

## Da história à implementação de sistemas conexionistas\*

**Cristina Magro (UFMG)**

**E**m 1994, fui aos Estados Unidos com uma bolsa-sanduíche de doutorado, morando por um ano e meio em Charlottesville, num complexo residencial de famílias de estudantes da Universidade de Virgínia. Todos os meus vizinhos eram mais jovens do que eu, de modo que a cada estação havia um novo bebê no condomínio, que os pais orgulhosos apresentavam aos amigos. Numa dessas ocasiões, nos primeiros dias de uma preguiçosa primavera, uma garotinha de cerca de vinte dias percorreu de colo em colo uma longa fila ao som de doces 'os' e 'ãns', até chegar a mim. Tentando tirar dela algum sorriso, despertar um olhar atento ou obter dela uma leve torção de sua boca ou língua minúscula, como se quisesse me imitar, comecei a fazer todo tipo de macaquices sonoras, como qualquer brasileiro o faria nessa situação. Exercitei minhas vibrantes com a úvula, a ponta da língua, os lábios. Diante do olhar espantado dos adultos – e

o que não dizer das outras crianças! – pensei que havia infringido normas locais de convívio com bebês, ou de higiene, algo assim. Mas em seguida foi a minha vez de ficar espantada, e logo aliviada, quando me perguntaram: Como é que você faz isto? Pensei: devem ser essas as nossas primeiras “aulas” de português...

Fui dali pensando por quantas e quais brincadeiras e afetos passam nosso aprendizado da língua materna e o aprendizado de outras habilidades que se imbricam naquela, num carrossel recursivo e potencializador de nossas realizações humanas adultas. Ainda: como uma criança seleciona, na miríade de eventos dos quais participa, os comportamentos que lhe são relevantes e por quais mecanismos os generaliza para outros, desencadeando novos comportamentos... Que elementos o imitar fornece ao criar, processo gêmeo no aprendizado – pois, na aquisição de todas as nossas habilidades, que são dependentes de uma história de interações recorrentes, nem tudo que se pensa que se ensina é aprendido e nem tudo que é aprendido foi ensinado...

O que Conexionismo tem a ver com isso? Ele reabilita a observação do comportamento natural, variado por mais de trinta anos, dos estudos da linguagem e da cognição; mostra que o aprendizado de algumas habilidades puxa pelos cordões o aprendizado de outras facilitando-as, impulsionando generalizações. Sendo um projeto biologicamente inspirado, propõe um vocabulário comum para explicar o comportamento observável gerativamente a partir de sua base neurofisiológica. O que o Conexionismo oferece é sobretudo um rico conjunto de instrumentos e de idéias e convida à criatividade, à reflexão e à reavaliação de postura dominantes nas Ciências Cognitivas.

## 1 A idéia básica das redes conexionistas

Um dos mais famosos mascotes do Conexionismo recente, também chamado de neoConexionismo, é o *NETtalk*, uma máquina que aprende a ler em voz alta, desenvolvida principalmente por Terrence Sejnowski e Charles Rosenberg<sup>1</sup>. Seu desempenho rapidamente estimulou a criatividade de pesquisadores em campos diversos, convidando os cientistas a lidar com fenômenos marcados pela variação e pelo desenvolvimento. O que permite ao *NETtalk* aprender a ler em voz alta são regras de aprendizagem que capacitam as redes neurais a desenvolver por si mesmas configurações de conexões, cuja força é feita variar de acordo com uma *Regra de Hebb*, durante o que no Conexionismo se chama de *a fase de aprendizagem da tarefa*.

Entre o local em que o texto entra no *NETtalk* e o local de onde emergem os sons há uma vasta rede de conexões reajustáveis. O que é importante entender é que redes conexionistas como o *NETtalk* não são programadas de forma a conter, embutidas em sua estrutura, regras que as levem a executar uma tarefa — assim, no caso do *NETtalk*, ele não foi alimentado com regras que o ajudariam a fazer diferentes textos corresponderem a sua enunciação oral, mas foi alimentado com regras de como aprender a pronunciar palavras. Apresentado a um texto gravado numa conversa e a uma versão escrita desse mesmo texto, o *NETtalk* trabalha com uma tabela de símbolos fonéticos que acionam um alto-falante e vai produzindo sons que, após um certo tempo,

correspondem ao texto. No início da fase de aprendizado, ele emite um “tatibitati” incompreensível, monotônico e ininterrupto. Aos poucos, podemos ouvi-lo estabelecendo a distinção entre sons, entre vogais e consoantes, discriminando espaços entre as palavras, impondo um ritmo às frases e modificando perceptivelmente tanto a pronúncia quanto a inflexão e o timbre de sua voz. Depois de um dia de treinamento, o *NETtalk* pode ler um texto simples na mesma língua sem muitos erros e sem passar por todo o processo de aprendizado novamente.

No Conexionismo, há um consenso de que muitas tarefas cognitivas, tais como aprendizado, memória, percepção, discriminação auditiva e visual e categorização, podem ser melhor executadas (e, portanto, compreendidas) por sistemas dinâmicos constituídos de componentes simples conectados maciçamente por regras apropriadas que, após um período de funcionamento, dão origem a um comportamento global correspondente à tarefa cognitiva estudada. Um motivo para essa crença é que a maioria das atividades cognitivas que habitualmente executamos não pode ter todas as suas condições especificadas previamente e que o aprendizado de uma atividade pode contribuir de muitas maneiras para o aprendizado de outra.

Ler um texto com a entonação exigida pela pontuação e pelo contexto é uma atividade muitíssimo mais complexa do que, por exemplo, jogar xadrez. Essa é uma atividade facilmente executável por um processador lógico seqüencial, pois aí as condições para o desenvolvimento do jogo podem ser inteiramente especificadas — donde terem sido as máquinas de jogar xadrez bem sucedidas e celebradas na era cognitivista. Nesta época, os trabalhos em Inteligência Artificial e nas Ciências Cognitivas concentraram-se na resolução de problemas como os geométricos, álgebra simbólica, demonstração de teoremas, a participação em jogos, diagnóstico médico, produção de alguns tipos de sentenças, todas elas atividades de domínio circunscrito, com o conhecimento sendo inteiramente provido ao computador. Da perfeita representação prévia de estados do mundo dependia o sucesso desses trabalhos.

No entanto, a grande maioria de nossas atividades cotidianas, como dirigir no trânsito, procurar pessoas numa multidão, abordar alguém para uma informação, conversar, ler, ouvir, contar e interpretar uma história, não têm nem podem ter especificadas de antemão todas as variações que envolvem, de modo que se possa alimentar uma máquina com todas as regularidades em que essas tarefas supostamente possam ser decompostas. A grande variedade de fenômenos para que as máquinas conexionistas têm se mostrado adequadas para simular é fruto de suas próprias “inferências” e “generalizações” com base na conectividade atingida pela rede ao longo de sua história de funcionamento, dispensando a sobrecarga “inata” do sistema. Esses estados globais atingidos pela rede são ditos como representando a atividade exercida.

A construção e o funcionamento dos diversos tipos de sistemas conexionistas são bastante simples. Em linhas gerais, os componentes de um sistema conexionista, num número qualquer estipulado, são multiconectados reciprocamente como neurônios em forma de uma rede e produzem entre si descargas de energia inibidoras ou excitatórias que acabam por influenciar a dinâmica da rede toda. Essas redes têm uma arquitetura em subsistemas ou

camadas imbricadas em número variável: uma delas, em geral, atua como uma superfície sensorial ou campo de estimulações para o sistema (*input*); há uma ou mais camadas de “unidades escondidas” nas quais as regras de mudança são especificadas e nas quais o peso relativo da força das conexões que varia com o tempo é operacionalizado; uma outra responde pelo *output* do sistema. Tomando-se alguns dos seus nós ou conexões como terminações sensoriais — como em uma retina, por exemplo —, apresenta-se ao sistema uma seqüência de padrões. Após um tempo de apresentação, ele irá redimensionar suas conexões de acordo com alguma regra de aprendizado como a *Regra de Hebb*, ou seja, irá tornar as conexões ativadas juntamente com o padrão apresentado mais fortes do que as outras que não estão ativadas naquele momento particular. Chama-se “fase de aprendizado” a essa primeira etapa em que o conjunto de padrões está sendo apresentado ao sistema e em que ele está reforçando algumas conexões entre seus componentes e não outras. Após essa fase, se se apresenta ao sistema um desses padrões, ele será reconhecido, uma vez que irá cair num estado global ou configuração interna que já terá atingido previamente ou, ainda, ele poderá inferir semelhanças entre esses e novos padrões que lhe forem apresentados.<sup>2</sup>

Diversas regras de aprendizado são hoje investigadas independentemente ou associadas à *Regra de Hebb*. É possível, então, que um sistema comece a funcionar operando com uma *Regra de Hebb*, depois de uma primeira etapa de aprendizado, utilize regras de retro-propagação, ou regras de associação pura, integrando de maneiras diversas as conexões firmadas previamente e as novas estimulações do sistema. Essa combinação de regras pode simular diferentes modos de aprender coerentes com observações realizadas no desenvolvimento.<sup>3</sup>

## 2 Processamento local seqüencial x processamento paralelo distribuído

Do ponto de vista operacional, o processamento simbólico característico do cognitivismo é localizado, uma vez que as manipulações dos símbolos operam sobre sua forma física localmente especificada. De fato, esta é a própria possibilidade do empreendimento cognitivista, que conceitualiza tanto os computadores digitais quanto as mentes como sistemas de símbolos físicos. Ele requer um processador lógico central e a informação sobre a qual as computações operam precisa estar armazenada em endereços precisos previamente à implementação de qualquer processo. Além disso, o processamento de informação simbólica é preferencialmente seqüencial, com regras sendo aplicadas uma de cada vez. As tentativas de processamento paralelo em sistemas não-conexionistas não trouxeram contribuições operacionalmente vantajosas na Inteligência Artificial nem nas Ciências Cognitivas, talvez porque a própria concepção de processamento algorítmico de informação simbólica seja incompatível com esse tipo de implementação.<sup>4</sup> Ainda, e isto é importante aqui, sendo local o processamento simbólico, este se vê irremediavelmente prejudicado sempre que há perda de parte dos símbolos e de suas regras.

Sendo caracteristicamente distribuídas e, em geral, paralelas, as operações do Conexionismo se espalham pela rede inteira de componentes do sistema, ficando suas propriedades emergentes resistentes a destruições localizadas. Uma das características mais animadoras dessas redes é, então, que, mesmo se elas forem parcialmente mutiladas, ou se juntamente com os padrões apresentados após a fase de aprendizado algum ruído for introduzido na exposição da rede a novos fenômenos, a tarefa pode ser executada. Elas são redes resistentes e plásticas. Ainda, operações paralelas e distribuídas agilizam o processamento e aliviam o mecanismo do sistema eliminando as longas seqüências algorítmicas para a realização de operações cognitivas diversas, como havia no cognitivismo. O processamento simbólico torna lentas e complicadas mesmo as atividades realizadas com presteza e agilidade por organismos simples como os insetos.

Outra característica significativa das redes conexionistas é que elas não precisam ser previamente enriquecidas com símbolos localmente especificados, ou com algo que poderíamos chamar de “conhecimento prévio” do sistema. Seu funcionamento pode partir de um estado aleatório e os padrões convergentes de atividade em que esse funcionamento resulta são fruto de uma história. Assim, se, no cognitivismo, o investigador tinha que alimentar suas teorias e simulações com uma decomposição lógica acurada e passo a passo de cada característica relevante da atividade cognitiva ou lingüística estudada, no Conexionismo os nós de processamento que integram as unidades de *input* e de *output*, sendo homogêneos e migrando para configurações estáveis ao longo de sua atividade, produzem a representação dessas habilidades envolvidas na tarefa visada pelo pesquisador. O comportamento das redes, as representações que delas emergem, dependem tanto de sua arquitetura quanto dos elementos utilizados no treinamento e das regras de aprendizado com as quais elas são implementadas. O modo pelo qual o sistema chega a estados convergentes é acompanhado por métodos estatísticos que rastreiam o processo de aprendizado e das generalizações realizados pelo sistema. A vedete aqui não é, como no cognitivismo, a lógica, mas a estatística, os cálculos não-lineares, dinâmicos.

A idéia de que essas perspectivas não precisam ser tomadas como opostas, mas possam ser vistas como complementares ou como embebidas uma na outra (a segunda englobando a primeira), como sugerem Varela, Thompson e Rosch em seu *The Embodied Mind*, não me parece boa. Na verdade, acredito que o sucesso de um projeto como o Conexionismo depende de uma séria reavaliação de diversos pressupostos inalienáveis do cognitivismo. Esses autores argumentam que uma mescla como esta permite resolver a pergunta pela origem e interpretação de símbolos.<sup>5</sup> Do meu ponto de vista, no entanto, este é um problema que precisa ser revisto na tradição dos estudos cognitivos e da linguagem, uma vez que aí não há espaço para se enfrentar esses fenômenos e outros, como o da experiência consciente, por exemplo, que, no meu entender, são fenômenos que surgem num âmbito interacional e conversacional.

Hinton, McClelland e Rumelhart, falando ainda de suas redes, mas já pré-configurando o Conexionismo novo, manifestam também a preocupação de que as operações paralelas do Conexionismo pudessem se mostrar inadequadas para lidar com a linguagem, que, segundo eles, requer uma

decomposição do tipo lógico. Segundo eles, o mais provável é que um sistema de processamento paralelo e distribuído devesse simular um sistema de von Neumann, ou seja, de processamento linear, para adequadamente espelhar o modo como o cérebro lida com a linguagem. Nesse sentido, também, essas abordagens seriam complementares<sup>6</sup>. De novo, o que tem parecido mais promissor é fazer variar o que se entende por conhecer e usar a linguagem, que na ortodoxia lingüística é identificado com a gramática, mas, aqui, não.<sup>7</sup>

### 3 O Conexionismo e o sistema nervoso

Embora as redes conexionistas venham se mostrando úteis e instigantes para lidar com sistemas dinâmicos diversos, desde sistemas moleculares a populacionais, é importante ressaltar que essa abordagem abriu uma possibilidade de cooperação entre a Inteligência Artificial e as Neurociências até então impensável. As características dessas redes são bastante coerentes com o que é hoje aceito nas neurociências. Sobretudo, há nessa área um consenso cada vez maior de que a atividade neuronal só se transforma em atividade neuronal — e não em algum tipo de processamento de significado ou de qualquer outra coisa.

Além disso, as redes conexionistas atendem ao imperativo de abandonar a visão localizacionista tradicional de que funções especializadas têm locais específicos e dirigidos no cérebro. É cada vez mais aceito que, embora se possa estimular regiões precisas do cérebro e obter uma certa coerência de comportamentos como resultado dessa estimulação, e embora lesões cerebrais mais ou menos semelhantes possam ter conseqüências mais ou menos semelhantes para diferentes indivíduos no domínio de suas interações no mundo, não se pode dizer, a não ser por uma infeliz metáfora, que uma determinada região abriga uma tal função, que é especializada nela ou responsável por ela. Os diversos subsistemas do cérebro, classificados por quaisquer parâmetros taxonômicos que se queira, agem de forma integrada. O questionamento da idéia de localização de funções foi feito pela primeira vez por Hughlings Jackson numa acirrada discussão com Paul Broca, em 1874, ao dizer que é diferente localizar uma lesão responsável por uma perturbação da fala e localizar a fala em si mesma. Desse modo, é mais razoável dizermos que as diferentes regiões envolvidas com funções particulares funcionam mais como fusíveis — que não contêm a energia, mas fazem parte de um sistema que a controla e distribui — do que como sedes de funções.<sup>8</sup>

Um estudo interessante sobre acesso lexical, uma área de pesquisas bastante popular sob a orientação do cognitivismo — por que a medida do tempo gasto entre a exposição a um item e a reação decorrente de sua identificação por parte do sujeito do experimento pretensamente correspondia ao tempo gasto pelo impulso nervoso para rastrear a representação daquele item no cérebro — é o trabalho de Albert, Yamadori, Gardner e Howes com pacientes com alexia.<sup>9</sup> Embora com a visão perfeita, pacientes portadores desse distúrbio não conseguem ler em voz alta palavras escritas. No experimento em questão, os pesquisadores expuseram os aléxicos a uma lista de palavras do

mesmo campo semântico, incluindo nela uma palavra que não pertencia a esse campo — um experimento como muitos outros nessa área. Os pacientes, embora não conseguissem ler as palavras da lista, sabiam apontar adequadamente aquela que não pertencia ao grupo. Nesse estudo, os autores questionam a idéia de localização e de representação de palavras no cérebro, a ativação dirigida de determinadas regiões especializadas em atividades específicas tais como o reconhecimento de palavras escritas e ainda levantam o problema de se determinar em que consiste uma tarefa aparentemente tão simples quanto identificar palavras escritas numa língua. Considerando-se que no Conexionismo, como dissemos anteriormente, as redes são mais resistentes a mutilações e uma atividade tem chances de ser executada mesmo em casos de danos na rede ou de ruídos, o resultado desse experimento encontra uma explicação plausível: os padrões globais atingidos devem representar as condições necessárias e suficientes para o tipo de reconhecimento que foi possível para aqueles pacientes, ainda que eles não soubessem dizer oralmente ou por gestos que item estavam discriminando na lista, seu significado, nada.

A idéia de que o sistema nervoso humano tem a estrutura de uma rede na qual seus componentes, os neurônios, exercem atividade paralela e multiconectada, mudando o peso de suas conexões em situações de aprendizado mediante a exposição a um conjunto de experiências ganha, com o Conexionismo, possibilidades de simulação e testagem antes desconhecidas. As redes conexionistas prestigiam a flexibilidade e a plasticidade do sistema nervoso, coisa em que os estudos em neurociências vêm há muito insistindo como uma de suas características fundamentais. Elas possibilitam a incorporação da história de um sistema como um importante elemento modelador das atividades do sistema como um todo, bem como dos subsistemas que o compõem. Não é demais enfatizar que todas essas questões são inteiramente intratáveis pelos modelos cognitivistas.

A idéia de que diferentes tipos de atividade podem modificar as conexões das redes é também ilustrativa de resultados de pesquisas em neurociências sobre lateralização cerebral. A dominância hemisférica estabelecida em termos estritos e absolutos, e determinada como característica típica da espécie, já vem sendo há muito questionada. O acompanhamento da recuperação de casos de afasia, especificada de acordo com a profundidade e a duração da patologia, mostram que mulheres e homens, canhotos absolutos e canhotos relativos, canhotos esporádicos ou filhos de uma linhagem de canhotos, utilizam diferentemente os dois hemisférios.

Há ainda o caso clássico de Paul que, submetido a secção do corpo caloso, não exibia o mesmo tipo de comportamento discriminatório para leitura e reconhecimento de formas que é comum em casos como esse. Após uma cirurgia que secciona o corpo caloso, que separa os dois hemisférios cerebrais, é possível submetemos o paciente a uma situação experimental em que se evidencia a dominância hemisférica para diferentes tipos de atividades. Os dois hemisférios são expostos a estímulos de diferentes naturezas, que são apresentados ao olho e ouvido direitos (estimulando, portanto, o hemisfério esquerdo) e ao olho e ouvido esquerdos (estimulando, portanto, o hemisfério direito). Na grande maioria dos casos, se se apresenta uma palavra escrita ao olho esquerdo (hemisfério direito) do paciente, ele permanece impassível porque

não a vê. No entanto, se uma imagem é apresentada ao mesmo olho e, em seguida, se solicita ao paciente que selecione, dentre objetos dispostos sobre uma mesa, aquele que lhe foi apresentado na imagem, ele executará a tarefa sem hesitação. O contrário ocorrerá se a palavra escrita e a imagem forem apresentadas ao olho direito, estimulando portanto o hemisfério esquerdo, em geral dominante para a linguagem. Paul, um jovem nova-iorquino de quinze anos, podia reagir a ambos os tipos de estímulos independentemente de eles serem exibidos a um ou a outro hemisfério. Para sorte dos pesquisadores, tendo sido submetido a esse tipo de cirurgia, Paul se ofereceu para participar das pesquisas que acabaram por exibir essa possibilidade — minoritária, mas uma possibilidade — de configuração anatômico-funcional do cérebro.<sup>10</sup>

Parece-me ainda inteiramente plausível que uma rede conexionista possa simular com facilidade os resultados da pesquisa do médico japonês Tadanobu Tsunoda. Ele mostrou a influência da língua materna na lateralização hemisférica cerebral relativa à dominância para diferentes sons da língua, comparada aos sons de música, de animais e da natureza. Tsunoda concluiu em seu estudo que indivíduos que têm como língua materna uma língua tonal, têm dominância hemisférica diferente daqueles que têm como língua materna uma língua não-tonal. O que ele demonstra com esse estudo são as conseqüências da ontogenia do indivíduo na modulação de seu próprio organismo, questionando frontalmente a dominância lateral esquerda inatamente especificada como se quer tradicionalmente.

Resultados interessantes e favoráveis à abordagem conexionista nas neurociências foram produzidos também por Skarda e Freeman sobre a atividade do bulbo olfatório. Sua hipótese é de que a discriminação, o reconhecimento e o aprendizado de odores depende de processos neurais caóticos semelhantes aos que produzem efeitos de auto-organização e de emergência de padrões e reclamam por um vocabulário e parâmetros de análise que permitam construir uma abordagem para esses fenômenos diferente da abordagem do processamento computacional e informacional utilizada na área.<sup>11</sup>

### 3.1 O conexionismo e a memória

No aporte conexionista, a memória é tratada de maneira distinta da usual, sendo essa uma das peculiaridades mais celebradas dessa abordagem. Nela, o conhecimento e as representações não existem em lugar nenhum, não são armazenadas, mas são permanentemente recriadas ao longo da atividade da rede de conexões.<sup>12</sup>

O conceito de memória como arquivo, como tradicionalmente concebido, além de não contemplar nossa experiência com as lembranças — ou a falta delas —, carrega consigo uma série de problemas epistemológicos e operacionais incontornáveis tais como:

- i) a especificação de quantos ou de que elementos ou características de um evento precisam ser armazenados no cérebro (mente?) para a memória poder ser constituída enquanto tal;
- ii) o processo pelo qual um evento experienciado pelo indivíduo no

âmbito de suas relações passa para o seu interior compondo um tal acervo no cérebro (mente?);

- iii) a determinação de que eventos/correlações são necessários ou suficientes para que parte desse acervo seja rastreado ou recuperado em circunstâncias determinadas;
- iv) a dificuldade de oferecer explicações razoáveis para o fluxo variável de nossas lembranças e para correlações inesperadas — a de uma memória constituída de representações sempre inadequadas? O apelo para a esfera das incompletudes acidentais?

Nas palavras de Hinton, McClelland e Rumelhart:

A imprecisão da distinção entre uma lembrança verdadeira e uma confabulação ou possível reconstrução parece ser uma característica da memória humana (Bartlett, 1932; Neisser, 1981). A natureza reconstrutiva da memória humana é surpreendente apenas porque se opõe às metáforas que normalmente utilizamos. Costumamos pensar que um sistema de memória deve funcionar armazenando cópias literais dos elementos para logo recuperar a cópia armazenada, como se se tratasse de um arquivo ou de uma típica base de dados de um computador. Esses sistemas não se podem reconstruir naturalmente.<sup>13</sup>

Além de ser um modelo implausível de nossa memória, na implementação tecnológica desse tipo de construto, a computação da memória de conteúdo direcionável tem como principal dificuldade operacional a execução de uma busca eficiente, uma vez que ela tem que ser uma busca extensiva para “casar” itens que melhor se assemelhem. No Conexionismo, a memória não “está lá” no sistema aguardando o momento de ser fisgada por algum rastreador de representações específico. Os padrões que não estão ativos nessas redes não existem em lugar nenhum. Interações entre os componentes do sistema permitem que o conjunto de unidades ativas influencie outras unidades completando um padrão e gerando um elemento que seja condizente com o item em questão. Em atividade contínua, a rede vai, então, gerando novos padrões estáveis de atividade que poderão ser ativados integral ou parcialmente em circunstâncias diversas de exposição do sistema a algum item particular. Assim, como afirmam Hinton, McClelland e Rumelhart, os padrões podem ser recriados porque a força de conexão entre as unidades foi modificada adequadamente e, ainda, cada força de conexão intervém na constituição de muitos padrões, de modo que “é impossível indicar um lugar particular onde esteja armazenada a memória de um elemento particular”.<sup>14</sup>

Ainda que hoje as teses correntes nas Ciências Cognitivas estejam postulando um colapso dos níveis mental e neuronal criando a entidade mente-cérebro, insisto em perguntar, acima, qual a natureza postulada dessas representações que constituem a memória. Há razões neurofisiológicas para essa pergunta: ao que parece, o sistema nervoso não tem condições de captar, processar e armazenar informações sob a forma de representações como seria necessário nesse tipo de abordagem. Insisto: a atividade neuronal gera atividade neuronal e sua descrição em termos de representação de conteúdos e de

computação simbólica pode orientar as pesquisas para um domínio indesejável para a compreensão dos fenômenos do conhecimento.

A idéia de memória como um armazenamento de informação no interior de um sistema pode ser dispensada nos modelos conexionistas. Se ainda encontramos com frequência esse vocabulário nas descrições desses modelos, é mais por hábito e necessidade remanescentes da tradição da qual esses estudos fazem parte, estudos que insistem em “enriquecer” o indivíduo, seja inatamente, seja como resultado de sua experiência, para que ele dê conta de seus afazeres no mundo. Ainda, o uso desse vocabulário me parece mais um imperativo de tratar fenômenos cognitivos como propriedades de um indivíduo do que a expressão aguda dos processos dinâmicos, históricos e dependentes de diferentes âmbitos, em curso nas redes construídas à moda conexionista.<sup>15</sup>

#### **4 O Conexionismo, a genética e o inatismo lingüístico**

O Projeto Genoma prossegue na sua tentativa de mapear todos os genes humanos, isolando aqueles que são específicos para doenças ou características, tendo estipulado o ano de 2005 para ter cumprido integralmente sua tarefa. Depois de 8 anos de pesquisa, apenas 4% do material genético responderam às perguntas formuladas pelos pesquisadores. E não se sabe ao certo quanto dos 96% restantes seriam essenciais para se decifrar o código genético da espécie. Por quê?

Os resultados dessa cruzada podem sugerir que o projeto está fazendo a pergunta errada e tem superestimado a independência do DNA de todos os demais processos evolutivos e de desenvolvimento. Estudos bastante convincentes têm insistido no fato de que as próprias condições de manutenção de propriedades associadas ao DNA dependem da história do desenvolvimento do organismo que o abriga, desde sua concepção, a não ser em casos triviais como cor de cabelo, cor dos olhos, formato de rosto e mãos etc. Enquanto uma proteína, o DNA vive imerso nas circunstâncias de uma célula que tem um trajeto de desenvolvimento congruente com as circunstâncias da ontogenia de um indivíduo.

A idéia de especificidade genética é inteiramente consoante com a teoria de processamento de informação que encontramos ainda hoje em áreas diversas como nos estudos da linguagem e da comunicação.<sup>16</sup> No entanto, pesquisadores como Susan Oyama têm argumentado exatamente pela insuficiência das abordagens que tratam a herança como fenômeno de responsabilidade daquela proteína apenas.<sup>17</sup>

Pessoalmente não conheço estudos que possam ser chamados de conexionistas nessa área, mas o conjunto de idéias que vimos até aqui expondo como orientadores das pesquisas no Conexionismo são consoantes com a afirmação, cada vez mais difundida, de que a dicotomia natureza e cultura estabelece uma batalha perdida para todos os que insistem em estipular os limites precisos da contribuição de um dos lados, genético ou interacional, no desenvolvimento dos indivíduos.

Isto não é diferente para os estudos da linguagem. Vivemos sob a égide do cognitivismo perseguindo uma idéia que subjaz a todas as pesquisas no projeto chomskyano: a especificação da Gramática Universal, tida como sendo parte da dotação biológica da espécie e que deveria prover a explicação de como a linguagem pode ser aprendida — além de seus corolários, tais como a especificação das línguas naturais possíveis. Essa proposta restringe drasticamente o papel da experiência na aquisição da linguagem, alegando que o *input* da criança é pobre, ou seja, que não exemplifica todos os aspectos nucleares do conhecimento lingüístico, ou é excessivamente rico, tal que permite generalizações que, no entanto, nenhuma criança faz.

À custa de muita abstração e de uma verdadeira assepsia observacional, a forma dessa gramática está hoje reduzida a uns poucos princípios e alguns parâmetros de variação. É o caso da postulação das categorias vazias que o gerativismo criou para conseguir enquadrar dentro de seu modelo línguas diferentes que não exibiam certos traços que a teoria tem como indispensáveis — como acontece com o verbo de ligação que, embora ausente no árabe, é postulado como existindo aí, mas não fisicamente. É ainda o caso da distinção entre línguas puras e línguas impuras, estas exibindo categorias que o gerativismo tem como contraditórias e, por isso mesmo, devem ser excluídas das preocupações da teoria — como acontece com uma variante do russo falada pela aristocracia russa do século XIX que tem elementos do francês e que, mesmo tendo sido uma língua com falantes nativos, um dos requisitos da teoria, tem que ser desprezada por seu pecado original.<sup>18</sup>

Mesmo as abordagens alternativas ao programa gerativista que têm surgido nos últimos trinta anos assumem os pressupostos de Chomsky sobre a natureza da linguagem e os objetivos da teoria lingüística do modo como ele formulou. De fato, Chomsky gerou uma teoria formalmente elegante e internamente consistente. A primazia do conhecimento gramatical sobre o desempenho, a compreensão do segundo dependendo crucialmente do entendimento do primeiro, faz com que a maioria das pesquisas na área se concentrem em detalhes da competência gramatical e não em como ela é usada. A consideração de quaisquer elementos ou efeitos de natureza pragmática foi banida da área em nome de algo preconizado como mais fundamental e essencial no fenômeno da linguagem. Daí que a avaliação desse programa, à luz de outros desenvolvimentos de pesquisa, é uma tarefa imperiosa.

Ainda que o projeto chomskyano não tenha se iniciado com uma motivação biológica, inspirado que foi pelas ciências da natureza mais do que pelas ciências do homem, como já afirmamos anteriormente, sua formulação do inatismo diz respeito a um domínio fenomenológico particular que é a biologia: ele postula que os neonatos trazem impressos no cérebro os princípios dessa Gramática Universal. Um dos questionamentos imperiosos aqui é, então, a plausibilidade de haver uma codificação genética de princípios gramaticais que constituam restrições à experiência lingüística da espécie, para mim uma idéia no mínimo anacrônica se formos levar a sério a colaboração interdisciplinar indispensável no campo: como os genes codificariam regras ou princípios gramaticais que fariam parte da configuração inata do cérebro? Além disso, como dissemos anteriormente, o desenvolvimento recente da genética e as pesquisas em neurociências parecem rejeitar uma tal proposição.

Uma segunda ordem de questões aqui é se o conhecimento da linguagem pode e deve ser equacionado ao conhecimento da gramática e a que preço. Ainda que marginalmente, essa última tese vem sendo impulsionada por inúmeras observações do comportamento lingüístico de crianças e adultos, mostrando a relevância de elementos contextuais e de conhecimento de mundo para a percepção e a compreensão, e a influência desses nas categorias e níveis gramaticais estabelecidos pelo programa tradicional em lingüística. Do Conexionismo e do estudo de fenômenos estatísticos e probabilísticos aplicados à percepção, compreensão e aquisição de linguagem têm surgido interessantes estudos que colocam em cheque o inatismo tal como delineado pelo programa chomskyano de pesquisa e os postulados que o sustentam, possibilitando uma reconceitualização do que é o conhecimento e o uso da linguagem e dos objetivos da teoria lingüística.

## 5 O Conexionismo e a linguagem

O projeto de Seidenberg<sup>19</sup> e de sua equipe, cujos resultados estão divulgados principalmente em encontros científicos e teses, visa a compreender a aquisição e o uso da linguagem beneficiando-se do instrumental e das idéias conexionistas e dos resultados de pesquisas estatísticas e probabilísticas em aquisição de linguagem pela criança e em compreensão de fala por adultos. Nesse empreendimento, os pesquisadores assumem a continuidade entre a aquisição e o uso da linguagem e mantêm a idéia de que a criança tem especificidades inatas que estão relacionadas com suas habilidades cognitivas e com o aprendizado e uso da linguagem, mas questionam seriamente se essas capacidades envolvem algum tipo de conhecimento gramatical previamente dado.

Dentre as idéias e instrumentos do Conexionismo relevantes para compreender a linguagem, Seidenberg aponta:

- a) *a incorporação de uma maneira distinta de representar o conhecimento lingüístico.* Esta é, de fato, uma alternativa para a equação gerativista de que conhecimento da linguagem é igual a conhecimento da gramática. As redes conexionistas não incorporam nem implementam as gramáticas tradicionais. Aqui, a teoria gramatical pode ser vista como fornecendo generalizações de nível mais alto sobre o comportamento de uma rede que, de qualquer modo, são apenas parcialmente corretas na medida em que desprezam o mecanismo computacional subjacente à construção dessas abstrações — um mecanismo que interessa compreender no Conexionismo. Assim, as regras são aqui uma descrição do resultado, não o pré-requisito da aprendizagem.<sup>20</sup>
- b) *a incorporação da observação do aprendizado implicando a habilidade de derivar regularidades estruturais de inputs razoavelmente heterogêneos.* O Conexionismo torna possível explicar como a criança adquire a linguagem em condições naturais sem a dependência da gramática inata, o que tem implicações significativas para o argumento da pobreza de estímulos que sustenta a tese inatista de Chomsky. Exposta a um treinamento que consiste em *inputs*

heterogêneos e com um grau de ruído considerável, as redes conexionistas convergem para padrões estáveis que serão utilizados posteriormente na execução de tarefas do mesmo tipo ou poderão ser auxiliares no aprendizado de outras tarefas.

- c) *a construção de um modelo alternativo de como as pessoas desenvolvem representações abstratas da linguagem e de outros fenômenos complexos a partir de situações experienciais naturais.* Essas representações são criadas enquanto as redes estão buscando soluções para outras tarefas que estão aprendendo a desenvolver que não precisam pertencer aos mesmos domínios específicos. Embora aqui o ponto de partida seja o aprendizado, a experiência, as observações do Conexionismo não se reduzem de modo algum às cadeias de estímulo e resposta características de outras abordagens comportamentalistas como o behaviorismo.
- d) *a construção de uma abordagem alternativa da generalização.* Enquanto a ortodoxia lingüística depende fundamentalmente da gramática para explicar como generalizações são feitas, no Conexionismo as gradativas mudanças de peso das conexões feitas durante o período de treinamento das redes são utilizadas para processar formas novas. No caso da dependência da gramática, de um conhecimento de regras para explicar o exercício da linguagem, argumenta-se que a gramática, embora finita, gera um conjunto infinito de sentenças. No Conexionismo, é a própria arquitetura e atividade da rede que permitem acompanhar a realização de generalizações.
- e) *a incorporação de um poderoso mecanismo de processamento.* O processamento das redes conexionistas satisfaz paralelamente restrições múltiplas, simultâneas, probabilísticas, inclui contingências simples e complexas entre diferentes tipos de informação. O *output* de um treinamento satisfaz simultaneamente a todas essas restrições intersectantes.

Disse-se, ao descrever a arquitetura e o funcionamento das redes conexionistas, que a estatística, os cálculos dinâmicos e probabilísticos desempenham nelas importante papel. O uso desse tipo de instrumental — estreitamente ligado à observação do comportamento lingüístico — foi varrido durante muitos anos da cena dos estudos da linguagem. Agora diversos estudos baseados nesse tipo de cálculo, que vinham sendo desenvolvidos principalmente em centros de alta tecnologia, com utilizações pragmáticas e tecnológicas como a síntese da fala e a tradução automática e que convergem para a apreciação da relevância desses fenômenos estatísticos na aquisição e uso da linguagem pela criança e na compreensão da linguagem falada e escrita por adultos, reapareceram e vêm dando uma contribuição inequívoca ao desenvolvimento da abordagem conexionista da linguagem.

Um dos exemplos de que Seidenberg se serve para argumentar em favor dessa idéia é a ocorrência difusa de ambigüidades no comportamento lingüístico natural, de cuja resolução depende a compreensão de enunciados. Estudos psicolingüísticos têm mostrado que as ambigüidades são resolvidas rapidamente

explorando uma diversidade de restrições probabilísticas derivadas da experiência prévia com a linguagem e o mundo. A capacidade das redes conexionistas de explorar essas fontes probabilísticas múltiplas, combinando diferentes fontes de informação, é o que lhes permite — e por hipótese, é o que permite aos falantes — convergir rapidamente para as interpretações corretas, simulando, assim, a compreensão da linguagem em condições naturais.

A pergunta por como as crianças adquirem um sistema com essas características precisa então ser considerada. Estudos em aquisição da linguagem têm apontado que as crianças utilizam natural e automaticamente aspectos da fala de quem cuida delas que podem ser estatisticamente precisados para identificar palavras num discurso contínuo e para o aprendizado de paradigmas verbais de difícil explicação dentro dos cânones da insuficiência de estímulos. Esse aprendizado parece começar no útero e independe de reforço ou orientação clara. De qualquer modo, bem cedo, se pode atestar que os bebês preferem ouvir a língua na qual sua mãe habitualmente se expressa do que outra e atentam para sons de sua língua materna desde cerca de três meses com maior facilidade do que para sons de outra língua. No Conexionismo, uma rede configurada como um mecanismo que aprende a desempenhar uma função como mapear som e sentido vai agir como um procedimento de descoberta, determinando que tipos de informação são relevantes.

Esses estudos, que conjugam a simulação em redes conexionistas e os resultados de pesquisas probabilísticas, sugerem que a aquisição e o uso da linguagem são presididos exatamente pelo tipo de fenômenos que a gramática da competência rejeitou. Na orientação chomskyana, a linguagem era explicada em termos de conhecimento de estruturas abstratas específicas do domínio lingüístico, levando à conclusão de que a linguagem não era passível de ser aprendida e que não estava relacionada a outros aspectos da cognição.

Podemos dizer que esses estudos são voltados para o desempenho, mas isso não implica que sejam estudos da competência acrescidos de enfeites pragmáticos e contextuais, ou de informação estatística e probabilística. Nessa visão, como articulada por seus pesquisadores, a tarefa da criança é aprender a usar sua língua, não a identificar uma gramática, e a natureza da linguagem é determinada por esses mecanismos de aquisição e uso que precisam ser explicados em termos dessas funções e dos mecanismos cerebrais que os sustentam. Os objetivos da teoria lingüística são, portanto, distintos dos formulados pela ortodoxia na área, resultando também em explicações diferentes das propriedades características da linguagem humana e de suas relações com outros processos cognitivos e de aprendizagem.

Anteriormente já havia anunciado que a investigação da linguagem em termos conexionistas deveria forçar uma revisão de alguns de seus conceitos mais fundamentais. Ao que tudo indica, é o que está fazendo a equipe de Seidenberg, que vem trabalhando também com a aquisição de paradigmas verbais, com aspectos da morfologia das línguas inexplicáveis por regras abstratas, mas que ganham um tratamento consistente e fluido em termos probabilísticos conexionistas. Há ainda uma outra investigação, a do foneticista Robert Port, que vem trabalhando com diversos aspectos da percepção auditiva e implementação de redes conexionistas dinâmicas que não partem de um corpus

de elementos fonéticos discretos para seu funcionamento. Ele argumenta que os sons da fala não pertencem a categorias fonéticas discretas e que as impressões auditivas não podem servir de parâmetros confiáveis para identificá-los, o que impõe um sério problema para a fonologia. Afirma, então, que “uma fonética de categorias discretas a priori é simplesmente falsa e que, portanto, a fonologia fica seriamente prejudicada uma vez que uma fonética discreta parece ser uma premissa essencial da lingüística formal”.<sup>21</sup>

Creio que essas constatações eram previsíveis. Se a tradição dos estudos da linguagem esteve por tantos séculos hipnotizada pelos aspectos lógico-gramaticais das línguas, as abstrações necessárias para realizar tais estudos não resistem a perguntas que envolvem o comportamento natural na linguagem.

## Notas

\* Nota dos Editores: Este artigo constitui parte de um texto mais amplo, cuja primeira parte foi publicada no número 9 da Veredas, p.7-21. A parte final do texto será publicada futuramente em um número desta Revista. Para efeito de contextualização, repetimos aqui, o texto introdutório que já foi publicado anteriormente.

<sup>1</sup> SEJNOWSKI & ROSEMBAUM (1986).

<sup>2</sup> Embora muitos avanços tenham ocorrido na área, descrições técnicas da construção dessas redes podem ser encontradas no clássico RUMELHART & McCLELLAND (1986), tido como o reabilitador do Conexionismo na era de hegemonia plena do cognitivismo.

<sup>3</sup> KARMILOFF-SMITH (1992) sugere que essa mescla de regras possa simular as etapas de aprendizado propostas por Piaget. Do meu ponto de vista, há no entanto, uma “aresta epistemológica” – para dizer o mínimo – entre a proposta do Conexionismo e a de Piaget: enquanto esta postula regras que definem estágios e fases de aprendizado, no Conexionismo a pergunta é como o conhecimento pode ser aprendido e utilizado na execução de tarefas, inclusive na aquisição de novos conhecimentos.

<sup>4</sup> Ver HINTON, McCLELLAND ET AL. (1986: 279), onde os autores argumentam que o processamento paralelo e as representações distribuídas são uma *alternativa* dos seus esquemas de representação (o itálico é dos autores) – e que, portanto, não são exclusividade do Conexionismo. No entanto, conforme os autores alertam em seguida, as representações distribuídas levam ao aparecimento de propriedades poderosas e inesperadas. Se essas propriedades são indesejáveis, creio que devam ser atribuídas a implementações inadequadas, a uma conceitualização errônea do que está em jogo, como estudos mais recentes demonstrado. Ver ainda VARELA, THOMPSON ET AL. (1993: 86), que ressaltam a incompatibilidade relativa entre o cálculo algorítmico e o processamento paralelo.

<sup>5</sup> VARELA, THOMPSON ET AL. (1993).

<sup>6</sup> HINTON, McCLELLAND ET AL. (1986).

<sup>7</sup> SEIDENBERG (1997).

<sup>8</sup> LEBRUN (1983: 11).

<sup>9</sup> ALBERT, YAMADORI ET AL. (1974).

<sup>10</sup> Este caso está descrito em MATURANA & VARELA (1984: 147-152) e em GAZZANIGA (1985).  
<sup>11</sup> SKARDA & FREEMAN (1987).

<sup>12</sup> HINTON, McCLELLAND ET AL. (1986: 281).

<sup>13</sup> “Lo confuso de la distinción entre un recuerdo veídico y una confabulación o posible reconstrucción parece ser una característica de la memoria humana (BARTLETT, 1932; NEISSER, 1981). La naturaleza reconstructiva de la memoria humana es sorprendente sólo porque está en pugna con las metáforas que normalmente utilizamos. Solemos pensar que un sistema de memoria deve funcionar almacenando copias literales de los elementos para luego recuperar la copia almacenada, como si se tratase de un archivero o de una típica base de datos para computadora. Estos sistemas no se pueden reconstruir naturalmente.” (HINTON, McCLELLAND ET AL., 1986: 282).

<sup>14</sup> HINTON, McCLELLAND ET AL. (1986: 280-282).

<sup>15</sup> Ver, por exemplo, KARMILOFF-SMITH, (1992: 178). Expressando sua simpatia para com o Conexionismo, a autora se deixa trair pela tradição e fala do conhecimento armazenado, sem nem usar o recurso das asas de HINTON, McCLELLAND ET AL. (1986: 281).

<sup>16</sup> Este é o argumento dos interessantes artigos de STEWART, ANDREEWSKY ET AL. (1988) e STEWART & ANDREEWSKY (1992).

- <sup>17</sup> Ver, por exemplo, o extensivo estudo do OYAMA (1985 e 1989).  
<sup>18</sup> Ver a esse respeito LOVE (1990); MAGRO (1997 e 1999b).  
<sup>19</sup> No que se segue, estarei me referindo aos artigos SEIDENBERG (1995 e 1997).  
<sup>20</sup> Análises diversas vêm argumentando nessa direção já há algum tempo. Ver, por exemplo, HOPPER (1988).  
<sup>21</sup> PORT (1996: 491).

## Referências Bibliográficas

- ALBERT, M. L.; YAMADORI, A.; GARDNER, H.; HOWES, D. Comprehension in alexia. *Brain*. [s.l.], n. 96, 1974. p. 317-28.
- CHOMSKY, N. Language and Nature. *Mind*. [s.l.], vol. 413 n. 104, 1995. p. 1-61.
- GAZZANIGA, M. S. *The Social Brain — Discovering the Networks of the Mind*. New York: Basic Books, 1985.
- HINTON, G. E.; MCCLELLAND, J. L.; RUMELHART, D. E. Las representaciones distribuidas. In.: BODEN, M. A. *Filosofía de la Inteligencia Artificial*. Mexico: Fondo de Cultura Económica, 1986. p. 278-313.
- HOPPER, P. Emergent Grammar and the A Priori Grammar Postulate. In.: TANNEN, D. *Linguistics in Context — connecting observation and understanding*. Norwood: Ablex Publishing, 1988. p. 117-134.
- KARMILOFF-SMITH, A. Modeling Development: Representational Redescription and Connectionism. In.: *Beyond Modularity — A developmental perspective on Cognitive Science*. Cambridge, Mass: MIT Press, 1992. p. 175-277.
- LEBRUN, Y. *Tratado de Afasia*. São Paulo: Panamed Editorial, 1983.
- LOVE, N. The Locus of Languages in a Redefined Linguistics. In.: DAVIS, H. G.; TAYLOR, T. *Redefining Linguistics*. London: Routledge, 1990. p. 53-117.
- MAGRO, C. O que é uma teoria da linguagem. In.: MAGRO, C.; MARGUTTI, P.; PERINI, E.; GUIMARÃES, L. (Orgs). *Ciência, Filosofia Analítica e Pragmatismo*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1997. p.177-189.
- MAGRO, C. Valor de Fato. Organizado por VAITSMAN, Jeni; GIRARDI, Sabado. *A ciência e seus impasses: debates e tendências*. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 1999b. p.93-108.
- MATURANA, H.; VARELA, V. *El Arbol del Conocimiento*. Las bases biológicas del entendimiento humano. Santiago do Chile: Editorial Universitária, 1984.
- OYAMA, S. *The Ontogeny of Information: Developmental Systems and Evolution*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.
- OYAMA, S. Ontogeny and the Central Dogma: Do We Need the Concept of Genetic Programming in Order to Have an Evolutionary Perspective? In.: GUNNAR, M. R., THELEN, V. *Systems and Development - The Minnesota Symposia on child Psychology*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1989. p. 1-34.
- PORT, R. F. The Discreteness of Phonetic Elements and Formal Linguistics: Response

- to A. Manaster-Ramer. *Journal of Phonetics*. [s.l.], n. 24, 1996, p. 491-511.
- ROSENBLATT, F. *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Dynamics*. New York: Spartan Books, 1962.
- RUMELHART, D. E.; MCCLELLAND, J. L. (Eds.). *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. Cambridge, Mass.: MIT Press/Bradford Books, 1986.
- SEIDENBERG, M. Language Acquisition and Use: Learning and Applying Probabilistic Constraints. *Science*. [s.l.], vol. 5306, n. 275, 1997, p. 1599-1603.
- SEIDENBERG, M. Language and connectionism: the developing interface. In.: J. MEHLER, FRANCK, S. *Cognition on Cognition*. Cambridge: MIT Press, 1995. p. 415-432.
- SEJNOWSKI, T.; ROSEMBAUM, C. *NetTalk: A parallel network that learns to read aloud*. Baltimore: Johns Hopkins University, 1986.
- SKARDA, C. A.; FREEMAN, W. J. How brains make chaos in order to make sense of the world. *Behavioral and Brain Sciences*. [s.l.], n. 10, 1987, p. 161-195.
- STEWART, J.; ANDREEWSKY, E. From Information to Autonomy: Analogies between Biology and the Language Sciences. *Kybernetes - The International Journal of Systems & Cybernetics*. [s.l.], vol. 5, n. 21, 1992, p. 15-32.
- STEWART, J.; ANDREEWSKY, E.; ROSENTHAL, V. Du culte de l'information en biologie et en sciences du langage. *Révue Internationale de Systemique*. [s.l.], vol. 1, n. 2, 1988, p. 15-28.
- VARELA, F. J.; THOMPSON, E.; ROSCH, E. *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. Cambridge: MIT Press, 1993.