

A flexibilidade do paradigma conexionista

Carla Aparecida Cielo – PUCRS

O funcionamento do cérebro humano caracteriza-se por uma extrema plasticidade, flexibilidade, rapidez e capacidade para operar com vários estímulos ao mesmo tempo. Esse complexo funcionamento repousa sobre sua unidade básica funcional – a célula nervosa ou neurônio. Existem vários tipos de neurônios em relação a tamanho, forma e função, porém, a maioria deles contém basicamente três elementos – um corpo celular, um axônio e dendritos.

O corpo celular ou soma contém todas as estruturas que realizam a manutenção da célula e juntos formam a massa cinzenta do cérebro. O axônio é a via de saída da informação processada pela célula, formando a substância branca do interior do cérebro e, por medirem de milésimos de milímetro a mais de um metro de comprimento, promovem uma interligação neuronal de grande alcance e complexidade. Os dendritos, por sua vez, são ramificações do corpo celular que funcionam como receptores das informações conduzidas pelo axônio de outros neurônios (cerebrais e corporais).

O local em que ocorre a conexão interneuronal é um espaço denominado sinapse. Quando há atividade elétrica a ser propagada entre os neurônios, proteínas sintetizadas na própria célula e liberadas pelos axônios que conduzem o *output* daquela célula preenchem o espaço sináptico e são recebidas pelos dendritos como sinais de *input*. Tais proteínas são chamadas neurotransmissores, sendo que cada neurônio fabrica mais de um – dos mais de 50 conhecidos pelos cientistas –, conforme o tipo de estímulo a ser

transmitido (Davidoff, 1983; Caudill e Butler, 1990). Em função disso, pode-se afirmar que as sinapses não são entidades-fantasma, são materiais, concretas.

Existem em torno de 100 bilhões de neurônios no cérebro, cada um com possibilidade de realizar até 10 mil conexões, podendo, desse modo, receber até 10 mil mensagens ao mesmo tempo, formulando um único *output* que será comunicado a milhares de outros neurônios. O desenvolvimento estrutural das conexões neuronais ou sinapses é promovido pelos estímulos recebidos (desafios, dificuldades a serem enfrentadas, obstáculos, adaptações, sensações, entre outros), sendo que o período crítico desse desenvolvimento situa-se entre o nascimento e os quatro anos de idade quando o cérebro vai intensificando sua atividade mental e, com isso, acelerando seu nível metabólico.

Se os neurônios forem estimulados, se forem utilizados, fixam-se como instrumento do pensamento durante um período crítico que varia para as diversas áreas cerebrais que se especializaram, durante a filogênese, em processar determinados tipos de informações. Do contrário, se não forem estimulados, acabam atrofiando. Deste modo, observa-se que trabalhar simultaneamente com um grande número de informações é o que provavelmente possibilita a flexibilidade e expansão da inteligência humana.

Algumas evidências indiretas de pesquisas sugerem que o cérebro possa ter de fazer novas sinapses para armazenar informações e, conseqüentemente, a aprendizagem, além de reforçar as sinapses, também possa levar a mudanças na arquitetura cerebral, causando "reajustamentos" das redes neuronais intimamente relacionados aos mecanismos de crescimento e desenvolvimento cerebral dos primeiros anos de vida – a função faz o órgão.

Neste sentido, os neurônios são adaptáveis ou plásticos, podendo aumentar ou diminuir sua atividade sob determinadas condições, apresentando um efeito excitatório ou inibitório sobre a atividade elétrica dos outros neurônios a eles conectados. Esses padrões de atividade elétrica nas sinapses parecem ser o código cerebral utilizado para armazenar o conhecimento.

Os neurônios ajustam a força de suas sinapses, durante o processamento da informação, "marcando" uma rede de neurônios, sendo que o resgate de uma informação específica provavelmente ativa a rede neuronal que foi "marcada" ou engramada durante o processamento daquela informação. Deste modo, o armazenamento de informações está relacionado a mudanças sutis nas conexões neuronais (sinapses) que mapeiam rotas específicas de atividade elétrica neuronal para cada informação processada não ape-

nas por "marcá-las" pela repetição do estímulo, mas também em termos de duração da atividade elétrica sináptica – potencialização de longa duração. Quando as ligações interneurônias são reforçadas, as respostas neuronais são mais rápidas.

Assim, os neurônios interligados que entrarem em atividade simultaneamente reforçarão as suas sinapses e tenderão a se ativar mutuamente para recriar (lembrar) o padrão original de processamento de determinada informação. Esse tipo de rede funciona como uma memória auto-associativa, onde cada sinapse codifica várias informações e cada informação é codificada por várias sinapses.

O reforço das sinapses possibilita que um determinado conteúdo ative, mais ou menos instantaneamente, outros conteúdos que estiverem conectados a ele em rede. Essa conexão é feita de acordo com a forma como essas informações são aprendidas (Young e Concar, 1992) não apenas no que se refere à via sensitiva de *input*, mas também ao contexto em que ocorre a aprendizagem, aos aspectos emocionais, entre outros.

Pesquisas com pacientes amnésicos sugerem que o ato de lembrar provavelmente ativa os mesmos sistemas neuronais corticais responsáveis pela percepção dos estímulos sensoriais de *input*, em suas várias modalidades e inter-relações e que o ato de lembrar ativa, ao mesmo tempo, os módulos de registro da percepção sensorial a partir de uma parte da experiência, produzindo a lembrança como um todo – isso ocorre provavelmente devido à distribuição da informação em redes neuronais.

Conforme o tipo de informações que um neurônio está habituado a receber, vai adquirindo um determinado comportamento; passa a precisar de certa quantidade de energia, a produzir determinada dose de determinado neurotransmissor, a reagir de modo específico a determinado estímulo. Conforme o padrão formado por essas redes de neurônios, o cérebro entende um significado, codifica fragmentos de informações na memória e reconstrói as representações no momento em que elas se tornam necessárias.

Os modelos conexionistas surgiram com o objetivo de simular esta topologia neurológica do cérebro. Vários elementos computacionais simples, semelhantes a neurônios, são interconectados em redes, recebendo, em paralelo, simultaneamente, sinais uns dos outros através de suas conexões, exercendo uma influência mútua entre si. Cada elemento conduz um valor numérico de ativação que é computado dos valores dos elementos vizinhos na rede, utilizando uma fórmula matemática. Dependendo da quantidade de

sinais recebidos, a unidade pode ficar inativa ou ser ativada e as conexões se tornarem fracas ou fortes respectivamente. Em uma alusão neuronal, as conexões que conduzem pesos positivos são excitatórias e as que conduzem pesos negativos são inibitórias. Deste modo, a rede pode aprender e lembrar/recriar padrões de atividade elétrica, aproximando-se do processamento informacional realizado pelo cérebro humano (Smolensky, 1988).

Assim, pode-se definir rede neuronal artificial como uma máquina planejada para imitar o modo como o cérebro realiza um processo, sendo que a mesma é implementada pela utilização de componentes eletrônicos (*hardware*) ou pela simulação em *software*, tendendo, através da modificação dos pesos de suas sinapses, a armazenar e recuperar o conhecimento experiencial (Haykin, 1994).

Em um típico modelo conexionista, o *input* do sistema é resultante da imposição de valores sobre as unidades de *input* da rede. Esses valores numéricos configuram um código ou representação do *input*. A ativação das unidades de *input* se propaga ao longo das conexões até que um conjunto de valores de ativação emerge das unidades de *output*; esses valores codificam o *output* que o sistema computou a partir do *input*.

Entre as unidades de *input* e de *output* podem haver unidades ocultas que não participam da representação nem do *input* nem do *output*. Em tais redes de aprendizado com unidades ocultas, a própria rede "decide" quais as computações que as unidades ocultas realizarão, favorecendo a autoprogramação, porque essas unidades não representam nem *inputs* nem *outputs* (Smolensky, 1988).

A autoprogramação, característica de muitas redes conexionistas, são os procedimentos autônomos realizados pela rede que ajustam os pesos elétricos das unidades para eventualmente realizar algum tipo específico de computação, graças à presença das unidades ocultas. Tais procedimentos de aprendizado em geral dependem de um treinamento durante o qual a rede recebe amostras de pares *input/output* da função que deverá computar. O treinamento da rede utiliza exemplos de dados reais até que ela comece a fazer generalizações, ou seja, a produzir *outputs* corretos para *inputs* nunca vistos antes (Smolensky, 1988; Haykin, 1994).

Uma vez que o modelo tenha sido treinado, cada padrão de atividade de *input* gerará um padrão sobre as unidades ocultas. Esses padrões são configurações dinâmicas subjacentes, criadas pela rede durante a resolução do problema apresentado a ela. As propriedades dessas configurações são determinadas pela natureza dos pares de *input/output*, pelo inventário dos padrões de *inputs*

e pela arquitetura do modelo, sendo que a capacidade do modelo para aprender é estritamente determinada por sua arquitetura e outros aspectos de sua configuração inicial. Deste modo, a rede oferece uma alternativa de exploração sobre como as restrições biológicas influenciam a aquisição de conhecimentos (Seidenberg, 1994).

Através dos modelos conexionistas, compara-se o cérebro humano a um sistema composto por receptores, processadores e efetores, reconhecendo-se, porém, que certos níveis de organização estrutural são únicos do cérebro, não existindo ainda em redes neuronais artificiais. Os neurônios do cérebro estão conectados de modo muito mais complicado e intrincado do que as unidades numa rede conexionista, mas, embora as redes conexionistas estejam longe de simular modelos perfeitos das conexões neurológicas do cérebro biológico, elas representam o que de mais próximo existe das bases biológicas da cognição.

Os paradigmas cognitivistas sempre buscaram explicar a aquisição, o processamento, o armazenamento e a recuperação do conhecimento. Pode-se dividi-los em três grandes correntes: o paradigma behaviorista, o paradigma simbólico e o paradigma conexionista.

O paradigma behaviorista, comportamentista ou neuronal considera o ser humano como uma tábula rasa em que o conhecimento se inscreve após passar pelos sentidos. Esse paradigma apresenta uma visão empiricista totalmente voltada para a relação estímulo-resposta, na qual aprender ou armazenar informações significa saber responder a determinado estímulo, ou seja, dar a resposta esperada para um estímulo específico, não havendo preocupação com os processos que ocorrem entre o estímulo e a resposta para que uma resposta possa ser dada a um determinado estímulo. A ênfase repousa em uma relação que é externa ao processamento cerebral da informação.

O paradigma simbólico supõe que o conhecimento e os conceitos estão prontos na mente; que são armazenados na memória de forma estática, em blocos, e resgatados de forma também estática quando necessários, em forma de representações mentais. Esse paradigma considera a cognição como um processamento de unidades bem delimitadas, como o processamento de símbolos.

Ora, se os conceitos fossem armazenados em bloco, todas as pessoas lembrariam da mesma coisa frente ao mesmo estímulo, uma vez que tanto os constituintes básicos/culturais quanto os contextuais/individuais daquele estímulo estariam obrigatoriamente juntos numa unidade específica de memória. Em outras

palavras, ao considerar os conceitos como unidades fechadas em si mesmas, o paradigma simbólico não consegue explicar a recuperação de diferentes constituintes por diferentes pessoas, frente ao mesmo estímulo.

Outra limitação, intimamente relacionada com a indivisibilidade dos símbolos, é a serialidade dos processos mentais, em que cada símbolo é processado individualmente, um de cada vez, e cada ação é processada passo a passo. Se houver erro, o processo deve retroceder seqüencialmente até encontrá-lo, dispendendo bastante tempo. Esse tipo de processamento não explica como as pessoas conseguem realizar duas ou mais tarefas cognitivas ao mesmo tempo, como, por exemplo, dirigir o carro enquanto pensa no roteiro de menos engarrafamento que deve fazer para chegar em casa, ao mesmo tempo em que discute um assunto sério com o acompanhante que está sentado ao lado; não explica por que, frente ao mesmo estímulo, que deveria desencadear determinados conceitos, as pessoas referem pensamentos diferentes umas das outras e, ainda, referem evocar as mais diversas imagens e não conceitos; não explica por que várias imagens ou pensamentos, aparentemente desconectados, vêm à consciência ao mesmo tempo; não explica o conhecimento procedural ou intuitivo (que não pode ser explicado verbalmente); não explica onde está a mente, onde e como os símbolos imateriais são armazenados; não explica as atividades de alto nível como a possibilidade de fazer inferências, generalizações, solucionar problemas com rapidez, antecipar na mente/cérebro tudo o que vai ser dito ou escrito ao mesmo tempo em que se fala ou escreve; entre outros.

Pode-se dizer, então, que o paradigma simbólico se refere às representações semânticas de alto nível, aos conceitos, tentando explicar o processamento da informação através de modelos psicológicos que lidam apenas com símbolos, sem se preocupar com as estruturas orgânicas que permitem tal processamento, sugerindo a separação entre a mente e o cérebro. Essa postura de completa abstração se relaciona às teorias racionalistas.

Segundo Smolensky (1988), na busca de algumas explicações que pudessem dar conta do processamento lingüístico, o conexionismo sugeriu um nível intermediário – o nível subsimbólico ou subconceitual – entre os níveis neuronal e simbólico. Esse nível refere-se aos elementos constituintes dos símbolos, os subsímbolos, obtidos pela ativação de várias sinapses neuronais ao mesmo tempo. Em outras palavras, quando várias sinapses são ativadas, se produz um subsímbolo, uma rede de ativação sináptica “marcada”. Um padrão de ativação entre vários subsímbolos forma um

conceito cultural-individual. Poder-se-ia dizer que o nível subconceitual ou subsimbólico é representado pelas redes “marcadas” de sinapses neuronais. Smolensky (1988) afirma que o conhecimento, no conexionismo, repousa na força dessas conexões sinápticas.

Considera-se como principal característica das redes neuronais, numa visão conexionista, o fato de que as unidades não contêm significado em si mesmas. Desta forma, acredita-se que a representação de um conceito pode ser armazenada de maneira distribuída, ao longo da rede, através de um padrão de ativação entre as unidades. O resultado é que se pode pensar em coisas diferentes, utilizando-se as mesmas conexões; porém, com combinações diferentes entre elas.

Outra característica importante é o fato de as representações do conhecimento serem construídas *ad hoc*, isto é, no momento em que se precisa delas. Essas representações são construídas com base nas unidades mínimas e sem significado em si mesmas, localizadas nas sinapses neuronais. Tais sinapses são ativadas ao mesmo tempo, em forma de redes, formando um padrão de ativação elétrica correspondente à informação “X” da qual se necessita. Esse padrão distribuído permite que a representação parcial de uma unidade seja suficiente para resgatar toda a unidade, ou seja, uma parte da memória pode resgatar o todo. A ausência de padrões de armazenamento da informação em blocos estritamente delimitados e de regras gramaticais inatas permite que o paradigma conexionista ventile novas explicações para a aquisição do léxico e da sintaxe.

Referências bibliográficas

- CAUDILL, Maureen, BUTLER, Charles. *Naturally intelligent systems*. Cambridge: MIT, 1990.
- DAVIDOFF, Linda L. *Introdução à psicologia*. São Paulo: McGraw-Hill, 1983.
- HAYKIN, Simon. *Neural networks*. New York: MacMillan, 1994.
- SEIDENBERG, Mark S. Language and connectionism: the developing interface. *Cognition*, n. 50, 1994, p. 385-401.
- SMOLENSKY, Paul. On the proper treatment of connectionism. *Behavioral and Brain Sciences*, n. 11, 1988, p. 1-74.
- YOUNG, Stephen, CONCAR, David. These cells were made for learning. *New Scientist*, n. 21, 1992, p. 2-8.