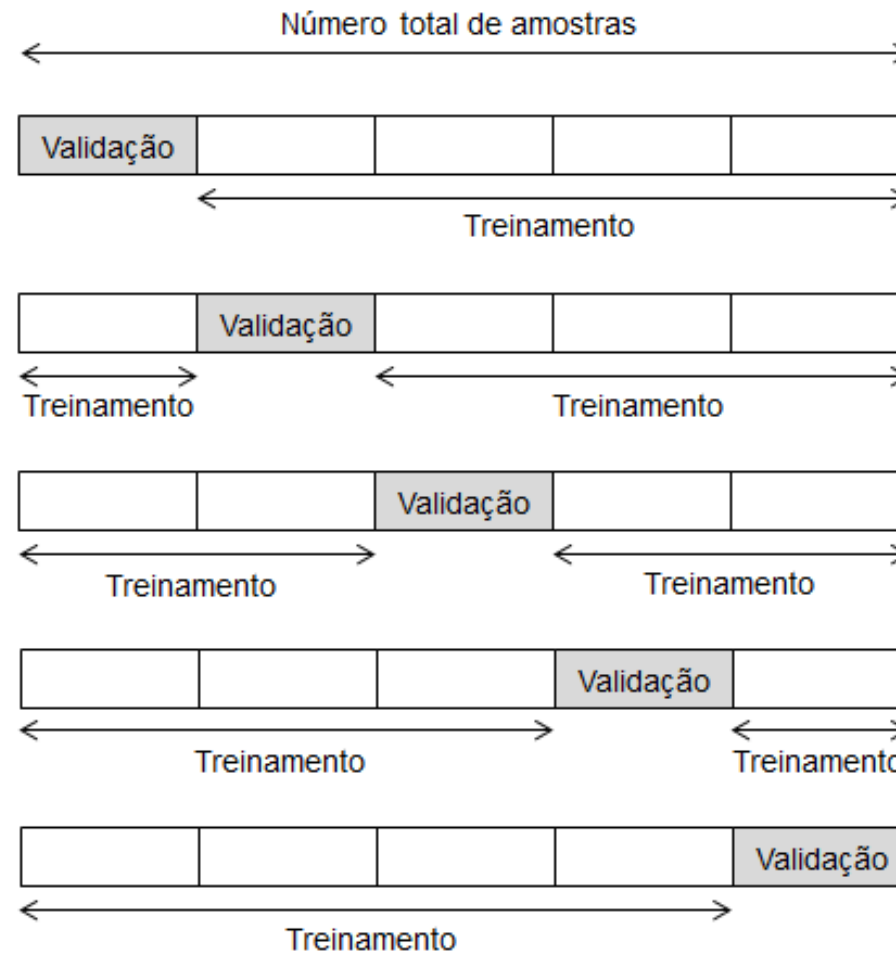


Figura 2 – Esquema de divisão das amostras disponíveis para treinamento na abordagem de validação cruzada com k -pastas (k -fold cross-validation), com $k=5$.

3 Um exemplo didático em treinamento supervisionado

- Parte deste material foi extraído da palestra de James Mickens (Harvard University) (<https://www.youtube.com/watch?v=ajGX7odA87k>). Foram mantidos alguns comentários céticos ao final, que servem de alerta e de contraponto para o que virá na próxima seção.

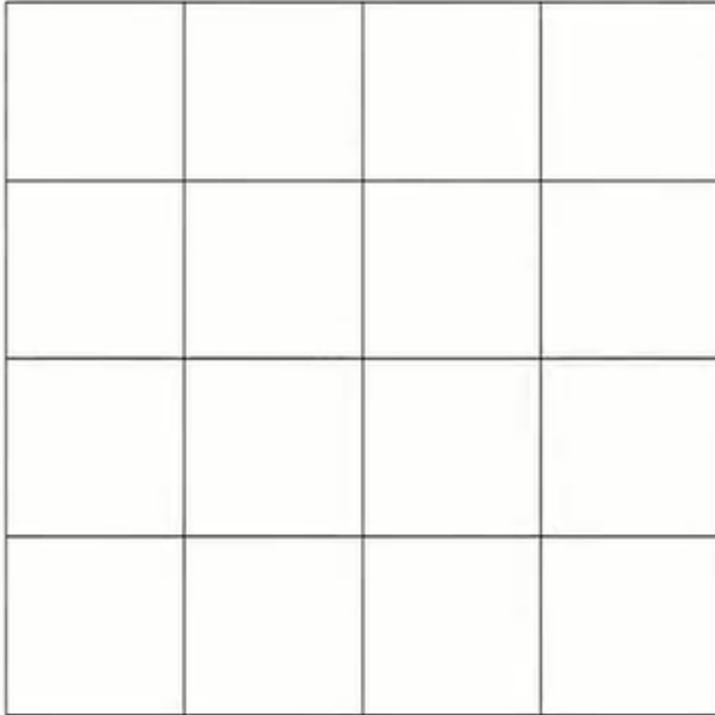


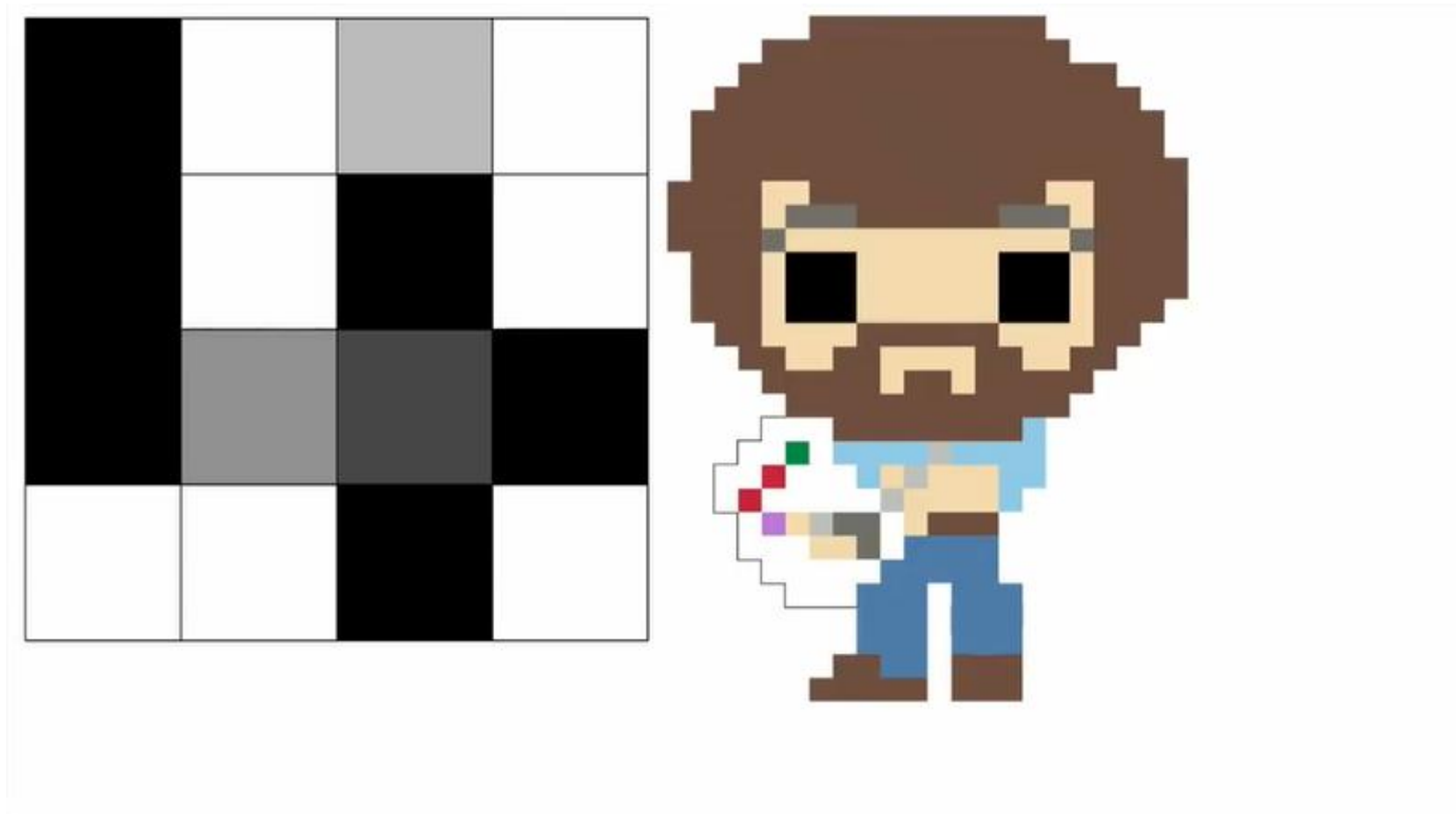
Goal of computer security

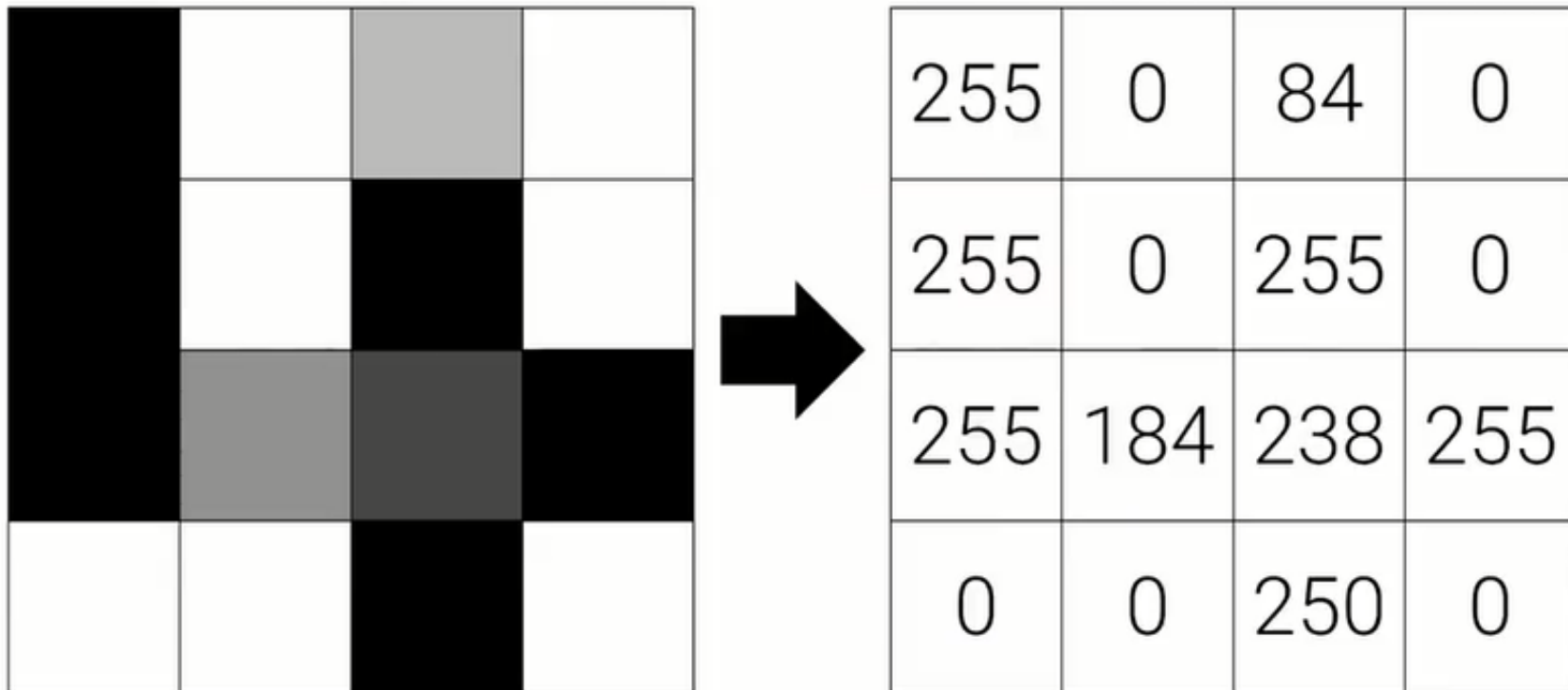
Ensure that systems do the right thing,
even in the presence of malicious inputs

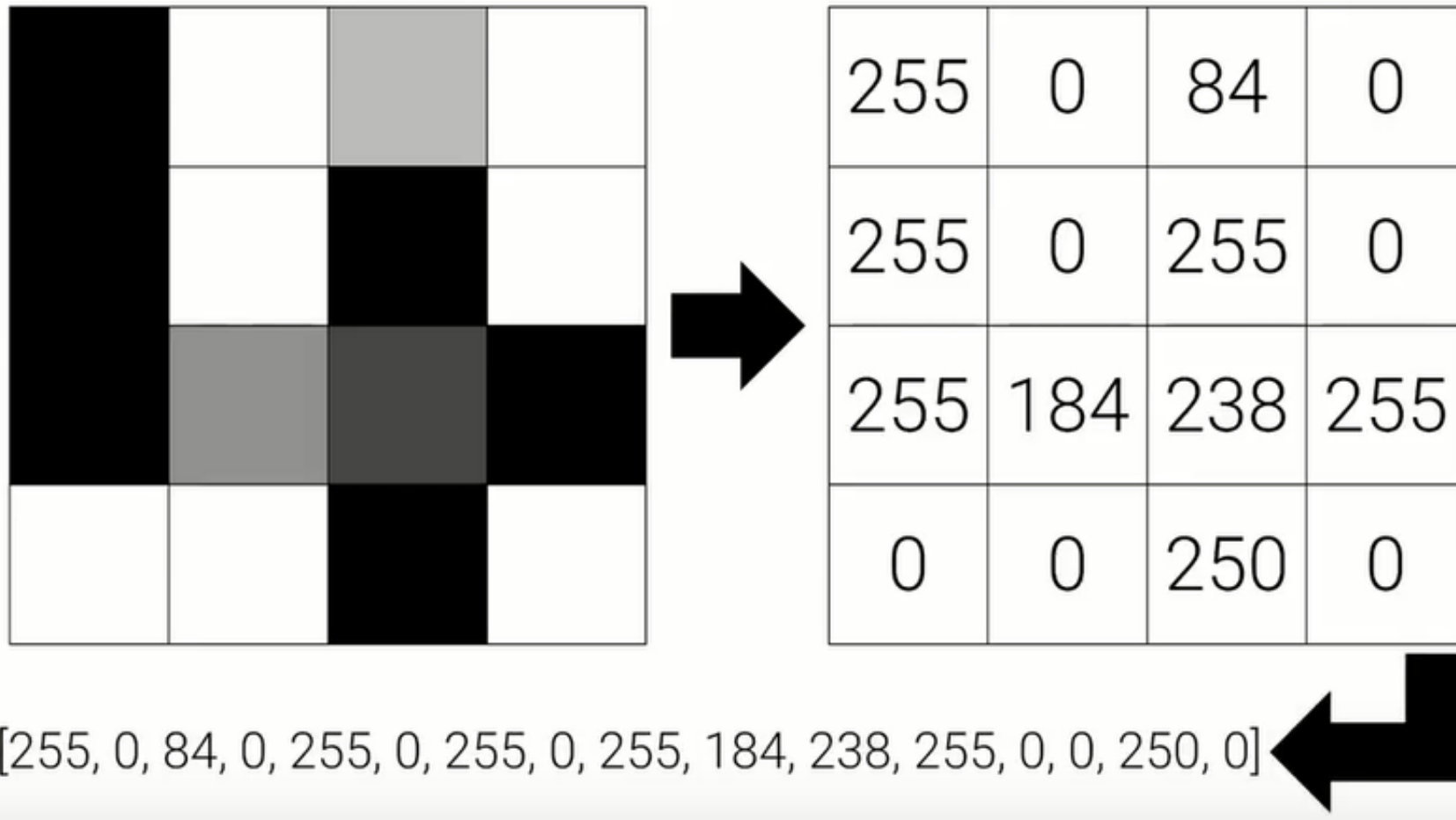
Challenges presented by M.L.

- (1) Lack of deep understanding about
how M.L. works
- (2) Many people don't care about (1)



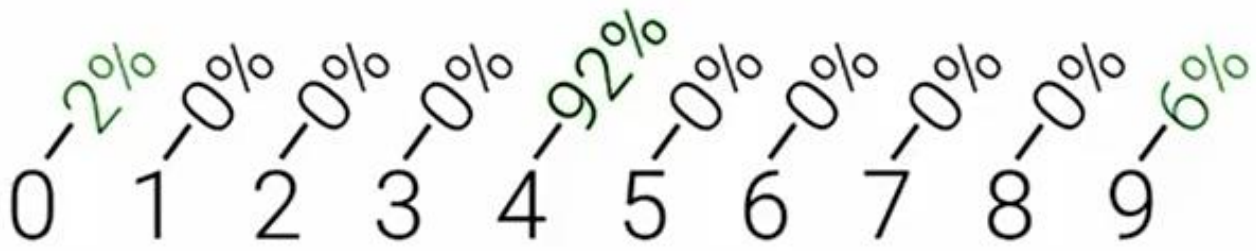


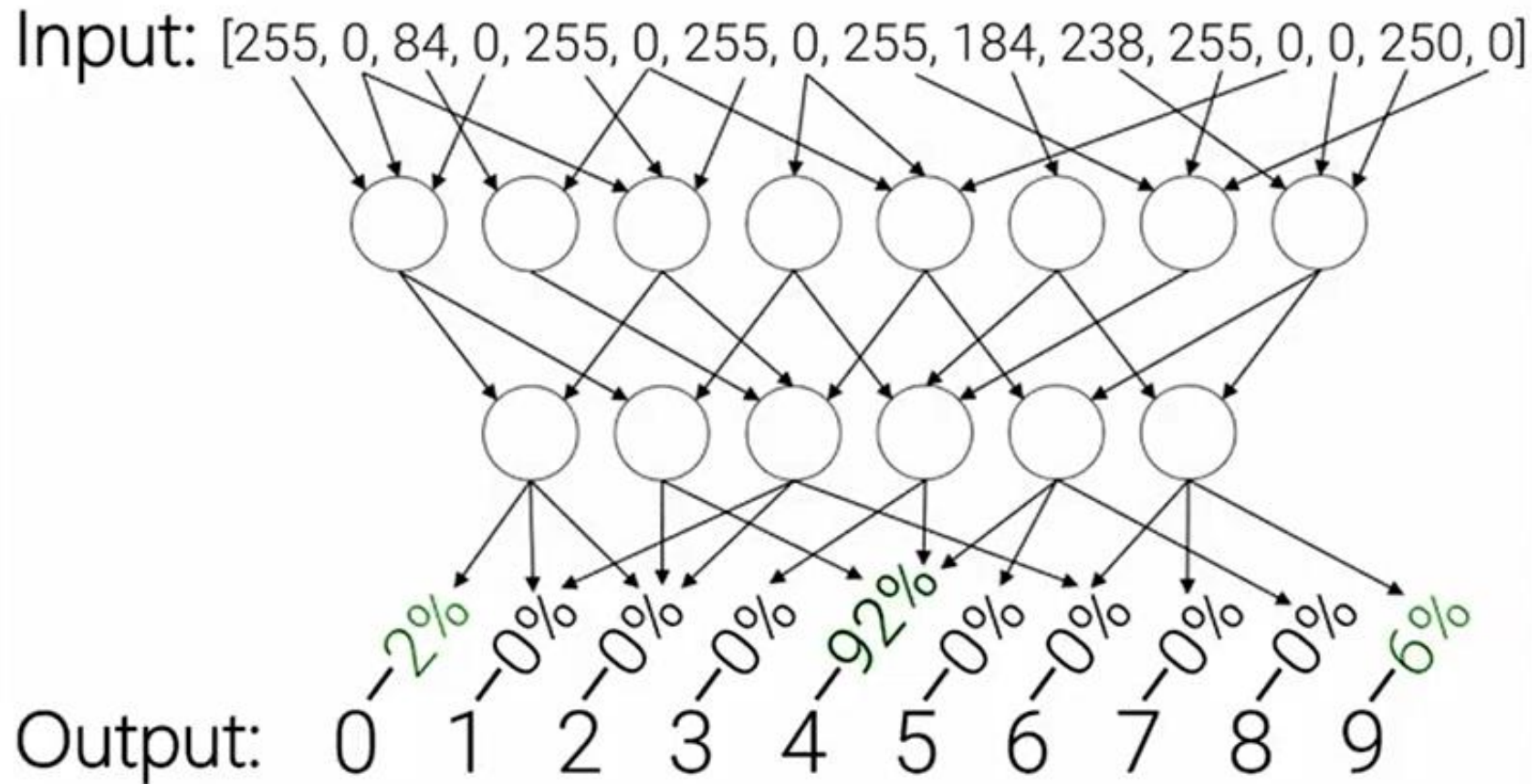


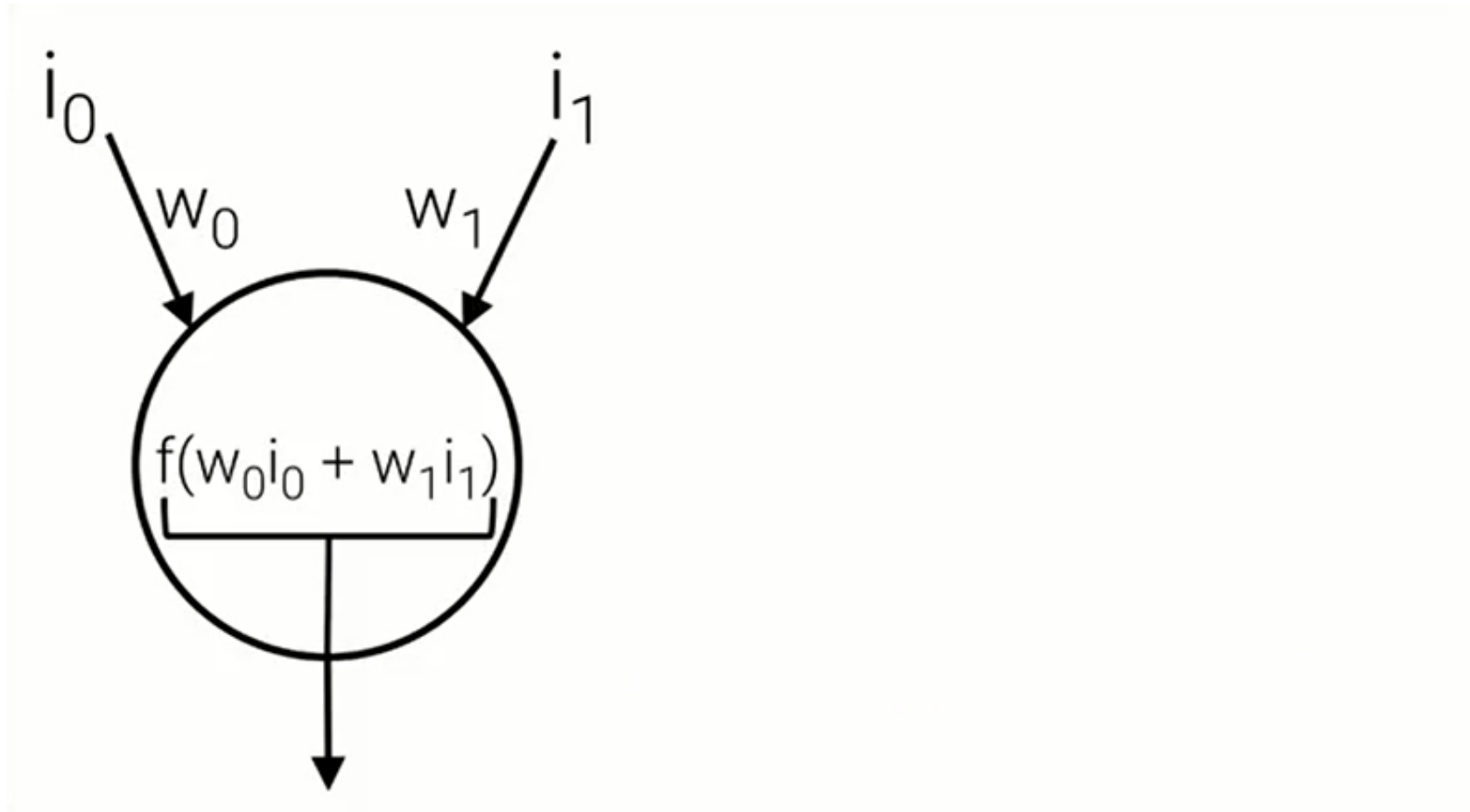


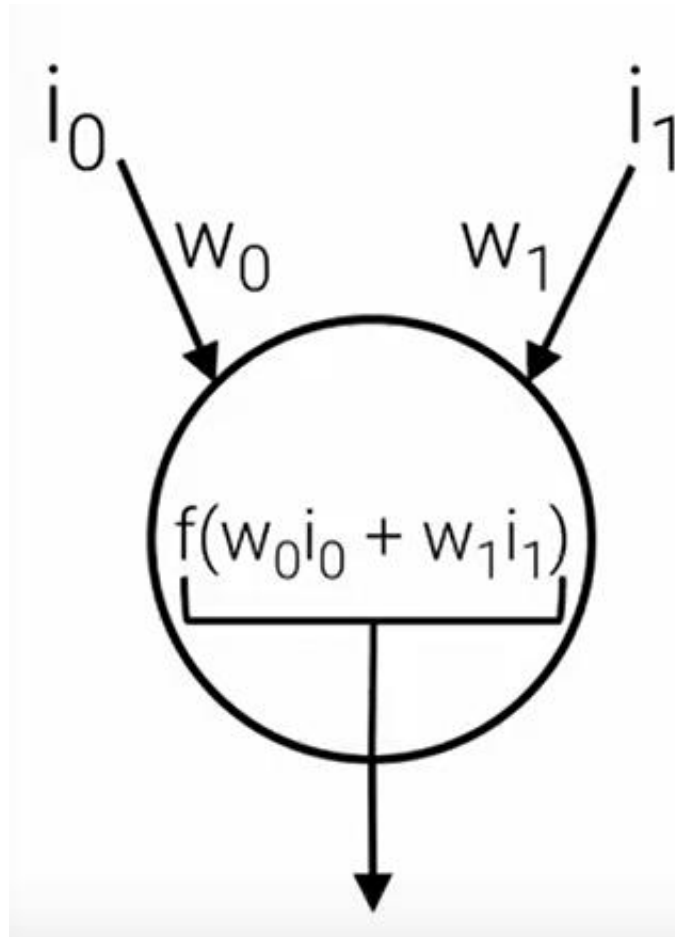
Input: [255, 0, 84, 0, 255, 0, 255, 0, 255, 184, 238, 255, 0, 0, 250, 0]

Output: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

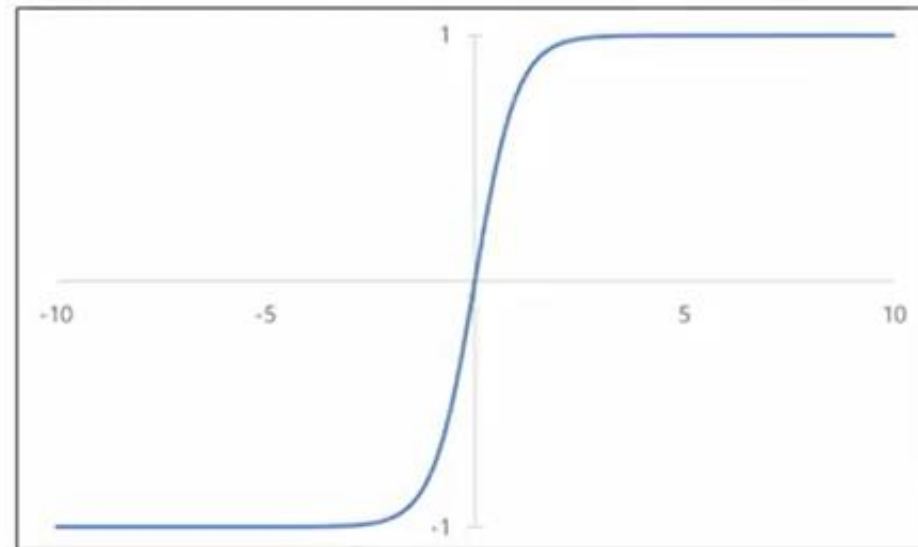




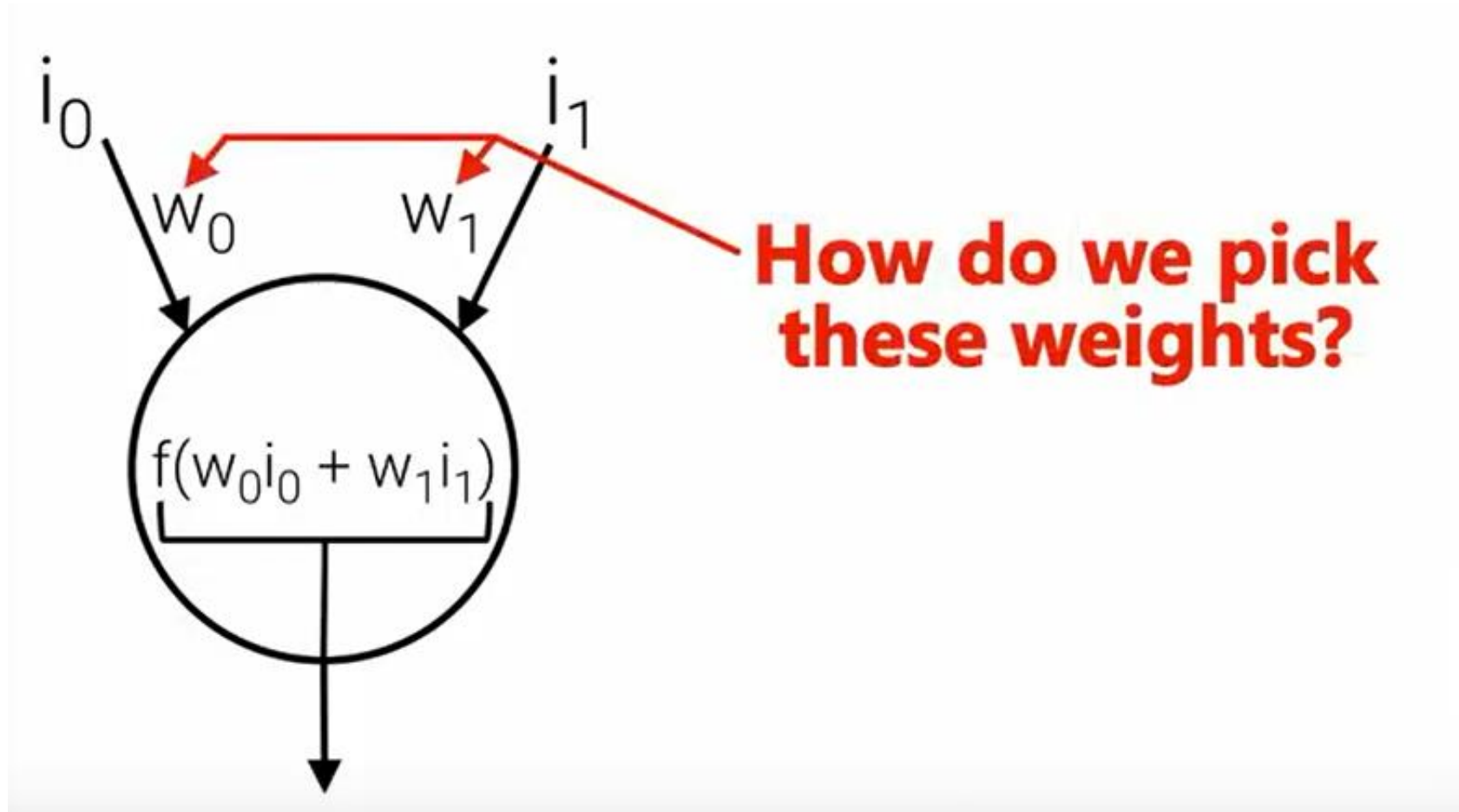




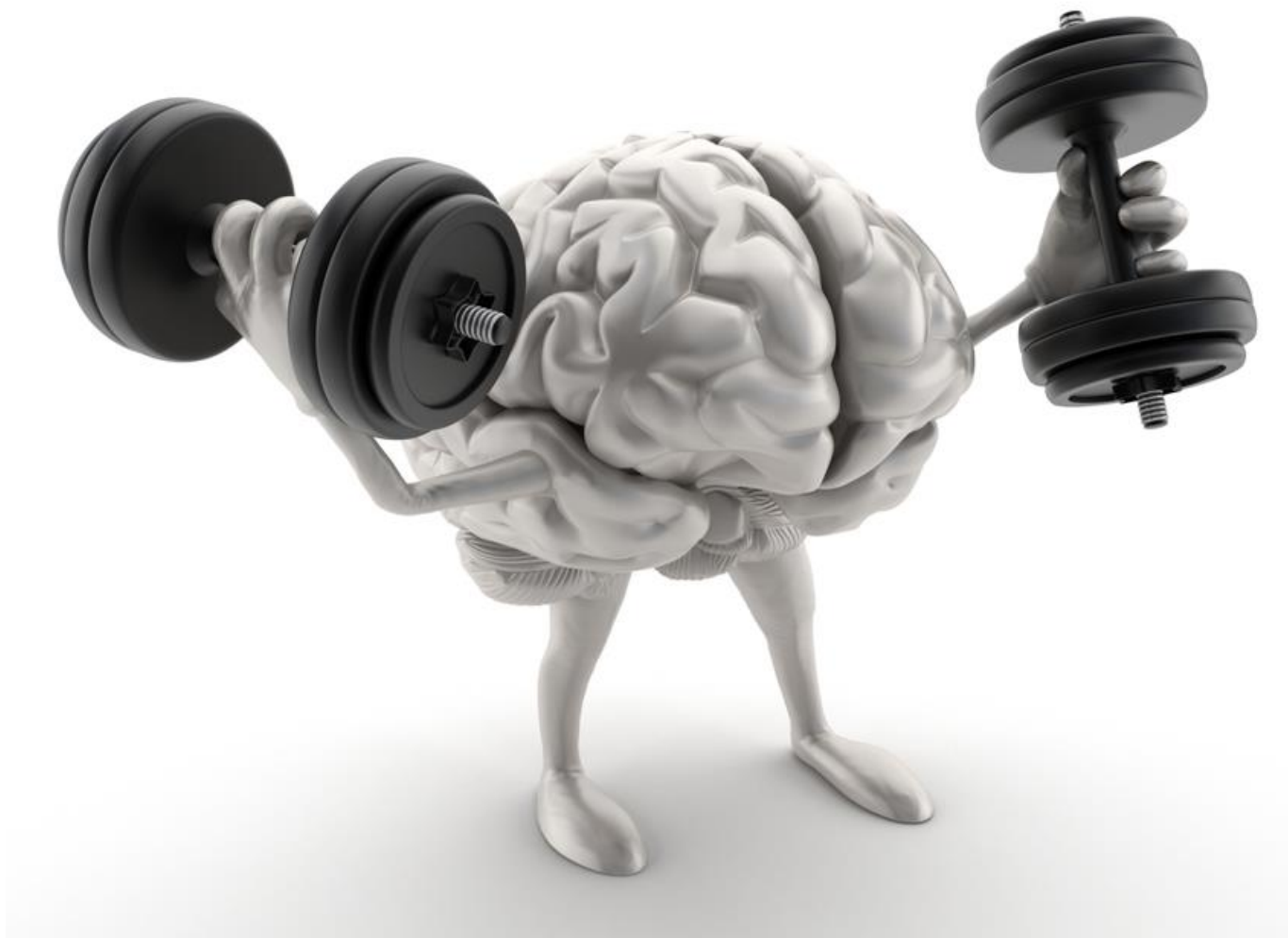
Hyperbolic tangent (tanh)



Non-linear functions allow us to capture non-linear relationships between inputs and outputs!



Treinamento por condicionamento

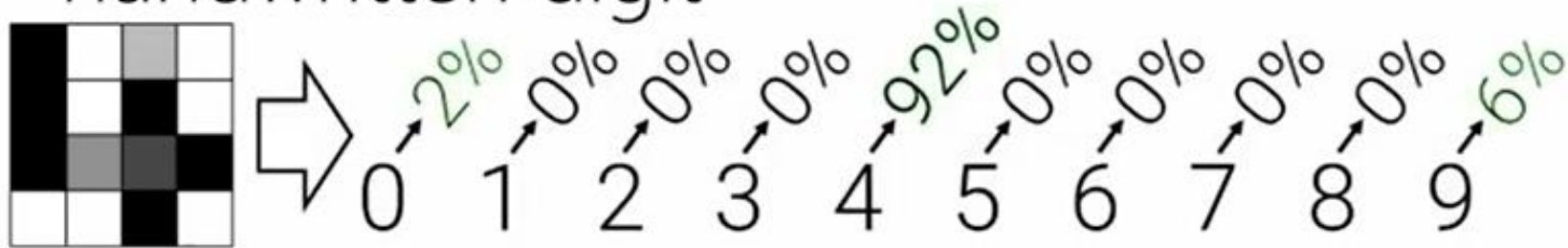


Gradient Descent

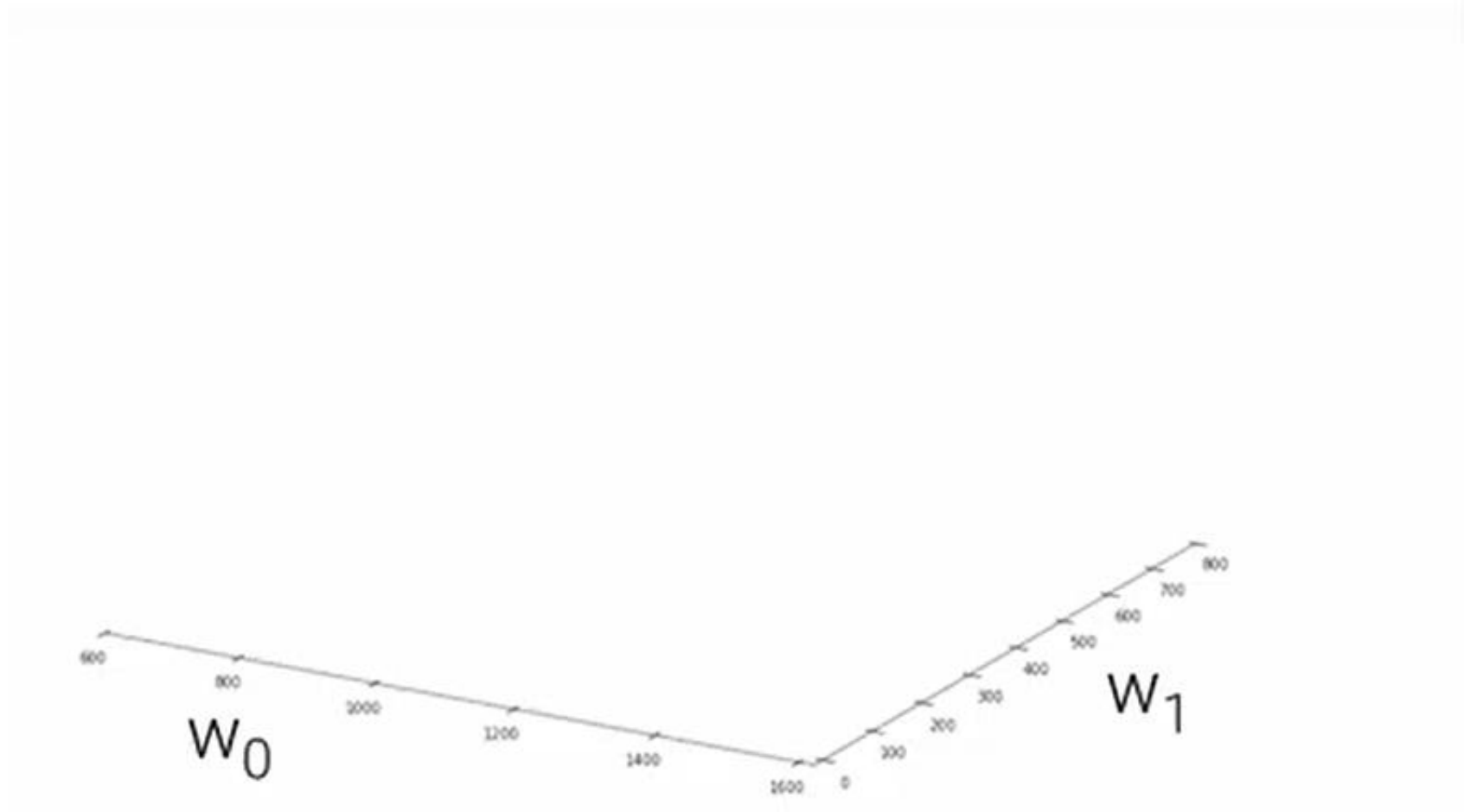
- **Goal:** Build a classifier to identify a handwritten digit
- **Input:** A vector representing the pixels in an image
- **Output:** A vector of ten probabilities (one for each possible digit)

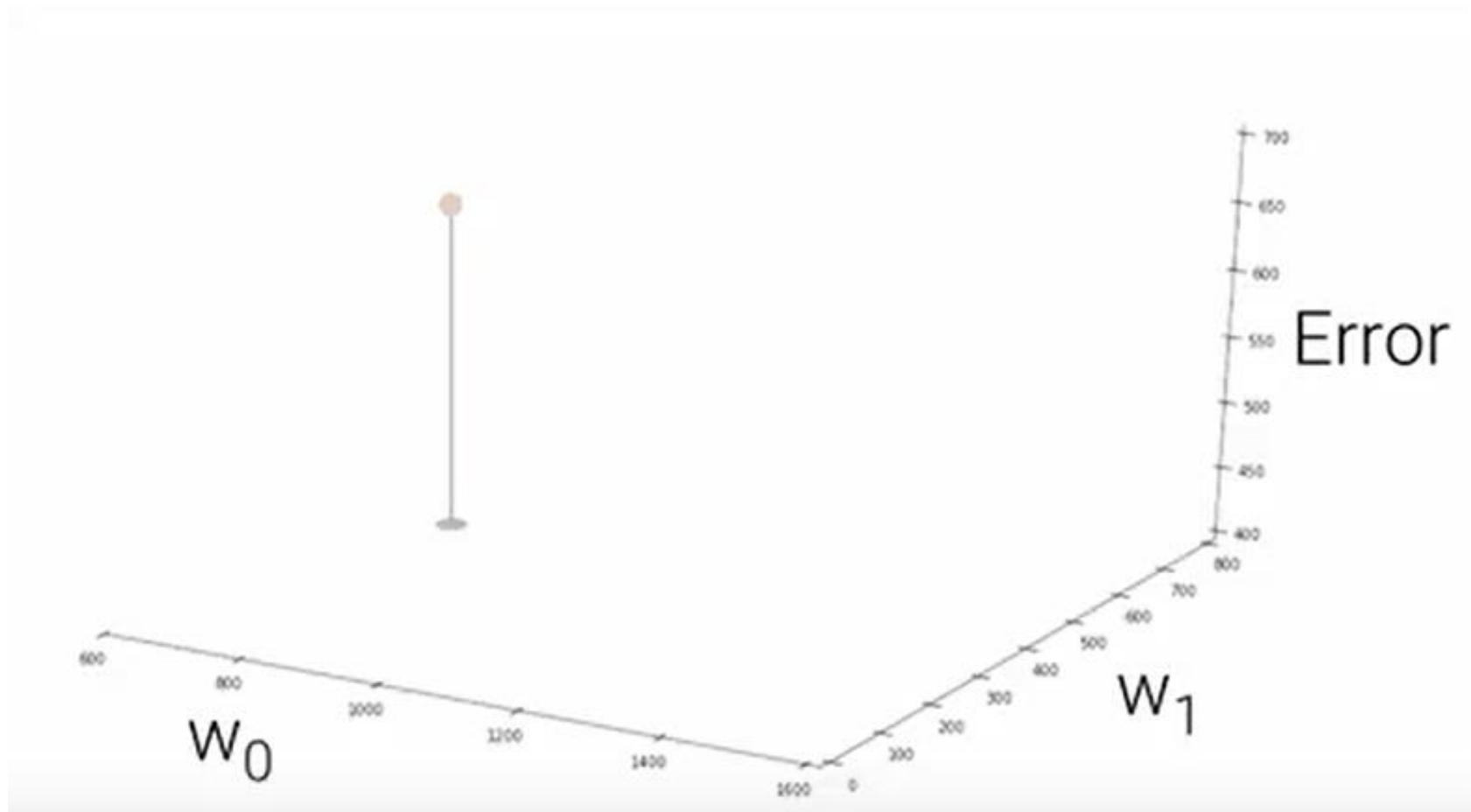
Gradient Descent

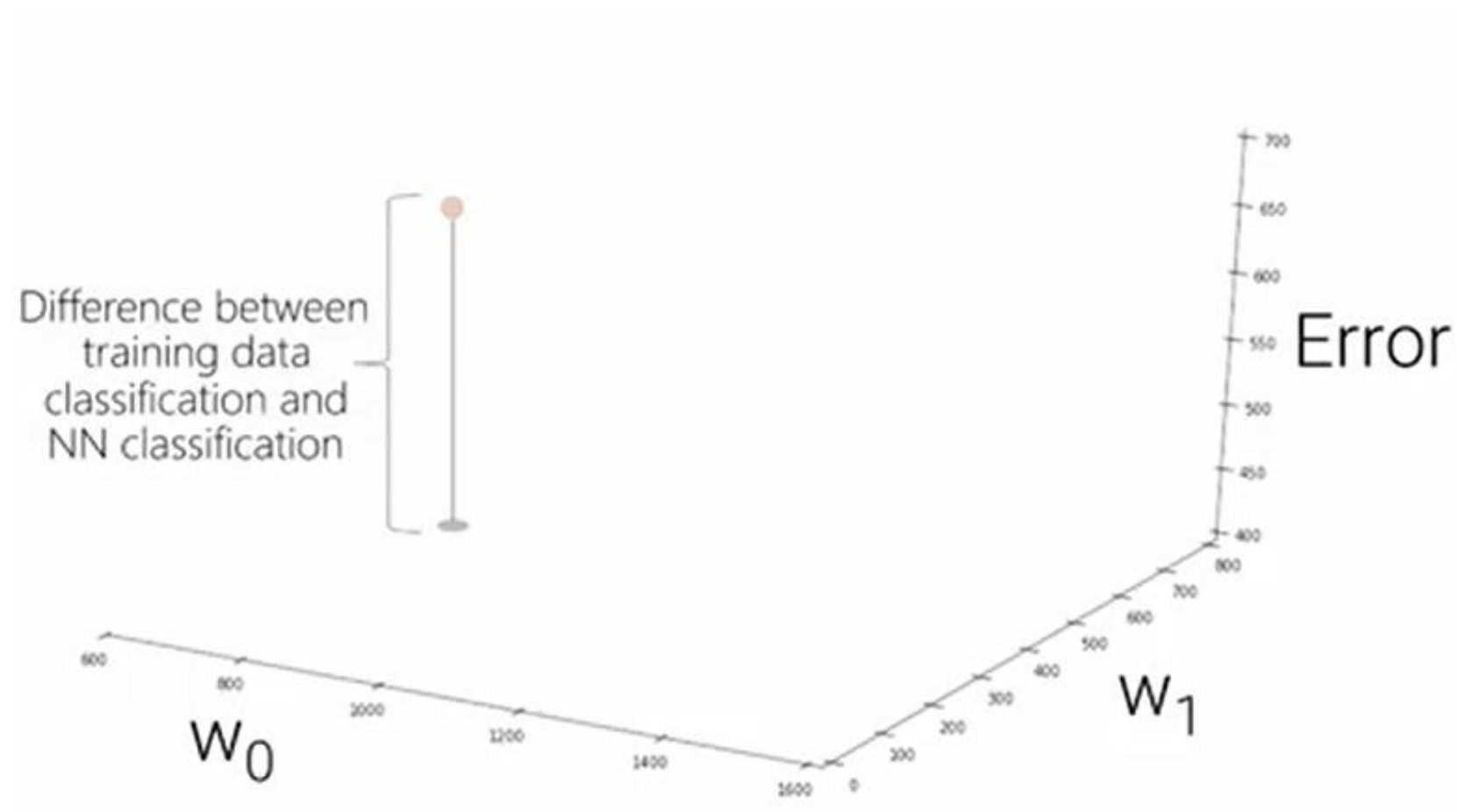
- Goal: Build a classifier to identify a handwritten digit

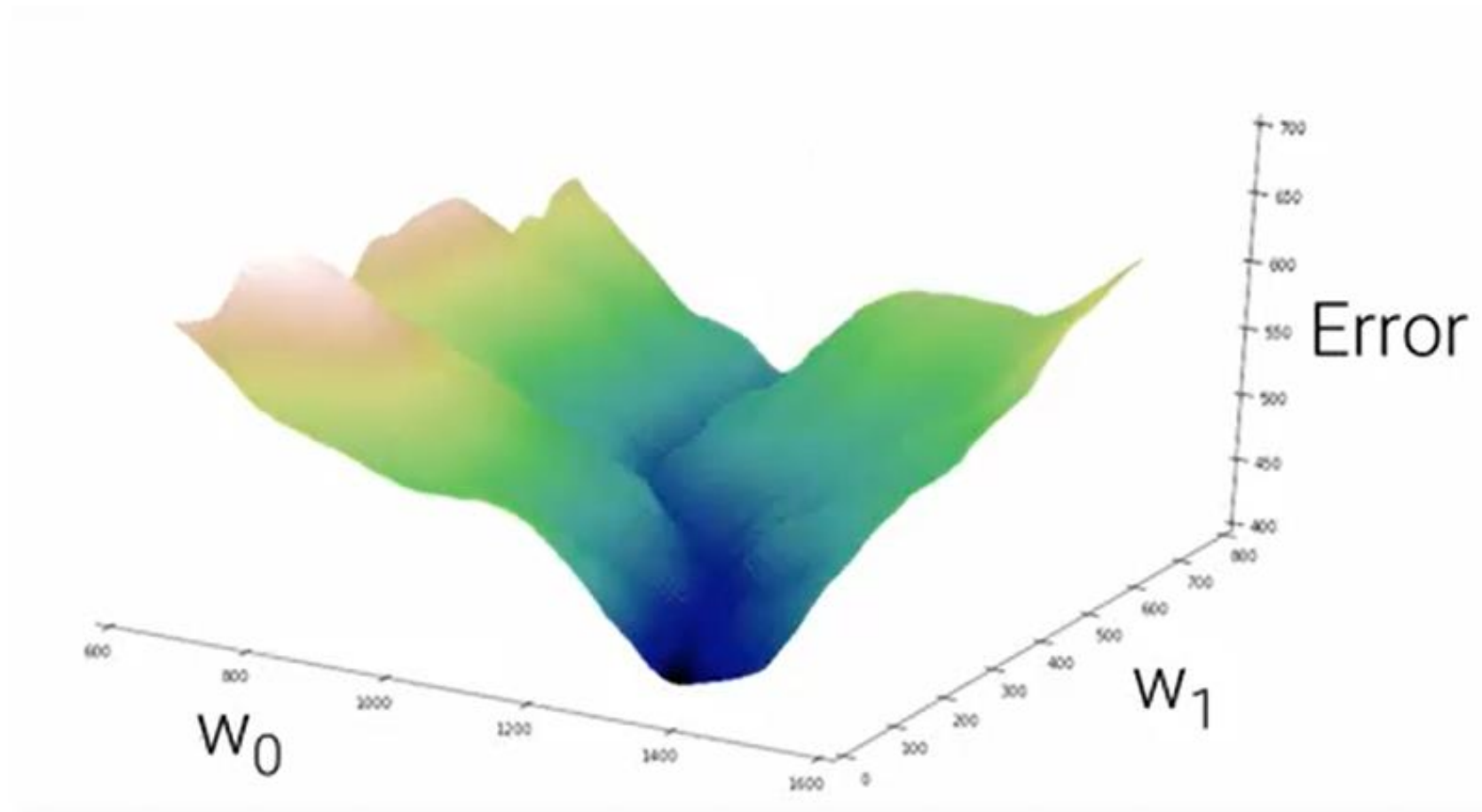


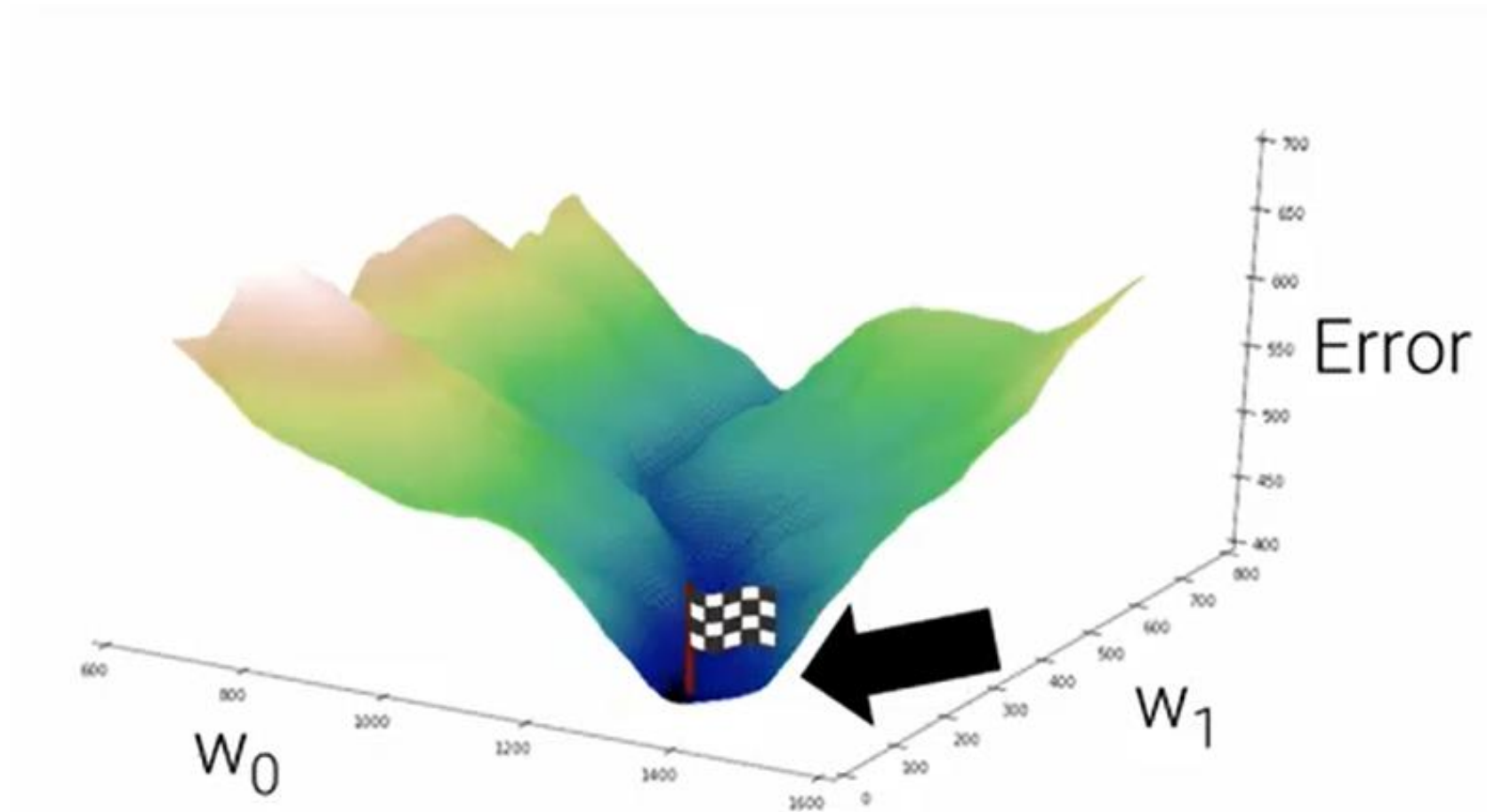
- Output: A vector of ten probabilities (one for each possible digit)

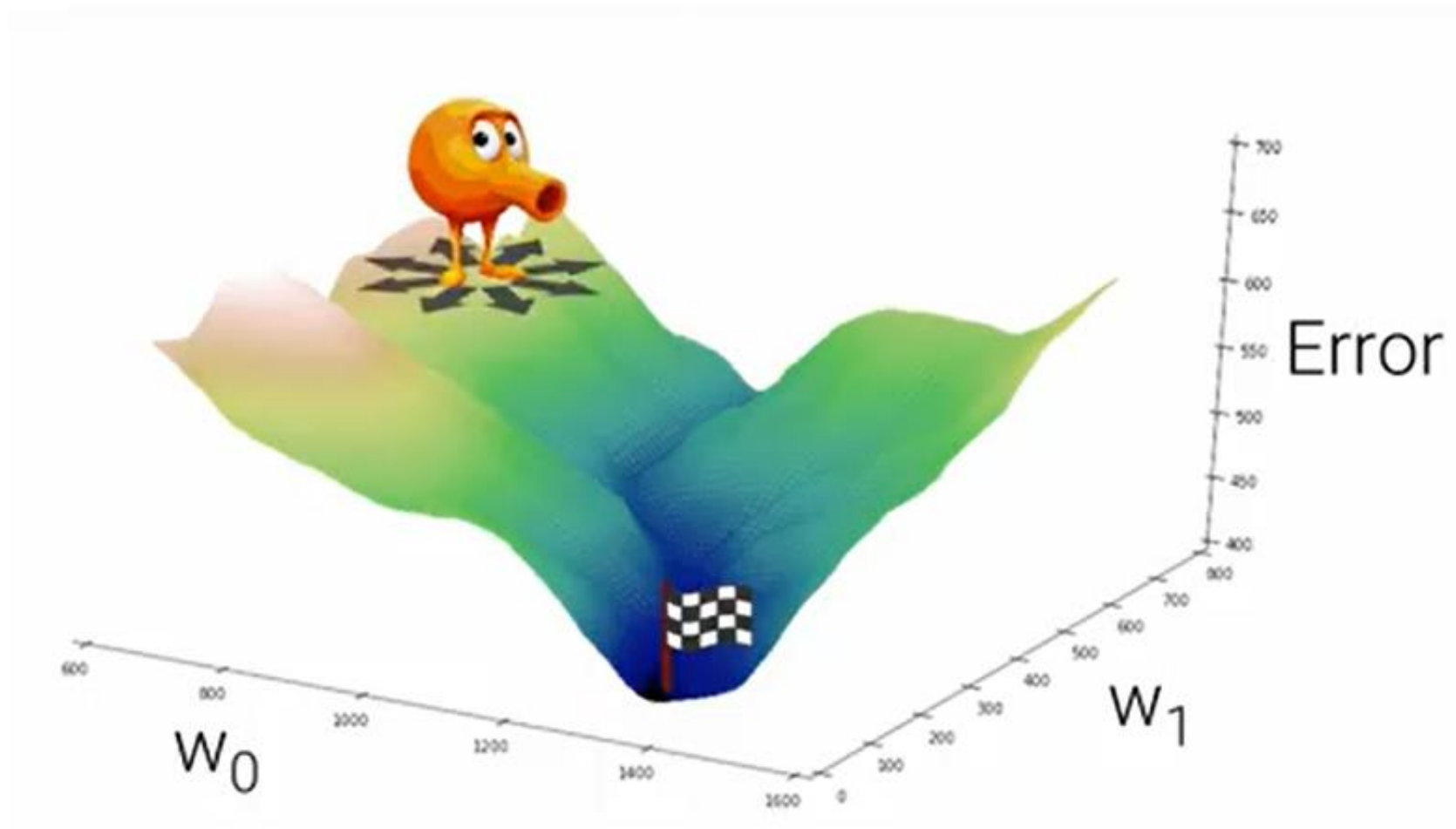


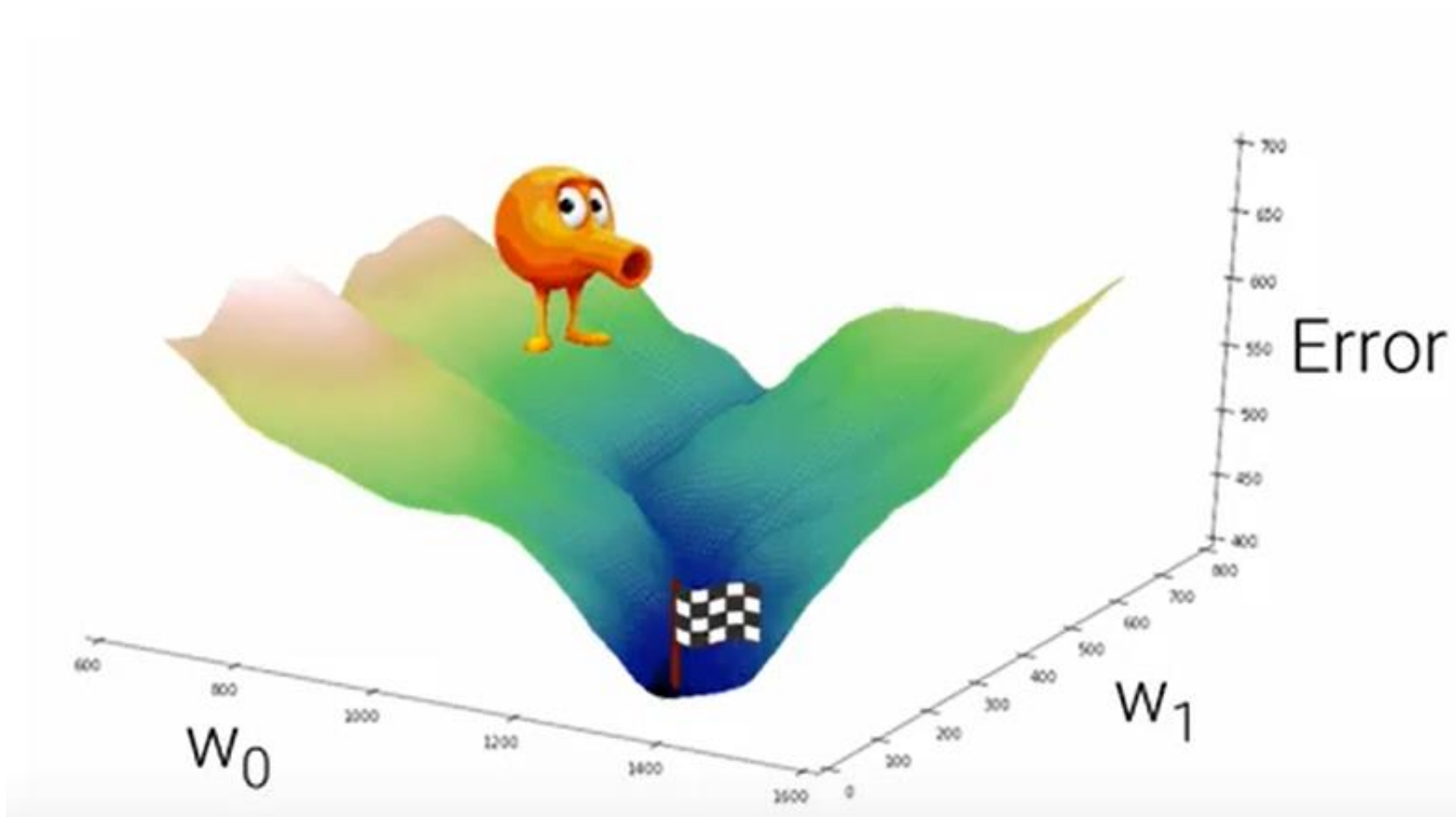


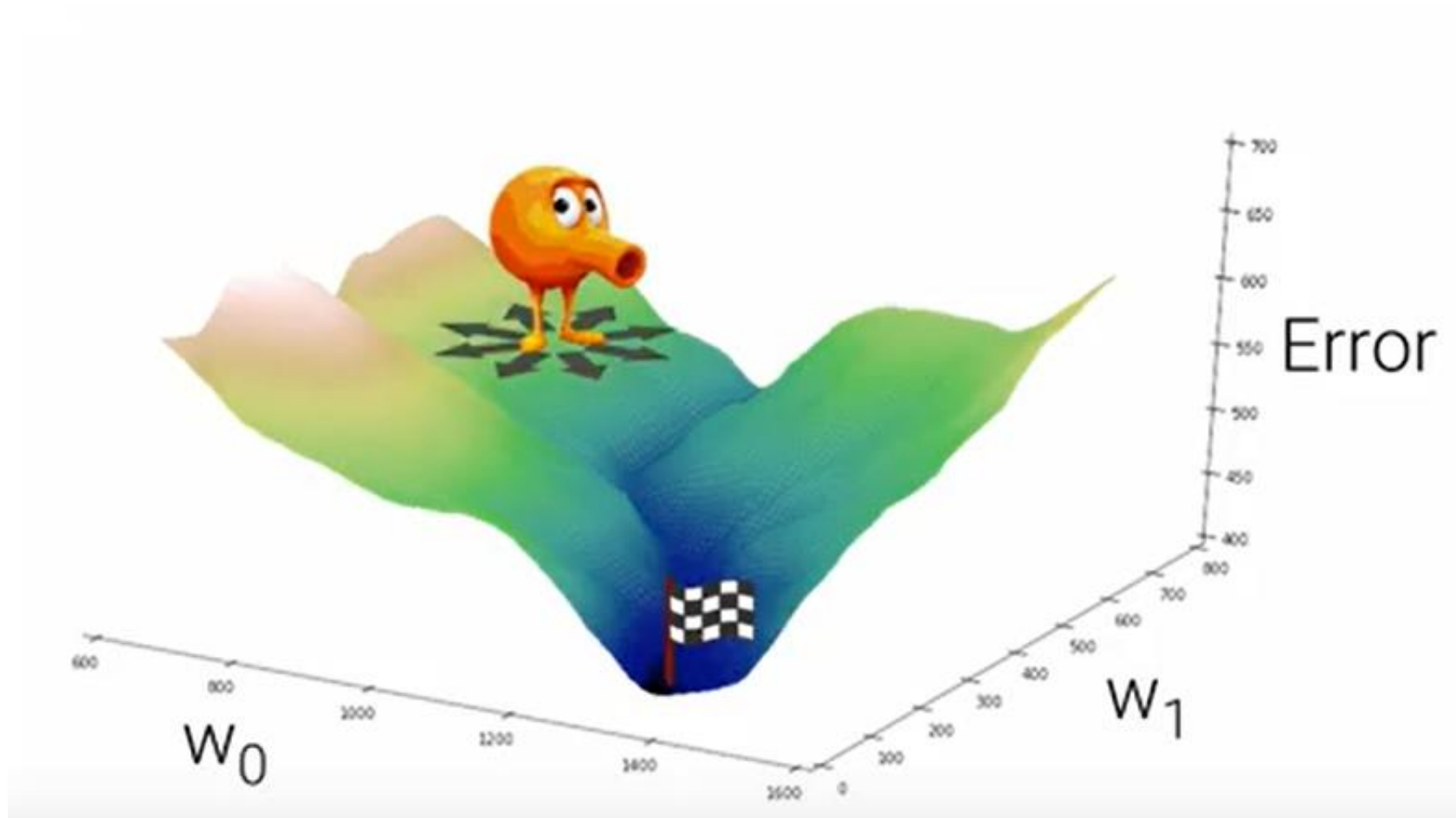


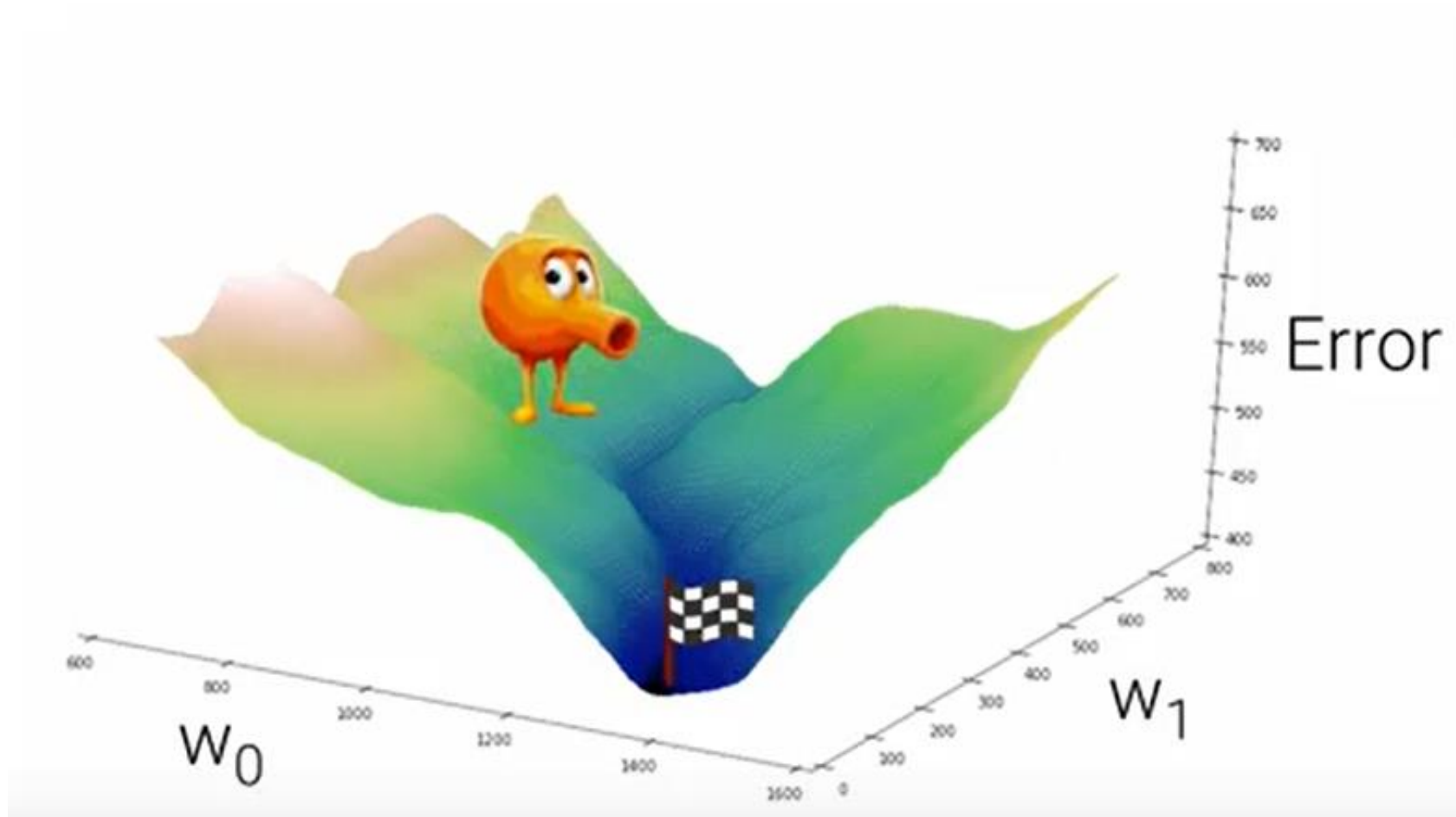


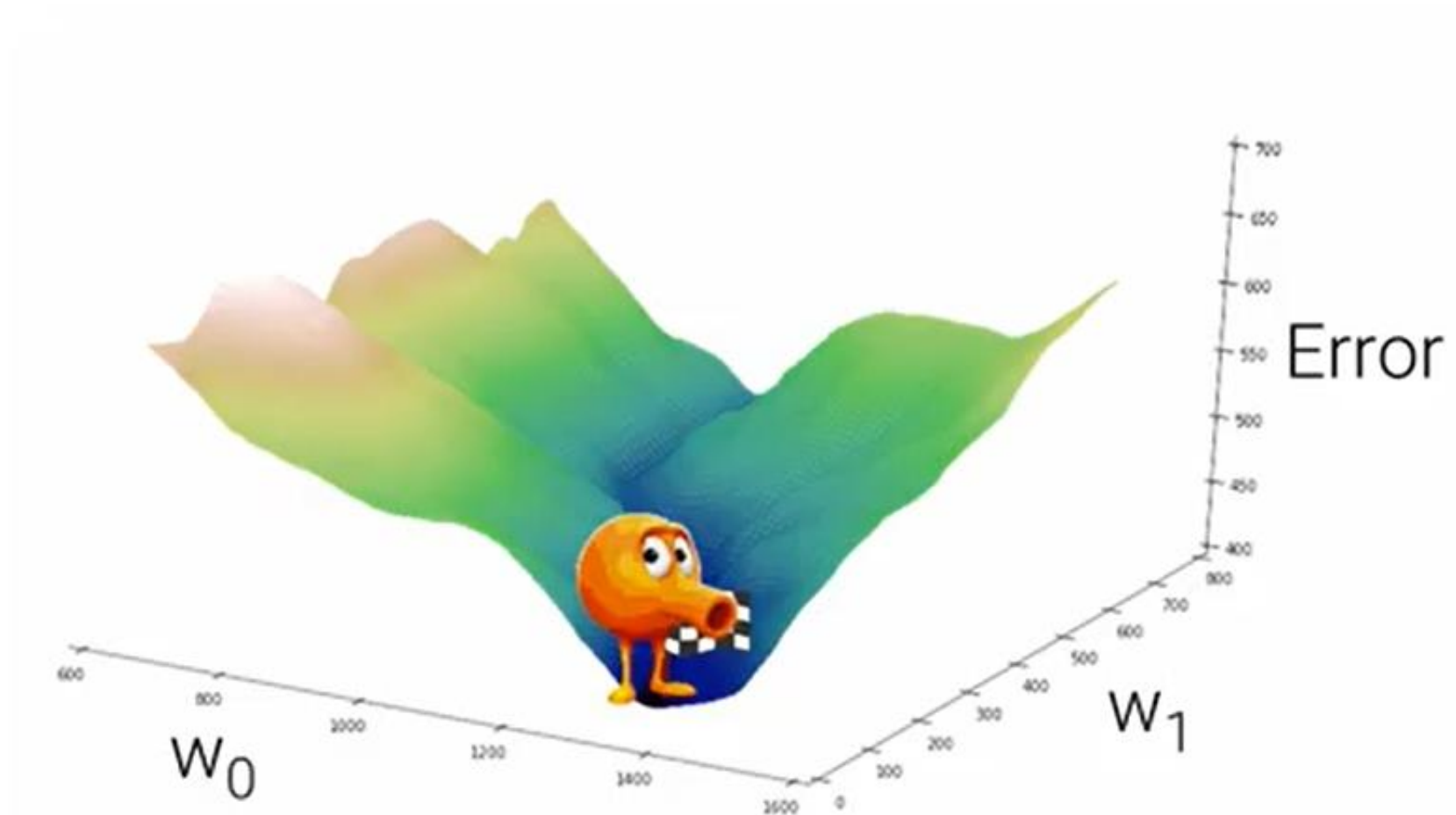






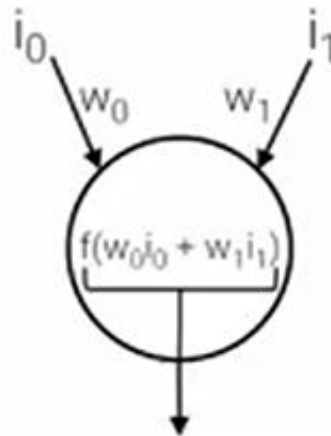




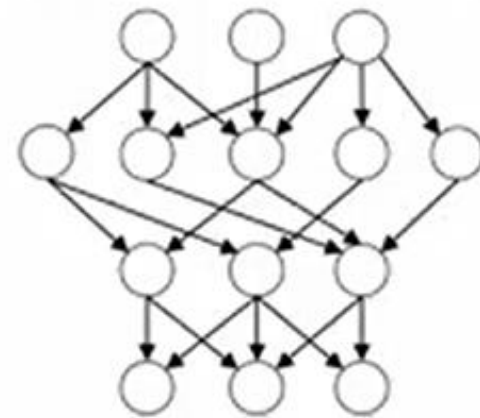


A questão dos hiperparâmetros

What's the best $f()$ to use?



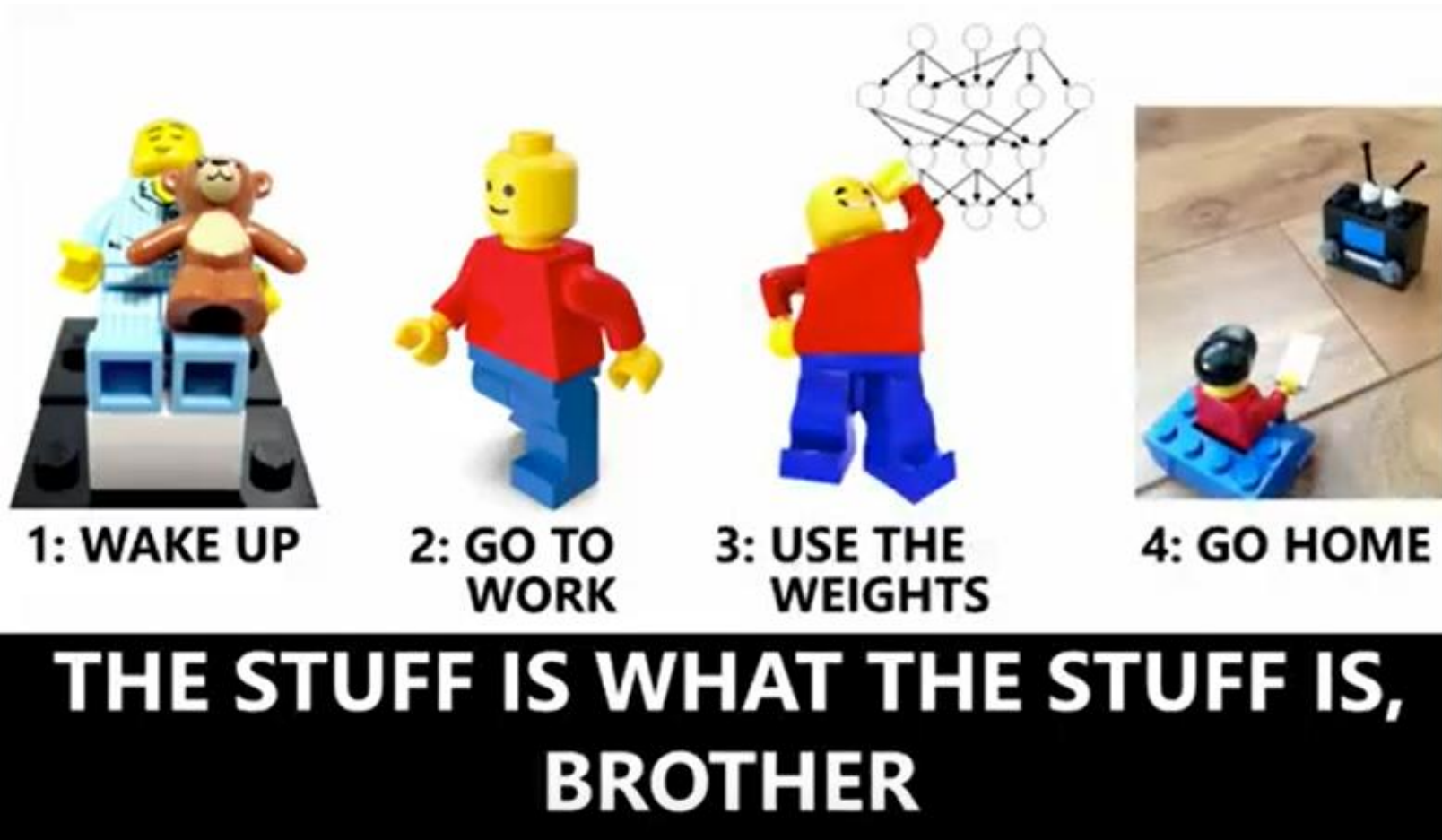
How many layers should we use?

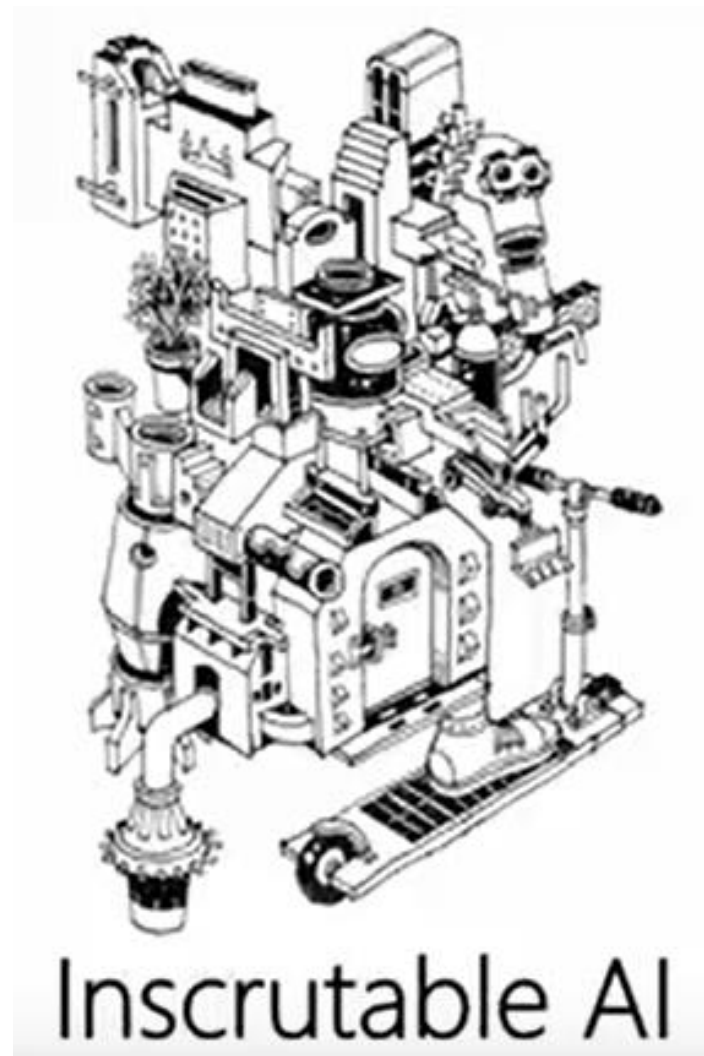


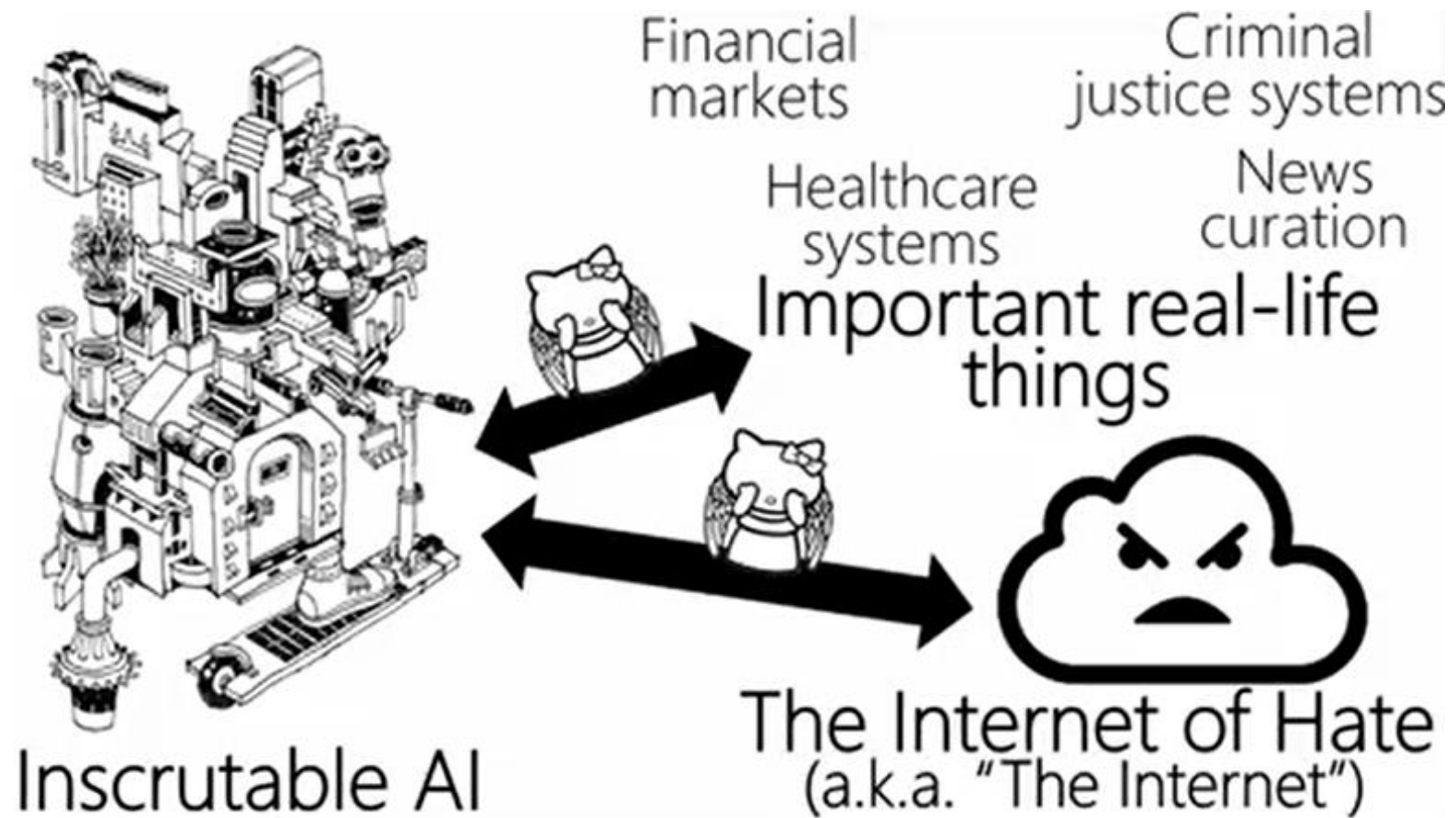
What should the size of a descent step be?



How big should each layer be?







The value of skepticism

In three words: Think before deploying.

In two words: Think first.

In one word: Don't.



Figura 3 – Exemplo de amostras da base de dados MNIST, com resolução 28×28 .

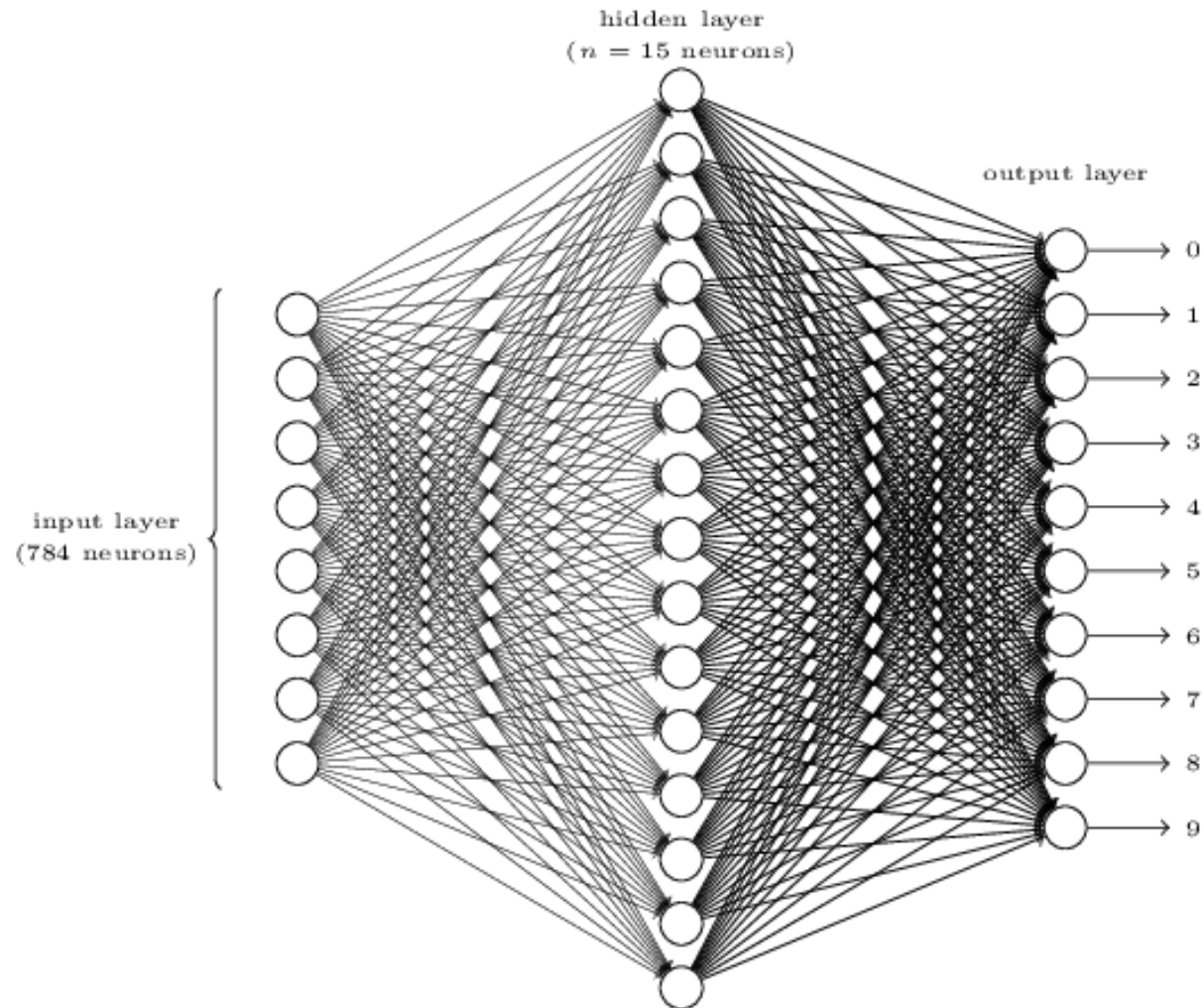


Figura 4 – Rede neural MLP com uma camada intermediária [Extraído de Nielsen, M.A. “Neural Networks and Deep learning”, Determination Press, 2015.].

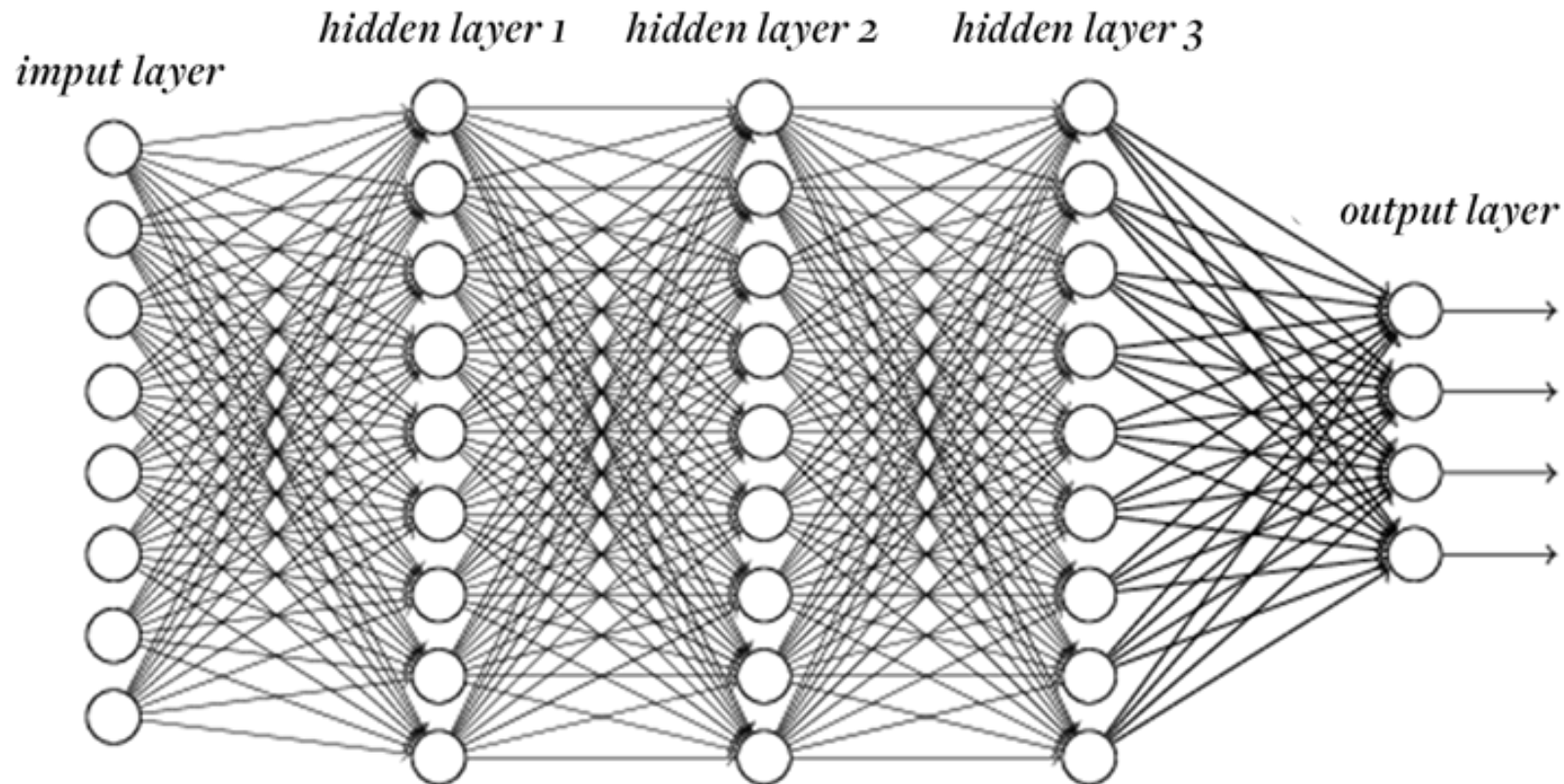


Figura 5 – Rede neural MLP com três camadas intermediárias [Extraído de <http://nautil.us/issue/40/learning/is-artificial-intelligence-permanently-inscrutable>].

4 A realidade e a inteligência artificial

- “Artificial Intelligence is the new electricity.”

Andrew Ng

- Veículos autônomos estão virando a esquina, máquinas fazem tradução automática de texto, rotulam imagens de forma automática e transcrevem mensagens de voz.
- Empresas bilionárias são sustentadas por técnicas de inteligência artificial.



Tarefa: Compare a capacidade intelectual de [um ser humano] com aquela de [um ser humano + um smartphone].

Cérebros de pessoas sociáveis têm áreas mais desenvolvidas, diz estudo

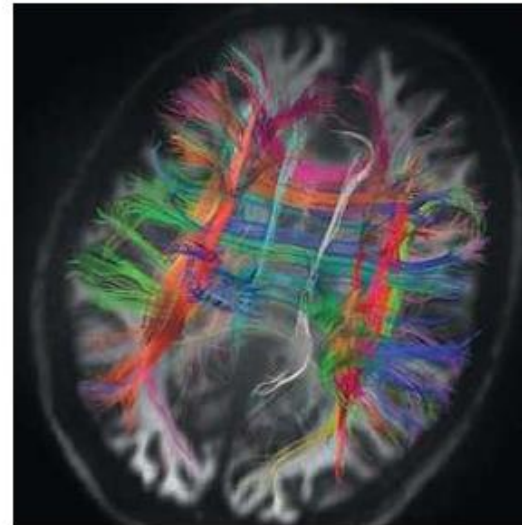
Do UOL, em São Paulo 23/11/2013 | 05h00

Pessoas que cultivam amizades e fazem novos amigos com facilidade apresentam cérebros com estruturas diferenciadas, aponta estudo conduzido pela universidade canadense McGill e divulgado durante conferência da Sociedade de Neurociência, nos Estados Unidos.

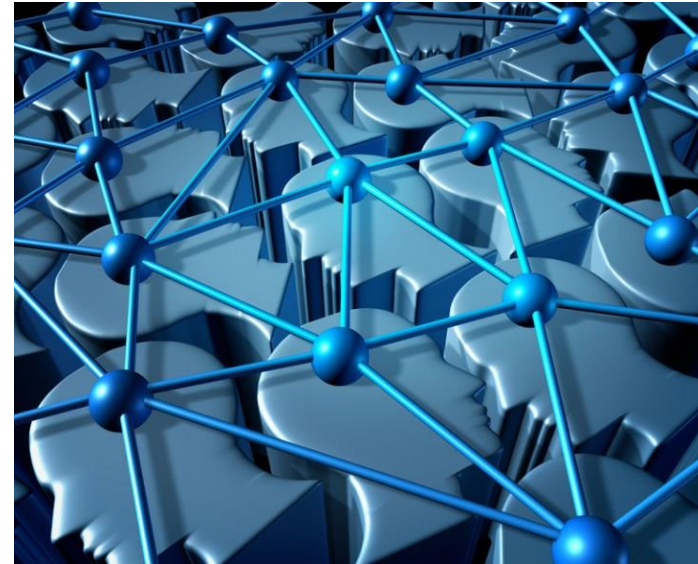
Segundo a pesquisa, áreas do cérebro de pessoas notavelmente sociáveis exibem dimensões maiores e conexões mais marcantes do que cérebros de pessoas introspectivas.

Para chegar à descoberta, os idealizadores do estudo analisaram imagens dos cérebros de 18 participantes. Antes de terem seus cérebros escaneados, os indivíduos analisados eram questionados sobre quantas interações sociais haviam tido nos último mês —isso ajudava os pesquisadores a estabelecer o tamanho de suas redes de contato.

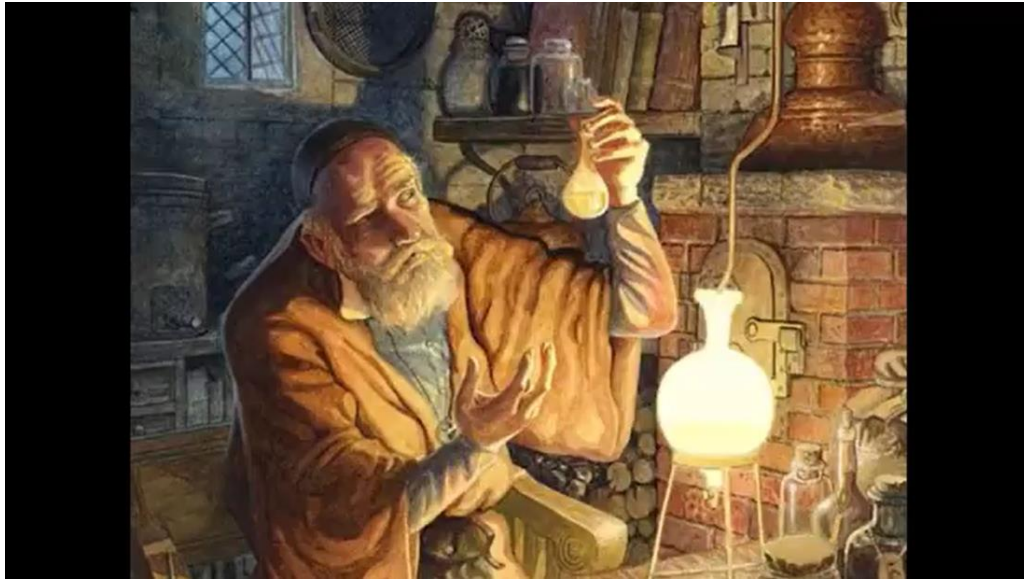
Center for Biomedical Imaging, Massachusetts General Hospital



Os caminhos de fibra de um cérebro humano mostram como as principais vias dos lobos frontais se interligam, organizando-se em ângulos retos.



- A figura da esquerda não é realista, mas na prática é isso que o smartphone consegue fazer: conectar cérebros. A figura da direita remete ao conceito de super-inteligência, formada pela conectividade de múltiplos cérebros. Trata-se de um requisito fundamental para lidar com a **expansão tecnológica**.
- Além disso, não estamos apenas conectando cérebros com cérebros, mas cérebros com máquinas (coisas) e também máquinas com máquinas. O próximo passo, já em andamento, é fazer essas máquinas aprenderem.



Aprendizado de máquina
está fazendo pela
inteligência artificial o que
a alquimia fez pela
química.

- De fato, já é um grande desafio nominar um ramo de atuação científica que ainda não tenha se beneficiado de soluções de aprendizado de máquina. É por isso que alguns analistas já apontam o aprendizado de máquina como uma nova forma de alfabetização.

5 Computação Digital e Neurocomputação

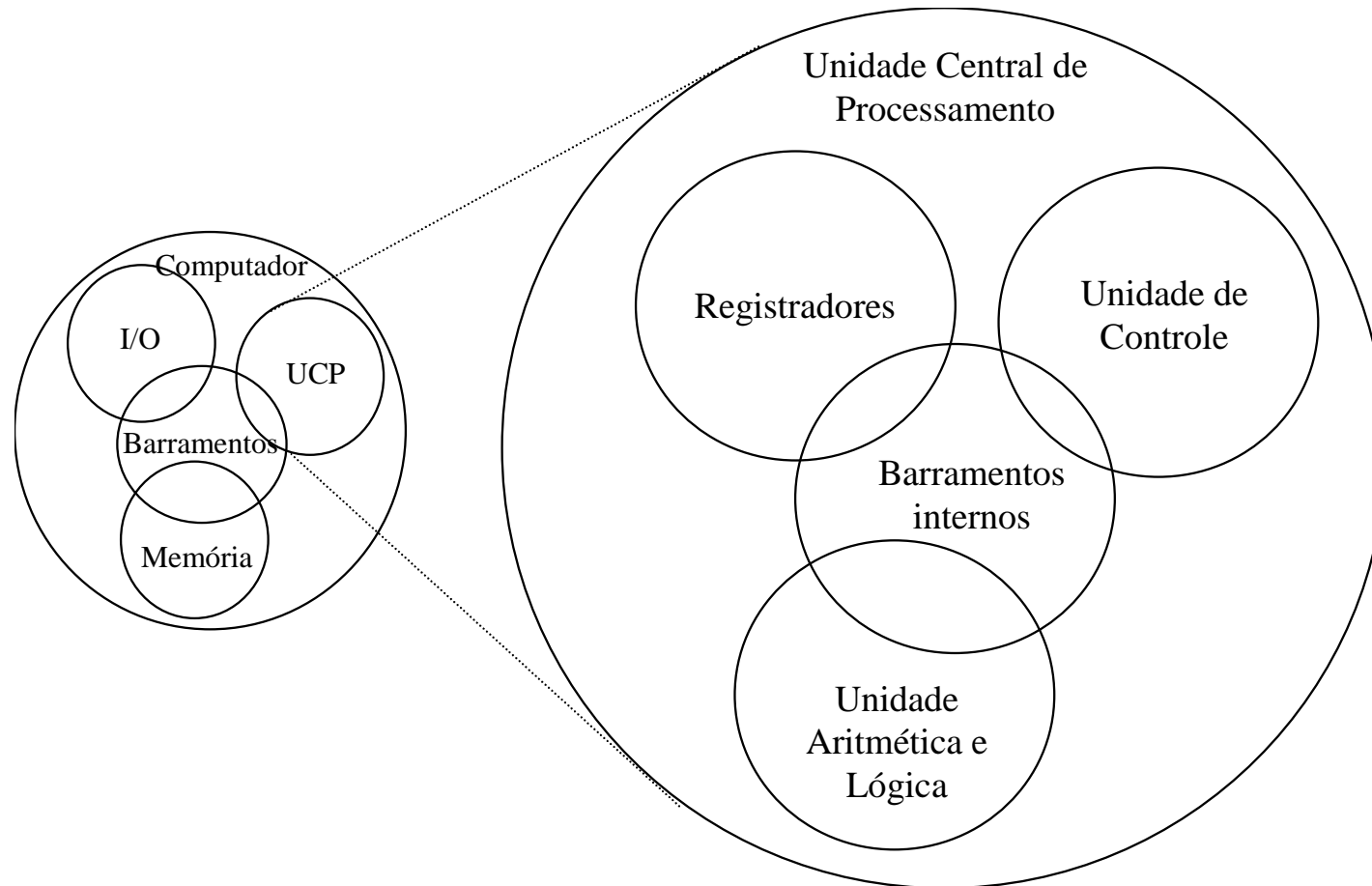


Figura 6 – Princípio da computação digital

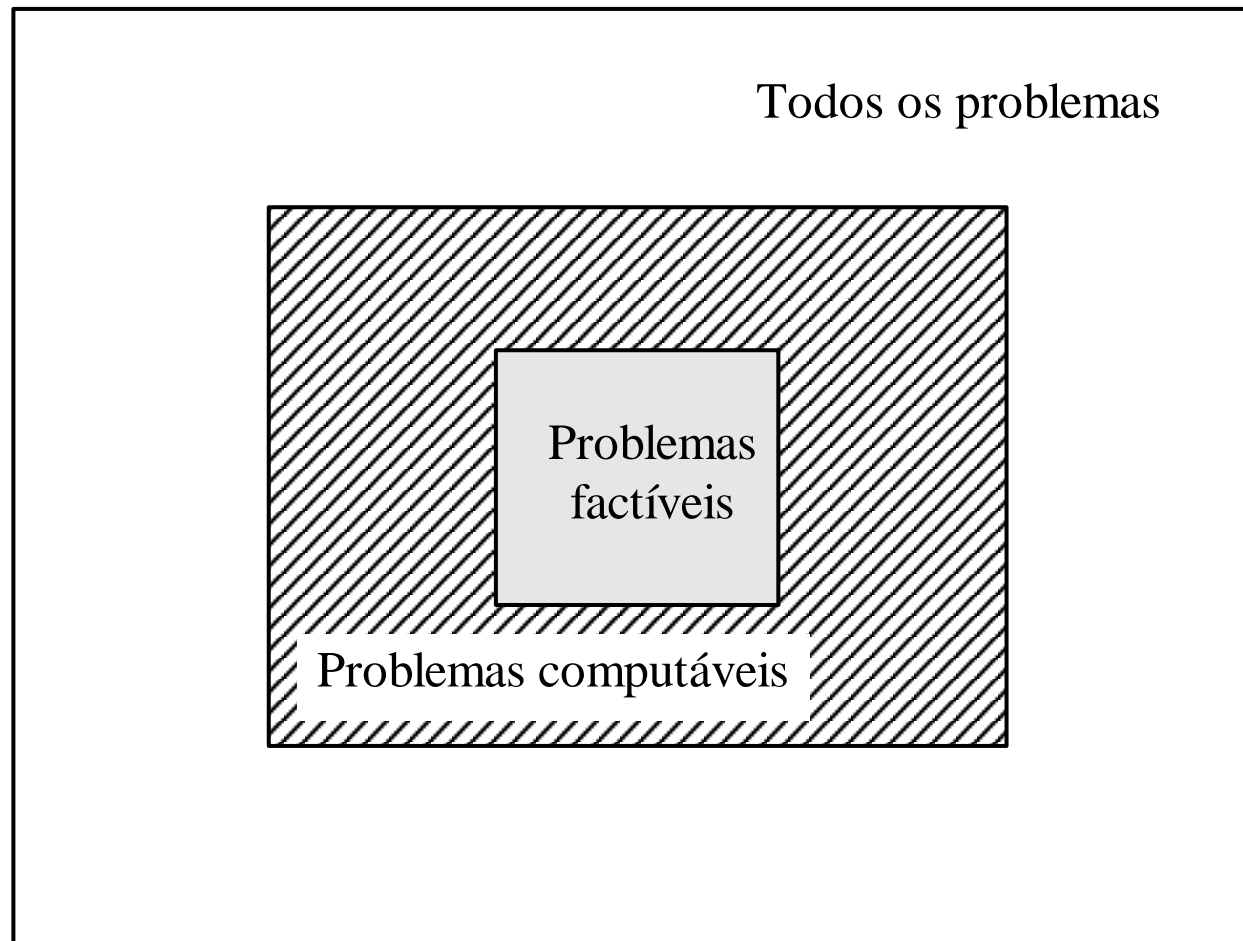


Figura 7 – Complexidade computacional (foco na computação digital)

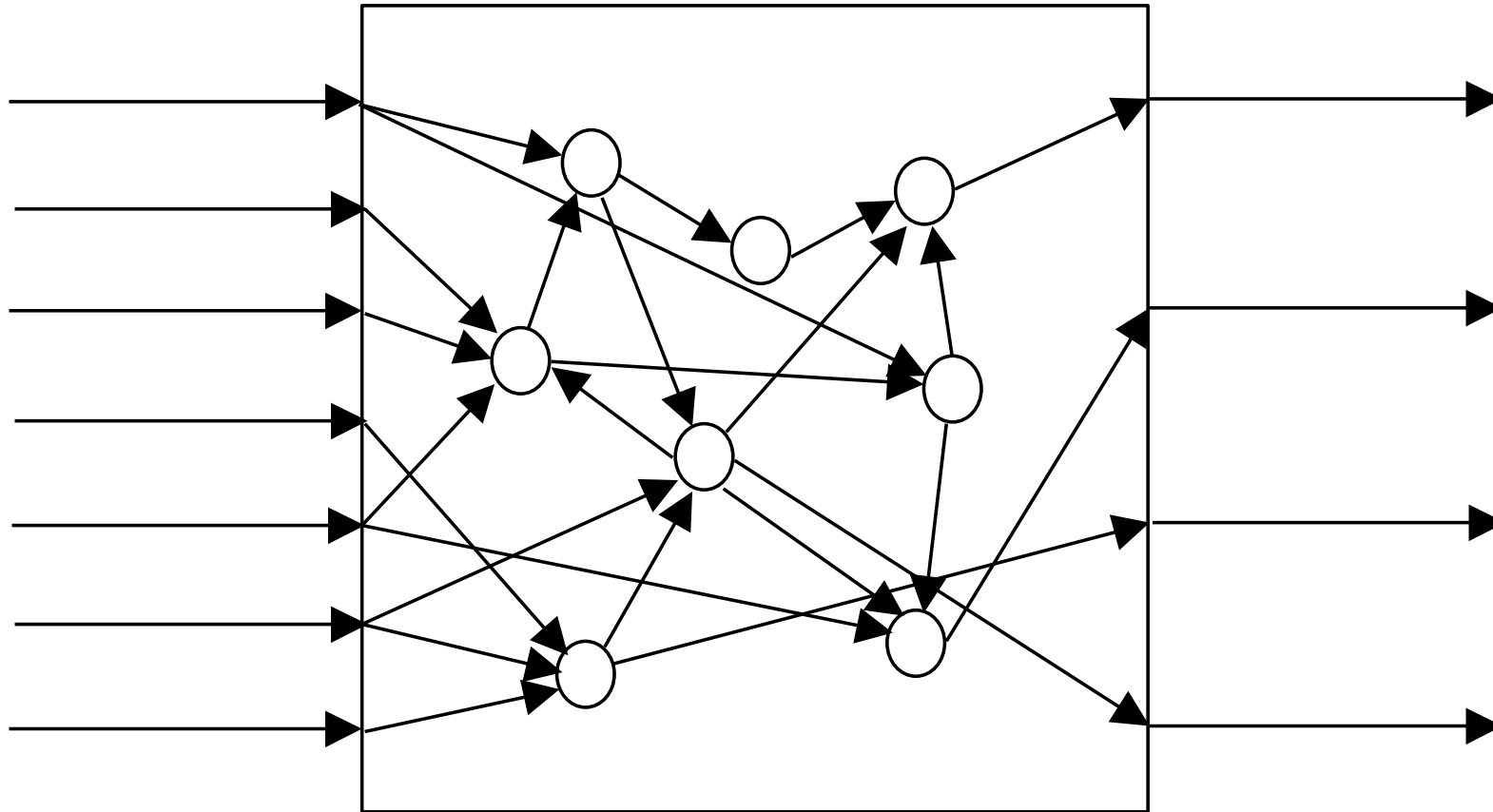


Figura 8 – Exemplo genérico de um neurocomputador

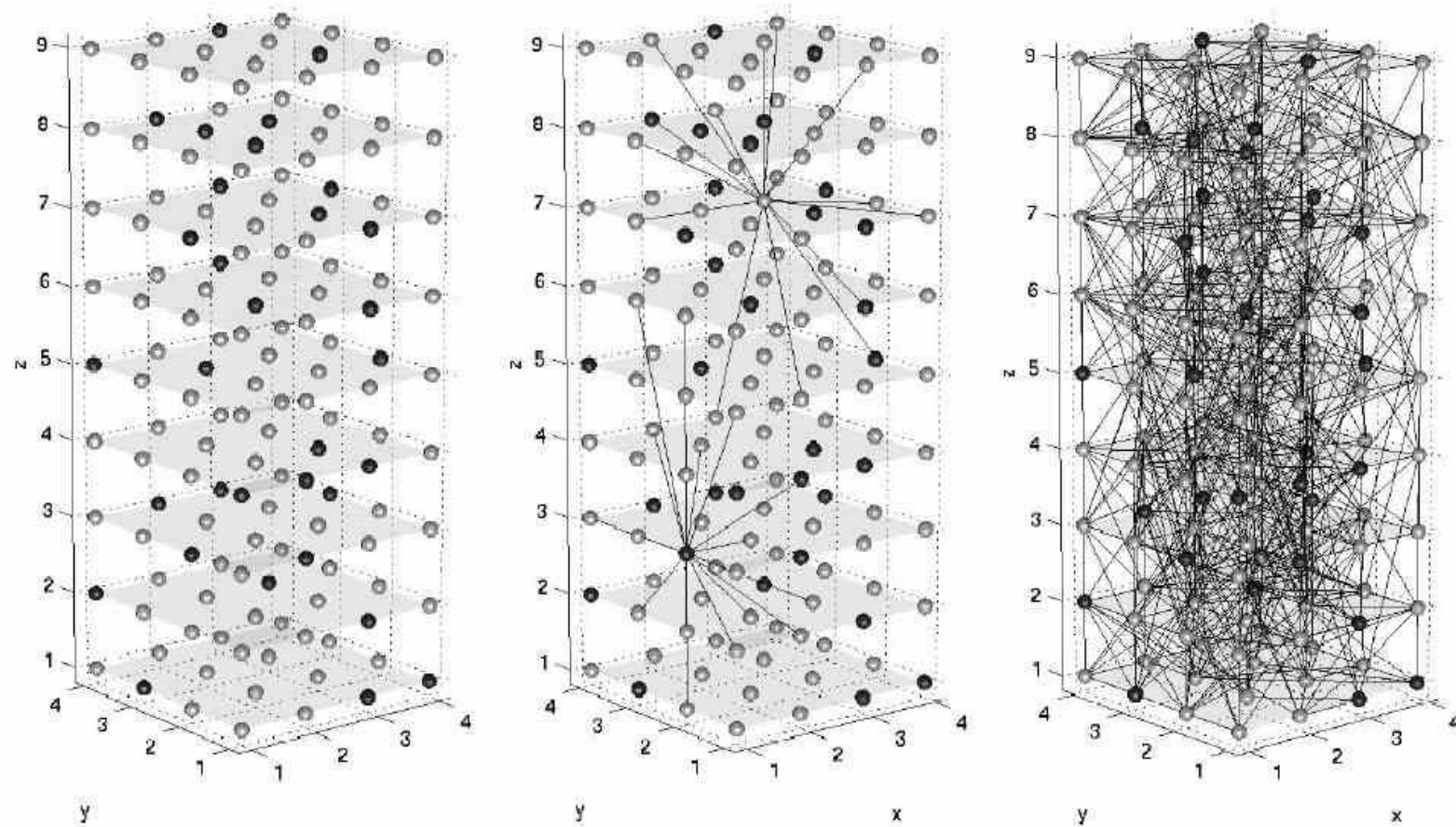


Figura 9 – Paradigma conexcionista: Rede = nós + conexões

6 Lei de Moore e a expansão tecnológica

- Qual é a porcentagem das pessoas que já “passaram pela face da Terra” e que ainda estão vivas?
- Qual é a porcentagem de pessoas que se tornaram cientistas, em toda a história da humanidade, e que ainda estão vivas?
- A resposta a essas duas questões ajuda a entender melhor o mundo em que vivemos. Esse segundo número foi apresentado em [David Goodstein, “The Big Crunch” Proceedings of the 48th NCAR Symposium, Portland, 1994] e se mantêm por pelo menos 300 anos.

- Qual é a porcentagem das pessoas que já “passaram pela face da Terra” e que ainda estão vivas?

6% a 9%

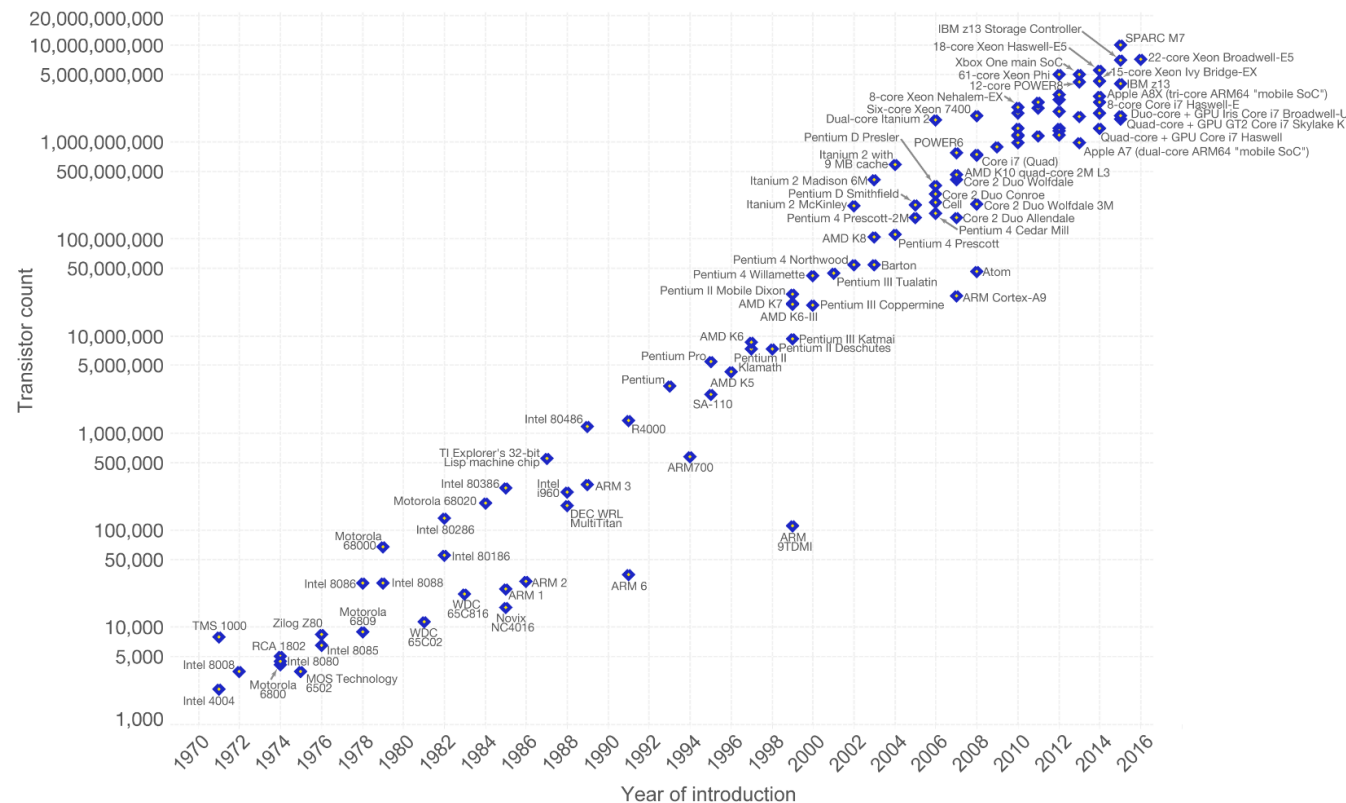
- Qual é a porcentagem de pessoas que se tornaram cientistas, em toda a história da humanidade, e que ainda estão vivas?

~92%

- A resposta a essas duas questões ajuda a entender melhor o mundo em que vivemos. Esse segundo número foi apresentado em [David Goodstein, “The Big Crunch” Proceedings of the 48th NCAR Symposium, Portland, 1994] e se mantêm por pelo menos 300 anos.

Moore's Law – The number of transistors on integrated circuit chips (1971-2016)

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important as other aspects of technological progress – such as processing speed or the price of electronic products – are strongly linked to Moore's law.

Our World
in Data

Data source: Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count)
The data visualization is available at [OurWorldinData.org](https://ourworldindata.org). There you find more visualizations and research on this topic.

Licensed under [CC-BY-SA](#) by the author Max Roser.

Figura 10 – Lei de Moore vigora por 5 décadas



Figura 11 – O efeito da miniaturização dos transistores

- A lei de Moore não é uma lei do mundo físico, como muitos talvez pensam. Ela é uma conquista tecnológica e uma indicação de como funciona o mundo corporativo.

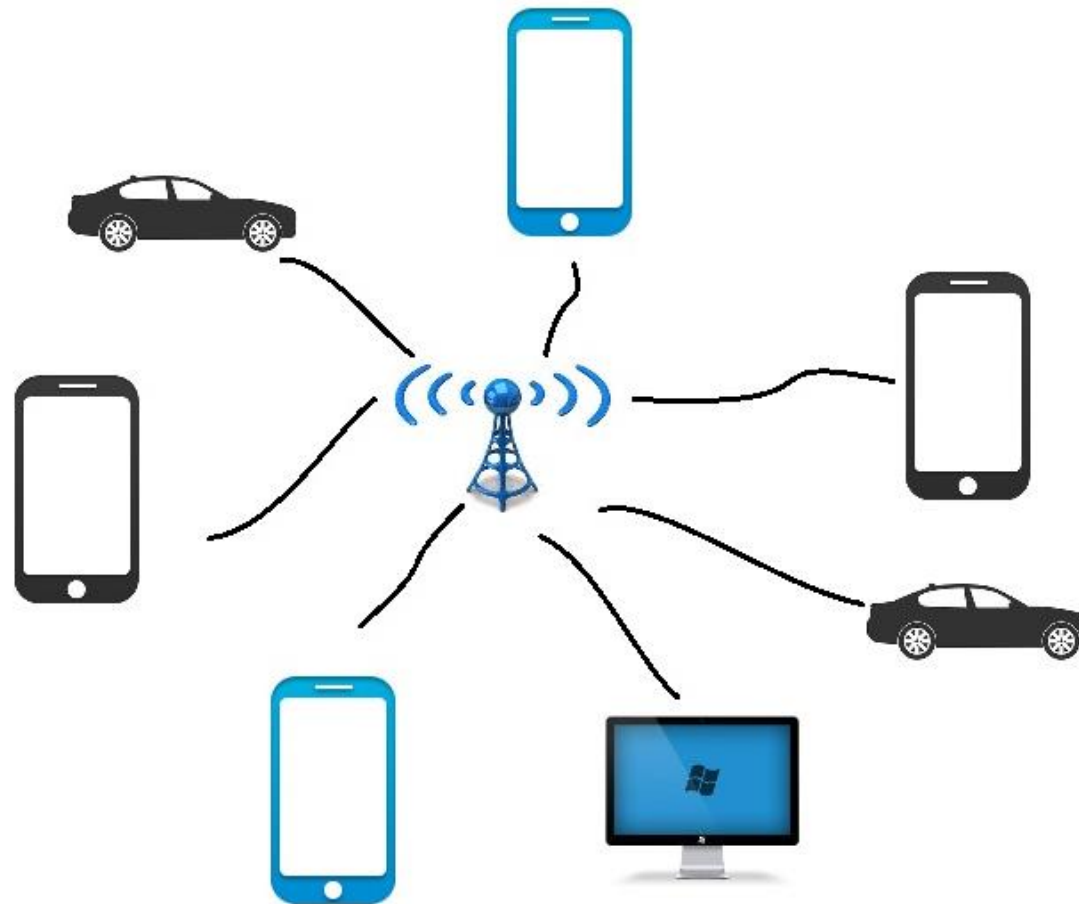


Figura 12 – Outras conquistas tecnológicas: a comunicação sem fio e os dispositivos móveis

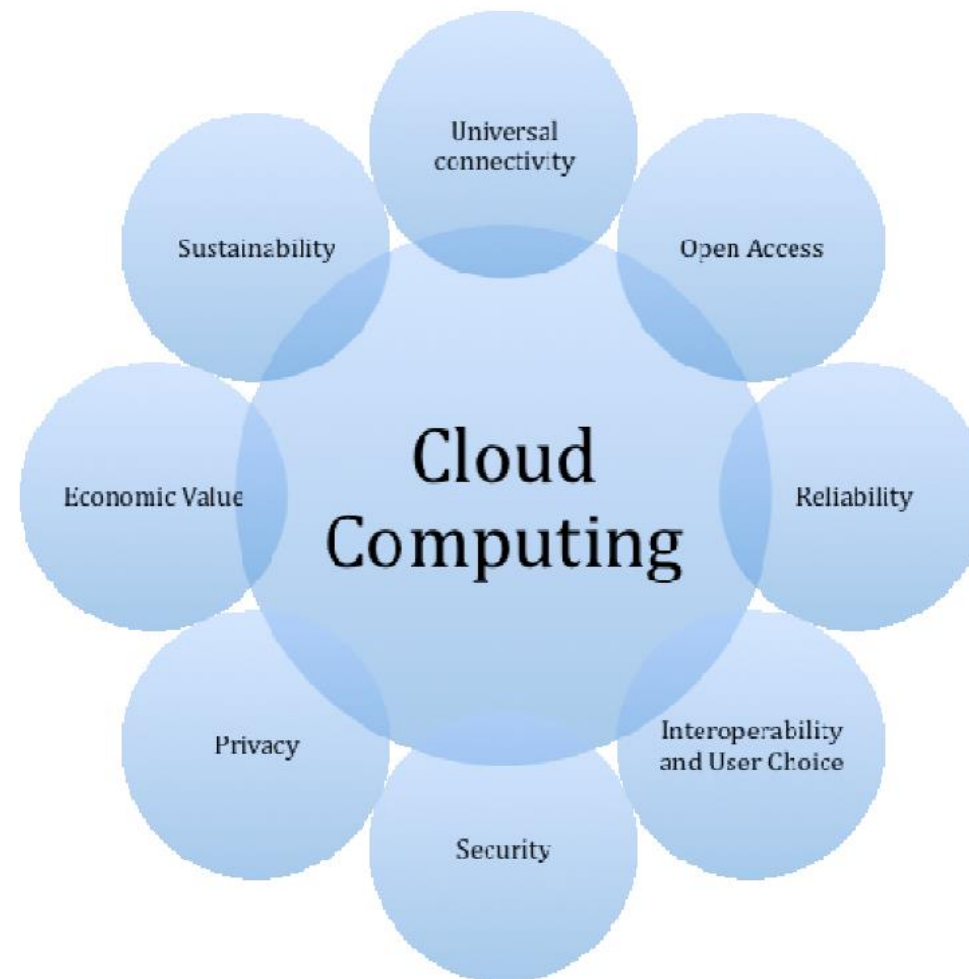


Figura 13 – Elementos fundamentais da computação em nuvem

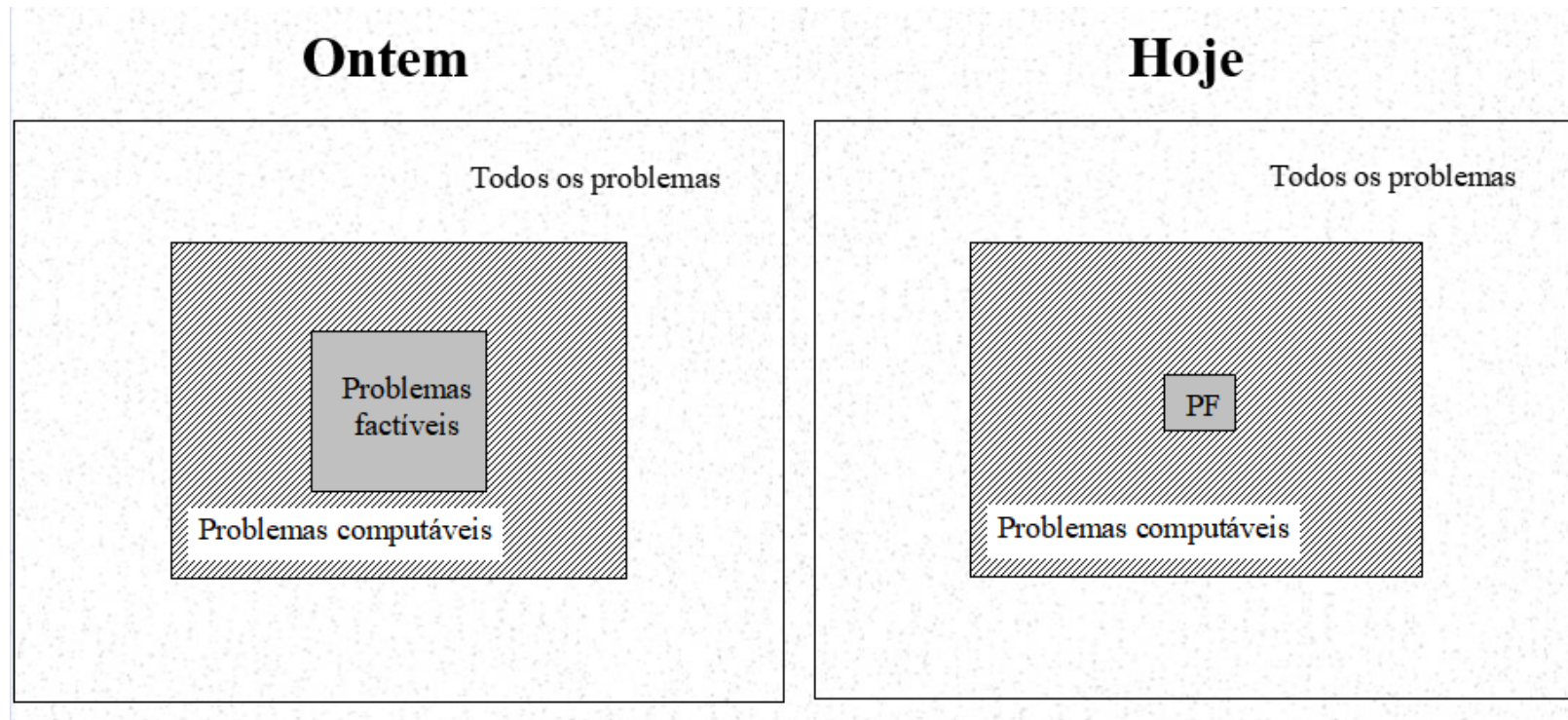
(https://www.researchgate.net/publication/45825704_The_Cloudy_Future_Of_Government_IT_Cloud_Computing_and_The_Public_Sector_Around_The_World)

The Internet of Everything: Networked Connections of People, Process, Data, Things



Figura 14 – A internet de todas as coisas

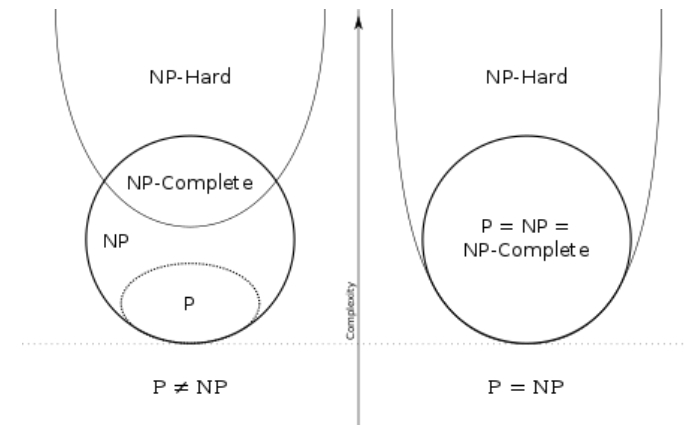
(<http://honim.typepad.com/biasc/2014/06/the-internet-of-everything-course.html>)



- Por mais que a tecnologia avance, estamos perdendo a capacidade de resolver problemas de interesse prático.
- A natureza desses problemas pode até não variar muito e o seu tamanho pode crescer apenas linearmente ou até mais lentamente que isso.

- A lei de Moore se refere ao fato de que, ao longo da história dos processadores digitais, o número de transistores nos circuitos integrados dobra aproximadamente a cada dois anos, o que representa um crescimento exponencial no poder de memória e processamento.
- A questão é que, mesmo com uma expansão linear no tamanho n de uma ampla gama de problemas computáveis de interesse prático (NP-completos e NP-difíceis), a sua solução vai requerer um aumento fatorial no poder computacional.
- Na fórmula a seguir, percebe-se que a função fatorial cresce a uma taxa muito maior que uma função exponencial de base fixa, como aquela da lei de Moore:

$$n! \cong \sqrt{2\pi n} \left(\frac{n}{e}\right)^n$$



- Reflexos da era da informação:



“À medida que a complexidade de um sistema aumenta, nossa habilidade de fazer afirmações precisas e que sejam significativas acerca deste sistema diminui até que um limiar é atingido, além do qual precisão e significância (ou relevância) tornam-se quase que características mutuamente exclusivas.” Zadeh (1973)

Lotfi A. Zadeh (1921-2017)

7 O poder da simulação computacional

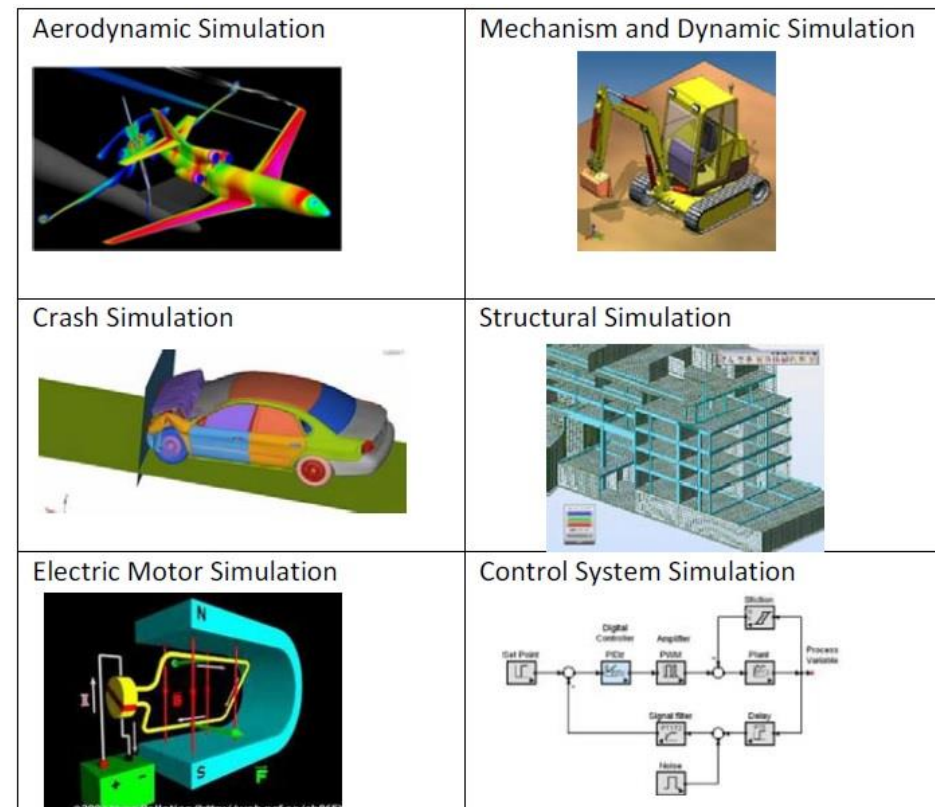
- Com a validade da lei de Moore por 5 décadas, o computador digital se tornou uma máquina de propósito geral, com uma gigantesca capacidade de simular mundos virtuais, com um enorme potencial de contribuição para a ciência (e.g. na demonstração de teoremas), para a indústria (e.g. na validação de produtos) e para a sociedade (e.g. no entretenimento, na saúde e na educação).
- Há uma clara tendência de que as pessoas passem mais e mais tempo em mundos virtuais, incluindo atividades profissionais e momentos de lazer.
- A simulação computacional é de relevância central para a inteligência artificial em geral, e para o aprendizado de máquina em particular.
- Como já apresentado, as redes neurais artificiais são formadas pela interconexão de neurônios artificiais, os quais realizam mapeamentos não-lineares locais e o seu fluxo de informação pode ser representado matematicamente.
- Torna-se premente, portanto, responder a duas questões fundamentais:

- Uma simulação computacional pode ser usada como fonte de novos conhecimentos?
- Uma simulação computacional pode nos dizer alguma coisa que já não sabemos?

- Note que:

✓ Uma simulação não é melhor do que as hipóteses consideradas em sua concepção;

✓ Um computador só pode fazer o que ele é programado para fazer.



- A resposta a essas duas questões é afirmativa. E esse “sim” é suportado pelo fato de que, mesmo havendo um controle pleno sobre as premissas que regem o mundo simulado, pode ser muito difícil antecipar suas implicações.



Herbert Simon (1916-2001)

8 Ser igual x Ser não-distinguível

- A inteligência artificial é uma área da computação voltada para a formalização e implementação de processamento inteligente de informação em máquinas, numa tentativa de construir mecanismos computacionais para atividades que supostamente requerem inteligência quando feitas por seres humanos.
- A denominação IA foi proposta em 1956, associada à ciência e à engenharia aplicadas na concepção de máquinas (ou organismos cibernéticos, termo cunhado em 1948) com comportamento adaptativo orientado a objetivos e capazes de automatizar tarefas associadas ao comportamento inteligente.
- É um dos pilares da Tecnologia de Informação, responsável por dotar os computadores de maior capacidade de representação do conhecimento, de inferência centrada em dados e de soluções de apoio à tomada de decisão.
- Tem como um de seus pilares a área de Inteligência Computacional, que se estabeleceu a partir de 1994, no congresso IEEE WCCI.

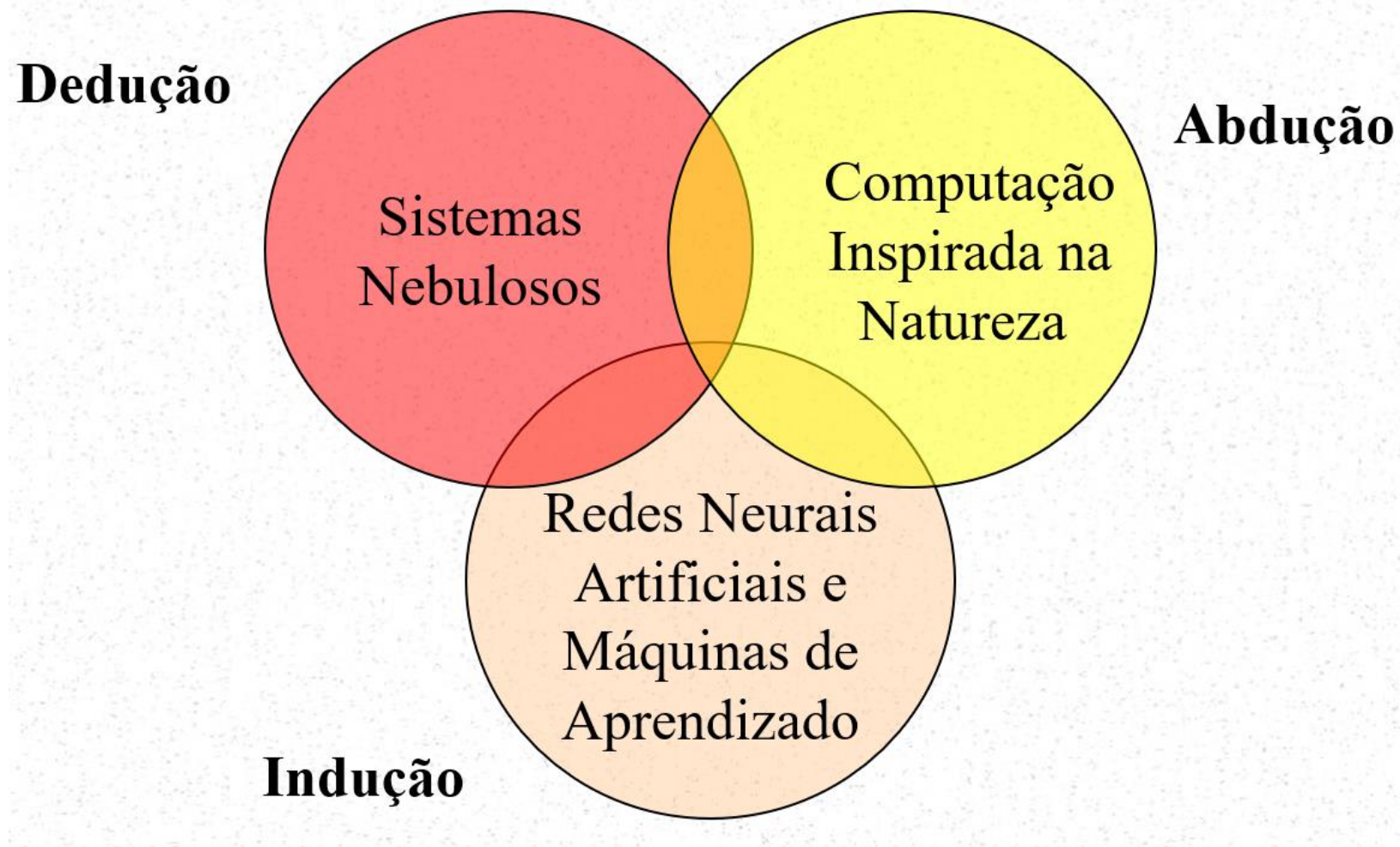


Figura 15 – As três vertentes da inteligência computacional

- De fato, o conhecimento (científico) avança ao recorrer a três tipos de inferência:
 - ✓ Dedução: A conclusão segue logicamente das premissas (está contida nas premissas). Portanto, a conclusão é lógica e sempre verdadeira. Não acrescenta conhecimento novo e corresponde ao silogismo aristotélico.
 - ✓ Indução: De juízos (enunciados) particulares se chega a um juízo (enunciado) geral. A conclusão não segue logicamente das premissas (não está contida nas premissas). Portanto, a conclusão não é lógica. Acrescenta conhecimento novo (generalização). A conclusão necessariamente consiste na extensão uniforme da evidência. Na prática, grande parte do nosso comportamento se baseia na indução, pois é através dela que ganhamos capacidade de prever o futuro.
 - ✓ Abdução: Se sustenta na seguinte sequência de ações: postular hipóteses, escolher a melhor (por exemplo, de acordo com o seu poder explicativo) e postular uma ligação entre o poder explicativo e a verdade.

- Vamos tomar um exemplo didático concebido para admitir os três processos de inferência. Considere as seguintes proposições:
 - ✓ A : Todos os gizes da caixa são brancos.
 - ✓ B : Todos os gizes da mesa vieram da caixa.
 - ✓ C : Todos os gizes da mesa são brancos.
- Agora, suponha que elas são verdadeiras aos pares e infira a terceira proposição. Cada inferência vai ser exemplo de um dos três tipos mencionados:

Dedução: $(A \wedge B) \rightarrow C$

Indução: $(B \wedge C) \Rightarrow A$

Abdução: $(A \wedge C) \dashv B$

- Como já indicado, o aprendizado de máquina opera com a inferência indutiva. A partir de um conjunto de dados disponíveis para treinamento, induz-se um modelo de aprendizado que deve apresentar boa capacidade de generalização.

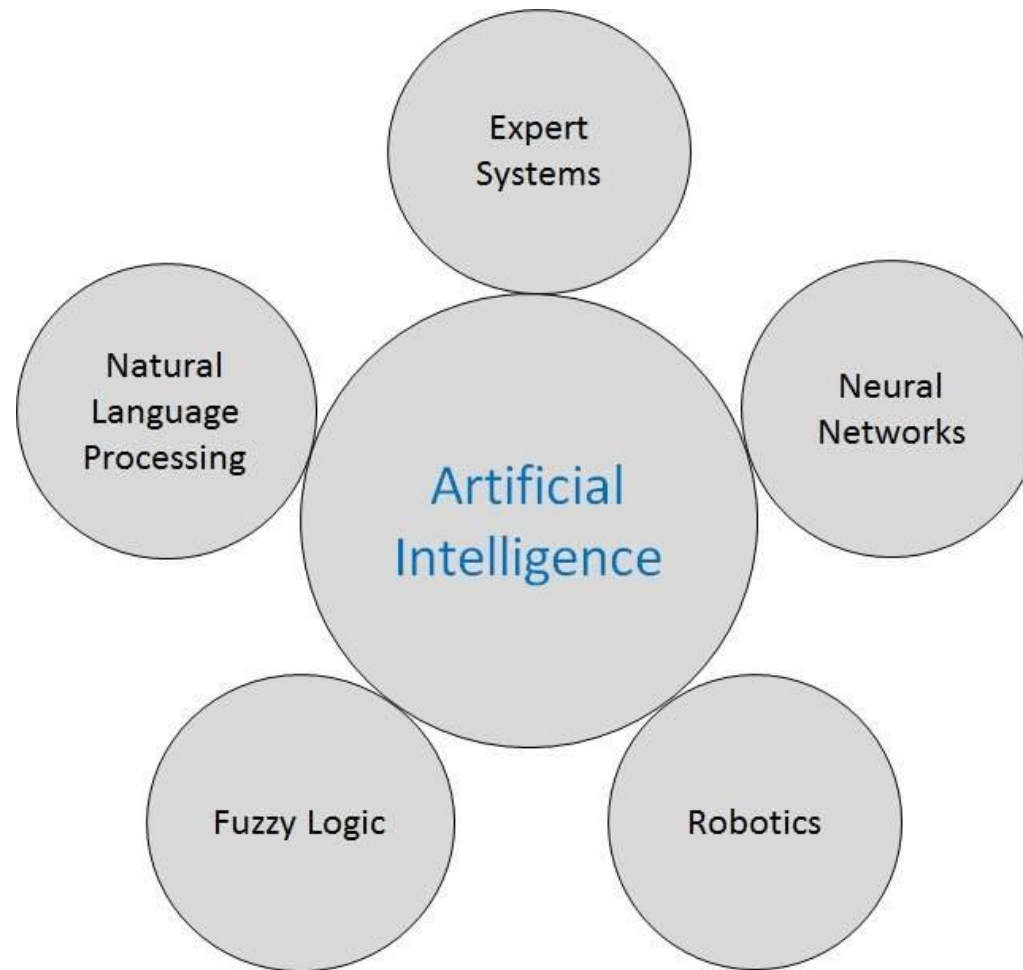


Figura 16 – Taxonomia para a área de inteligência artificial, não evidenciando a área de inferência abdutiva. IA é mais do que esta figura mostra.

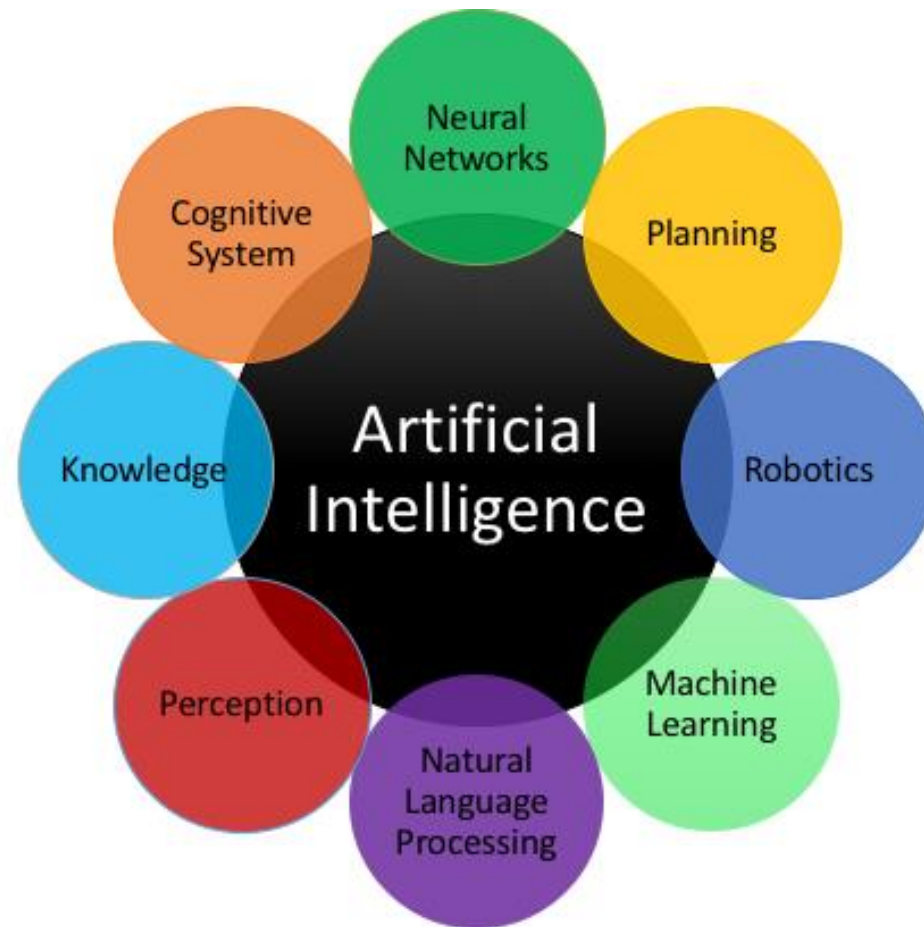


Figura 17 – Outra taxonomia para a área de inteligência artificial, ainda sem evidenciar a área de inferência abdutiva. IA é mais do que esta figura mostra.

8.1 Etapas do processo de aprendizado

1. Entender os conceitos envolvidos
2. Usar / Praticar os conceitos envolvidos
- As etapas acima são geralmente bem trabalhadas por humanos e por máquinas.
Mas as etapas que vêm a seguir, menos, por humanos e por máquinas.
3. Explicar a outras pessoas os conceitos envolvidos
4. Transpor para outros contextos
5. Criticar / Detectar limitações
6. Propor melhorias e extensões possíveis
7. Substituir por uma teoria ou método distinto e com desempenho superior
- A questão que se levanta, e que representa o núcleo central desta Seção 8, é:

Até onde as máquinas que aprendem podem chegar?

De aorcdo com uma pqsieusa de uma uinrvesriddae ignlseas,
não ipomtra em qaul odrem as lrteas de uma plravaa etãso, a
úncia csioa iprotmatne é que a piremria e útmliã lrteas
etejasm no lgaur crteo. O rseto pdoe ser uma ttaol bçguana
que vcoê pdoe andia ler sem pborlmea. Itso oorcre pqorue nós
não lmeos cdaa lrtea isladoa, mas a plravaa cmoo um tdoo.

- Você consegue ler o texto acima?
- Uma máquina consegue ler o texto acima?

De acordo com uma pesquisa de uma universidade inglesa, não importa em qual ordem as letras de uma palavra estão, a única coisa importante é que a primeira e última letras estejam no lugar certo. O resto pode ser uma total bagunça que você pode ainda ler sem problema. Isso ocorre porque nós não lemos cada letra isolada, mas a palavra como um todo.

Tradução realizada em 28/09/2018 pelo Google Translate:

As with a pseudonym of a brightening, it does not lie on the sides of a plateau, the only aspect is that the plateau and plateau are not in the crust. The rest may be a sentence that you can read without problem. It's the occurrence because we not lemos cada letra isolada, but the palavra como a todo.

- Você consegue responder o que faltou para que uma máquina se desse melhor na tarefa de tradução do texto?

- Seja para o ser humano, seja para a máquina (agente de inteligência artificial), é preciso formular o problema de modo a “facilitar” a tarefa de reconhecimento de padrões, ou seja, é preciso focar na estratégia de representação do conhecimento. Veremos em módulos subsequentes que *deep learning* se sobressai justamente nesta tarefa de representação do conhecimento.

8.2 A sala chinesa de Searle

- Os computadores digitais são máquinas lógico-simbólicas, algorítmicas. A matemática envolvida é restrita, pois só trabalha com um conjunto discreto de símbolos e funções. Com isso, um programa é uma sequência de regras determinísticas sobre como transformar, transportar e armazenar dados.
- SEARLE (1991) descreve uma sala com uma pessoa que domina o idioma inglês, o operador. Muitos cestos com ideogramas chineses estão na sala, assim como um livro de regras, escrito em inglês, de como combinar os ideogramas chineses.

- O operador recebe por uma abertura de entrada (na parede da sala) uma sequência de ideogramas chineses e, consultando o livro de regras, combina esses ideogramas de entrada e alguns que estão nos cestos, compondo uma nova sequência. Esta nova sequência é então passada por uma abertura de saída (na parede da sala).
- Embora o operador não saiba, ele está respondendo a perguntas no idioma chinês.
- SEARLE (1991) argumenta que há uma diferença marcante entre este operador e uma pessoa que domina o idioma chinês e responda às mesmas perguntas sem usar o livro de regras. O primeiro está apenas seguindo regras sintáticas. O segundo está associando semântica (significado) ao que está fazendo e, portanto, está fazendo muito mais que o primeiro.
- A conclusão de SEARLE (1991) é que os computadores, por serem máquinas sintáticas, podem substituir o operador.
- Há algo mais em ter uma mente do que executar processos formais ou sintáticos.

- Logo, programas não são suficientes para atribuir mentes a computadores.
- Conclusão: Computadores nunca podem pensar, porque pensar envolve semântica.
Com isso, computadores nunca poderão ser inteligentes.

8.3 O teste de Turing

- TURING (1950) teve uma intuição de que nosso pensamento é uma atividade interior muito especial, e que seria eventualmente impossível descrever seu processo cientificamente:

“Será que as máquinas não poderiam realizar algo que deveria ser descrito como pensar mas que é muito diferente do que um ser humano faz? Esta objeção é muito forte, mas ao menos podemos dizer que se, contudo, uma máquina puder ser construída para jogar o jogo da imitação satisfatoriamente, nós não precisamos nos preocupar com essa objeção.”

- O teste de Turing afirma que um computador pode ser chamado de inteligente se ele puder enganar um ser humano ao fazê-lo acreditar que o computador é um humano. O teste consiste em um ser humano realizar um interrogatório através de um terminal, visando descobrir se do outro lado do terminal se encontra um ser humano ou um computador. Caso seja um computador que esteja fornecendo as respostas e o interrogador não conseguir decidir se se trata de um ser humano ou um computador, então este computador é dito ter sido aprovado no teste de Turing.
- Há variantes do teste de Turing, dentre as quais destaca-se:
 - ✓ O interrogador tem do outro lado do terminal um humano e um computador, sendo que o objetivo é dizer quem é o humano e quem é o computador.
- O teste de Turing é equivalente ao “jogo do fingimento”, onde existem três participantes, sendo um homem, uma mulher e um interrogador de qualquer sexo. O objetivo do jogo é o interrogador, através de perguntas aos participantes e sem

ter acesso a aspectos físicos dos entrevistados, tentar identificar quem é o homem e quem é a mulher, sendo que o homem tenta impedir que a discriminação seja realizada pelo interrogador.

- Com este teste, Turing abre mão da necessidade de definir objetivamente os atributos necessários para a caracterização de uma máquina como um sistema inteligente.
- Além disso, mesmo voltada para uma aplicação específica de IA, Turing mostrou que a inteligência artificial pode ser implementada com sucesso por meios distintos daqueles utilizados pela mente humana para realizar cognição, desde que o resultado final seja não-distinguível daquele que seria obtido por um ser realmente inteligente.
- Conclusão: Uma máquina, particularmente aquela fundamentada na computação digital, não pode ser inteligente, mas é possível fazer com que o seu comportamento não seja distinguível de um comportamento inteligente.

Um guarda noturno estava fazendo sua ronda cotidiana quando observou um homem ajoelhado junto a um poste de iluminação procurando algo. Ele então se aproximou e perguntou:

– Perdeu alguma coisa, moço?

O homem então respondeu:

– Sim, perdi um molho de chaves.

O guarda, tentando ajudar, quis saber:

– Você tem alguma ideia de onde o perdeu?

Para sua surpresa, o homem disse com naturalidade:

– Sim, foi lá no fim da rua, no escuro.

Sem entender mais nada, o guarda insistiu:

– Mas então o que você faz aqui, procurando embaixo deste poste de iluminação?

E então o homem explicou:

– É que aqui é o único lugar onde existe luz suficiente para eu poder encontrá-lo.

9 Uma excursão por *deep learning*

1. Livro-texto:

- ✓ CHOLLET, F. “Deep Learning with Python”, Manning Publications, 2017.
- ✓ GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y. & COURVILLE, A. “Deep Learning”, The MIT Press, 2016. (<http://www.deeplearningbook.org/>)
- ✓ GULLI, A. & PAL, S. “Deep Learning with Keras: Implementing deep learning models and neural networks with the power of Python”, Packt Pub., 2017.

2. Livro online:

- ✓ NIELSEN, M. “Neural Networks and Deep Learning”, 2012-2019. (<http://neuralnetworksanddeeplearning.com/>)
- ✓ Deep Learning Book Brasil, 2018. (<http://deeplearningbook.com.br/>)

3. Livro de apoio:

- ✓ RASCHKA, S. “Python Machine Learning”, Packt Publishing Ltd., 2015.
(destaque para Chapter 13)

4. Papers marcantes + reviews:

- ✓ <https://adeshpande3.github.io/adeshpande3.github.io/The-9-Deep-Learning-Papers-You-Need-To-Know-About.html>
- ✓ LECUN, Y.; BENGIO, Y. & HINTON, G. “Deep learning”, *Nature*, vol. 521, pp. 436-444, 28 May 2015.
- ✓ BENGIO, Y.; COURVILLE, A. & VINCENT, P. “Representation Learning: A Review and New Perspectives”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 35, no. 8, pp. 1798-1828, 2013.
- ✓ BENGIO, Y. “Learning Deep Architectures for AI”, *Foundations and Trends in Machine Learning*, vol. 2, no. 1, pp. 1-127, 2009.
- ✓ SCHMIDHUBER, J. “Deep learning in neural networks: An overview”, *Neural Networks*, vol. 61, pp. 85-117, 2015.

- ✓ DENG, L. “Three Classes of Deep Learning Architectures and Their Applications: A Tutorial Survey”, APSIPA Transactions on Signal and Information Processing, 2012.
- ✓ VINYALS, O., TOSHEV, A., BENGIO, S. & ERHAN, D. “Show and tell: A neural image caption generator”, arXiv:1411.4555v2, 2015.
- ✓ XU, K., BA, J., KIROS, R., COURVILLE, A., SALAKHUTDINOV, R., ZEMEL, R. & BENGIO, Y. “Show, attend and tell: Neural image caption generation with visual attention”, arXiv:1502.03044v3, 2016.

5. Vídeos / apresentações:

- ✓ https://www.youtube.com/watch?v=_1Cyyt-4-n8
- ✓ Tutorial proferido por Geoffrey Hinton, Yoshua Bengio & Yann LeCun
[<http://www.iro.umontreal.ca/~bengioy/talks/DL-Tutorial-NIPS2015.pdf>].
- ✓ E muito mais cursos e tutoriais ...

6. Cursos acadêmicos:

- ✓ Aprendizado de máquina – Andrew Ng – Stanford University (Coursera)
[<https://www.coursera.org/learn/machine-learning>]
- ✓ Redes neurais para aprendizado de máquina – Geoffrey Hinton – University of Toronto [<https://www.coursera.org/learn/neural-networks>]
- ✓ Aprendizado de máquina – Nando de Freitas – Oxford University
[<https://www.cs.ox.ac.uk/people/nando.defreitas/machinelearning/>]
- ✓ Redes neurais artificiais – Hugo Larochelle – Université de Sherbrooke
[http://info.usherbrooke.ca/hlarochelle/neural_networks/content.html]
- ✓ Redes convolucionais para reconhecimento de padrões em imagens – Andrej Karpathy (versão 2016) – Stanford University [<http://cs231n.stanford.edu/>]
- ✓ Processamento de linguagem natural com *deep learning* – Christopher Manning – Stanford University [<http://web.stanford.edu/class/cs224n/>] e David Socher – Stanford University [<http://cs224d.stanford.edu/>]

7. Escolha de hiperparâmetros:

- ✓ How do we know how many layers to use, how many conv layers, what are the filter sizes, or the values for stride and padding? These are not trivial questions and there isn't a set standard that is used by all researchers. This is because the network will largely depend on the type of data that you have. Data can vary by size, complexity of the image, type of image processing task, and more. When looking at your dataset, one way to think about how to choose the hyperparameters is to find the right combination that creates abstractions of the image at a proper scale. (<https://adeshpande3.github.io/A-Beginner%27s-Guide-To-Understanding-Convolutional-Neural-Networks-Part-2/>)
- ✓ BERGSTRÄ, J., BARDENET, R., BENGIO, Y. & KÉGL, B. “Algorithms for Hyper-Parameter Optimization”, Advances in Neural Information Processing Systems 24 (NIPS'2011), 9 pages, 2011.

8. Transfer learning:

- ✓ Mesmo não dispondo de “zilhões” de amostras, é possível produzir redes neurais com arquiteturas profundas de alto desempenho, adotando na etapa de pretraining os extratores de atributos de redes neurais treinadas (por outros desenvolvedores) com “zilhões” de amostras e foco de aplicação distinto.

9. Outros conceitos relevantes:

- ✓ ReLU (e suas extensões)
- ✓ Mini-batch: LI, M., ZHANG, T., CHEN, Y. & SMOLA, A.J. “Efficient Mini-batch Training for Stochastic Optimization”, KDD’2014.
- ✓ Manifold (high-dimensional data lies in a low-dimensional manifold)
- ✓ Softmax (https://en.wikipedia.org/wiki/Softmax_function)
- ✓ Cross-entropy: JANOCHA, K. & CZARNECKI, W.M. “On Loss Functions for Deep Neural Networks in Classification”, *Schedae Informaticae*, vol. 25, pp. 49-59, 2016.

10. Data augmentation:

- ✓ Estratégia para evitar overfitting: Wu, R., Yan, S., Shan, Y., Dang, Q. & Sun, G. “Deep Image: Scaling up Image Recognition”, arXiv:1501.02876v2, 2015.

11. Dropout:

- ✓ Estratégia para evitar overfitting: SRIVASTAVA, N., HINTON, G., KRIZHEVSKY, A., SUTSKEVER, I. & SALAKHUTDINOV, R. “Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting”, Journal of Machine Learning Research, vol. 15, pp. 1929-1958, 2014.

12. Autoencoder (pretraining):

- ✓ VINCENT, P.; LAROCHELLE, H.; LAJOIE, I.; BENGIO, Y. & MANZAGOL, P.-A. “Stacked Denoising Autoencoders: Learning Useful Representations in a Deep Network with a Local Denoising Criterion”

13. Outras técnicas que contribuem para a regularização e o aprendizado:

- ✓ Max-norm regularization (permite taxas de aprendizado mais altas)
- ✓ Normalização / Escalamento da saída de cada camada intermediária
- ✓ Weight sharing
- ✓ Pooling | Downsampling

14. Métodos de otimização para o ajuste de pesos:

- ✓ LE, Q.V., NGIAM, J., COATES, A., LAHIRI, A., PROCHNOW, B., NG, A.Y. “On optimization methods for deep learning”, Proceedings of the 28th International Conference on Machine Learning (ICML’2011), pp. 265-272, 2011.
- ✓ PASCANU, R. & BENGIO, Y. “Revisiting natural gradient for deep networks”, arXiv:1301.3584v7, 2014.

15. Camadas convolucionais:

- ✓ ZEILER, M.D. & FERGUS, R. “Visualizing and Understanding Convolutional Networks”, Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV’2014), Lecture Notes on Computer Science, Springer, vol. 8689, pp. 818-833, 2014.
- ✓ <https://adeshpande3.github.io/adeshpande3.github.io/A-Beginner's-Guide-To-Understanding-Convolutional-Neural-Networks/>

16. Deep Recurrent Neural Networks

- ✓ GREFF, K., SRIVASTAVA, R.K., KOUTNÍK, J., STEUNEBRINK, B.R. & SCHMIDHUBER, J. “LSTM: A Search Space Odyssey”, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, to appear, 2017.

- ✓ VISIN, F., KASTNER, K., CHO, K., MATTEUCCI, M., COURVILLE, A. & BENGIO, Y. “ReNet: A Recurrent Neural Network Based Alternative to Convolutional Networks”, arXiv:1505.00393v3, 2015.
- ✓ CHO, K., VAN MERRIËNBOER, B., GULCEHRE, C., BAHDANAU, D., BOUGARES, F., SCHWENK, H., BENGIO, Y. Learning Phrase Representations using RNN Encoder–Decoder for Statistical Machine Translation, arXiv:1406.1078v3, 2014.
- ✓ Christopher Olah [<http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>]
- ✓ Andrej Karpathy [<http://karpathy.github.io/2015/05/21/rnn-effectiveness/>]

17. Attention models:

- ✓ BA, J., MNIH, V. & KAVUKCUOGLU, K. “Multiple object recognition with visual attention”, arXiv:1412.7755v2, 2015.

18. Generative Adversarial Nets:

- ✓ GOODFELLOW, I.J., POUGET-ABADIE, J., MIRZA, M., XU, B., WARDE-FARLEY, D., OZAIRY, S., COURVILLE, A., BENGIO, Y. “Generative Adversarial Nets”, arXiv:1406.2661v1, 2014.
- ✓ RADFORD A.; METZ, L.; CHINTALA, S “Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks”, arXiv:1511.06434v2, 2016.
- ✓ CHEN, X., DUAN, Y., HOUTHOOFT, R., SCHULMAN, J., SUTSKEVER, I. & ABBEEL, P. “InfoGAN: Interpretable Representation Learning by Information Maximizing Generative Adversarial Nets”, arXiv:1606.03657v1, 2016.
- ✓ <http://blog.aylien.com/introduction-generative-adversarial-networks-code-tensorflow/>

19. Restricted Boltzmann machines + Deep Belief Networks:

- ✓ FISCHER, A. & IGEL, C. “An Introduction to Restricted Boltzmann Machines”, Proceedings of the 17th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition (CIARP’2012), Lecture Notes on Computer Science, Springer, vol. 7441, pp. 14-36, 2012.
- ✓ <http://www.cs.toronto.edu/~hinton/deeprefs.html>
- ✓ <https://deeplearning4j.org/restrictedboltzmannmachine>

20. Deep Reinforcement Learning:

- ✓ LI, Y. “Deep Reinforcement Learning: An Overview”, arXiv:1701.07274v2, 2017.
- ✓ http://hunch.net/~beygel/deep_rl_tutorial.pdf
- ✓ Gorila (General Reinforcement Learning Architecture)
- ✓ Games e sistemas de recomendação

21. Ambientes de programação para *deep learning*:

- ✓ TensorFlow e Pytorch representam as duas bibliotecas de código aberto mais populares para *deep learning*.
- ✓ TensorFlow foi desenvolvido pelo Google e é adotado em várias soluções internas, como no sistema de reconhecimento de fala, no Gmail e no sistema de busca.
- ✓ PyTorch está sendo desenvolvido por pesquisadores da NVIDIA e de importantes universidades, como Stanford, Oxford e ParisTech. Twitter e Facebook usam PyTorch.
- ✓ Theano é outra biblioteca de código aberto para *deep learning*, muito similar ao TensorFlow.
- ✓ Keras é outra biblioteca para modelos de *deep learning*, podendo encapsular códigos de Theano e TensorFlow e, assim, implementar modelos complexos em poucas linhas de código.

- ✓ https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_deep_learning_software
- ✓ https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning#Software_libraries

22. Casos de estudo que evidenciam o poder de *deep learning*:

- ✓ No link [<https://www.quora.com/How-do-I-learn-deep-learning-in-2-months>], foram apresentadas frentes de aplicação que podem ser tomadas como casos de estudo (há hiperlinks de fácil acesso):

- As is tradition, start with classifying the [MNIST dataset](#)
- Try face detection and classification on [ImageNet](#). If you are up to it, do the [ImageNet Challenge 2016](#).
- Do a Twitter sentiment analysis using [RNNs](#) or [CNNs](#)
- Teach neural networks to reproduce the artistic style of famous painters ([A Neural Algorithm of Artistic Style](#))
- [Compose Music With Recurrent Neural Networks](#)
- [Play ping-pong using Deep Reinforcement Learning](#)
- Use [Neural Networks to Rate a selfie](#)
- Automatically [color Black & White pictures using Deep Learning](#)

10 Referências bibliográficas

- RUSSELL, S. & NORVIG, P. “Artificial Intelligence – A Modern Approach”, 3rd. edition, Prentice Hall, 2009.
- SEARLE, J.R. “Minds, Brains and Science – the 1984 Reith Lectures”, Penguin Books, 1991.
- TURING, A.M. “Computing machinery and intelligence”, In *Mind – A Quarterly Review of Psychology and Philosophy*, Vol. LIX No. 236, pp. 433-460, Oct. 1950.