

## ANTECEDENTES HISTÓRICOS DA PSICOLOGIA COGNITIVA: DA ANTIGUIDADE À TEORIA COMPUTACIONAL DA MENTE

### *HISTORICAL BACKGROUND OF COGNITIVE PSYCHOLOGY: FROM ANCIENT TO COMPUTATIONAL THEORY OF MIND*

**Maria Alice Veiga Ferreira de Souza**

Instituto Federal do Espírito Santo  
E-mail: alicevfs@gmail.com

#### **Resumo**

A Teoria Computacional da Mente divide opiniões entre a comunidade científica específica ao equiparar o funcionamento do cérebro humano ao de um computador. Apesar de apoiar muitas investigações, e sem desprezar todas as críticas, essa teoria contribuiu para progressos em estudos sobre a mente humana e seu funcionamento, marcando avanços científicos significativos. Pesquisas sobre a mente foram negadas por longo tempo na história da humanidade e, para compreender essas razões, é útil conhecer as origens e motivações para o surgimento da própria Psicologia Cognitiva, cuja evolução histórica ocorreu ora de maneira entrelaçada com outras esferas científicas, ora apresentando profundos conflitos internos na Psicologia.

**Palavras-chave:** psicologia cognitiva. teoria computacional da mente. história.

#### **Abstract**

The Computational Theory of Mind divides opinion between the specific scientific community as it levels the operation of the human brain to a computer. While supporting many investigations, and without neglecting all the criticism, this theory has contributed to the progress in the study of the human mind and its operation, marking significant scientific advances. Researches about the mind were denied for a long time in human history, and to understand these reasons, it is useful to know the origins and motivations for the emergence of cognitive psychology itself, whose historical evolution occurred either interlaced with other scientific spheres or showing deep internal conflicts in Psychology.

**Keywords:** cognitive psychology. computer theory of mind. history.

## 1. SOBRE O TEMA

A história é um bom recurso para o estudo do movimento das ideias, na busca por compreender as origens e motivações com que algumas teorias foram pensadas, além de poder proporcionar aprendizagem com os erros e acertos do passado. Seguindo esse caminho, o presente ensaio objetivou trazer ao primeiro plano justificativas para os anseios e os obstáculos que levaram muitos psicólogos cognitivos ao estudo da mente pelo processamento da informação, dando forma ao que ficou conhecido como Teoria Computacional da Mente. Contudo, não é o caso de se trazer o passado à tona, mas uma maneira particular de entender e ver esse passado a partir de questionamentos próprios que conduziram esta narrativa e que foram respondidos por diferentes autores que contaram e recontaram a mesma história.

Assim, a evolução histórica analisada ocorreu de maneira imbricada e não linear, apresentando profundos conflitos internos na Psicologia ou estando em compasso de espera pelo progresso de outras esferas científicas que proporcionassem novos impulsos ao estudo da mente.

## 2. DA ANTIGUIDADE AO SÉCULO XIX

Como surgiu a Psicologia? E a Psicologia Cognitiva? Que motivações elevaram a Psicologia à condição de ciência? Que estudos sobre a mente humana foram desenvolvidos? Para responder, foi preciso retornar à Antiguidade. O interesse pela cognição humana, de que se tem notícia, iniciou-se com os antigos filósofos gregos com questões sobre a natureza da mente e do cérebro levantadas a partir das preocupações sobre a substância formadora da alma e do corpo. Ao longo da história, a Filosofia apresentou várias versões sobre o que hoje é chamado de representação mental, o processamento do pensamento e a relação entre razão e emoção, por exemplo. Para Platão (429-347 a.C.) e, presumivelmente por Sócrates (469-399 a.C.), o domínio do conhecimento era inerente à Matemática e às ciências exatas. As formas mais puras de conhecimento eram formas idealizadas que podiam ser somente vislumbradas na realidade mundana. Platão pregava o inatismo das ideias humanas, pois, para ele, elas se encontravam dentro das mentes, bastando serem libertadas para serem conhecidas. Uma compreensão de todas as questões do conhecimento era implantada na alma humana desde o nascimento. A tarefa da instrução era levar à consciência ideias que sempre estiveram na alma.

Mais tarde, Aristóteles (384-322 a.C.), contrariamente à Platão, rejeitou a doutrina das ideias inatas para a natureza do conhecimento. Ele investigou o mundo em termos de matéria e forma, como um continuum - a matéria é forma potencial e o objeto é forma atualizada na matéria. Possivelmente, sua contribuição fundamental à Filosofia foi a criação da lógica formal e da lógica material - métodos que organizavam e ordenavam o raciocínio e o pensar. Para ele, as ideias emergiam por meio da experiência tomando, assim, uma perspectiva externa, enquanto no campo interno afirmava que o pensamento era impossível sem imagens (KOSSLYN, 1992; 1994). Essas convicções perduraram por longos anos, com pouca mudança no período da Idade Média. Da mesma maneira, a discussão continuou pelo período do Renascimento e Iluminismo. Essas concepções marcaram a primeira sistematização da lógica e geraram outros dois períodos - o Booleano e o Contemporâneo - do século XIX aos dias atuais.

No século XVII, o filósofo racionalista René Descartes (1596-1650), bem como Leibniz (1646-1716), também acreditava que o conhecimento podia ser obtido do pensamento e do raciocínio, estando mais em sintonia com Platão. Descartes, inicialmente, acreditava que o conhecimento do homem era derivado dos sentidos, no entanto, percebeu que os sentidos poderiam falhar ao perceber, por exemplo, que as torres de longe pareciam ser redondas quando eram, na realidade, quadradas (STERNBERG, 2000). Por isso, concluiu finalmente que as ideias eram inatas, e não adquiridas pela experiência dos sentidos.

Por outro lado, outros filósofos como o iluminista inglês John Locke (1632-1704) (STERNBERG, 2000) assumiu o empirismo como base para seus estudos, concordando com Aristóteles. Locke pregava que os seres humanos nasciam sem conhecimento e deviam, portanto, buscá-lo pela observação empírica. Ele ficou conhecido pela defesa de que a vida e a experiência “escreviam” o conhecimento nos seres humanos como em um quadro branco – tábula rasa.

Os embates entre racionalismo versus empirismo permaneceram até o século XVIII, quando o filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804) (STERNBERG, 2000) tentou combinar as duas concepções argumentando que o conhecimento humano dependia tanto da experiência dos sentidos quanto de capacidades inatas da mente, buscando, assim, explicar o conhecimento por outra visão. Para ele, as pessoas possuíam certos conhecimentos inatos – conhecimento a priori, bem como adquiriam por meio de experiências outros conhecimentos – conhecimento a

posteriori. Dessa forma, as preocupações com a compreensão em torno da mente e suas operações permaneceram no domínio filosófico até o século XIX, quando alguns pesquisadores iniciaram estudos sobre o conhecimento e a mente baseados em métodos experimentais, marcando o surgimento da Psicologia como disciplina definitivamente separada da Filosofia.

Wilhelm Wundt (1832-1920), catedrático de Filosofia Indutiva (STERNBERG, 2000), no final do século XIX, desejoso em promover a Psicologia como ciência, fundou o primeiro laboratório de Psicologia na cidade de Leipzig, na Alemanha, em 1879. Ele e seus alunos desenvolveram investigações laboratoriais para o estudo de operações mentais analisadas em elementos ou partes. De acordo com Anderson (1990, p.6), o método de inquirir usado por Wundt com seus alunos foi a introspecção. Neste método, pesquisadores treinados informavam os conteúdos de suas consciências sob cuidadosas condições de controle investigativo. Acreditava-se na auto-observação para as pesquisas sobre a mente. Esses conteúdos informados introspectivamente deram origem à teoria de cognição. Como exemplo, Mayer e Orth (citados por ANDERSON, 1990, p.6) realizaram um experimento instrospectivo. Eles falavam uma palavra para os sujeitos e contavam o tempo que demoravam em gerar respostas para essa palavra. Os pesquisados deveriam gerar associações para cada uma delas, procurando introspectar o conteúdo de sua consciência, desde a escuta da palavra até a sua associação. Os sujeitos falavam as suas experiências conscientes, do momento da apresentação do estímulo até a resposta ser dada. Esses experimentos atraíram a atenção de outros pesquisadores, que iniciaram a aplicação do método de investigação em laboratório aos problemas do pensamento.

A princípio, Wundt procurou tabelar a consciência humana fundamentado em todas as possíveis representações por imagens. No entanto, após um intenso debate na virada do século sobre o pensamento sem imagens, Wundt percebeu a fragilidade de sua crença a respeito da representação mental. Experiências como erguer dois objetos de pesos diferentes e declarar o mais pesado mostravam que não havia nenhuma imagem envolvida nesse processo de decisão, apesar da discordância de alguns de seus seguidores, como o pesquisador Titchener (KOSSLYN, 1992). Passou, então, a crer que as imagens não seriam a única espécie de representação interna, pois poderiam ser eliminadas se o material fosse familiar ao sujeito ou se a informação verbal fosse bem adquirida anteriormente.

### 3. O INÍCIO DO SÉCULO XIX

A psicologia introspectiva não foi bem aceita por alguns psicólogos, notadamente pelos americanos, que preferiram uma teoria de aplicação mais direta, talvez influenciados pelo pragmatismo e funcionalismo dominantes àquela época. Poucos anos depois, a psicologia experimental foi tomada pelo behaviorismo que, essencialmente, negava a existência da mente e defendia experimentos que se restringiam a examinar a relação entre estímulos observados e respostas comportamentais observadas. O behaviorismo originou-se com os trabalhos do fisiólogo russo Ivan Petrovich Pavlov (1849-1936) e do psicólogo americano John Broadus Watson (1878-1958), que perseguiram a ideia de explicar o comportamento humano por meio da observação e da experiência em laboratório. Na verdade, o behaviorismo deve ser narrado segundo o trabalho de certo pesquisador e sua época, pois existiram muitos behaviorismos. O mais antigo foi o de Watson (BAUM, 1999), que estudou apenas o comportamento observável, chamado de behaviorismo metodológico pela proposta feita em 1913. Essa proposta realçou a introdução do contexto ambiental como um fator decisivo para compreensão do comportamento. Com isso, as circunstâncias em que ocorriam os experimentos e os comportamentos podiam ser relacionadas e o papel do meio ambiente foi, então, destacado. Desse modo, as causas ambientais do comportamento abriram novas questões que não podiam ser negadas.

Por adotar essa postura empírica, o behaviorismo metodológico de Watson apareceu em oposição ao estruturalismo, que foi uma posição mentalista e que usou como método de investigação a introspecção, o olhar para dentro. Além disso, pôde ser associado ao positivismo lógico, uma corrente filosófica para a qual os acontecimentos mentais não deveriam ser alvos de uma ciência natural, apesar de não os negar por serem fatos “inobserváveis” do ponto de vista científico, cujo principal representante foi Auguste Isidore Marie-François Comte (1798-1857). Para essas pessoas, se um autômato pudesse reproduzir o comportamento de uma pessoa, nenhuma explicação mentalista seria mobilizada para o entendimento de seu desempenho, a não ser os estímulos que o fizeram agir de tal modo. O behaviorismo metodológico descartava qualquer filosofia introspectiva. No entanto, admitia a existência de fatos mentais, embora não os considerassem em suas pesquisas.

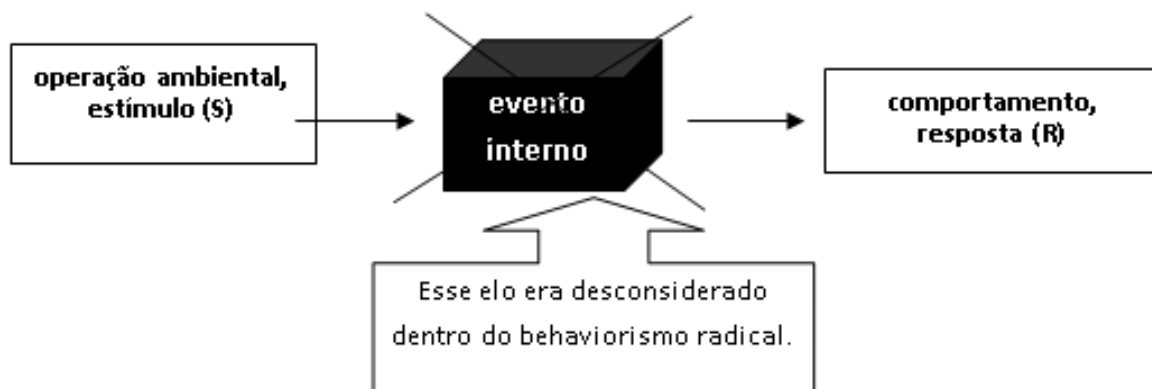
O behaviorismo de Watson também sofreu influências das ideias do fisiólogo Ivan Petrovich Pavlov

(1849-1936) e do físico Isaac Newton (1642-1727), este considerado o instaurador do pensamento científico moderno. Algumas décadas após a divulgação das experiências de Watson, o psicólogo americano Jacob Robert Kantor (1888-1984) (STERNBERG, 2000) assumiu posição diferente frente ao behaviorismo. Para ele, o behaviorismo existia não só na Psicologia, mas também na Física, na Biologia, na Astronomia, ou onde quer que se estudasse de maneira científica um fenômeno, isto é, o behaviorismo kantoriano era sinônimo de ciência.

Já Burrhus Frederic Skinner (1904-1990) (STERNBERG, 2000) foi adepto ao behaviorismo metodológico até 1945, mas elaborou outra proposta para essa teoria. Como aluno de Watson, viveu a época das discussões geradas acerca do behaviorismo watsoniano e, tentando superá-las, propôs restaurar a introspecção sob os limites daquilo que podia ser observado no interior dos indivíduos, apresentando o behaviorismo radical. Skinner não negou existir um universo no interior das pessoas e afirmou haver comportamento nesse universo que segue as mesmas leis, os mesmos princípios dos comportamentos expressos, ou seja, o mundo interno e o externo seguiam as mesmas leis. Assim, procurou observar o corpo e sua interação com o meio ambiente, equilibrando os acontecimentos externos com os internos de cada um.

Esse tipo de abordagem facilitaria o estabelecimento de uma linguagem comportamental apta a traduzir os termos mentalistas, sempre do ponto de vista behaviorista. Skinner acreditava que o comportamento era determinado pelas consequências dos reforços ou recompensas e não por “vontade própria” – fatores mentalistas. Nesse caso, o behaviorismo de Skinner consistia em descrever relações entre reforço e comportamento, sem referência a processos internos. Para Skinner, existia entre o estímulo e a resposta um elo possível de ser entendido como uma “caixa preta”, que mais tarde tornou-se objeto de estudo da Psicologia Cognitiva como um retorno à proposta wundtiana em estudar a mente humana, negada por Watson. Assim, nessa teoria, o que ocorria em termos de processamento ou produção entre o estímulo e a resposta, não interessava. A figura 1 sintetiza essa ideia.

**Figura 1.** Esquema de como eram vistos os processos internos no behaviorismo radical de Skinner.



Fonte: Esquema elaborado pela autora.

Vale ressaltar a força exercida, principalmente nos anos 20, pelo behaviorismo (ou behaviorismos) a fim de suplantar a introspecção, até então dominante na Europa e que chegou a ter início na América, com alguns laboratórios que vieram, inclusive, a fornecer resultados questionáveis. Mas, nesse embate, toda e qualquer tentativa de desenvolvimento de uma teoria de operações mentais foram sumariamente descartadas. Nesse contexto, quaisquer estudos sobre percepção, imagem e representação mental podiam ser excluídos, o que significou um atraso no progresso dos estudos dessas variáveis.

Desses estudos, infere-se que a oposição ao introspeccionismo poderia ter sido em relação aos métodos experimentais que não eram confiáveis, mas não ao estudo dos processos internos de uma maneira geral. Acredita-se que as pressões da Filosofia, principalmente, tenham sido responsáveis por tal postura. Analisando-se sob outro ângulo, o abandono da "caixa preta" fez surgir estudos experimentais relevantes. Pois o behaviorismo proporcionou compreensões a respeito do comportamento humano que atenderam as necessidades sociais do momento, tanto quanto proporcionaram insights para alguns personagens sobre a necessidade de se abrir a desprezada (ou seria temida?) "caixa preta".

Um momento histórico importante na formação da Psicologia Cognitiva foram as contribuições do filósofo pragmatista e psicólogo americano William James (1842-1910) e do psicólogo americano, Edward Chace Tolman (1886-1959), conforme Eysenck e Keane (1994, p.10). James teorizou sobre a atenção e a memória, estabelecendo para esta última uma distinção entre memória primária e

secundária, que serviu como referência para os atuais psicólogos cognitivos concluírem sobre a memória de curto e longo prazo, respectivamente. Além disso, James deu origem à corrente de pensamento denominada Funcionalismo. Tolman, behaviorista, ao realizar experimentos com ratos percorrendo labirintos, ora inundados, ora a seco, notou que a habilidade responsável pela velocidade no percurso não se dava por questões motoras específicas, mas pela formação de um mapa cognitivo (!). Seria esse o reinício da preocupação por uma representação interna? Para Eysenck e Keane, sim. "Este reconhecimento, feito por dois expoentes do behaviorismo, de que o aprendizado, mesmo em ratos, pode ser compreendido apenas ao se focar processos e estruturas internas ao invés de reações motoras foi um grande passo em direção à psicologia cognitiva" (EYSENCK & KEANE, 1994, p.11).

Outros fatores também contribuíram para o retorno ao interno. Os neuropsicólogos deram grandes contribuições em pesquisas sobre o processamento da linguagem, iniciadas ainda no final do século XIX. Eles buscavam uma explicação para os estados mentais por meio de uma identificação desses com os estados cerebrais. Além disso, novos métodos possibilitaram aos pesquisadores estudar os eventos mentais objetivamente. Para Kosslyn (1992, p.172), esses procedimentos metodológicos envolvem a externalização dos eventos mentais; em vez de estudar a própria mente, medem-se as consequências observáveis dos processos internos. Se determinada introspecção é válida, então devem existir consequências externamente observáveis dos eventos internos observados.

Em uma visão geral, os primeiros 50 anos do século XX foram marcados por dúvidas sobre a validade da Psicologia como ciência. Foi preciso que o objeto e os métodos para as investigações fossem definidos nos moldes científicos para a fundação de uma ciência da mente. Nesse ínterim, conflitos na maneira de conceber o objeto da Psicologia entre os representantes do Behaviorismo e da Psicanálise geraram propostas científicas e metodológicas incompatíveis. Se por um lado a Psicanálise não conseguia definir o que era a mente, por outro, os behavioristas não davam conta de explicar fenômenos mais complexos ou atividades cerebrais como a linguagem humana e sua natureza. Um artigo intitulado *The Serial of Behavior*, publicado em 1948 pelo psicólogo Karl Spencer Lashley (1890-1958), concluiu que o complexo fenômeno da linguagem não poderia ser explicado por meio de estímulos-respostas, conforme indicavam os behavioristas, por haver um processamento da informação que se interpunha entre os inputs e outputs. Nesse intervalo,



ocorriam estados mentais ou representações internas cujos estudos eram de difícil alcance com as teorias e métodos até então desenvolvidos.

#### **4. MEADOS DO SÉCULO XX: A CAMINHO DO PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO**

No campo da linguagem, foram os trabalhos do linguista Noam Chomsky (1928-) que fortaleceram a ideia de que era preciso mais do que o behaviorismo para explicar a natureza e a aquisição da linguagem, um ponto central para o ser humano. Para isso, foi necessário pressupor a existência de representações não observáveis a fim de se compreender como as pessoas podiam usar a linguagem (KOSSLYN, 1992). Segundo Anderson (1990), um novo modo de análise de estrutura de linguagem foi desenvolvido por Chomsky ao mostrar que a linguagem era muito mais complexa do que se acreditava até aquela época, o que provocou reflexões por parte de alguns psicólogos. Um deles, o psicólogo George Armitage Miller (1920-) resolveu testar o pensamento de Chomsky em laboratório. Esse fato, somado aos progressos na área das telecomunicações, impulsionou o surgimento de teorias de comunicação que, por sua vez, geraram as teorias de informação, propulsoras de um caminho para a análise do processamento do conhecimento. O psicólogo Donald Broadbent (1926-1993) foi quem, provavelmente, integrou as concepções das duas áreas - psicologia e informação - para o desenvolvimento de teorias sobre percepção, atenção e memória à luz do processamento de informação. Broadbent deu continuidade ao trabalho de Kenneth Craik (1914-1945) - aluno e sucessor de Frederic Bartlett (1886-1969) e influenciador dos primeiros trabalhos de Johnson-Laird nessa área.

De maneira não linear, mas em meio a esses acontecimentos, as pesquisas que deram origem à área de Inteligência Artificial foram decisivas para a instalação da Psicologia Cognitiva como uma subárea da Psicologia, detalhada a seguir.

#### **5. A BUSCA POR UM MODELO TEÓRICO PARA O ESTUDO DA MENTE**

Paralelamente às preocupações e evoluções das discussões na área da Psicologia, ocorreram progressos em outras ciências que viriam contribuir para a adoção de um modelo teórico esclarecedor do funcionamento da mente, tarefa difícil naquele momento. Assim, foi com o trabalho do matemático inglês Alan Turing (1912-1954) que a computação pôde vislumbrar a

construção de computadores digitais, e mais tarde com John Louis von Neumann (1903-1957). Na verdade, enquanto uns intencionavam conhecer os processos mentais para construir máquinas que pudessem simular o raciocínio humano, outros desejavam conhecê-la para desvelarem constructos como as habilidades, as representações e capacidades humanas. Surgiu, assim, a Inteligência Artificial - atenta em estabelecer uma analogia entre o funcionamento mental humano e máquinas - e um ramo da Psicologia Cognitiva - que baseia os estudos dos processos mentais à luz de um modelo computacional (PINKER, 1998; THAGARD, 1998; STERNBERG, 2000; TEIXEIRA, 1998; MAYER, 1977; BUTCHER, 1981; EYSENCK & KEANE, 1994; ANDERSON, 1990), abandonando "o comportamentalismo estrito sem, entretanto, incorrer na vaguidade do introspeccionismo" (TEIXEIRA, 1998, p.11).

Para entender a convergência dos estudos psicológicos com os computacionais, é preciso retroceder na história e partir de outra extremidade, como será visto no próximo tópico.

## 6. MÁQUINA DE TURING

Os princípios teóricos que regem os computadores digitais são recentes, levando-se em conta o tempo de sua existência em meio a outras descobertas seculares ou até milenares. No entanto, os primeiros passos que deram suporte a esses princípios vêm sendo delineados há mais de quatro milênios, quando egípcios e babilônios desenvolveram sistemas de medidas e procuraram entender a posição das estrelas. Lentamente, pré-ciências surgiram e se desenvolveram com a intenção de resolver problemas que o homem possuía naquela época. Uma delas, a Matemática, se corporificou a partir de premissas aceitas como verdadeiras e de regras aceitas como válidas que, por sua vez, conduziram a novas sentenças, e assim sucessivamente. Nascia o então sistema axiomático, até hoje base da ciência matemática. Um bom exemplo de sistema axiomático é a geometria de Euclides (330 a.C.- 275 a.C.), ou, mais simplesmente, a geometria mais praticada no dia a dia e que está apoiada em um grupo de definições, quase todas resultantes de observações experimentais, e em proposições primárias ou axiomas. Um sistema axiomático é mais do que um conjunto de premissas e regras, é algo que auxilia a mente humana a organizar o pensar sobre um dado fenômeno, visando gerar determinada resposta. Por exemplo, quando em um sistema de controle de tráfego aéreo ou marítimo se queira saber quais são os veículos mais próximos entre si a fim de detectar possíveis colisões (CORMEN, LEISERSON, RIVEST, STEIN, 2002, p.757). Um

conjunto de regras bem definidas, ou, mais simplesmente, um algoritmo deverá examinar as distâncias de cada dois veículos em uma dada região; e isso pressupõe conhecer, pelo menos, uma das proposições de Euclides – sendo possível traçar uma reta ligando-se dois pontos –, que por sua vez baseia-se em axiomas antes enunciados.

A manipulação simbólica tornou-se uma exigência pela dificuldade de trabalho com longas premissas, porém sempre obedeceu a regras então tidas como verdadeiras. Simultaneamente, algumas contas e processos matemáticos já não podiam mais ser feitos mentalmente sem a ajuda de lápis e papel face à complexidade de sua estrutura. Imagine, por exemplo, somar ou subtrair dois números com elevada quantidade de algarismos. Para a maioria dos humanos, seria extremamente difícil, mas com ajuda de lápis e papel, não. Uma operação matemática, como a soma ou subtração, é um algoritmo.

A partir dessas premissas e de outras, os matemáticos Alfred North Whitehead (1861-1947) e seu aluno Bertrand Russel (1872-1970) demonstraram no livro *Principia Mathematica* que alguns aspectos do raciocínio humano poderiam ser descritos formalmente, tomando os estudos de lógica matemática do George Boole (1815-1864), matemático inglês. Estes estudiosos, por sinal, marcaram o início de um novo período em Lógica, principalmente pelo uso da Álgebra nesse domínio, tendo sido a primeira sistematização realizada por Aristóteles há mais de dois mil anos. Já nos primeiros anos do século XX, os matemáticos David Hilbert (1862-1943), alemão, e John Von Neumann (1903-1957), húngaro, estabeleceram regras de formalismo em 1920. Um sistema formal interessava na medida em que se acreditava ser esta a ponte entre a abstração matemática e a maneira como a mente humana funcionava.

Em 1931, o lógico tcheco naturalizado americano Kurt Gödel (1906-1978) publicou um artigo mostrando ser possível codificar sentenças e fórmulas demonstráveis por meio de números, uma vez que se acreditava ser possível exprimi-las sob a forma de proposição aritmética. No entanto, os resultados de suas pesquisas mudaram os rumos dos estudos da ciência matemática, notadamente, pela divulgação das proposições indecidíveis enunciadas pelo chamado Teorema de Gödel. O teorema afirmava que: "Se S é um sistema formal suficientemente forte para conter a aritmética elementar, então S é incompleto ou inconsistente. A eventual consistência de um tal sistema formal não pode ser provada apenas com recursos daquele mesmo sistema". Assim, Gödel

demonstrou que não é possível construir uma teoria axiomática dos números que seja completa, como pretendia Hilbert.

Cinco anos mais tarde, Alan Mathison Turing (1912-1954), matemático inglês, certamente sabedor dos estudos desenvolvidos até aquela época, e partindo da compreensão de que a Matemática poderia ser reduzida a algoritmos, reduziu os vários sistemas formais a um único sistema básico subjacente que culminou nos princípios teóricos para computadores digitais. Foi assim que em 1936, aos 24 anos de idade, publicou um artigo intitulado *On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem* em um jornal de Matemática, expondo sua maneira simples, mas poderosa, de entender um sistema formal. A partir das ideias ali dispostas, o mundo tecnológico não seria mais o mesmo, pois essa foi a base teórica que tornou possível a construção dos computadores digitais. Com o grande objetivo de construir uma máquina que simulasse os processos humanos de pensamento, Turing concentrou-se no desenvolvimento de algo que representasse o raciocínio humano quando executasse um cálculo. Ele acreditava que os cálculos mentais partiam de alguma verdade inicial, progredindo para uma série de operações intermediárias, seguidoras de um conjunto fixo de regras, visando alcançar uma resposta. Turing, talvez influenciado por sua formação matemática, desejava criar regras rígidas para os estados da mente humana, em contraste com as discussões metafísicas existentes na época em torno desse assunto.

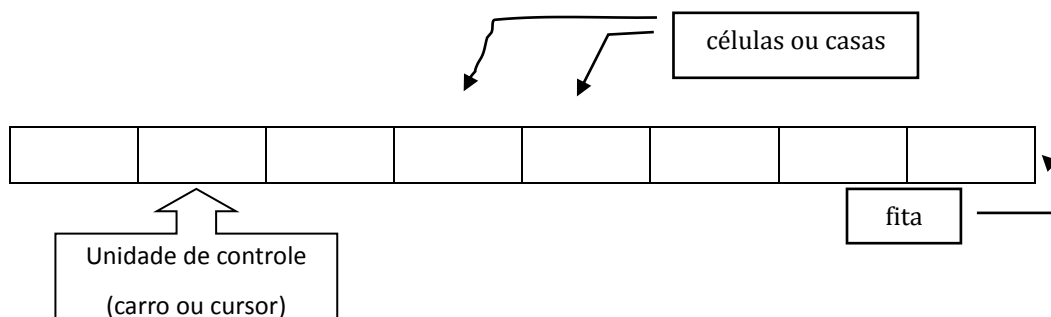
Resumindo, Alan Turing uniu matemática e lógica na forma de uma máquina que possibilitasse o processamento em forma de símbolos. Para compreender como e o porquê alguns psicólogos cognitivistas adotaram o modelo do processamento de informação como o mais próximo para a compreensão da mente humana, é fundamental conhecer noções gerais do funcionamento de uma máquina de Turing.

## 7. A CONSTITUIÇÃO DE UMA MÁQUINA DE TURING

A noção de uma pessoa calculando pode ser vista como uma máquina constituída de três partes: fita, unidade de controle (carro ou cursor) e programa (Figura 2). A fita é usada simultaneamente como dispositivo de entrada, saída e de memória de trabalho. A princípio, era finita à esquerda e tão grande quanto necessária à direita, sendo dividida em células (ou casas de igual dimensão),

cada uma das quais armazenando um símbolo ou podendo estar vazia. Mais tarde, a fita foi concebida como infinita também à esquerda.

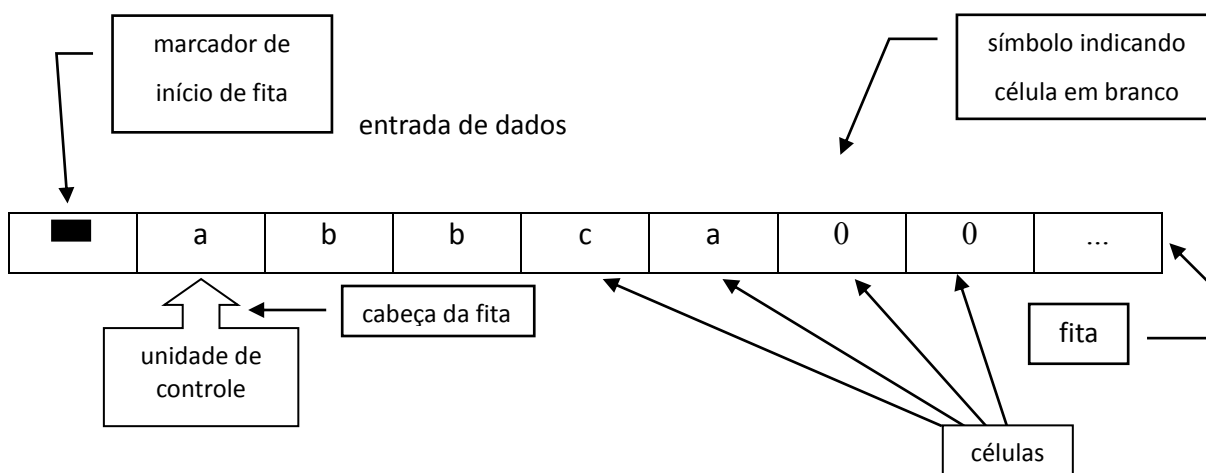
**Figura 2.** Três partes de uma máquina de Turing: fita, célula e unidade de controle.



Fonte: esquema elaborado pela autora.

A unidade de controle reflete o estado corrente da máquina, ou seja, em qual célula a cabeça da fita está e qual instrução está sendo realizada naquele momento. Os estados são finitos e predefinidos. Essa parte da máquina possui uma unidade de leitura-gravação que acessa uma célula da fita de cada vez. A cabeça da fita lê o símbolo de uma célula de cada vez e grava um novo símbolo, apaga o anterior ou imprime o que está lá. Após a leitura-gravação em certa célula, a cabeça se move para outra célula à esquerda ou à direita, conforme determinado pelo programa. O programa comanda as leituras e gravações, o sentido do movimento da cabeça, e define o estado da máquina – local em que a célula deve estar e para onde deve ir (Figura 3).

**Figura 3.** Esquema dos elementos de uma Máquina de Turing.



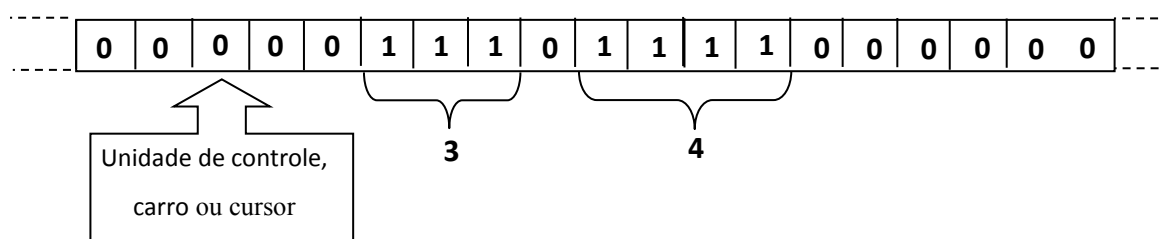
Fonte: Esquema elaborado pela autora.

A máquina de Turing estabelece uma parada quando uma das três condições é satisfeita: 1- a máquina assume um estado final e a informação de entrada é aceita; 2- há um movimento inválido e a entrada da informação ali contida é rejeitada, por exemplo, o argumento (símbolo lido e estado) corrente da função-programa define um movimento à esquerda e a cabeça da fita já se encontra na célula mais à esquerda; 3- há uma função indefinida e a informação é rejeitada, ou seja, a função-programa não está definida para o argumento. Nesse último caso, o processamento de uma informação pode parar ou ficar em loop infinito.

Dessa maneira, Turing mostrou que os passos de um sistema axiomático formal, a lógica e os estados da máquina que fazem os movimentos em um sistema formal automático eram equivalentes. Além disso, essa estrutura está subjacente à tecnologia atual dos computadores digitais cuja construção tornou-se possível uma década após a publicação do artigo de Turing, em 1931. Na verdade, a máquina de Turing é uma ideia, uma estrutura formal implementada por um sistema formal automático que é um dispositivo físico que manipula automaticamente os símbolos de um sistema formal de acordo com regras predeterminadas. Para cada sistema formal existe uma máquina de Turing que pode ser programada para reproduzi-lo. Por isso, pode-se dizer que existem tantas máquinas de Turing quanto sistemas formais que possam ser reproduzidos.

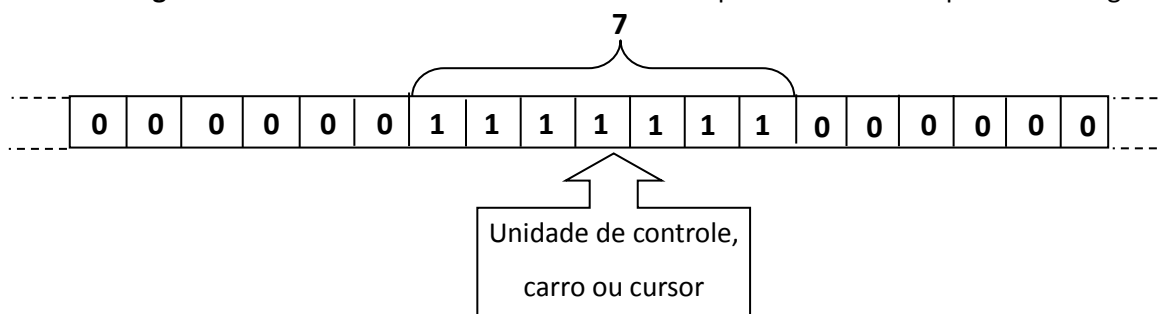
Experimente somar dois números inteiros positivos quaisquer. Esse é um exemplo prático que mostra a construção de uma máquina de Turing. Um número inteiro qualquer pode ser representado por uma sequência de números 1. Caso se queira somar os números 3 e 4, por exemplo, deve-se representá-los com duas sequências contínuas de três números 1, uma casa ou célula vazia e mais quatro casas preenchidas com números 1 (Figuras 4 e 5). Todas as outras células permanecem vazias, sendo esse vazio representado pelo número 0.

**Figura 4.** Soma dos números três e quatro em uma máquina de Turing.



Fonte: Esquema elaborado pela autora.

**Figura 5.** Resultado da soma dos números três e quatro em uma máquina de Turing.



Fonte: Esquema elaborado pela autora

O estado inicial da máquina está mais à esquerda do primeiro algarismo 1. Uma possibilidade é a unidade de controle mover-se casa a casa para a direita até encontrar o primeiro 1. Quando isso ocorrer, troca-se o conteúdo dessa casa por 0 e continua o percurso à direita até encontrar uma casa com 0, e substitua esse 0 por 1. Tem-se, então, o resultado desejado, ou seja, sete números 1, contínuos, indicando a solução como sendo 7.

## 8. RETOMANDO O MODELO COMPUTACIONAL DA MENTE

Apesar de os objetivos finais da Inteligência Artificial e da Psicologia Cognitiva serem diferentes, os resultados experimentais da primeira beneficiaram grandemente a segunda. Um dos objetivos da Inteligência Artificial foi a criação de modelos para a inteligência e a construção de sistemas computacionais baseados nesses modelos. Por isso, perseguiram o desenvolvimento de modelos formais para a inteligência humana, o que veio a favorecer pesquisas no âmbito da Psicologia Cognitiva (BITTENCOURT, 1996). Os primeiros laboratórios de Inteligência Artificial tiveram essa meta. Eles foram fundados nos Estados Unidos pelos matemáticos americanos John D. McCarthy (1927-) e Marvin Lee Minsky (1927-), pelo físico, Allen Newell (1927-1992) e pelo cientista político, Herbert Simon (1916-2001). Conforme Teixeira (1998, p.12), "destes laboratórios surgiram as primeiras máquinas de jogar xadrez, de demonstrar teoremas da lógica e outras grandes realizações da Inteligência Artificial nas décadas seguintes".

Esses pesquisadores consumiram muito tempo estudando a maneira como as pessoas resolviam problemas ou como escolhiam as jogadas em uma partida de xadrez, porque queriam simular o mesmo comportamento nos computadores. Ou seja, eles queriam programar um computador

para resolver problemas. Para isso, estudaram os passos tomados pelos jogadores de xadrez ou resolvedores de problemas, transcreviam-nos passo a passo e os analisavam. Em um desses estudos, Newell e Simon (1972, p.163-258) pediram que uma pessoa descrevesse em voz alta as operações mentais no problema intitulado DONALD + GERALD = ROBERT. Acompanhe os protocolos do sujeito na figura 6.

**Figura 6.** Protocolos em um problema DONALD+GERALD=ROBERT.

**Problema DONALD + GERALD = ROBERT**

$$\begin{array}{r} \text{DONALD} \quad D=5 \\ + \text{GERALD} \\ \hline \text{ROBERT} \end{array}$$

Protocolos	
1. Cada letra possui um e somente um valor numérico...	11. Não.
2. (Pesquisador: Um valor numérico.)	12. Mas eu tenho um outro D.
3. Existem dez letras diferentes.	13. O que significa que tenho um 5 em cima, do outro lado.
4. E cada uma delas tem um valor numérico.	14. Agora tenho 2 A's
5. Portanto, eu posso, olhando para os dois Ds...	15. e 2 L's
6. cada D vale 5;	16. que são cada
7. portanto, T é zero.	17. qualquer
8. Então, eu acho que iniciarei escrevendo o problema aqui.	18. e esse R
9. Escreverei T, T é zero.	19. 3 R's (continua...)
10. Agora, eu tenho outros T's?	

Fonte: Newell e Simon, 1972, p.163-258.

Por um lado, esses estudos auxiliavam os pesquisadores em Inteligência Artificial na busca por programas que resolvessem problemas, a partir das características da inteligência humana para as máquinas (LEVINE, DRANG & EDELSON, 1988); por outro, psicólogos cognitivos se beneficiavam dos resultados e do método para implementarem seus estudos sobre o pensamento. Por isso, surgiram teorias sobre a resolução de problemas pelos humanos que foram testadas pela simulação computacional. A lógica dessa simulação, segundo Mayer (1977, p.136) era a de que se um programa de computador produzia o mesmo comportamento que um humano na resolução de um problema, logo as séries de operações seriam uma exata representação dos processos de pensamento humano. Os métodos experimentais usados com simulação computacional geralmente envolviam pedidos para resolução de um problema, em voz alta, enquanto forneciam breve descrição do processo de pensamento e seu comportamento. Das análises dos protocolos



emergiam descrições dos processos mentais usados para resolver o problema, seguidos de um emparelhamento com um programa de computador. Desse modo, o pesquisador obtinha uma descrição que podia ser testada. Se o relato do sujeito pudesse ser escrito como um programa, o pesquisador concluiria que a descrição do processo para resolver um problema estava correta. Caso contrário, seria necessário tentar novamente.

Outras analogias foram utilizadas para explicar o processamento da informação por esses pesquisadores. Os programas computacionais - softwares - eram vistos como a mente humana, enquanto o hardware, a máquina, era comparado ao cérebro humano. Apesar de o computador e de as pessoas fornecerem os mesmos resultados, e de um programa de computador simular algumas maneiras do pensar humano, isso não significava que ele simulasse o processo de cognição subjacente. Um computador possui componentes diferentes do cérebro humano. Um programa de computador é exato e os protocolos não podem refletir exatamente os estados internos. Apesar disso, a analogia oferecia e oferece uma oportunidade para ir além das vagas teorias gestaltistas.

## **9. SEGUNDA METADE DO SÉCULO XX: AVANÇOS NA PSICOLOGIA COGNITIVA E SURGIMENTO DA CIÊNCIA COGNITIVA**

Desde os anos 50, a Psicologia Cognitiva avançou em seus estudos, publicações e adeptos. Um fato marcante foi a publicação do livro do psicólogo Ulric Neisser (1928-) intitulado *Cognitive Psychology*, em 1967. Esse livro abordou assuntos como percepção, atenção, linguagem, memória e pensamento. Três anos mais tarde houve o lançamento de um jornal de mesmo nome, com importantes divulgações para a comunidade científica específica.

O incremento nas divulgações foi importante, uma vez que a própria Psicologia Cognitiva se construiu mediante interfaces com outras áreas, sobretudo da Filosofia, Linguística e Inteligência Artificial. Desse modo, ela influenciaria não só essas áreas, como outras indiretamente relacionadas, mas que se beneficiariam de seus resultados reciprocamente. Por isso, os novos tempos fizeram emergir a Ciência Cognitiva, composta por seis áreas do conhecimento: Psicologia Cognitiva, Neurociência, Inteligência Artificial, Linguística, Filosofia da Mente e Antropologia Cognitiva. É perfeitamente plausível entender que o esforço interdisciplinar favoreceria a todas.

Por exemplo, para se construir uma máquina que simulasse a linguagem humana, era preciso conhecer profundamente os mecanismos da linguagem. Para se simular processos mentais humanos, havia a necessidade de estudos em Inteligência Artificial. Para se construir uma máquina de jogar xadrez ou demonstrar teoremas da lógica, seriam necessários estudos em Psicologia Cognitiva. A própria Filosofia ainda permeia questões na Psicologia quando esbarra no problema do inatismo ou quando se pergunta sobre a melhor maneira de interpretar as informações do mundo, via sentidos ou por meios lógicos.

## **10. UMA IDEIA GERAL SOBRE O PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO SEGUNDO O MODELO COMPUTACIONAL**

Para muitos psicólogos cognitivistas (JOHNSON-LAIRD, 1983; ANDERSON, 1990; KOSSLYN, 1992; THAGARD, 1998; PINKER, 1998; STERNBERG, 2000), o momento contemporâneo da história da Psicologia Cognitiva trabalha com a ideia do processamento da informação em uma perspectiva computacional. Os motivos parecem ser plausíveis, apesar da lucidez de limitação nessa analogia, que será tratada posteriormente neste texto.

Esta explanação será analisada à luz da abordagem de Anderson (1990) e Kosslyn (1992), isto é, semelhante a dos psicólogos cognitivistas contemporâneos. O processamento da informação mental, bem como a computacional, possui uma sequência comparável com o trajeto de uma carta desde sua postagem à entrega ao destinatário. O remetente a coloca em uma caixa postal, o serviço de correio organiza as correspondências segundo regiões, depois em distritos e, por fim, entrega-as ao carteiro que percorre certa área, entregando-a em seu destino correto. Como o trajeto percorrido pela carta, assim é a informação pela mente. A informação é entendida aqui como objeto mental operado em uma pergunta, em uma representação do significado, na memória etc. Uma análise ampla do processamento por meio da mente humana, mediante a pergunta: "Onde sua avó mora?" poderia ser: primeiramente, cada palavra é identificada e tem seu significado recuperado; posteriormente, ocorre o significado para essa configuração de palavras que é entender o que está sendo perguntado; para então, a memória ser acionada na busca pela resposta correta; por fim, é formulado um plano para a resposta: "Ela mora em San Francisco".

A análise do processamento da informação, portanto, envolve um traçado da sequência de operações mentais e de seus produtos na realização de uma tarefa cognitiva particular. Esse traçado possui uma estreita associação com o caminho percorrido pela informação nos computadores, diferenciando-se pelo programa, que é o que faz esse objeto abstrato circular e gerar produtos de mesma natureza, ou seja, informação. Com o programa é feita a analogia da representação mental, objeto de interesse neste texto. Os computadores possuem "interpretadores", que convertem os comandos dados em um programa escrito em linguagem de alto nível para um programa de baixo nível, que especifica e gerencia o que os componentes físicos do computador devem fazer. Analogamente, a mente representa o conhecimento como em uma linguagem de alto nível, para posteriormente ser "traduzida" em uma "linguagem cerebral".

Kosslyn (1992) declarou que a analogia do computador abriu caminho para investigações sobre como as informações são representadas na mente. Com isso, a mentalização de imagens tornou-se um assunto polêmico, uma vez que os computadores armazenavam mais descrições do que quadros, com alguns investigadores deduzindo que o mesmo ocorria com a mente humana. Proveitosamente, esses questionamentos surgiram em uma época em que já existiam ferramentas metodológicas capazes de testar algumas dessas ideias.

## 11. LIMITAÇÕES NO MODELO COMPUTACIONAL DA MENTE

Muitos psicólogos cognitivos (JOHNSON-LAIRD, 1983; ANDERSON, 1990; THAGARD, 1998; PINKER, 1998; STERNBERG, 2000), no final dos anos 70, concordavam que o processamento da informação foi a melhor maneira para se estudar a mente até aquele momento. Entretanto, algumas diferenças devem ser levadas em consideração. A mente é um conjunto de módulos, tanto quanto em um computador, mas de naturezas diferentes. As conexões físicas de um não são as mesmas do outro, apesar de produzirem os mesmos resultados.

A Psicologia Cognitiva considera as representações mentais humanas como sendo idiossincráticas (EYSENCK & KEANE, 1994). Os programas para os computadores também podem ser considerados assim, uma vez que podem ser escritos diferentemente, apesar de produzirem os mesmos resultados. No entanto, por existirem diferentes hardwares, dependendo do programa, uns podem não chegar a executá-lo, devido a alguma limitação física, enquanto outros podem fazê-lo

satisfatoriamente. Seria uma analogia a ser desconsiderada pelos psicólogos cognitivistas e cientistas da computação? Os primeiros ignoram as diferenças cerebrais. Para eles, a mente é o que o cérebro faz. Especificamente, o cérebro processa informações, e pensar é um tipo de computação (PINKER, 1998). A mente não é um único órgão, mas um sistema de órgãos, que pode ser concebido como faculdades psicológicas ou módulos mentais. Essa seria uma limitação.

Outra preocupação relevante que torna limitada a abordagem computacional deve-se ao fato de o sistema cognitivo ser considerado isoladamente das influências motivacionais e emocionais (EYSENCK & KEANE, 1994). As pesquisas revelam influências dessas variáveis sobre o cognitivo e vice-versa. Talvez esse fator possa ser minimizado, incluindo estudo de fatores emocionais em pesquisas cognitivas. De qualquer forma, os computadores são insensíveis nesse tópico, e essa é outra limitação.

## 12. AS DIFERENTES TEORIAS COMPUTACIONAIS NA PSICOLOGIA COGNITIVA

Os pesquisadores em Psicologia Cognitiva desejam: descrever os diferentes tipos de resolução e aprendizado de problemas; explicar como a mente realiza estas operações; que tipo de erros elas produzem em um raciocínio dedutivo; de que forma aplicam conceitos; a velocidade do pensamento imagético etc. Apesar de estarem sob o manto de um modelo computacional, desenvolvem suas teorias explorando ou enfocando mais um ou outro aspecto do funcionamento mental. O psicólogo cognitivista John Robert Anderson (1947-) (1996), por exemplo, desenvolveu a teoria ACT - Adaptive Control of Thought, diferenciando o conhecimento procedural do conhecimento declarativo, o primeiro representado na forma de sistemas de produção, o segundo, na forma de redes proposicionais. Stephen Michael Kosslyn (1994), igualmente psicólogo cognitivista, entendeu a representação do conhecimento via imagens mentais ou de forma proposicional semelhante a símbolos. Pylyshyn (STERNBERG, 2000, p. 168), contrariamente a Kosslyn, não acreditou que fosse assim, pois concebeu as imagens mentais como epifenômenos de representações proposicionais. Já Philip Nicolas Johnson-Laird (1983) desenvolveu a teoria dos modelos mentais que diferencia a representação mental por proposições ou por modelos mentais, para citar algumas teorias. Independentemente dessa diversidade de teorias, concorda-se com o psicólogo canadense Steven Pinker (1954-) (1998, p.45), de que as pesquisas devem explorar não só como a mente funciona, mas o que faz com que ela funcione melhor e em que elas diferem. Isso porque há muitos lados para um mesmo fenômeno. A velocidade de um carro depende do

motor, do combustível, e da habilidade do motorista; a utilidade de um computador depende da potência de seu processador, bem como da habilidade do usuário; a qualidade do som de um CD player depende do design mecânico e eletrônico, assim como da qualidade do som original (PINKER, 1998). O funcionamento da mente pode ser melhorado com quais fatores? O que a educação pode fazer para aumentar o desempenho da mente dos alunos? Como os professores podem ajudar seus alunos a potencializarem seus aprendizados uma vez que o funcionamento mental está por demais envolvido nessa história? Para responder a esses questionamentos, é fundamental o desenvolvimento de pesquisas adicionais para o aprofundamento das variáveis implicadas, e assim, continuar a escrita dessa história.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, R. J. **Cognitive psychology and its implications**. New York: W. H. Freeman and Company, 1990.
- BAUM, W. M. **Comprender o Behaviorismo: comportamento, cultura e evolução**. 2ª ed. rev. ampl- Porto Alegre: Artmed, 2006.
- BITTENCOURT, J. **Kurzzeitintervention zur Besorgnisreduzierung bei Hochbesorgten: Studie zur Evaluation einer Methode der kognitiven Umstrukturierung [Brief intervention for worry reduction in high-worriers: Evaluation of a cognitive restructuring method]**. Unpublished master's thesis, Free University of Berlin, Germany, 1996.
- BUTCHER, A. Aspects of the speech pause: Phonetics correlates and communicative functions. *Aipuk (Arbeitsberichte Institut für Phonetik Kiel)*, 15, 1981.
- CORMEN, T.; LEISERSON, C.; RIVEST, R.; STEIN, C. **Algoritmos: teoria e prática**. Rio de Janeiro, RJ: Campus, 2002. p.757.
- EYSENCK, W. M.; KEANE, M. T. **Psicologia cognitiva: um manual introdutório**. Porto Alegre, RS: Artes Médicas, 1994.
- JOHNSON-LAIRD, N. P. **Mental models**. Cambridge: Harvard University Press, 1983.
- KOSSLYN, S. M. A capacidade para trabalhar mentalmente com imagens. Em Sternberg (Ed.), **As capacidades intelectuais humanas: uma abordagem em processamento de informações** (pp.169-193). Porto Alegre, RS: Artes Médicas, 1992.
- KOSSLYN, S. M. **Image and brain: the resolution of the imagery debate**. Cambridge: MIT Press, 1994.
- LEVINE, R. I.; DRANG, D. E.; EDELSON, B. **Inteligência artificial e sistemas especialistas**. São Paulo: McGraw-Hill, 1988. 264 p.
- MAYER, E. R. **Thinking, problem solving, cognition**. New York: W.H.Freeman and Company, 1992.
- NEWELL, A.; SIMON, H. A. **Human problem solving**. New Jersey: Prentice-Hall, 1972.
- PINKER, S. Mental imagery and the third dimension. **Journal of Experimental Psychology: General**, 109, 354-371, 1998.
- STERNBERG, R. J. **Psicologia cognitiva**. Porto Alegre, RS: Artes Médicas, 2000.
- TEIXEIRA, F. J. de. **Mentes e máquinas: uma introdução à ciência cognitiva**. Porto Alegre, RS: Artes Médicas, 1998.
- THAGARD, P. **Mente: introdução à ciência cognitiva**. Porto Alegre, RS: Artes Médicas, 1998.