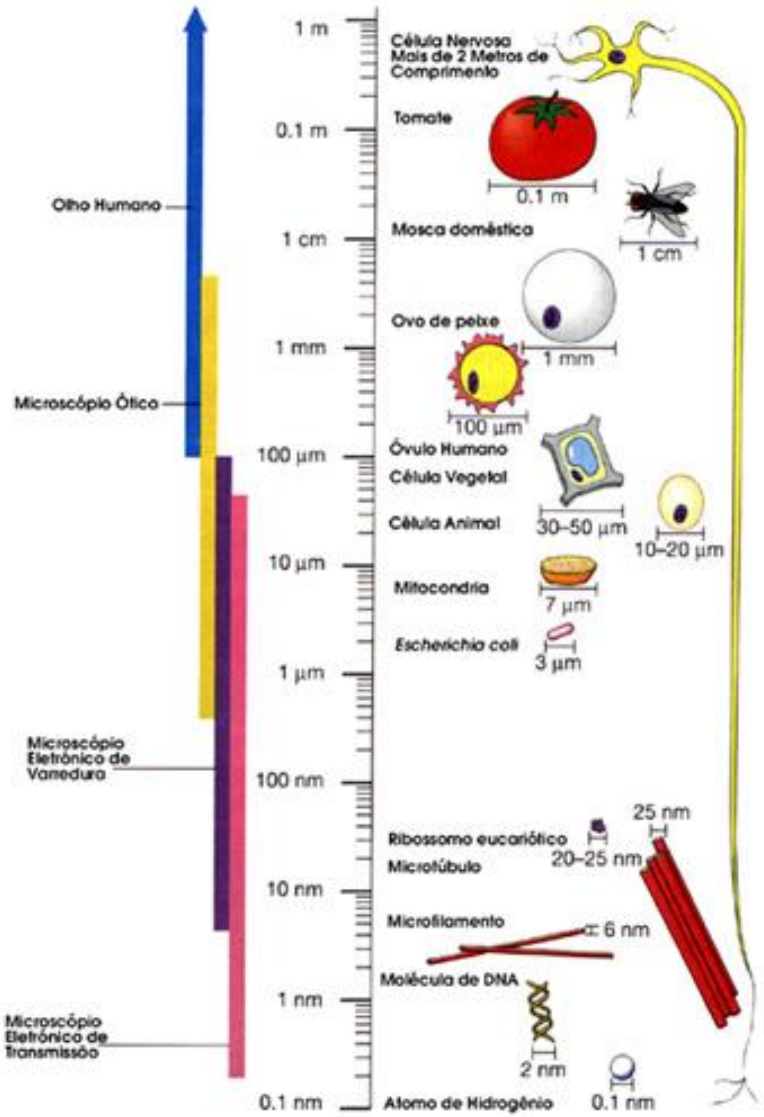
Introdução e Motivação

1. **Introdução 2**
2. **Alguns fatos históricos relevantes.....18**
3. **Algumas questões operacionais.....20**
4. **Cérebro Eletrônico.....22**
5. **Neurocomputação.....24**
6. **Referências 31**

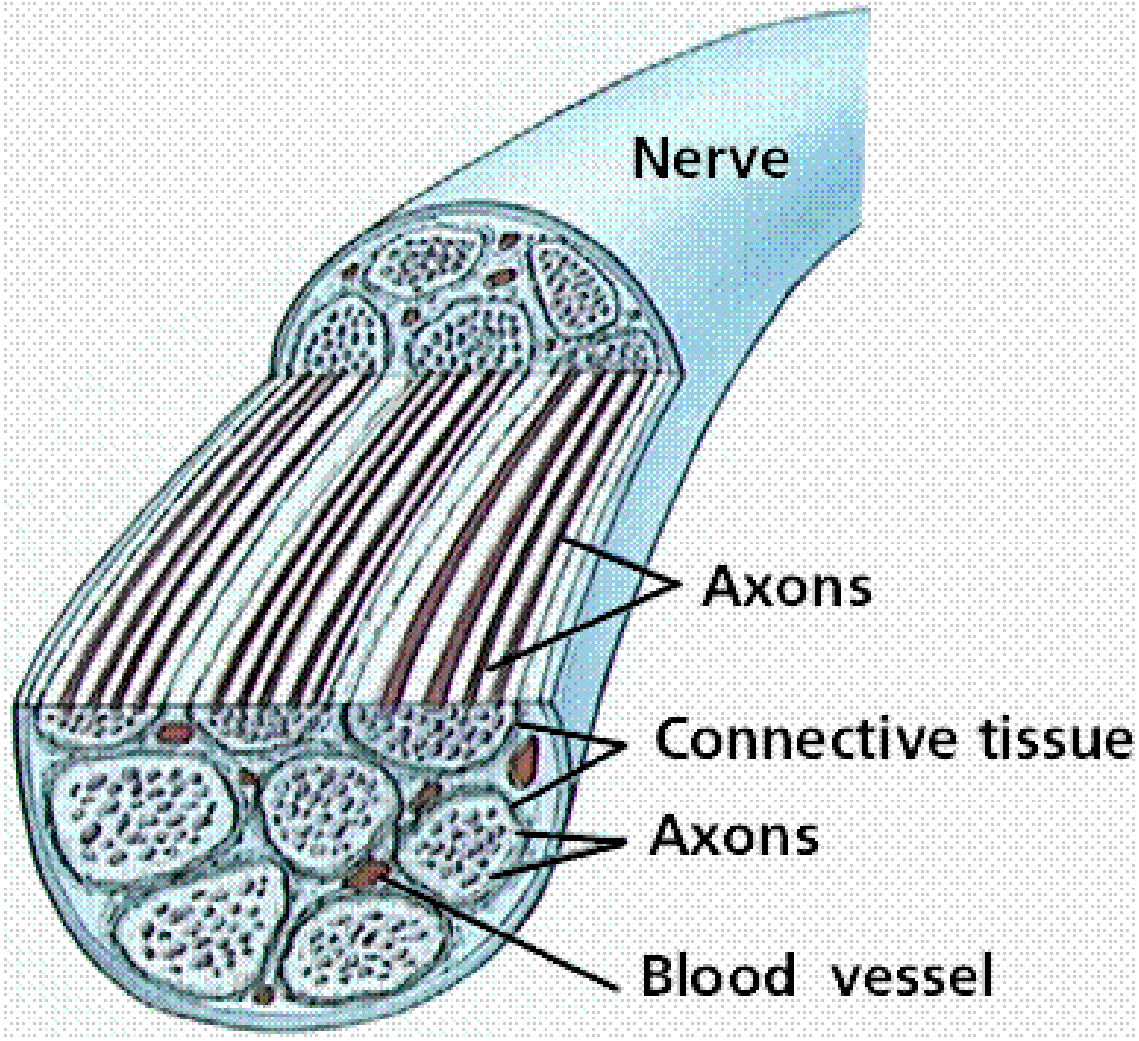
1. Introdução[1]

- Descoberta do microscópio: ~1590
- Descoberta da célula: ~1680
- Célula como unidade constituinte dos seres vivos: ~1830
- Constituintes básicos do cérebro são os neurônios: Ramón y Cajál, ~1909
- O cérebro humano pesa ~1,5 quilos e consome ~20% da energia do corpo;
- 100 gramas de tecido cerebral requerem ~3,5ml de oxigênio por minuto;
- O cérebro humano apresenta ~10^{11} neurônios e ~10^{14} sinapses ou conexões, com uma média de ~1000 conexões por neurônio, podendo chegar a ~10000 conexões.
- Em seres humanos, 70% dos neurônios estão localizados no córtex;
- Tipos de células neurais: horizontal, estrelada, piramidal, granular, fusiforme.
- Classificação de acordo com a função: sensoriais, motoras, intrínsecas.

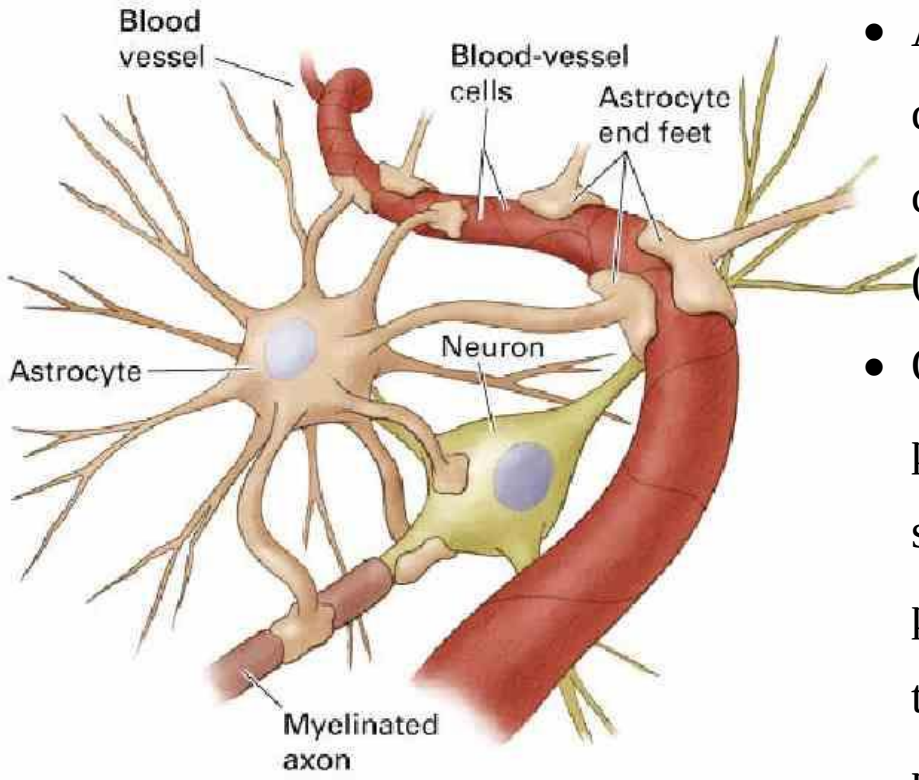
[1] Esta seção está parcialmente baseada em notas de aula produzidas pelo Prof. Márcio Luiz de Andrade Netto (DCA/FEEC/Unicamp)

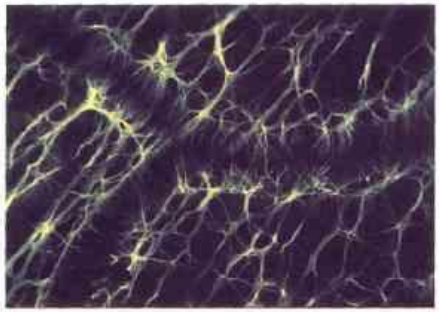


- O diâmetro do corpo celular de um neurônio mede de ~5µm (célula granular) a ~60µm (célula piramidal);
- Em termos fisiológicos, um neurônio é uma célula com a função específica de receber, processar e enviar informação a outras partes do organismo.
- Um nervo é formado por um feixe de axônios, com cada axônio associado a um único neurônio;
- Os nervos apresentam comprimentos variados, podendo chegar a metros.



Estrutura de um nervo

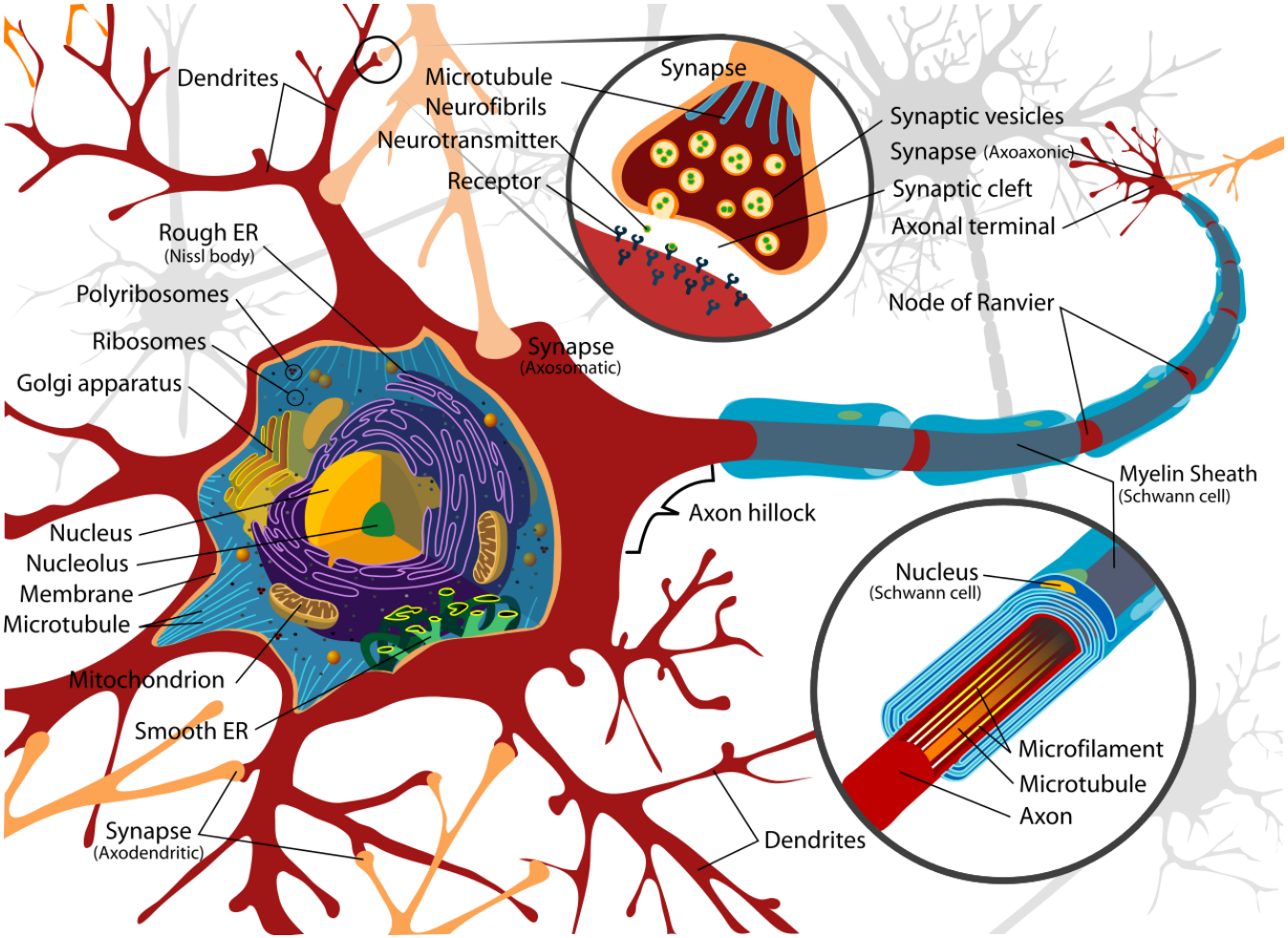




Brain photo

Cartoon reconstruction

- Além das células condutoras, o cérebro possui as células não-condutoras, formando a glia (neuróglia).
- Os astrócitos se caracterizam pela riqueza e dimensões de seus prolongamentos cito-plasmáticos, distribuídos em todas as direções. Funções: prover suporte estrutural, nutrientes e regulação química.
- Máxima distância de um neurônio a um vaso sanguíneo: ~50μm.

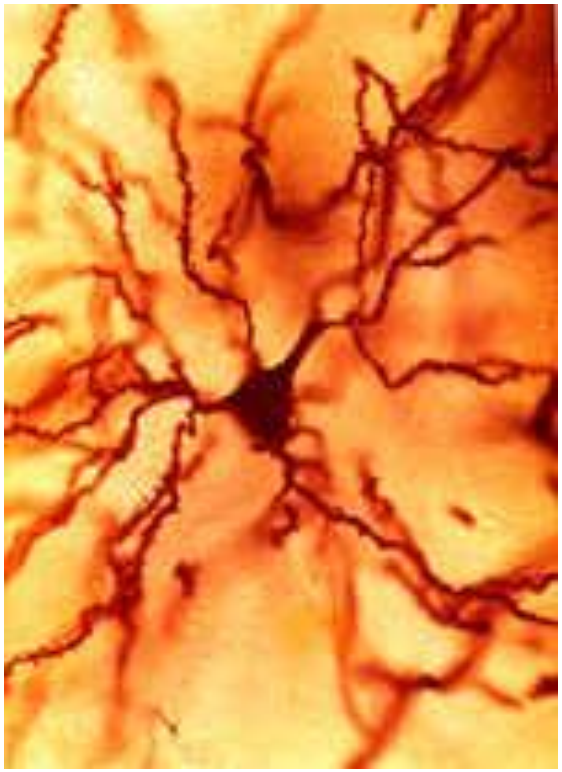


Elementos constituintes de um neurônio

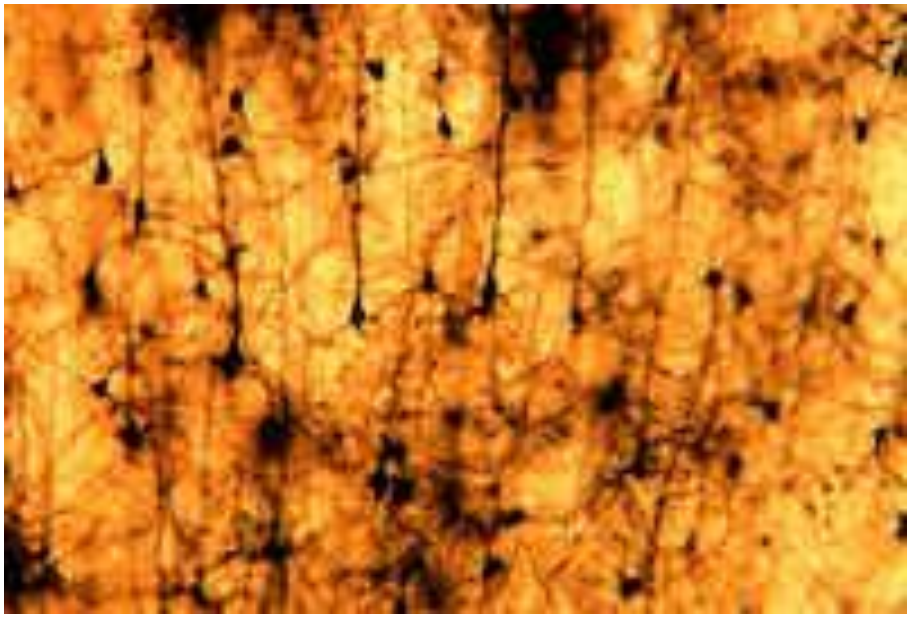
Extraído de: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a9/Complete_neuron_cell_diagram_en.svg/1280px-Complete_neuron_cell_diagram_en.svg.png]

- O neurônio biológico é uma célula especializada em transmitir pulsos elétricos, sendo que as suas principais partes constituintes são:
  - ✓ Membrana celular: é a "pele" da célula;
  - ✓ Citoplasma: tudo que está envolvido pela membrana;
  - ✓ Núcleo: contém os cromossomos (DNA);
  - ✓ Ribossomos: geram proteínas a partir de mRNAs;
  - ✓ Mitocôndria: gera energia para a célula (produz ATP);
  - ✓ Soma: corpo celular, excluindo dendritos e axônio;
  - ✓ Dendritos: parte do neurônio que recebe informação de outros neurônios;
  - ✓ Axônio: parte do neurônio que transmite informação para outros neurônios;
  - ✓ Bainha de mielina: revestimento externo lipídico do axônio, responsável por evitar a dispersão dos sinais elétricos, como uma capa isolante;
  - ✓ Terminais pré-sinápticos: área do neurônio que armazena neurotransmissores, os quais são liberados por potenciais de ação.

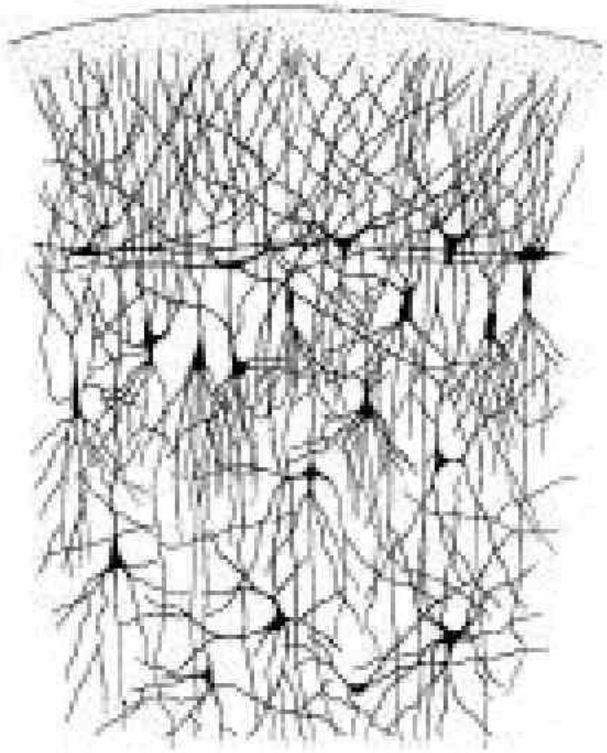
- Os neurônios sensoriais normalmente têm longos dendritos e axônios curtos. Por outro lado, os neurônios motores têm um longo axônio e dendritos curtos (transmitem informação para músculos e glândulas). Já os neurônios intrínsecos realizam a comunicação neurônio-a-neurônio no sistema nervoso central.



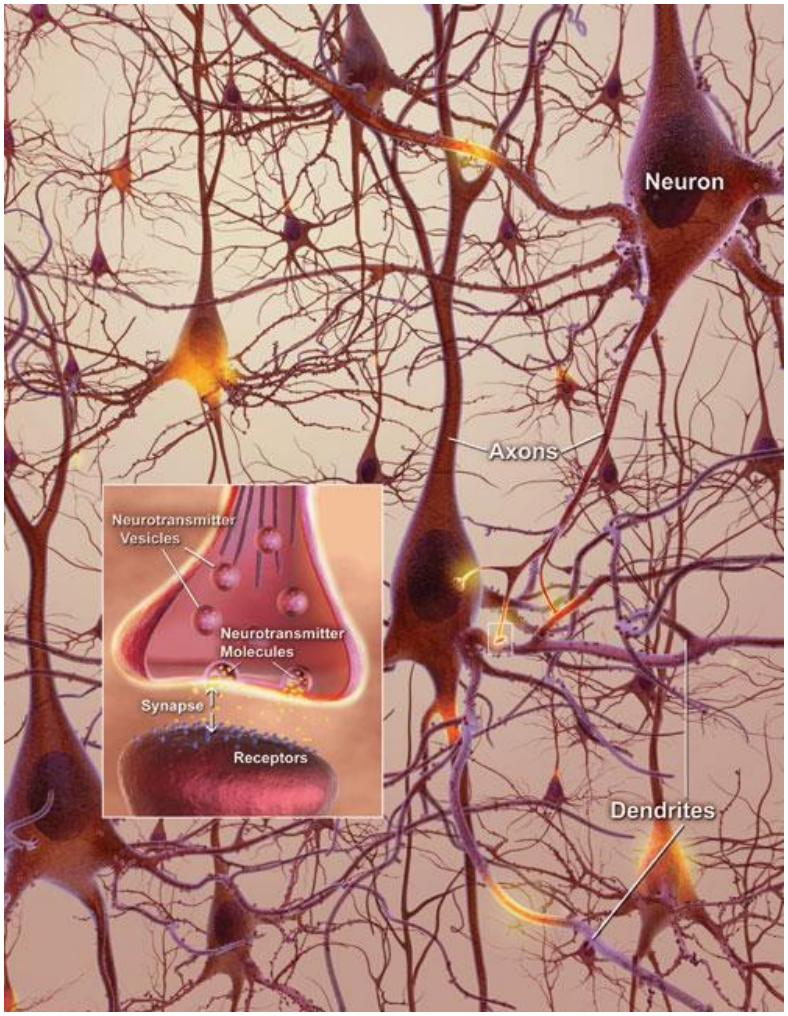
Neurônio piramidal do córtex de um hamster



Rede de neurônios piramidais do córtex de um hamster



Desenho do córtex realizado por RAMÓN Y CAJÁL (1909)



Organização tridimensional de neurônios

Extraído de: [http://happypeopleteamblog.ru/wp-content/uploads/2014/01/01_neurons_lg.jpg]

Organização tridimensional de neurônios

Extraído de: [http://img-new.cgtrader.com/items/54567/pyramidal-neurons-scene_3d_model_max_555c4314-c9ae-4000-a710-67b4826a903f.jpg]

- A estrutura e a funcionalidade do cérebro são governadas por princípios básicos de alocação de recursos e otimização sujeita a restrições.

LAUGHLIN, S.B. & SEJNOWSKI, T.J. (2003) "Communication in neuronal networks", Science, vol. 301, no. 5641, pp. 1870–1874.

- O ser humano pode reagir simultaneamente a uma quantidade bem limitada de estímulos, o que pode indicar que mecanismos de alocação de recursos (e.g. glicose, oxigênio) baseados em prioridades são implementados no cérebro.

NORMAN, D.A. & BOBROW, D.G. (1975) "On data-limited and resource-limited processes", Cognitive Psychology, vol. 7, pp. 44-64.

- Alguns autores defendem que o córtex humano pode ser modelado na forma de uma rede "mundo pequeno" (BASSETT & BULLMORE, 2006; SPORNS & HONEY, 2006; SPORNS, 2010) ou então uma rede complexa (AMARAL & OTTINO, 2004).

AMARAL, L. & OTTINO, J. (2004) "Complex networks", The European Physical Journal B – Condensed Matter and Complex Systems, vol. 38, no. 2, pp. 147-162.

BASSETT, D.S. & BULLMORE, E. (2006) "Small-world brain networks", Neuroscientist, vol. 12, no. 6, pp. 512-523.

SPORNS, O. & HONEY, C.J. (2006) "Small worlds inside big brains", Proceedings of the National Academy of Science, vol. 103, no. 51, pp. 19219-19220.

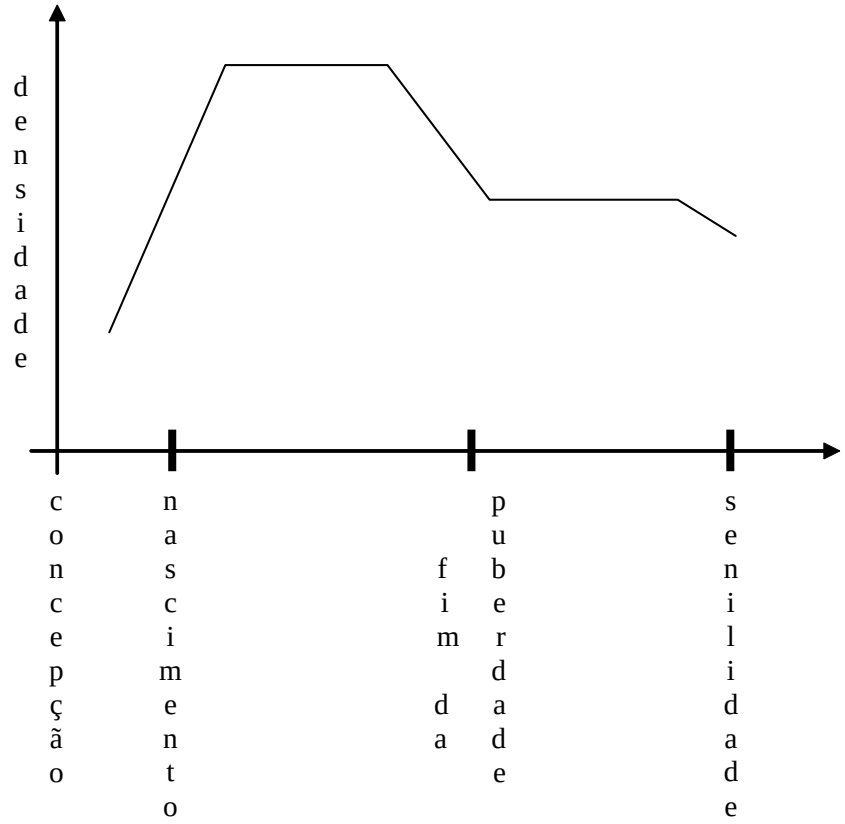
SPORNS, O. (2010) "Networks of the Brain", The MIT Press, ISBN: 0262014696.

- Há um expressivo aumento na densidade de conexões sinápticas da vida embrionária até a idade de 2 anos. Quando se atinge a idade de 2 anos, o ser humano apresenta a maior concentração de sinapses, a qual se mantém num nível elevado até o início da puberdade. Até o término da puberdade, há uma queda acentuada no número de sinapses.

- Esse processo de ampliação e redução de sinapses, contudo, não é homogêneo, pois nas regiões sensório-motoras este processo ocorre mais cedo, enquanto que ele é retardado em áreas associadas aos processos cognitivos.

- A redução de sinapses é dramática: o número de sinapses ao término da puberdade pode chegar a 50% do número existente com a idade de 2 anos. Há uma perda de até 100.000 sinapses por segundo na adolescência.

KOLB, B & WHISHAW, I.Q. (2008) "Fundamentals of Human Neuropsychology", Worth Publishers, 6th. edition, ISBN: 0716795868.



Evolução da densidade de sinapses ao longo da vida de um ser humano

- Acredita-se ser impossível que o código genético de um indivíduo seja capaz de conduzir todo o processo de organização topológica do cérebro. Apenas aspectos gerais dos circuitos envolvidos devem estar codificados geneticamente.

- Logo, para explicar as conformações sinápticas, recorre-se a dois mecanismos gerais de modelagem sináptica: *experience expectant* e *experience dependent* (KOLB & WHISHAW, 2008).
- Podas baseadas em *experience expectant* estão vinculadas à experiência sensorial para a organização das sinapses. Geralmente, os padrões sinápticos são os mesmos para membros de uma mesma espécie. A formação de sinapses no córtex visual depende da exposição a estímulos como linha de orientação, cor e movimento.
- Podas baseadas em *experience dependent* estão vinculadas a experiências pessoais únicas, tal como falar uma língua distinta. Defende-se que o padrão de conexões do lobo frontal seja formado por podas baseadas em *experience dependent*.
- De fato, a atividade do córtex pré-frontal tende a ser até 4 vezes mais intensa em crianças do que em adultos, o que permite concluir que poda de parte das conexões e fortalecimento de outras contribuem para a maturação cognitiva.

CASEY, B.J., TOTTENHAM, N., LISTON, C. & DURSTON, S. (2005) "Imaging the developing brain: what have we learned about cognitive development?", Trends in Cognitive Science, vol. 9, no. 3, pp. 104-110.

- Em síntese, é possível afirmar que o padrão de conexões no cérebro se inicia sem muita organização e com uma grande densidade de sinapses. Com a experiência de vida, um equilíbrio é atingido. Logo, como o padrão de conexões de um ser humano adulto é obtido a partir da experiência de vida, cada pessoa vai apresentar um padrão de conexões diferente, particularmente nas áreas especializadas em cognição. Por outro lado, o sistema sensório-motor em um adulto normal deve apresentar uma conformação similar à de outros adultos normais, visto que a poda nessas áreas é *experience expectant*.

FRANCO, A.R. (2009) "Resource Allocation of the human brain: a competitive equilibrium approach", Ph. D. Thesis, The University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico, USA.

- Há diferentes níveis de organização de conexões e diferentes perspectivas de análise, sendo as mais importantes a neuroanatômica (*diffusion tensor imaging*) e a neurofuncional (fMRI).

SAKKALIS, V. (2011). "Review of Advanced Techniques for the estimation of Brain Connectivity measured with EEG/MEG". Computers in Biology and Medicine, vol. 41, no. 12, pp. 1110–1117.

2. Alguns fatos históricos relevantes

- "Idade da Ilusão"
  - MCCULLOCH & PITTS (1943)
  - WIENER (1948): cibernética.
  - MINSKY & PAPPERT (1969): a disputa entre as portas lógicas e os neurônios artificiais para determinar a unidade básica de processamento.

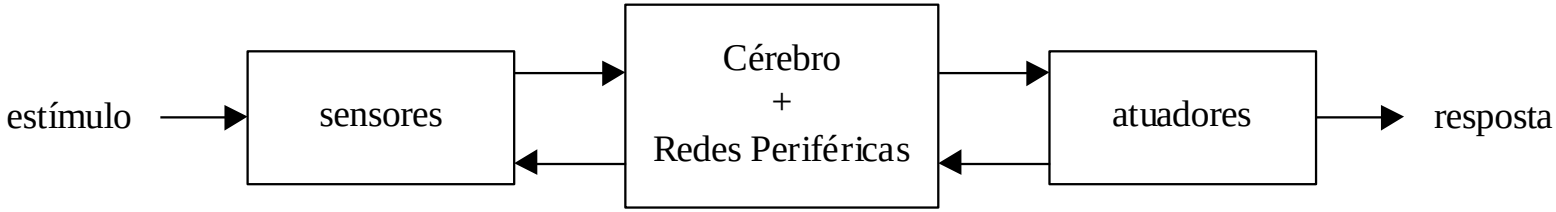
- "Idade das Trevas"
  - Entre 1969 e 1984, houve muito pouca pesquisa científica envolvendo redes neurais artificiais.

- "Renascimento"
  - HOPFIELD (1982)
  - RUMELHART & MCCLELLAND (1986)

- Desenvolvimento da capacidade de processamento e memória dos computadores digitais (simulação computacional / máquina virtual) (anos 80 e 90)
- GARDNER (1983; 2011): múltiplas inteligências
    1. Vivacidade verbal
    2. Vivacidade matemático-lógica
    3. Aptidão espacial
    4. Gênio cinestésico
    5. Dons musicais
    6. Aptidão interpessoal (liderança e ação cooperativa)
    7. Aptidão intrapsíquica (modelo preciso de si mesmo)
- EDELMAN (1988): neurodarwinismo
- MINSKY (1988): sociedade da mente

3. Algumas questões operacionais

- O cérebro é capaz de perceber regularidades no meio e gerar abstrações e associações que capturam a estrutura destas regularidades, possibilitando a predição de observações futuras e o planejamento de ações visando o atendimento de múltiplos objetivos.
- Organização básica do sistema nervoso (visão de engenharia)



- O uso das mãos: propriedades inatas
- Tratamento da linguagem: propriedades não-inatas
- Nosso cérebro se desenvolve conectando células cerebrais individuais para criar vias neurais. As experiências de vida moldam muitos padrões de conexão.

- Hemisfério esquerdo: aprendizado verbal, memória verbal, processamento serial, processamento simbólico, inferência.
- Hemisfério direito: aprendizado espacial, memória espacial, síntese da percepção, pensamento associativo.
- Grandes avanços no estudo do cérebro:
  - ✓ Neuroimagem funcional (ressonância magnética)
  - ✓ Neuroprótese
  - ✓ Células-tronco (se diferenciando em neurônios)
- Principais distúrbios do sistema nervoso:
  - ✓ Perda de memória
  - ✓ Esclerose múltipla
  - ✓ AVC (Acidente Vascular Cerebral) (hemorrágico ou isquêmico)
  - ✓ Epilepsia
  - ✓ Parkinson / Alzheimer (enfermidades neurodegenerativas)

- Nos anos 60, psicólogos e antropólogos realizaram estudos com populações do mundo ocidental e outras isoladas, como nativos de Papua-Nova Guiné, e concluíram que existem seis expressões corporais básicas comuns a todos os povos, de qualquer raça, origem ou etnia: felicidade, tristeza, surpresa, nojo, raiva e medo.

4. Cérebro Eletrônico

- Primeiro computador eletrônico de propósito geral: ENIAC (1946).
- No princípio, os computadores eram chamados de cérebros eletrônicos, pois acreditava-se que eles representavam um caminho direto para a reprodução da inteligência em uma máquina.
- Neurônios são de 6 a 7 ordens de magnitude mais lentos do que portas lógicas de silício (10^{-3} seg. $\times$ 10^{-10} seg.)
- Eficiência energética: Cérebro $\rightarrow$ 10^{-16} Joules/operação/seg
  Computador $\rightarrow$ 10^{-6} Joules/operação/seg

- Surgimento de uma nova e promissora metodologia: simulação computacional (máquina virtual).
- Simulação do pensamento, resolução de problemas e mesmo síntese de linguagem natural $\rightarrow$ nascimento da Inteligência Artificial (IA)
- Embora o computador tenha se transformado em um dos maiores sucessos tecnológicos da história da humanidade, ele não atendeu (ainda) as expectativas de reproduzir comportamento inteligente.
- Muitos são os exemplos de tarefas que são fáceis para o homem e difíceis para a máquina, e vice-versa.
- Já está disponível um conhecimento avançado da arquitetura fisiológica do cérebro, mas ainda é um mistério o mecanismo fundamental empregado pelo cérebro para realizar computação de alto nível (PFEIFER & SCHEIER, 1999).
- Teoria de rede e sistemas dinâmicos: ação conjunta de um grande número de nós, por acoplamento espaço-temporal.

- Da mesma forma que é inviável determinar, a partir do acompanhamento sequencial do estado lógico de seus componentes e das micro-operações realizadas, a tarefa (computação de alto nível) que está sendo executada por um computador convencional, também é inviável deduzir os mecanismos de processamento de alto nível do cérebro a partir do acompanhamento da atividade cerebral, em termos de sinais produzidos pela ativação dos neurônios (SCHALKOFF, 1997).

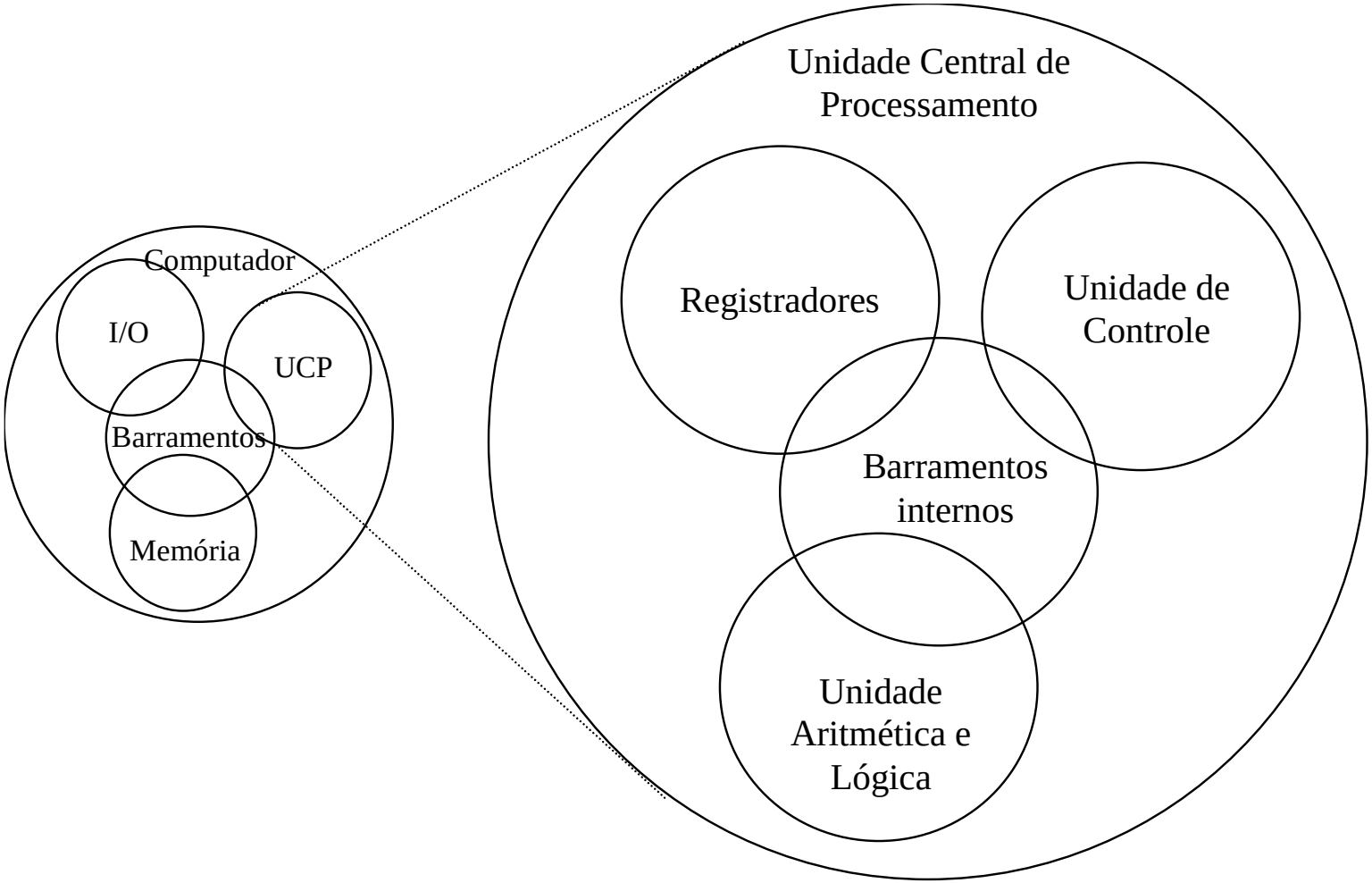
5. Neurocomputação

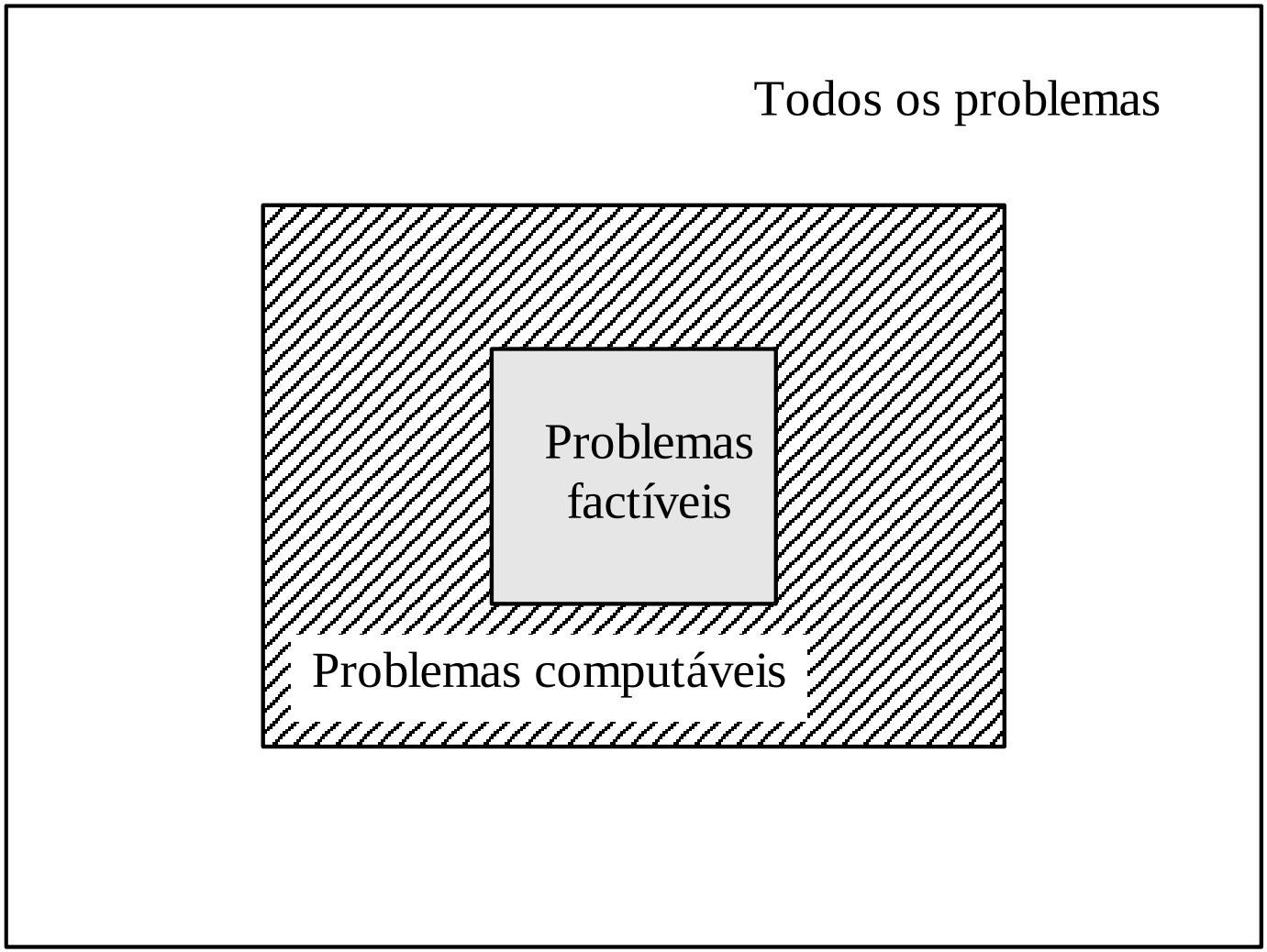
- É comum a associação do conceito de computação com aquele predominante no caso de uma arquitetura do tipo von Neumann: algoritmos são elaborados, implementados na forma de programas de computador e executados.
- No entanto, a computação realizada pelo cérebro requer um outro tipo de definição, que contemple processamento paralelo e distribuído, além de aprendizado. Uma arquitetura neurocomputacional é baseada na interconexão de

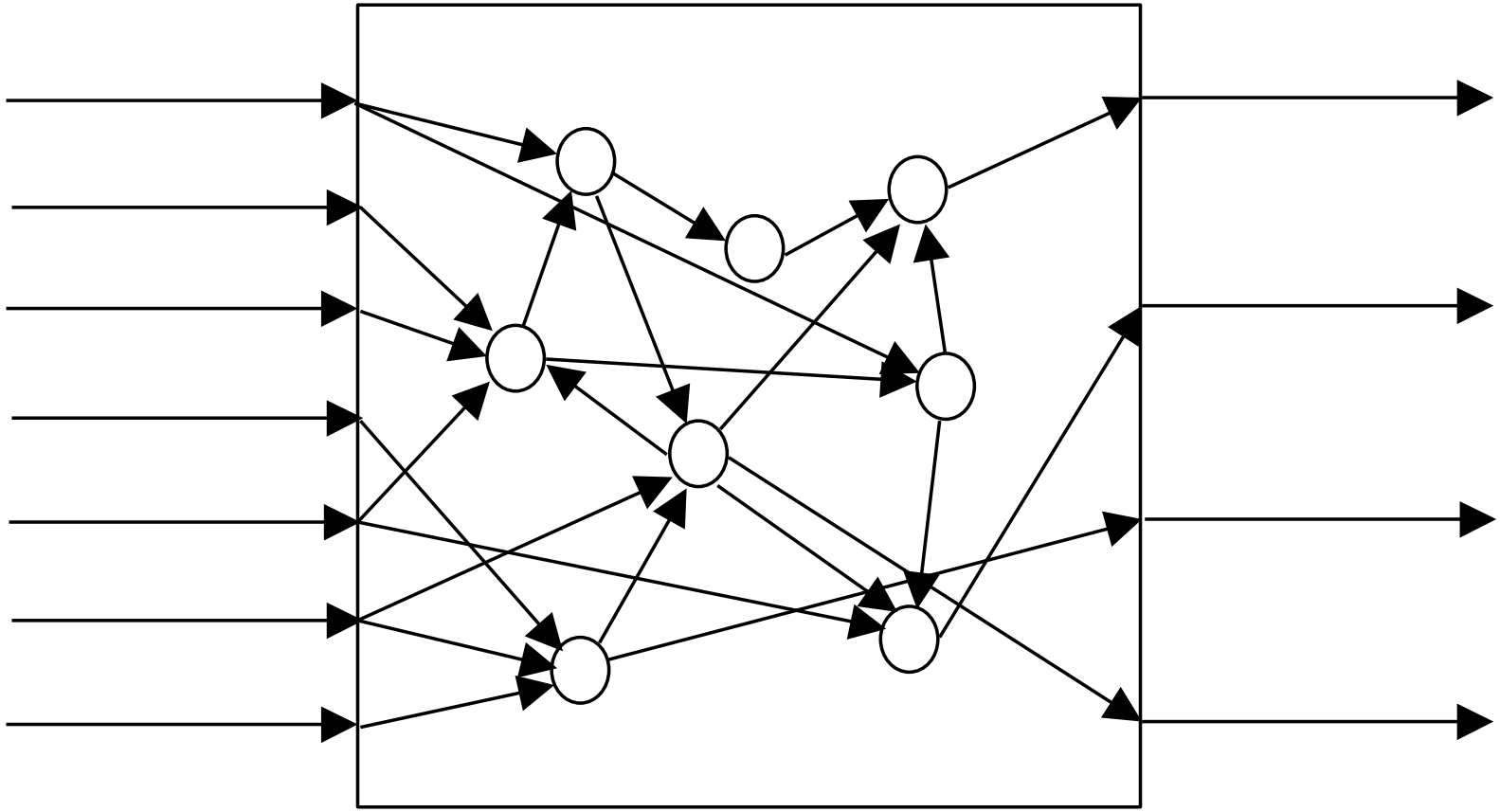
unidades de processamento simples e similares, denominadas neurônios artificiais e dotadas de grande poder de adaptação.

- Há uma diferença de paradigmas entre computadores com arquitetura do tipo von Neumann e redes neurais artificiais (RNAs): os primeiros realizam processamento e armazenagem de dados em dispositivos fisicamente distintos, enquanto RNAs usam o mesmo dispositivo físico para tal.
- A motivação que está por trás deste paradigma alternativo de processamento computacional é a possibilidade de elaborar mecanismos distintos de solução para problemas intratáveis ou ainda não-resolvidos com base na computação convencional, além de criar condições para reproduzir habilidades cognitivas e de processamento de informação muito desejadas em aplicações de engenharia, mas apresentadas apenas por algumas espécies animais. É importante saber distinguir entre problemas passíveis ou não de tratamento por intermédio deste paradigma conexionista, assim como saber explorar a natureza multidisciplinar desta área.

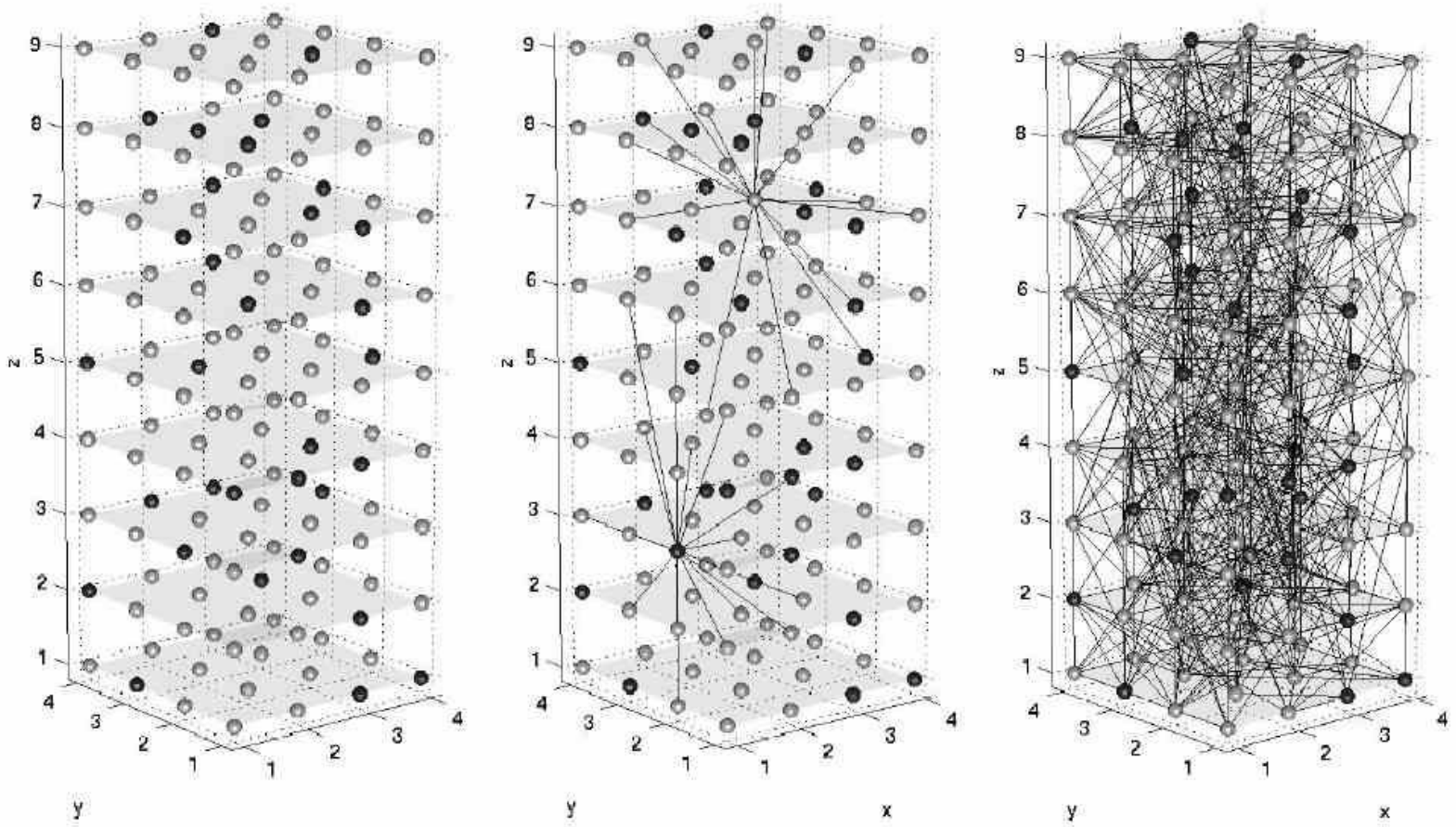
- Duas características geralmente presentes em problemas para os quais uma rede neural artificial representa uma das poucas alternativas de solução são: multidimensionalidade e existência de variáveis sujeitas a interações não-lineares, desconhecidas ou matematicamente intratáveis de forma direta, mas para as quais é possível coletar dados e aprender.
- O avanço tecnológico tem promovido uma capacidade impressionante de gerar e armazenar dados, o que torna relevante a busca por ferramentas computacionais capazes de manipular dados de forma intensiva, para os mais diversos propósitos. Um exemplo clássico é o sistema de tradução do Google, que realiza comparações de textos para encontrar correspondências entre palavras ou expressões de duas línguas. Há vários outros exemplos práticos (HEY et al., 2009), no que se convencionou chamar de *data-intensive science*, *networked science* ou simplesmente *big data*.
- O curso IA353 – Redes Neurais não é (ainda) *data-intensive*, mas é *data-driven*.


Computador
I/O
UCP
Barramentos
Memória
Unidade Central de Processamento
Registradores
Unidade de Controle
Barramentos internos
Unidade Aritmética e Lógica


Todos os problemas
Problemas factíveis
Problemas computáveis



Exemplo genérico de um neurocomputador



Rede = nós + conexões (paradigma conexionista)

6. Referências

EDELMAN, G.M. "Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection", Basic Books, 1988.

GARDNER, H. "Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences", BasicBooks, 1983.

HEY, T., TANSLEY, S. & TOLLE, K. (Eds.) The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery, Microsoft Research, 2009.

HOPFIELD, J.J. "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.*, vol. 79, pp. 2554-2558, 1982.

MCCULLOCH, W.S. & PITTS, W. "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", *Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 5, pp. 115-133, 1943.

MINSKY, M.L. "The Society of Mind", Simon & Schuster, 1988.

MINSKY, M.L. & PAPERT, S.A. "Perceptrons: Introduction to Computational Geometry", Expanded edition, The MIT Press, 1988 (1st edition: 1969).

PFEIFER, R. & SCHEIER, C. "Understanding Intelligence", The MIT Press, 1999.

RAMÒN Y CAJAL, S. "Histologie du système nerveux de l'homme et des vertébré", A. Maloine, Paris, 1909.

RUMELHART, D.E. & MCCLELLAND, J.L. "Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition", vols. 1 & 2, The MIT Press, 1986.

SCHALKOFF, R.J. "Artificial Neural Networks", The McGraw-Hill Companies, 1997.

WIENER, N. "Cybernetics", The MIT Press, 1948.