CDD: 153.4

SEMELHANÇAS E DIFERENÇAS ENTRE PROCESSOS COGNITIVOS E COMPUTACIONAIS

CARLOS ALBERTO LUNGARZO

Departamento de Filosofia,
Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Rua São Francisco Xavier , 524 - 9º Andar - Sala 9027 - Bloco B,
20550-013 RIO DE JANEIRO, RJ
BRASIL

Resumo: *Pretendemos estudar aspectos formais da* Ciência Cognitiva [CC]*, com o intuito de elucidar o problema das diferenças e semelhanças entre mente e computador, tratado muitas vezes sem rigor. Aderimos à proposta de Sloman (1993) de considerar o sistema cognitivo como um sistema de controle, e re-definimos conceitos básicos, resgatando seu sentido cognitivo, como informação, algoritmo e problema. Analisamos projetos de computação não convencional (redes neurais, algoritmos genéticos, etc.), e mostramos que a computabilidade real é ainda clássica. Observamos que o sistema cognitivo, diferentemente do computador, possui autonomia e consciência, que são definidas em termos filosoficamente neutros. Contra as argumentações baseadas em cardinalidade e em teoremas de limitação, afirmamos que não é possível provar que existam problemas formulados logicamente, que sejam melhor resolvidos pela mente que pelo computador. No entanto, a mente tem capacidade aleatória e não é programável, o que lhe que permite colocar e resolver outros problemas, não computacionalmente tratáveis. A construção de redes neurais que substituam os computadores convencionais talvez recoloque o problema, mas, por enquanto, mentes e computadores só se aproximam na resolução de problemas a nível algorítmico.*

Palavras-chave: *cognição; redes neurais; processos cognitivos; processos computacionais; teoremas de limitação.*

1. CONCEITOS BÁSICOS NO DESENVOLVIMENTO FORMAL DA CC

(A) Objetivo e perspectiva adotada

Este artigo visa exibir as linhas gerais de uma pesquisa desenvolvida em várias outras comunicações[*].

Meu objetivo global em CC é identificar as características que contribuem para definir "cognição" como processo cientificamente analisável. Mais precisamente, é separar os elementos especulativos tradicionais da teoria do conhecimento, dos que podem ser modelados, descritos e, eventualmente, explicados, pela psicologia, biologia e outras ciências. No entanto, essa tarefa é muito extensa e só pode ser demarcada parcialmente.

No segmento mais recente, tento estimar a *relevância dos métodos formais utilizados em* CC, seja como modelos, como métodos, ou como "leis"[1].

Em particular, neste artigo me proponho comparar o processamento cognitivo de informação e suas semelhanças e diferenças com o processamento computacional.

---

[*] Quero manifestar meu reconhecimento ao CNPq (em particular, ao comitê multidisciplinar), por seu apoio permanente, tanto no Brasil como no exterior. O assunto desenvolvido neste projeto começou em 1998, mas o suporte do CNPq em diversas fases desde 1988 exerce reflexos em toda minha atividade posterior.

[1] Esta preocupação teve origem nos remotos tempos da minha PG, mas só pôde ser desenvolvida a partir de 1987, na UNICAMP. Além do CNPq, apoiaram meu trabalho a FAPESP, a CAPES , o grupo de Estudos Cognitivos da UNESP/Marília e, num primeiro período, o FAEP da Unicamp. O conteúdo desta série de artigos nutre-se da última etapa da pesquisa, começada em 1999. A demora em publicá-lo deve-se à falta de condições durante esse período e o subseqüente.

De maneira preliminar, caracterizo os conceitos básicos em apreço.

Chamo "ciência cognitiva" [CC], como é usual, ao sistema de "doutrinas" relativas ao problema da cognição (especialmente humana), abrangendo a captura, estocagem, recuperação, transformação e transmissão de informação, e a simulação artificial desses processos. Não se pode afirmar, exceto no caso da psicologia cognitiva, que as disciplinas que constituem a CC (lingüística, computação, neurociência, etc.) sejam áreas ou "capítulos" da CC, já que elas possuem aplicação também fora da cognição.

No entanto, alguns contextos dessas disciplinas podem ser considerados sub-ciências da CC. Este é o caso da Inteligência artificial [IA]. Com efeito, sendo a inteligência um dos processos cognitivos centrais, seu estudo é um caso específico do estudo da cognição.

Por *computável* ou *calculável* (cujos nomes considero sinônimos), entendo um objeto ou processo que pode ser "encontrado" ou "realizado" de maneira "automática". A idéia procedimental parece clara: algo é calculável (computável), se pode ser executado de forma "efetiva", sem qualquer uso de engenho, criatividade, etc., e, no caso padrão, também sem apelo para o acaso. Não obstante a liberdade com que é usada, esta "definição" não é operacional, e deverá ser precisada com a noção de *algoritmo*.

Observe-se que, a definição usual de CC, tal como foi reproduzida acima, se enquadra na chamada perspectiva computacional. Nesta perspectiva, entende-se que a mente "computa" a informação, como o sugerem os termos "estocagem", "recuperação", "transmissão", etc. Em alguns enfoques mais "mecanicistas", esta definição realmente identifica processos cognitivos com computacionais e torna trivialmente verdadeira a equivalência entre ambos. Em tal contexto, nossa pesquisa não faria o menor sentido.

Que a informação seja "processada" significa que podemos determinar quando os sinais têm sido transformados, estocados, recuperados, etc. Isso não implica que o processo aconteça *exatamente* da mesma maneira no caso de mentes e de computadores. (Em particular, nem o processador de um computador nem sua RAM pode se identificar com a inteligência e a memória biológica, respectivamente.)

Sendo que nosso objetivo é a cognição "intelectual" em sentido estrito, omitimos qualquer referência à cognição social e aos aspectos emocionais e volitivos vinculados aos processos de conhecimento.

Comparar as funções cognitivas com as do computador é um caso particular da comparação entre "faculdades" mentais e "processos" mecânicos. Muito da polêmica em torno dessa relação origina-se na definição insuficiente de alguns conceitos comuns a ambas as áreas, como, por exemplo, *informação* e *problema*.

(B) Informação

Das definições de informação, a mais célebre é a de Shannon & Weaver (1964). Aqui, *informação* é um fenômeno produzido dentro do processo mais geral de *comunicação*. Mas o que eles entendem por comunicação é muito amplo: "todo o comportamento humano" (1964, p. 3). Não obstante, sua definição de informação, que se tornou clássica, é apenas um componente de um dos níveis da comunicação: aquele que eles chamam "técnico" e que se identifica com "relativo à engenharia" (1964, p. 6).

Neste sentido técnico, *informação* não é definida propriamente como processo ou "grandeza", mas como medida. De fato, informação é, para eles, o "grau" de liberdade de escolha entre diversas mensagens.

Esta definição, totalmente satisfatória na eletrônica, como o prova sua enorme influência na evolução da computação, é restritiva em várias direções: ignora os aspectos semânticos, privilegia as comunicações simbólicas, e assume, desde o começo, a mensurabilidade da informação, já que é introduzida como "medida".

O enfoque dado ao termo "informação" nem sempre coincide com o de "conhecimento" (cf. Lungarzo, 2002). Este é mais específico, e está eivado de conotações da filosofia tradicional, como a relação sujeito-objeto, a constituição da consciência, etc.

Os critérios tradicionais[2], embora nem sempre usem o termo "informação", entendem que há conhecimento apenas na presença de um sujeito consciente. Assim, identificar informação com conhecimento pode trivializar nossa comparação entre cognição e computabilidade, pois, se *informação* fosse conhecimento no sentido filosófico (auto-reflexivo, consciente, etc.), somente poderia ser processado por pessoas. Nesse caso, os dois estilos de processamento de informação (cognitivo e computacional), serão radicalmente diferentes, já que o conceito de "conhecimento", em sentido estrito, é inaplicável a uma máquina[3].

Além disso, identificar informação com conhecimento impede que se considere como autênticas informações, aquelas modificações que acontecem nos meios que as transmitem, devendo-se restringir apenas à carga informacional capturada pelo sujeito. Uma definição de "informação" que *tenha* em conta apenas o conhecimento "atual" eliminaria processos considerados informacionais. É o caso do envio por

---

[2] Por "critérios tradicionais" refiro-me à tradição gnosiológica especulativa, em geral (Locke, Kant, Husserl, etc), mas excluindo às que estão eivadas de metafísica.

[3] Nada impede pensar que uma máquina possa "adquirir" vida, ser consciente, ter afetos, etc., como no filme *Shortcircuit*. Se isso vier a acontecer, significará que a consciência não se origina apenas em bases biológicas, mas também eletrônica. Apenas isso. Afinal, a natureza poderia ter criado a vida a partir de chips e não de cadeias de hidrocarbonos.

um computador de um mapa de *bits* que, ao ser recebido num certo terminal, pode gerar um retrato.

Esse processo é informacional mesmo que ninguém se dê ao trabalho de abrir a mensagem num módulo de imagem e "entender" o retrato. Mesmo se essa imagem fosse destruída por um incêndio do terminal, e nunca fosse vista por ninguém, ainda a consideraríamos informação.

Enquanto a definição técnica restringe a aplicação do conceito ao plano ótico/eletrônico, a definição filosófica se restringe aos casos de interações entre objetos fontes e sujeitos conscientes. Uma perspectiva apta para a CC deve ter em conta a necessidade de interpretar[4] o resultado de um processo de informação, mas também a de registrar a passagem de informação por meios físicos, combinando um critério semântico com o "técnico". A principal modificação é a existência potencial do interpretador (operador, usuário, etc.).

Algo se torna informação, quando pode ser percebido e, posteriormente, decodificado, mesmo que não esteja sendo "atualmente" percebido e, ainda, que nunca o seja. Ou seja, deve ocorrer o seguinte condicional (eventualmente, contra-factual):

Se alguém entrasse em contato com as mensagens, então seria "informado".

Estes comentários mostram que consideramos o predicado "ser informado" ou "obter informação" como *disposicional*.

Resgatamos parte de definição de Weaver em Shannon & Weaver (1964, p. 7), mas precisamos torná-la mais ampla para que inclua, além da informação eletrônica, também o conhecimento "natural".

---

[4] Considero "interpretar" como termo primitivo. Sua caracterização caberia, talvez, à psicologia cognitiva.

Seja *E* uma fonte emissora (de informação) e *R* um sistema de recepção[5].

Ambas entidades podem ser, nesta perspectiva, de qualquer índole: mecânicas, acústicas, eletrônicas, óticas, ou ainda biológicas. Portanto, o agente que é emitido por *E* e recebido em *R* não precisa ser um símbolo; pode ser um sinal qualquer, no sentido da semiótica[6].

O transmissor que "envia" os sinais desde a fonte emissora pode ser considerado, para nossos fins, parte de *E*.

No entanto, caracterizar *E* e *R* como emissores e receptores de um sinal *s*, exige especificar que é o que toda esta estrutura faz. No uso comum dos termos, não diríamos que qualquer processo real transmite informação, sob o risco de converter o conceito em trivial.

Por exemplo, um raio produzido por uma tormenta *E*, caindo numa floresta virgem, não gera informação no sentido filosófico de conhecimento, porque não há nenhum operador consciente observando a queda no cenário receptor. Não existindo possibilidade de "medir" a transformação produzida pelo raio, tampouco haveria informação num sentido técnico.

Vamos chamar *s* ao sinal que transmite aquilo que consideramos informação. Este sinal não precisa ser um símbolo. Consideremos a estrutura (*E, s, R*).

O sistema (*E, s, R*) não é informacional, mas talvez possa ser robustecido para virar um. Imagine, por exemplo, que um explorador encontra um tronco queimado e se sente atingido pela informação "caiu

[5] Ambos, *E* e *Re* podem ser pensados como sistemas mistos, formados por componentes físicos, biológicos e psicológicos. No caso de Shannon e os primeiros informatólogos, são sistemas eletrônicos. Para manter a generalidade, pensamos ambos como estruturas matemáticas.

[6] Algumas tendências incluem a *semiótica* na CC. Aqui usamos apenas alguns conceitos semióticos como o de veículo-sinal**.**

um raio na floresta". Esta interpretação I pode transformar nosso sistema em (E, s, R, I), o que o tornaria informacional. Contudo, outro explorador pode entrar na floresta, sem saber que era virgem e, ao se deparar com o tronco, imagina que "vândalos ecológicos fizeram um churrasco".

O sistema, aumentado por esta interpretação I' também é informacional: (E, s, R, I').

Então, as condições que caracterizam um sistema informacional são as seguintes:

Existe um sistema emissor E e um sistema receptor R.

Num instante t_0, o sistema E pode produzir uma seqüência de objetos (α_i), sendo $i \in \Lambda$, um conjunto finito de índices. A definição não impede que um ou mais elementos desta seqüência discreta sejam processos contínuos. Por exemplo, α_3 pode ser um conjunto de ondas musicais.

Num instante $t > t_0$, R recebe uma seqüência de agentes informacionais (sinais) (σ_j), causalmente gerados[7] pelos α's. O conjunto Γ que contém os j pode ter cardinal igual, maior ou menor que Λ, já que os objetos emitidos podem ficar constantes, ou fusionar-se ou, ainda, "dividir-se".

Dada a seqüência de sinais recebidos (os σ's), deve existir um código C, tal que, qualquer agente psíquico (animal ou humano) que entre em contato com os σ's, deverá construir uma interpretação *única* I baseada em C.

---

[7] A idéia de causalidade neste contexto é a mesma que aparece nos textos de física ou de outras ciências. Pretendo indicar que a relação entre sinais emitidos e recebidos não é convencional, mesmo que o código o seja.

Assim, a relação entre a palavra "gato" e o animalzinho desse nome, não é causal, pois as palavras são símbolos convencionais, mas a relação com a pessoa que escreve ou pronuncia a palavra é.

Por exemplo, o sistema auditivo de um cachorro (*R*) lhe permite ouvir o som (α's) produzido por um sino (*E*). Munido de um código *C* interpreta os σ's, que são os mesmos α's (pois, neste caso, os emissores são ondas sonoras que se deslocaram sem modificação). Sua interpretação é que o dono da casa já preparou sua ração.

Nossa definição é do sistema informacional como um todo. Se outro cachorro interpreta os mesmos sinais com outro código, e acha que vai ser levado a passear, estará constituindo um sistema informacional diferente. Se *I* é a interpretação "tem ração", e I^* a interpretação "tem passeio", então os dois sistemas seguintes não são necessariamente equivalentes:

$\Xi = (E, \alpha\text{'s}, \sigma\text{'s}, R, I)$	$\Xi^* = (E, \alpha\text{'s}, \sigma\text{'s}, R, I^*)$

Ora, para que cada um desses sistemas preserve sua identidade, será necessário que a *I* (no segundo caso, a I^*) não varie significativamente.

Ou seja, dois sistemas:

$$\Xi = (E, \alpha\text{'s}, \sigma\text{'s}, R, I)$$
$$\Xi = (E', \alpha\text{'s}, \sigma\text{'s}, R', I')$$

são iguais, se e somente se emissores, receptores e sinais são intercambiáveis e *I* é equivalente a I' [8].

É por isso que Ξ não é igual a Ξ^*, pois *I* e I^* não são equivalentes.

[8] Mostrar que duas interpretações são *equivalentes* ($I \equiv I'$) do ponto de vista semântico ou pragmático não é uma tarefa exata. Podemos pensar que $I \equiv I'$ se ambas interpretações se afastam de maneira não significativa da interpretação aceita como padrão.

Nossa definição não proíbe nem exige a existência de um agente psíquico no emissor E. Este sistema pode ser totalmente natural, como no exemplo do bosque. Contudo, deve existir um código que forneça uma interpretação I, única, salvo equivalência. Esse código C deverá permitir interpretar (salvo erro experimental) a quem quer que seja, que a queimadura foi produto de um raio e não de um churrasco. Se a interpretação I^* que atribui a queima a um churrasco, for incorporada ao sistema informacional, então o sistema informacional é outro, e não o mesmo onde aparece I. Ainda, I^* só pode gerar um novo sistema informacional se existir um código que permita, a todos os novos potenciais observadores que tenham acesso a ele, interpretar a queima da mesma maneira.

Ora, se o sistema (E, α's, σ's, R, I) tivesse, realmente, numa vizinhança temporal "pequena" do instante t_0, um agente interpretador, então esta estrutura representaria, como caso particular, a visão clássica de conhecimento.

Com efeito, se todos os α e σ satisfazem $\alpha=\sigma$ (o sistema emissor se faz presente de maneira direta) e o sistema receptor R é o próprio sujeito, então este fenômeno é um processo de conhecimento no sentido das filosofias tradicionais. Nesse caso, I é um conceito.

Nossa definição exige que, se houver um agente interpretador associado com R, ele deverá interpretar σ de acordo com o código C. Isto é claramente um condicional. Caso não haja um interpretador associado com R (como no caso de um feixe de luz dirigido a um corpo celeste não habitado), a estrutura (E, α's, σ's, R, I), sendo $I=\varnothing$, coincide com um aspecto da definição de Weaver e Shannon.

Dado um sistema informacional, Ξ = (E, α's, σ's, R, I), a *informação* que ele transmite é o par ordenado formado pelos sinais de "chegada" σ e a interpretação I desses sinais.

Assim: $\Im = ((\sigma_k); I)$.

Estamos apenas formulando as bases de uma teoria da informação coerente com a CC em geral. Assim, os detalhes que são omitidos coincidem com as definições usuais. Em particular, esta caracterização é compatível com a teoria da medição da informação tal como está, por exemplo, em Da Silva (1995). Os conceitos aplicáveis à informação no sentido físico-eletrônico, como entropia informacional, continuam vigorando, como se pode ver em Piqueira (2001).

Observemos apenas que: (a) podem existir diversos códigos (equivalentes) que conduzam à mesma interpretação para os mesmos sinais; (b) a modificação dos sinais recebidos pode modificar a interpretação e, portanto, a informação.

(C) Conceito geral de problema

A seguir, seguiremos o enfoque de Veloso (1984), que dá uma resposta original e coerente para a teoria de problemas, que se adapta sem modificação a nossa linha. Queremos, no entanto, mostrar como a noção de problema pode utilizar-se da noção de informação, e como ele constitui a proposta de "algo", para cuja solução, em alguns casos especiais, serão empregados os algoritmos.

Intuitivamente, um *problema* é um requerimento para que encontremos, por meio de processos conceituais ou físicos um certo resultado, que depende de um conjunto de dados, dos quais se parte para a resolução.

O interesse da teoria de problemas para uma análise lógica do processo de cognição e sua relação com a computação é múltiplo. Notemos apenas que resolver um problema é um processo no qual estão envolvidos fatores cognitivos. Ao tentar a solução, estamos tomando informação dos dados e transformando-a numa informação que será o resultado pretendido. Há uma certa aprendizagem do operador, durante todo o processo de resolução.

Com efeito, resolver o problema de encontrar as raízes da equação de 2º grau cujos coeficientes (na forma reduzida) são p e q, usando a fórmula de Bhaskara, implica adquirir informação, mesmo que a equação, por ser um objeto matemático, não tenha referente real. Ou seja, o processo é informativo, mesmo que p e q sejam objetos matemáticos, pois são oferecidos ao operador como dados e, portanto, contêm informação.

Além disso, um problema especializa o conceito genérico de informação. Um dado e um resultado, tais como usados num problema, são fragmentos de informação.

Suponhamos um sistema informacional (E, α's, σ's, R, I). Em muitos casos, a interpretação será desnecessária. Embora o significado seja essencial do ponto de vista cognitivo, ele pode ser omitido durante o tratamento formal. Ora, se soubermos que um certo objeto ρ foi obtido no contexto de um processo informacional, podemos considerá-lo como um dado.

A definição de Veloso considera um conjunto de dados, seja D, dos quais parte o problema, um conjunto Re, dentro do qual está o resultado obtido por uma solução do problema, e uma condição. Mais precisamente:

Sejam D e Re conjuntos não vazios, porém não necessariamente finitos e $Q \subset (D \times Re)$

Um problema π é um triplo:

$\pi = (D, Re, Q)$.

Uma solução de π é uma função σ: $D \longrightarrow Re$, tal que, para todo $a \in D$, ocorre que:

$(a, \sigma(a)) \in Q$.

O conjunto Q é a *condição* do problema: estabelece um vínculo entre os dados e o resultado.

2. PROCESSOS DE COMPUTABILIDADE

(A) Algoritmo

Uma forma simples de definir um algoritmo é usando funções recursivas[9]. No entanto, como estamos analisando a relação entre os processos da computação e os cognitivos, devemos mostrar que a escolha coincide com a noção empregada por nossa cognição para resolver problemas reais.

Nem todo algoritmo é aplicado sobre números; assim, não pode ser identificado de maneira imediata com o procedimento para calcular funções recursivas. Mesmo no caso numérico, um algoritmo possui a forma de uma seqüência de instruções ou ordens, e não necessariamente de uma sentença que descreve uma função. Do ponto de vista real, portanto, um algoritmo é um método para prescrever, seja a um sistema eletrônico, seja a um ente biológico, certas ações concretas que podem ser realizadas "sem pensar" nelas. Apesar da opacidade desta caracterização, ela, como muitos outros conceitos científicos, possui uma carga cognitiva essencial, que deve ser protegida na redução a uma estrutura formal.

O objetivo dos algoritmos é o de resolver certos problemas, mesmo aqueles consistentes em encontrar provas para teoremas.

---

[9] Assumo que *recursivo* coincide com calculável, de maneira trivial. Ou seja, "recursivo" é a forma exata do conceito intuitivo de "calculável". Minha ótica, neste problema, é que "recursivo" mantém, com "calculável", uma relação similar a que "conjunto" mantém com o conceito intuitivo de "coleção", "elenco", "amontoado" de objetos, etc. Vide Monk ((1976), p. 45ss) sobre a natureza filosófica da diferenciação entre ambos os conceitos.

Começaremos considerando classes de problemas que admitem solução pelo que vamos definir como algoritmo.

Seja *P* um conjunto de problemas (no sentido 1.*C*) $P_i \in P$, todos são equivalentes do ponto de vista da solubilidade[10].

Usualmente, caracteriza-se um algoritmo $\mathfrak{R}$ como uma classe finita de "instruções mecânicas" $In \in \mathfrak{R}$, que, aplicadas ao conjunto *D*, geram uma seqüência de "passos" que permitem resolver qualquer $P \in P$.

Esta é a descrição física da execução de um algoritmo, que, se for matematicamente *modelada*, permitiria construir programas para resolver *P*. Mas não podemos saber, a partir das instruções *In*, se o processo é algorítmico num sentido preciso. Se existisse uma definição não puramente formal de "algoritmo" mas que fosse tão precisa como a definição formal, então, o que nós chamamos "mecânico" (que é um termo vago), apareceria de maneira natural, tal como aparece qualquer outra propriedade física (como elasticidade, cor, estado térmico, etc.).

A modelagem matemática de um processo físico de execução de ações "efetivas" poderá produzir um algoritmo no sentido estrito. No entanto, a relação entre essa modelagem e o fenômeno não pode ser estabelecida por métodos formais. É um problema tão empírico como qualquer outro da ciência. Saber se vamos conseguir, com um algoritmo "real", construir uma bicicleta, é um conhecimento tão contingente como saber se essa bicicleta manterá o equilíbrio num sistema turbilhonado. O tratamento matemático é, então, essencial. Inclusive, noções tipicamente algorítmicas, como *loop*, não admitem uma definição

---

[10] Esta propriedade visa delimitar *P* de uma maneira informal. Tomada formalmente, ela parece criar um círculo vicioso, já que o conceito de "algoritmo" não foi ainda definido. Assim, o algoritmo de Tartaglia-Cárdano aplica-se a *todas* as equações algébricas de 3º grau. *P* é aqui a classe de todos os problemas *P* consistentes em resolver essas equações.

operacional satisfatória fora desse contexto[11]. A definição "informal" de *algoritmo* deixa sem caracterização algumas propriedades essenciais das quais temos intuição, mas só conseguimos manipular corretamente sob sua forma matemática.

Do ponto de vista formal, um algoritmo pode ser entendido como um conjunto de *regras* que governam *funções* ou *funcionais* recursivas definidas sobre o conjunto dos números naturais $\omega \cup\{\infty\}$, incrementando com um elemento ∞ que não pertence a ω e suas potências[12].

Seja L uma linguagem que contenha a aritmética intuitiva de 1ª ordem, e $\mathfrak{I}$ um conjunto finito de *instruções*. Uma instrução é uma expressão S de L, tal que, dado um vetor do conjunto $x \in \omega^n$ como antes, permite calcular um número a, que chamamos "o resultado de x por S ", e indicamos por $S(x)$. Pode acontecer que S seja um *imperativo* do tipo "faça tal e qual coisa com x", ou uma sentença enunciativa.

Por exemplo, seja $x = \langle 7, 2\rangle$ e S a sentença "adicione x_1 e x_2". Então $S(x) = a = 9$.

O que dá caráter "efetivo" a $\mathfrak{I}$ é o fato de que cada instrução é ou uma *definição* do *resultado* em termo dos *dados*, ou uma *ordem* para chegar ao *resultado* partindo dos dados. No exemplo acima, trivialmente, S calcula o resultado "de maneira efetiva" com base nos argumentos dados, porque a regra de soma é uma instrução finita, perfeitamente conhecida, cujos casos são todos manipuláveis.

---

[11] Em particular, se não for matematicamente definido, afirmar que um algoritmo entra numa fase cíclica, poderia ser considerado um "defeito" do operador ou qualquer outro problema subjetivo, e não uma característica do próprio problema.

[12] Não descartamos funções recursivas sobre os racionais, mas não parece necessário incluí-las aqui.

Consideremos que a classe dos problemas a serem resolvidos já foi "modelada" em forma matemática. Agora, eles podem ser tratados em termos recursivos[13].

Seja P a classe dos problemas abordados. Seja $\mathfrak{R}$ um conjunto de instruções. Diremos que a instrução $In \in \mathfrak{R}$ é *algorítmica*, em relação ao problema específico $\pi=(D, Re, Q)$ $(\pi \in P)$, se e somente se:

Existe uma *função recursiva parcial* f, tal que:

Para um vetor de dados $a \in D^n$, ocorre:

(1) Existe um $b \in Re$, tal que b é o resultado de aplicar In a a se e somente se $f(a) = b$.

(2) Se não existir tal b, $f(a) = \infty$.

Observe que cada P, em "combinação" com outros, pode constituir um problema "maior" P^*, da classe P.

Ou seja, uma instrução algorítmica transforma um *dado* de um certo problema P de P, num *resultado* do mesmo problema[14].

Um *algoritmo* para resolver os problemas de uma classe P é o par ordenado formado por P e o conjunto $\mathfrak{R}$ de todas as instruções, aplicadas às funções f_b, que realizam os cálculos a partir dos dados de um π qualquer de P.

---

[13] A *modelagem* é uma noção difusa, que conduz a muitos equívocos quando aplicada indiscriminadamente, especialmente nas ciências humanas. Aqui, estou supondo que o problema admite uma formulação "razoável" em forma de enunciados, e que eles podem ser aritmetizados pelos métodos usuais de introdução de coordenadas.

[14] Apesar de ser um fato muito conhecido, vale a pena refletir sobre o conceito de *indeterminação*. Uma instrução *algorítmica* sempre dá uma resposta, o que não acontece com uma instrução qualquer. Que o b não possa ser encontrado, não elimina o caráter algorítmico. De fato, ela faz corresponder ∞.

Um algoritmo *para* uma família P de problemas fica caracterizado pelo par $(P, \mathfrak{R})$.

Um conjunto de instruções $\mathfrak{R}$ pode resolver problemas de várias classes. Eventualmente, pode ser confortável escolher P como a classe maximal de problemas resolúveis por $\mathfrak{R}$. Mas isto pode introduzir um elemento não construtivo. Por outro lado, cada problema π de qualquer classe, pode ser resolúvel por diferentes conjuntos de instruções $\mathfrak{R}$ e $\mathfrak{R}'$. Se P é uma classe dada de problemas, *todos* resolúveis pelos conjuntos de instruções $\mathfrak{R}_1,\ldots, \mathfrak{R}_n$, consideramos como algoritmo a seqüência formada por P e a *n-upla* de instruções.

Observe que:

(1) Não afirmamos que as funções recursivas fazem parte do algoritmo. Dada a instrução *In*, encontramos a função f que resolveria aquele passo de nosso problema e que pode ser calculada por *In*. Esta função pode não reaparecer posteriormente.

(2) Uma das propriedades de "algoritmo" que resgatamos é a de ser um processo *iterativo*. Sendo que os problemas de P estão "modelados" matematicamente, temos que D e Re satisfazem

$$D, Re \subset \bigcup_{n=0}^{\infty} \omega^n .$$

É possível compor várias funções, usando como dados, os resultados obtidos pela anterior, como no seguinte exemplo (simplificado), onde $\pi = (D, Re, Q)$.

$$D \xrightarrow{\text{instrução } I_1\text{, para função } f_1} \omega^k \ldots \xrightarrow{\text{instrução } I_m\text{, para função } f_m} Re$$

(B) Computação não digital

Fala-se, usualmente, que uma função $f: A \longrightarrow B$ é calculável, quando existe um algoritmo $\Re$ que, para cada $\alpha \in A$, permite calcular o valor $f(\alpha)$.

Pensa-se que esta é a única forma de "calcular", talvez porque os algoritmos da matemática elementar ou da computação são os únicos recursos com essas propriedades vagas, porém familiares (efetividade, finitude, procedimento mecânico, etc.). Se a forma em que modelamos esses conceitos difusos é adequada, deve acontecer que *calculável* e *recursivo* sejam equivalentes.

Se isto é verdade, então a computação de uma função é um processo algorítmico, portanto, seqüencial, e, finalmente, numérico (em particular, digital). Nesse caso, as diferenças entre o processo do computador e o da mente seriam radicais e não caberia nos perguntar sobre suas semelhanças. Acontece, porém, que a crença em que os processos computacionais podem se aproximar "muito" dos processos cognitivos reais, é reforçada com a aparição de recursos de computação que, aparentemente, não são algorítmicos. Os mais conhecidos são as *redes neurais* [RN's], que fazem parte das estruturas conexionistas.

O ponto de vista *conexionista forte*[15], caracterizado pela existência de um processamento "intensamente" paralelo, não algorítmico e não digital (segundo, entre outros, Caudill & Butler ((1992), p. 3) obrigaria, em princípio, a alargar a noção de *computabilidade*, para abranger os casos não "digitais".

Um algoritmo implica caráter *digital* (cf. Haugeland (1990), p. 53ss.). Este autor faz notar também que "todo sistema formal é digital"

[15] Entendo por *conexionista* não apenas a perspectiva baseada em redes neurais, mas, em geral, a teoria de conexão paralela de processadores, inclusive no estilo "fraco" de Hillix.

(embora a recíproca não seja válida). Ora, um algoritmo é um *sistema formal* de tipo especial.

Se um algoritmo *é um sistema formal* (embora não reciprocamente) e *um sistema formal é digital*, então, os algoritmos são *digitais*.

Isto obriga a recolocar a questão da comparação entre mentes e computadores, agora em termos mais abrangentes do que algoritmos. Com efeito, se existe um dispositivo Δ (por exemplo, RN) que é *computador*, mas não é *digital*, então, não pode ser algorítmico. Nesse caso, qual seria a propriedade diferencial entre uma mente e uma RN? Haveria algum experimento típico que uma delas pode realizar e a outra não?[16]

Os especialistas em RN's experimentais (cf. por exemplo, Caudill & Butler (1992), p. 3) parecem contornar o problema afirmando que as RN's *não* são computadores nem podem ser programadas. Consistem num sistema de processadores (os *neurodos*) "altamente" vinculados por *conexões*, que imitam a configuração dos neurônios cerebrais.

A teoria de RN's constrói um modelo simplificado de algumas das funções do neurônio real. A estrutura obtida consiste num feixe de *neurodos* interconectados, ou seja, é a idealização matemática de um sistema biológico real. Esta idealização é semelhante a outras, comuns nos sistemas biológicos ou físicos, como os modelos de "pontinhos" e elipses para representar o sistema solar. O fato emergente é que a RN é tratada como *uma estrutura em si mesma, e não apenas como o modelo do sistema*

[16] O problema da relação entre mente e redes neurais tem sido formulado várias vezes. Como as formulações são similares, apresentamos o argumento geral. As RN's são formas paralelas e não digitais de computação. Como a literatura sobre filosofia da mente menciona, rara vez faz a análise profunda da estrutura das RN's, o mais sensato será comparar as atividades cognitivas naturais com a totalidade das atividades chamadas "computacionais" (redes, algoritmos genéticos, etc.).

real no qual se inspirou. Cria-se, assim, uma nova estrutura: a RN artificial. Isto não é o habitual nos modelos físicos[17].

Ora, a simulação dessas estruturas utiliza programas convencionais que rodam em computadores reais (portanto, digitais) em função de algoritmos usados na programação das simulações.

Observe, por exemplo, que um sistema biológico (um animal ou uma pessoa) *aprende* certos comportamentos sem possuir um algoritmo. Talvez existam leis da psicologia que controlem essa aprendizagem. Conhecendo essas leis, poderemos simular um organismo que aprende, usando um programa convencional. De fato, existem numerosos *programas que imitam processos naturais* (desde movimentos de terra até a circulação do sangue), com a metodologia dos programas tradicionais: *seqüencial, algorítmica* e *digital*.

A rede é um modelo matemático de uma forma almejada de processamento não convencional. Mas ele é simulado, no mundo real, pela computação convencional[18]. As RN's reais, caso sejam construídas no futuro, agiriam como organismos biológicos, podendo, eventualmente, *estender* o conceito de computabilidade além dos algoritmos.

Ou seja, dada uma classe de problemas P, existiria $\pi \in P$, que não é resolvido por nenhum algoritmo $\mathfrak{R}$, mas sim pela rede neural real Ω (um hardware-RN).

---

[17] As referências a RN's são aqui bem rudimentares. Seus aspectos críticos serão motivo de uma próxima comunicação.

[18] Um computador real, cujo modelo abstrato fosse uma RN e não uma máquina de Turing, é teoricamente possível. Aliás, existem casos simples de robôs, dotados com sensores que funcionam como pequenos computadores analógicos, e transmitem o "impulso" externo ao interior da máquina, sem precisar programá-la. Ainda, a rede concebida como *real*, como neste caso, apenas complementaria a computação algorítmica. Em geral, a RN *só resolve problemas complexos quando simulada digitalmente*.

Essa situação alargaria a possibilidade "mecânica" de resolver problemas. Mas torna-se necessário analisar se *realmente* um programa convencional baseado em algoritmos é superado por uma rede real. Um programa inteligente, baseado em RN's, pode resolver alguns problemas de maneira mais rápida do que o faria um programa tradicional. Mas sua implementação real num computador é algorítmica.

Vagamente: processos computacionais são aqueles que podem ser geridos por seqüências de algoritmos, e por outros mecanismos que, supõe-se, estenderiam sua capacidade de processamento, como as RN's. Por enquanto, não há uma maneira exata de definir esses processos.

3. PROCESSAMENTO COGNITIVO

Aceitamos a clássica divisão do aparato cognitivo num sistema sensorial, um sistema motor e um sistema central, sendo que o sistema relevante para esta pesquisa é o *central:* o que contém pensamento, atenção, memória, inteligência, etc, e interage diretamente com a linguagem. Deste ponto de vista, nossa definição de informação é adequada. Já um estudo restrito ao sistema motor, poderia ser realizado usando apenas a definição "técnica".

Nosso intuito é comparar os processos do sistema central com os computacionais, e avaliar as semelhanças e diferenças no tratamento de informação.

(A) O "processador cognitivo central": autonomia e consciência

Apesar de sua carga filosófica tradicional, podemos usar o termo "mente" para nos referirmos ao "processador cognitivo central". Para evitar tomar partido por qualquer metafísica, devemos identificar apenas aqueles elementos "funcionais" da mente, ou seja, os que fazem com que ela atue como um processador natural. Por outro lado, para não trivializar sua especificidade, devemos reconhecer algumas propriedades básicas das mentes e seus portadores (seres humanos ou animais). Eu reduziria estas propriedades, em princípio, a duas: *autonomia* e *consciência*.

Esta escolha implica uma posição algo mais "dura" e menos "instrumentalista" que a de Sloman ((1993), p. 74), que duvida que seja viável fornecer condições necessárias para a existência de capacidades mentais, dada a variedade encontrada nas espécies. Este ponto de vista parece motivado ((1993), pp. 73-74) pela sobre-simplificação que o autor percebe na literatura filosófica, onde a teoria da mente é abordada dentro de um marco restrito e preconceituoso. Minha divergência, porém, não é essencial: não levo em consideração o "desempenho" das possíveis "capacidades" (por exemplo, não me proponho a avaliar qual é o tamanho da memória), e considero, apenas, que autonomia e consciência são disposicionais, sem apoiar nem refutar qualquer doutrina que empregue as mesmas palavras.

O que entendo por *autonomia* é a propriedade da mente de atuar independentemente de qualquer previsão rígida[19]. Mais exatamente, seja M uma mente e E o estado de M num instante t. Suponhamos que temos algum método para conhecer os estados mentais E's desde fora da mente. Qual seja este método pode depender de nossa concepção psicológica, mas aceitamos em princípio que não é impossível ter algum indício do estado mental de outrem. Seja A o ambiente (em sentido amplo) em que está localizada M. Este A é não apenas o sistema de objetos que "rodeia" M, mas também todas as fontes de informação implícitas no mesmo. Então, ao percebermos um estímulo do ambiente

[19] O termo "autonomia" pode conduzir a confusão, mas não encontrei outro melhor que expresse a idéia de que a mente não é "programada". Não estou visando estabelecer qualquer relação com o conceito de *auto-organização*, que é um tema usual em CC.

A sobre M (passando através de canais perceptuais ou quaisquer outros que possamos advertir), conjeturamos normalmente que M passará a um outro estado E'. Esta é uma crença de boa fé, da mesma maneira que acreditamos que uma modificação num meio físico produz uma mudança num sistema não fechado. A autonomia significa que *nunca poderemos predizer* qual será esse estado com uma probabilidade $p = 1$.

Esta é uma diferença importante com os computadores. Se o ambiente A envia ao nosso computador M (a "mente artificial") um estímulo através de um dispositivo qualquer (teclado, mouse, câmera, etc.), e tivermos conhecimento "suficiente" do estado E de M, poderemos predizer E' com certeza, pelo menos no "longo prazo". Ou seja, mesmo que algumas predições fracassem por causa de fatores aleatórios, estatisticamente será possível chegar a um limite de certeza na predição. Por exemplo, ao pressionar a tecla "L" no teclado de acesso a um computador, estando aberto um programa de texto adequadamente configurado, temos a certeza psicológica de que será gravada a letra "L" e de que ela aparecerá no monitor. Eventualmente, isto pode falhar por causa de algum problema sistemático ou casual, mas, no "longo prazo", a probabilidade de aparição do "L" é 1.

Isto não acontece com nenhuma mente. Assim, mesmo sabendo que um gato está bem humorado e que tem fome, não sabemos com certeza se aceitará ou não uma ração de uma nova marca que lhe estamos oferecendo. Esta autonomia é o que, na vida diária, entendemos como "espontaneidade" da mente versus o "determinismo" da máquina. Uma conseqüência desta definição, que não será explorada aqui, é que não podemos saber qual é o estímulo que iniciará o processo cognitivo de uma mente. Num computador, qualquer processo é iniciado por alguns comandos precisos, sejam ou não conhecidos pelo operador.

O conceito de *consciência* aqui usado é uma disposição que podemos conferir em nós mesmos (por introspecção) e nos outros (por observação no sentido habitual de "observação científica"), e que consiste numa espécie de auto-reconhecimento. Certamente, "consciência" é um termo teórico, pelo menos, se rejeitamos a proposta comportamentalista de considerá-la apenas como uma metáfora. Pensamos que ela é tão "real" como qualquer outro componente não diretamente observável, embora não seja prudente atribuir-lhe uma determinada origem, nem, no enfoque específico deste trabalho, considerá-la verificada pelo chamado "programa NCC ". (cf. Cleermans & Haynes (1999))[20]

Outro aspecto do sistema cognitivo cuja análise é importante, por constituir um dos componentes que é computacionalmente representado no clássico modelo de von Neumann, é a *memória*. O problema de memória é extenso demais para ser tratado aqui, mas há alguns pontos a ser mencionados.

No sistema cognitivo central, a memória pode ser separada conceitualmente de outras funções, mas essa separação nem sempre acontece na prática. Outrossim, a separação de memória e processador na arquitetura de von Neumann é radical. Mesmo que a comparação entre processador cognitivo e computador nos interesse desde um ponto de vista "lógico" e não físico, as diferenças, porém, são significativas. Tanto a RAM como a chamada "memória virtual" são locais de armazenamento estável de informação. Em dois instantes de tempo $t > t'$, não se pode produzir alteração na memória se não houver novo fornecimento de informação. Se "ganham" ou "perdem" informação, mesmo num estado de "equilíbrio" do sistema, significa que houve um problema físico. Não há nenhum indício de que isto aconteça no caso da memória "natural". A perda de informação por defeitos de *hardware*

[20] O programa NCC é o programa "Neural Correlates of Consciousness", amplamente trabalhado em vários países.

deveria corresponder a falhas no sistema cerebral, o que não parece demonstrado por nenhuma experiência concreta.

O fato de que a memória humana ou animal possa alterar-se de maneira quase espontânea (por "esquecimento" ou por dificuldade de "localizar" uma informação procurada), parece estar relacionado com o dinamismo e a autonomia do processador cognitivo. Esta diferença com o processador computacional é marcante.

(B) Capacidades do processador central

O ponto de vista de Sloman ((1993), p. 76 ss), consistente em conceber a mente como um sistema de controle, parece-me uma das poucas propostas conhecidas que possui funcionalidade e, ao mesmo tempo, a necessária neutralidade.

Embora a arquitetura do sistema cognitivo proposta por Sloman deva ainda ser analisada e submetida a testes, no entanto, os critérios básicos para a concepção da mente como um sistema de controle parecem adequados. A mente é pensada como um sistema auto-monitorante e auto-modificante (sendo ambas as propriedades casos particulares do que eu chamei "autonomia" e, na minha opinião, condições muito "fortes"). Apesar disso, há alguns pontos notáveis nessa caracterização.

Um deles é que as mudanças mais importantes da mente são estruturais e não quantitativas. Esta afirmação é essencial para algumas de minhas conclusões neste trabalho. Num sistema de controle de tipo físico, os componentes fundamentais variam de maneira que pode ser apreciada numericamente, através de equações diferenciais ou, eventualmente, de representações de estruturas topológicas várias (fibrados, jatos, etc.) em corpos numéricos (reais ou complexos). É um fato curioso[21], mas podemos pensar os sistemas físicos de controle como representantes dos sistemas mentais ou inteligentes. Isto não é uma contradição: não conhecemos (e possivelmente não exista) uma maneira de medir a alteração do estado mental de um sujeito quando ele compõe uma peça musical, a partir da lembrança de uma música que ouviu cantar na rua. Ora, ao tentar "capturar" essa situação no computador, não será possível reconstruir esse estado mental, mas é possível implementar um algoritmo para compor uma música a partir de outra. Esta última implementação sim é mensurável, pelo menos teoricamente.

Este enfoque torna plausível a seguinte consideração: quando uma mente e um computador processam o mesmo tipo de estrutura (por exemplo, quando ambos fazem uma multiplicação entre números naturais), ambos manipulam os elementos utilizados da mesma maneira lógica, mas não necessariamente física. Esta distinção, muito usada no ambiente computacional, possui um forte apelo intuitivo mas é difícil de precisar. De fato, ao fazer uma operação "formal", ambos, mente e computador, vinculam os componentes da informação utilizada por meio de relações que não podem ser expressas em termos de causalidade física.

Temos aí uma conhecida semelhança, que favorece ao computador, pois ele é capaz de fazer qualquer cálculo muito mais rápido que a mente. Mas há uma diferença: é o nível lógico existente em ambos os sistemas de controle (a mente e o computador). No caso do computador, esse nível é explicável pela causalidade a nível físico: a relação entre *software* e *hardware* não é um mistério. No caso da mente, não sabemos se tal explicação seria possível. No entanto, é plausível pensar que não, e

[21] A observação de Sloman sobre este ponto é a única que conheço que captura tão sutilmente a possibilidade de implementar o "sistema certo" num "sistema errado", como o caso de representar a mente pelo computador.

que essa impossibilidade tem a ver com a natureza mesma do processador cognitivo central, mas que com limitações experimentais.

(C) Inferências e resolução de problemas

Como já foi sugerido, estamos ignorando os problemas da cognição "periférica" (como a percepção, por exemplo), que também são simuláveis em termos computacionais. Vamos nos cingir a dois assuntos cruciais na teoria central da cognição: a inferência e a resolução de problemas.

A inferência dedutiva pode ser reduzida, por sua vez, ao caso de resolução de problemas. Com efeito, seja D o conjunto das hipóteses, Re o conjunto unitário contendo a conclusão μ, e Q a condição $Q \subset (D \times Re)$, tal que

Para todo $\alpha \in D$: $(\alpha, \mu) \in Q$ se e somente se existe uma regra dedutiva ρ, tal que

$$\rho : (\ldots, \alpha, \ldots) \longrightarrow \mu,$$

onde as reticências indicam parâmetros.

Então, o "processo" de deduzir $D \longmapsto \mu$ equivale a resolver o problema $(D, \{\mu\}, Q)$.

No entanto, a dedução tem propriedades específicas dentro dos problemas. Existem numerosos casos exaustivamente estudados (Byrne & Johnson-Laird (1990), p. 148 ss) nos quais é possível descrever as "receitas" que o sistema cognitivo utilizaria para realizar a inferência. Apesar das peculiaridades da dedução, um enfoque geral da teoria de problemas, no qual a dedução esteja incluída, permitirá enquadrar nossa comparação entre *processamento cognitivo* e *computabilidade* de maneira mais precisa.

Com efeito, *computar* é resolver problemas de certo tipo. Se, por exemplo, D=ω², Re=ω e $Q((a,b),c)$ é a condição: $c \in Re \Rightarrow (c = a+b)$, então, a adição de dois números inteiros é a operação que resolve esse problema.

Os problemas definidos em 1.C não são necessariamente "dedutivos", mas possuem uma estrutura que pode ser expressa em termos de funções e conjuntos. Resolver um problema desta natureza é o "máximo" que podemos pretender de um computador. Por sua vez, as mentes humanas se colocam e, eventualmente, resolvem problemas menos precisos (como problemas familiares, políticos, econômicos, etc.), mas, em particular, podem resolver os deste tipo.

Utilizar a teoria de problemas como elemento de comparação entre cognição e computação parece o enfoque mais produtivo.

4. COGNIÇÃO *VERSUS* COMPUTABILIDADE

Computabilidade (de acordo com 2.A) é a capacidade de alguns sistemas físicos ou psíquicos de resolver problemas usando algoritmos. Essa definição pode perder significado, se considerarmos outras entidades (como as RN's), que pretendem ser processadores "computacionais" porém não algorítmicos.

Isto implicaria diferenciar diversos "estilos" de computabilidade. Segundo 2.B, as RN's são modelos não algorítmicos, mas sua implementação real é executada em computadores convencionais. Em 3.A optamos por aceitar que um processador cognitivo "natural" é um sistema autônomo e consciente, que pode ser considerado um sistema de controle, e que, em seu núcleo central, possui como um de seus objetivos a resolução de problemas.

Estas precisões permitirão uma melhor comparação.

(A) Representação: simbolismo e formalismo

Os sistemas *simbólicos* e *formais* são considerados como veículos típicos para a *representação* do conhecimento na chamada *teoria clássica da cognição*. [Uso "teoria clássica" como prévia historicamente ao conexionismo. O sentido exato é o de Horgan & Tienson (1993), pp. 163 ss.]. A idéia de representação simbólica baseia-se na propriedade dos sinais artificiais (símbolos) de ter como designados objetos quaisquer, mesmo universais e abstratos. Que a representação seja *formal*, nem sempre está corretamente definido. Mesmo algumas autoridades na área (por exemplo, Fodor (1981)) confundem *formal* com sintático. [Estes pontos serão apenas delineados. Detalhes serão desenvolvidos num trabalho posterior.]

Símbolos e *formalismos* são necessários na interpretação computacional do conhecimento baseado em algoritmos.

Como é conhecido, um *símbolo* S é um sinal vinculado com seu denotado de maneira convencional, sem restrições quanto à aparência física ou causalidade. Salvo algumas exceções, uma *expressão simbólica* é uma seqüência *linear* finita, gerada a partir de um conjunto finito V de símbolos S, incluindo o espaço em branco.

Uma expressão simbólica é formada a partir do *vocabulário* V e uma operação binária de *encadeamento* *, tal que:

O conjunto das expressões simbólicas Σ é um semigrupo livremente gerado por (V, *), pois se ε e ε' são expressões de Σ, então $(\varepsilon * \varepsilon') \in \Sigma$; dadas $\varepsilon, \varepsilon', \varepsilon'' \in \Sigma$, ocorre que $((\varepsilon * \varepsilon') * \varepsilon'') = (\varepsilon * (\varepsilon' * \varepsilon''))$.

Dado $\varepsilon \in \Sigma$, então ε é uma *palavra*, se o   (espaço em branco) não faz parte de ε. Em particular, os símbolos de V são palavras.

A igualdade foi usada no sentido de que as "correntes" de expressões são equivalentes quanto à leitura. Observe que *não* necessariamente é verdade que $(\varepsilon * \ ) = \varepsilon$, mas $(\varepsilon * \varnothing) = \varepsilon$, sendo $\varnothing$ a expressão vazia.

Sistemas simbólicos são os únicos que podem ser organizados como linguagens formais (Lungarzo (1986), vol. 1). O uso de tais sistemas com fins de *representação*, porém, exige uma forma mais geral de sistema formal (não necessariamente enunciativa).

Se V é um vocabulário de símbolos, então Ex é o conjunto de expressões gerado por (V,*). Enunciados da metalinguagem são *regras* R_k do sistema, se e somente se, para cada k, existe um $n(k)\in\omega$, e uma seqüência α_1, $\alpha_2,...,\alpha_{n(k)}$ de elementos de Ex, tal que R_k transforma $(\alpha_1, \alpha_2,...,\alpha_{n(k)})$ num $\beta\in Ex$. Em particular, algumas destas regras podem ser dedutivas, embora isso não seja necessário, como acontece nos sistemas formais para a linguagem natural.

Do ponto de vista físico, um sistema formal é um *processo* de geração de expressões, eventualmente de teoremas. Do ponto de vista lógico, é uma estrutura sintática digital, mas que pode ser interpretada, também formalmente, numa estrutura semântica.

Uma *interpretação* do sistema formal (V, *, Ex, R_j) é uma estrutura, também formal, que fornece a semântica ao sistema. Que ($\Re$, I) seja uma interpretação do sistema obriga a que $I{:}V \longrightarrow$ domínio($\Re$).

O processo pelo qual um sistema formal gera expressões não é necessariamente algorítmico. Ora, todo algoritmo pode ser visto como um sistema formal que inclua a linguagem das funções recursivas, mais uma quantidade suficiente de linguagem natural para escrever "instruções".

Na CC "clássica", uma *representação* simbólica de um processo cognitivo é uma correspondência (não necessariamente injetora) dos "elos" do processo numa seqüência de expressões simbólicas. Esta "definição" não pode ser tornada totalmente rigorosa, pois estamos comparando um sistema real com objetos artificiais. Estas entidades estão em níveis diferentes, e uma forte formalização implicaria forçar sua natureza.

De fato, a representação simbólica é uma extensão do conceito de *designação* a expressões complexas, de maneira coerente. Isto exige determinar, é claro, quais são as "unidades" de análise do processo cognitivo, mas esse é um problema extra-formal.

Representado simbolicamente, um processo pode ser "descrito". Não entanto, seu funcionamento exige a representação num sistema "produtivo", tipo um *sistema formal*.

Anteriormente, caracterizamos o "processador cognitivo central" como um sistema de controle, deixando em aberto suas determinações particulares. De um ponto de vista operacional, não há evidências de que esta abordagem se afaste do funcionamento real da mente. Assim sendo, os *estados* do sistema de controle poderiam *representar* os estados do sistema cognitivo mais aproximadamente que os sistemas simbólicos ou formais. (Cf. Sloman (1993))

(B) Simulação computacional do processador cognitivo central

Considerando o processador cognitivo como um sistema de controle, os *estados* do sistema, mesmo que não se correspondam de maneira bijetora com os estados mentais, equivaleriam a *representações*, pelo menos parciais, destes.

No entanto, sendo esta representação mais "forte" que a simbólica/formal, é necessária a existência de algum dispositivo que substitua a máquina de registro ilimitado (ou mesmo, a máquina universal de Turing), para poder executar esses "estados de controle", em vez de processar expressões simbólicas através de sistemas formais.

Essa representação mais "forte" é uma condição necessária (embora não suficiente) para estabelecer uma estreita *semelhança* entre cognição e computação.

Com efeito, as atividades mentais, quando simuladas pelos computadores convencionais, cuja tarefa básica é de *ordenar* informação, são representadas por processos seqüenciais que não reproduzem o paralelismo dos processos mentais reais. O que a máquina de Turing faz é "dar entrada" às representações simbólicas e processá-las à maneira de um sistema formal, ou seja, baseando-se na digitalidade da informação e no fato de que uma etapa de computação não pode ser "fortemente" simultânea com outra. Além disso, este sistema formal deve agir de maneira algorítmica se pretendemos programá-lo: um algoritmo $\Re$ é um sistema de instruções que "alimenta" tanto uma função recursiva, como uma máquina de Turing, já que ambos são realizações de sistemas formais.

Ora, num instante dado t_0, um algoritmo pode computar apenas *um* dado d. Se $\Re$ é aplicado no momento t, deve existir uma instrução $In \in \Re$, tal que, para alguma função recursiva F, In permita calcular $F(d)$, cujo valor é conhecido no instante $t_1 > t_0$. No intervalo $[t_0, t_1]$, *não* é possível que $\Re$ compute outro valor, ou faça qualquer outro cálculo (Observe que esta computação é um *passo* qualquer da seqüência de resolução do problema π).

Obter esse tipo de representação significa "isolar" dentro do processador cognitivo natural, uma seqüência, separando-a do que seria uma massa de dados num processo eventualmente paralelo. Por exemplo, talvez fazer uma adição não seja um processo cognitivamente linear, mas é possível isolá-lo para representá-lo dessa maneira.

Ora, se R é uma rede neural (por exemplo, o neurônio RHW; (cf. Kovács (1996), p. 56), então R computa um número finito n de dados $d_1,...,d_n$ (através das variáveis x_i) nos intervalos de tempo $[t_0,t_1]$,..., $[t_0, t_n]$. Se t_m é o máximo dos t_i, então, todas as computações são aproximadamente simultâneas (paralelas), no intervalo $[t_0, t_m]$.

Mais tipicamente, o caráter paralelo é devido a que os dados d_i "cooperam" na produção do resultado de maneira análoga a como os estímulos que agem sobre um sistema natural se combinam, sem que seja possível calcular os *bits* da informação adicionada em função dos dados "compostos" (ou seja, *este tipo de informação não é uma grandeza extensiva*). Num sistema de processamento "natural" (biológico), um agente animal ou humano "fabrica" informação com base em dados que entram por diferentes canais (vista, ouvido, etc.) e, mesmo que os sinais possam ser separados, o resultado não é conseqüência de transformação seqüencial de alguns deles.

Em geral, é isto o que se pretende afirmar quando se diz que as RN's computam de maneira paralela e não algorítmica. As camadas da rede atuam como órgãos que "sintetizam" a informação sem que seja possível determinar os dígitos binários resultantes a partir das seqüências de dígitos dos dados.

Este "paralelismo" é diferente do paralelismo comumente aceito na computação convencional, inclusive no conexionismo fraco (cf. Hillix (1986)), em que os dígitos binários que passam por diferentes canais, se unificam em termos binários "aditivamente".

A forma *forte* de paralelismo, certamente, ocorre nos processos neuronais reais, dos quais é tomada a motivação para as RN's.

O chamado "processamento paralelo" teve um impacto facilmente justificável na execução de programas mais eficientes no sentido da IA. No entanto, ele serviu também de motivação para pensar novos modelos de computador que não agiriam como um sistema formal, mas, talvez, como um sistema físico.

Uma rede neural pode ser vista como um *modelo* (pictórico ou formal), ou seja, como um ente matemático, ou como um programa ou, ainda, como uma entidade real que "funciona" de maneira análoga às redes de neurônios naturais. Esses três tipos de abordagem aparecem na literatura.

(C) Limites convencionais da computabilidade

A maioria das demandas cognitivas, mesmo sendo "problemas" no sentido habitual, *não* são problemas *formalmente representáveis*. Ainda que esses problemas possam ser colocados em termos intuitivamente claros, nem sempre é possível encontrar seu modelo formal, sob o risco de introduzir um "mecanicismo" nocivo em nosso pensamento cotidiano e científico. É o caso de problemas que envolvem valores, decisões éticas, emoções, etc.

Ao comparar *cognição* e *computação*, pensa-se em problemas formalizáveis. Pretender que a computação lide com problemas emocionais ou éticos está fora de qualquer discussão séria.

Debrucemo-nos, então, sobre os problemas do tipo (D, Re, Q) tal como foram definidos em 1.C. Ora, os componentes de D são "peças" de informação e, portanto, originam-se num sistema informacional (E, α, σ, R, I).

Esses sistemas são sistemas físicos, onde o observador que gera a interpretação I é um elemento necessário. Como esse conceito de informação contém como subconceito aquele de Shannon, o método de medição é o mesmo para aquele subcaso[22].

Teoricamente, a classe Pr de todos os problemas (resolúveis ou não) é *mais* do que numerável.

---

[22] Nossa definição não impede a existência de processos cuja informação *não possa medir-se*. No entanto, o que pretendemos mostrar é que a quantidade de informação é mais do que numerável. Obviamente, isso fica provado se mostramos que informação realmente mensurável, que forma um subsistema da anterior, é mais do que numerável.

Com efeito, a classe de todos os sistemas informacionais Ξ é equipotente com o universo da teoria do conjuntos, pois, dado o conjunto $A \neq \varnothing$, é sempre possível construir, *teoricamente*, a correspondência $A \longrightarrow (A, \alpha, \sigma, R, I)$.

Ora, seja $\mathfrak{I}$ a classe de toda a informação recebida, para todos os possíveis sistemas em Ξ. Para cada $\sigma \in \mathfrak{I}$, pode-se criar um problema π da forma (D, R, Q), tal que $D = \{\sigma\}$.

É conhecido (cf. Parberry (1990), p. 226) que o cardinal das funções recursivas é numerável.

Seja a classe Pr^* dos problemas resolúveis por algoritmos.

Dados $\pi, \pi' \in Pr^*$, definimos sua equivalência $\pi \equiv \pi'$, se e somente se, existe um algoritmo $\mathfrak{R}$ que resolve ambos, π e π'. O quociente $Pr^*/\equiv$ é numerável.

Portanto, card$(Pr^*/\equiv)$ < card(Pr).

(É claro que para "alimentar" uma função recursiva pode haver vários conjuntos de instruções, mas, mesmo assim, esses conjuntos continuam sendo numeráveis).

Esta situação tem estimulado a crença de que, tendo mais problemas formais do que *computáveis*, devem existir problemas que só são resolúveis pela cognição natural.

Na realidade, porém, só lidamos com um infinito potencial que é, portanto, sempre numerável. Sendo que um problema qualquer deve ser colocado e resolvido no espaço físico real, e que nesse espaço utilizamos, para os fins práticos, sua topologia natural, que é de Hausdorff[23], então, qualquer conjunto discreto deve ser numerável. Teoricamente, podemos imaginar tantos problemas como conjuntos, mas os processos reais como *pensar*, *colocar* e *resolver* problemas são *discretos*.

---

[23] Utilizo "Hausdorff" como sinônimo de *separado* ou de *T*2. Dois pontos diferentes possuem vizinhanças disjuntas.

Ou seja, a classe dos problemas *concretos* é numerável, e, portanto, a subclasse dos problemas *não* computáveis, poderia, *a priori*, ter medida nula.

O argumento da cardinalidade não mostra que os problemas concretos não computáveis sejam *maioria*. Na CC, mais que em qualquer outra disciplina, é importante reconhecer a diferença entre uma matemática "real" e uma idealizada.

É verdade que isto não ocorre na matemática pura, onde os objetos (abstratos) não estão no espaço real. A hipótese de separação não pode ser usada: haverá tantos problemas como funções e/ou funcionais, de $\omega \longrightarrow \omega$.

Mas, esta observação não atrapalha nossa conclusão. Quando pretendemos resolver problemas reais que envolvem matemática (decompor números em fatores, calcular raízes de polinômios, etc.), lidamos com os símbolos e não com "objetos matemáticos". Esses símbolos são reais, e seu uso implica, novamente, nos envolvermos com R^3.

Logo, não se pode afirmar que os problemas algorítmicos sejam "menos" que os outros.

Ademais, para mostrar problemas resolúveis pela cognição mas não *computáveis*, deveríamos provar que existem problemas *não* algorítmicos mas cognitivamente solúveis.

Ou seja, se Γ é a classe dos problemas computáveis, e Δ a dos problemas resolúveis cognitivamente, deveríamos mostrar:

(1) Que $\Delta - \Gamma$ é significativamente "grande", como para compensar a possível solução estatística.

(2) Que *não podem aparecer* novos métodos computacionais para resolver os problemas de $\Delta - \Gamma$.

De fato, acho que temos suficiente evidência para pensar isso, mas não pela via do raciocínio formal ou meta-formal. Não é plausível pensar que propriedades formais de sistemas artificiais podem gerar conclusões sobre o funcionamento de nossa mente[24].

Outro recurso semi-formal para "demonstrar" a menor habilidade dos processos computacionais sobre os cognitivos é, há várias décadas, a existência de teoremas que estabelecem limitações internas dos sistemas formais (não completude, não decidibilidade, etc.). Os erros contidos nestes argumentos não desalentaram seus usuários, talvez por seu próprio desconhecimento do significado detalhado desses teoremas. Mesmo assim, todas as críticas podem sintetizar-se em forma simples:

Se S é um sistema formal *incompleto*, por exemplo, teremos que existem fórmulas α, β, γ, ..., ν,..., etc., que são verdadeiras em todos os modelos padrão de S, mas não são teoremas de S. Supondo que S seja recursivamente numerável, "ser teorema" é uma propriedade cognitivamente "mais fácil" do que ser "verdadeiro num modelo".

A incompletude impede assumir ambos os conceitos como equivalentes. Portanto, se uma fórmula μ for derivada como *teorema* de S, saberemos que é verdadeira: a lógica colabora com nossa cognição. Mas se "suspeitarmos" que μ é *verdadeira*, pode ser uma dessas fórmulas verdadeiras que *não* são teoremas.

Essas limitações internas provam, apenas, que não há um algoritmo para resolver o problema:

"Sabendo que α é verdadeira na classe de modelos M, encontre uma prova de α em S".

É mais um prosaico problema não algorítmico.

[24] Nas últimas décadas, alguns cognitivistas começaram a considerar o computador como fonte de informação para a estrutura da mente e não o recíproco. Não podemos aqui considerar essa teoria, mas sua fragilidade é óbvia.

A tradição de abuso no apelo a teoremas de limitações chamadas "internas" em sistemas formais para obter pretensas conclusões cognitivas, impede, às vezes, que se pense observações tão óbvias como as de Simon e Kaplan (Posner (1996), c.1): *essas limitações afetam tanto máquinas quanto pessoas, quando se trata de lidar com obstáculos a procedimentos formais.*

(D) Representações não clássicas dos processos cognitivos

Das propostas para representar processos cognitivos de maneira não algorítmica, a mais prestigiosa é a *conexionista forte*, que propõe substituir os computadores seqüenciais pelas RN's.

Outros projetos "heterodoxos" tendem a melhorar o método seqüencial clássico, sem substituir os procedimentos digitais e algorítmicos. Alguns são sugestivos por se inspirar em propriedades biológicas, o que cria a ilusão de estarem mais próximos da mente, como no caso dos *algoritmos genéticos.*

Operações possíveis em algoritmos genéticos, como *reprodução*, *cruzamento* e *mutação* (Chambers (1995), p. 78 ss) não são apenas *simulações computacionais* de fenômenos biológicos, como são feitas habitualmente na computação usual: aqui os *próprios algoritmos* podem ser submetidos a essas operações. Apesar da sua originalidade, os algoritmos genéticos não se evadem do malefício: são seqüenciais e digitais. Sua originalidade talvez seja comparável à dos métodos específicos de programação em IA, em que a introdução de novos entes, como bancos de conhecimento, torna essas teorias relevantemente mais fortes que a programação tradicional.

Mesmo assim, os algoritmos genéticos não reproduzem o paralelismo ou "simultaneidade" típicos do funcionamento dos sistemas cognitivos. Esses algoritmos são implementados, como nos casos anteriores, em máquinas de Turing.

Os processos cognitivos reais nem sempre são *deterministas*.

Uma operação mental Γ, executada por um operador consciente *O*, é *determinista* se e somente se, quando Γ recebe os dados *d*, *O* pode predizer o resultado *r* de $\Gamma(d)$.

Se $d = (3,5)$ e Γ é a multiplicação, então qualquer *O* que tenha informação suficiente (por exemplo, saiba multiplicar) poderá predizer *r*. No entanto, um observador externo *O** não poderá predizer se *O* desejará realmente executar essa operação.

Muitas vezes, porém, o sistema cognitivo age de maneira *aleatória*.

Por exemplo, se *d* é uma seqüência de opções sobre a compra de uma casa, e Γ é a operação de escolha, é bem provável que a maioria dos *O*'s não possa predizer o resultado até um momento próximo ao desfecho.

Isto é característico da mente, e parece conseqüência do que temos chamado *autonomia*, que permite a "espontaneidade" da mente e, portanto, o caráter imprevisível de seus resultados. Embora certos algoritmos são chamados "não deterministas", eles são, de fato, regras baseadas em escolhas programadas, porém, com resultado desconhecido no momento da aplicação.

O uso de recursos *bayesianos*, em geral, e sua implementação por meio de redes (Zhang (1996) e Kwok (1996)), é uma maneira de colocar em termos de inteligência artificial a noção intuitiva de "probabilidade condicionada". Mas não significa que um sistema especialista (*expert system*) que incorpore redes *bayesianas* como ferramentas matemáticas, se torne um dispositivo *aleatório*. A aleatoricidade do processador cognitivo é relevante pelo fato de tornar imprevisível o resultado que será obtido a partir de entradas de dados bem determinados.

Ora, o indeterminismo de um sistema computacional pode ser mais facilmente aproximado que as outras propriedades relativas à autonomia. Por exemplo, um computador construído com um material que emitisse radiação de maneira não controlável, poderia simular adequadamente a "imprevisibilidade" de um processador cognitivo. No entanto, no longo prazo, poderíamos encontrar medidas estatísticas que permitissem uma parcial predição do processo.

Portanto, há motivos para suspeitar que a capacidade randômica do sistema cognitivo deve-se à sua *autonomia*.

CONCLUSÕES

Afirmar que o sistema cognitivo central é *autônomo* e *consciente* decorre da observação dos "processadores naturais" (como nossas mentes) e da comunicação com outros sujeitos que também possuem autoconhecimento. Admitir que esse "processador natural" é um *sistema de controle* implica uma opção metodológica.

É possível que haja alguma hipótese filosófica implícita nessas concepções, mas não mais polêmica que as perspectivas usuais sobre a ciência ou a vida diária. Aceito isso, processadores cognitivos e computacionais diferem em, ao menos, sua autonomia e autoconsciência.

Na literatura sobre CC, filosofia da mente e temas correlatos, é freqüente encontrar alguma ênfase no fato de que os neurônios são, *fisicamente*, mas complicados que os componentes de um processador, e que aparecem em quantidade muito maior e com conexões muito mais ricas. Este comentário, às vezes puramente casual, parece alentar a esperança de que um progresso do *hardware* conseguiria produzir um verdadeiro sistema cognitivo, tão autônomo e consciente como o dos seres biológicos. Esta esperança, embora pouco provável, não é impossível. Mas, lamentavelmente, é apenas tecnológica e não filosófica. Quem consiga fabricar um processador eletrônico autônomo e consciente terá provado, apenas, que pode existir cognição baseada em *chips* e não em neurônios.

Vamos nos cingir às mentes e aos computadores como os conhecemos. A principal similaridade é que ambos podem resolver problemas (com diferente grau de eficiência e estratégias).

Os argumentos sobre a "maior quantidade" de problemas não algorítmicos não provam a incapacidade desses algoritmos para "concorrer" com nossa mente, uma vez que os problemas que podem ser submetidos tanto à mente quanto ao computador são, em ambos os casos, concretos, discretos e numeráveis. Aliás, não temos nenhuma prova (nem mesmo evidência parcial que sustente a hipótese) de que a mente poderia resolver problemas que os algoritmos não podem.

Se nos reduzirmos à classe *AL*, dos problemas formalizáveis na linguagem de conjuntos e funções (cf. 1.C) *que podem ser resolvidos por algoritmos*, teremos a maior analogia possível entre cognição e computação. Ambas, a mente e o computador, podem resolver o mesmo problema $\pi \in AL$, ainda que com eficiência diferentes. Esta é uma tese mais modesta que a maior parte dos "manifestos" dos filósofos da mente, seja os que estão contra, seja os que estão a favor da simulação artificial da inteligência.

Considerada rigorosamente, porém, essa tese não é evidente e requer algumas reflexões para ser provada. Os argumentos só podem ser de tipo empírico e estar baseados na própria psicologia cognitiva, na neurociência e na eletrônica. Não será possível utilizar razões lógicas para comparar estas duas entidades, mente e máquina, de níveis diferentes.

Os algoritmos são criados pelo matemático, que define as funções recursivas como as que formam a mínima classe que resgata a idéia intuitiva e empírica de *processo calculável*. Ora, se uma mente pode, eventualmente, calcular uma função não recursiva por estratégias ou heurísticas, então poderá usar uma receita para calcular uma recursiva.

A máquina pode calcular uma função recursiva e, portanto, executar um algoritmo, porque foi planejada para isso. A ilusão de estarmos descobrindo uma inteligência "ontológica" no computador, talvez seja otimista demais, se pensarmos que seria suficiente definir algoritmo de outro modo para que a mesma máquina *não fosse programável.*

Mais precisamente: se $\pi \in AL$, então, por hipótese, ele pode ser resolvido pelo computador Φ. Sua solução é possível porque, por definição de computador, existe uma família ($\Re_\alpha$) de algoritmos para a classe de equivalência de π. Logo, uma mente treinada poderá reproduzir os passos desse algoritmo, num tempo finito, porém, eventualmente, "muito grande".

Reciprocamente, seja π^* um problema resolvido por uma mente. Suponha que conhecemos um algoritmo para ele (se não houver algoritmo nenhum, ele não estaria em *AL*). Existindo um algoritmo, ele poderá ser aplicável a π^* para obter uma solução. É claro que a relação "A mente *M* resolve o mesmo problema que o computador Φ" é uma equivalência.

O tratamento de informação parece diferente na mente e no computador, porque a mente, até onde sabemos, recebe informação e constrói interpretações de tal maneira que não é possível ordená-la linearmente no tempo, mesmo que possamos saber, em alguns casos, quando certos processos são anteriores aos outros. O paralelismo da mente não é "desdobrável". No entanto, processos isolados dentro da mente (como uma multiplicação de um preço pela quantidade de mercadoria a ser comprada, no meio de um "bombardeio" de informação num supermercado), podem ter, por suas próprias características, uma estrutura linear, podendo ser computados seqüencialmente.

Apesar das diferenças (o computador possui uma memória estável e seu processamento de informação é mais rápido), os processadores eletrônico e cognitivo coincidem na capacidade de computar problemas algorítmicos, cujos dados são fornecidos como informação seqüenciada.

Como as limitações internas de um sistema formal (que são apenas "falhas" sintáticas ou semânticas) se refletem da mesma maneira no computador ou na mente que pretenda usá-lo, elas não permitem determinar se existe informação "perdida" pelo sistema formal, que teria sido "aproveitada" pelo sistema cognitivo. Mais ainda, não há nenhum motivo para pensar que os problemas formalizáveis (matemáticos, físicos e de estilo) não computáveis sejam cognitivamente significativos.

A mente, então, pode resolver os mesmos problemas algorítmicos que o computador, dentro das limitações físicas de cada um.

Ora, o computador só pode autoprogramar-se, desde que haja uma seqüência indefinida de níveis, no qual cada sistema programa o "seguinte". Com freqüência, argumenta-se que a mente é apenas o último elo visível dessa seqüência de níveis, mas, de fato, ela também seria programada. Isso não é mais que uma metáfora.

As doutrinas conexionistas pretendem ir além da metáfora. Não podendo descrever o programa que *realmente* aciona uma mente, ela pode simular-se melhor por um sistema de processadores que receba diretamente *inputs* do exterior, à maneira de um feixe de pequenos computadores analógicos. Nesse sentido, a ação de uma luz sobre o sensor de um robô, por exemplo, é um agente físico que atua nas células fotossensíveis pela mesma via que atuaria sobre a retina humana ou animal.

Caso as teorias de RN's possam substituir, como *hardware*, a arquitetura von Neumann, será necessário recolocar quanto temos avançado no maior conhecimento da mente. Por enquanto, só podemos dizer que o computador mapeia a mente apenas no âmbito de resolução de problemas formalizáveis.

Abstract: *Our purpose is to construe some formal aspects of cognitive science [CC] in order to clarify the problem of convergence and discrepancy between computer machines and actual minds, a problem usually posed without scientific rigour. We uphold Sloman's (1993) proposal of regarding mind as a control system. Known concepts are redefined to rescue its cognitive flavour. We survey some of the most known research lines* *in non-conventional computer science (neural networks, genetic algorithms, etc.) and show that actual computability is still of a classic style. We show that cognitive system is endowed with autonomy and consciousness, but the computer machine is not (even in the philosophical neutral way we define these concepts). Against cardinality arguments and limitation theorems, we state that it is not possible to prove that mind is able to solve formal problems in a better fashion that computer is. Notwithstanding, mind is endowed with random capabilities and non-programmability that allow it to pose other kinds of problems, which are not computationally treatable. Perhaps, a future replacement of conventional computers by neural networks can restate the problem. For the time being, however, minds and computers are alike just in their treatment of algorithmic problems.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BYRNE, R. M. J. & JOHNSON-LAIRD, P. N. (1990). "Models and Deductive Reasoning". In: Gilholly *et all.* (eds.) *Lines of Thinking: Reflections on the Psychology of Thought* (New York, John Wiley & Sons Inc.).

CHAMBERS, L. (ed.). (1995). *Genetic Algorithms,* vol. 1, (New York, CRC).

CAUDILL, M. & BUTLER, C. (1992). *Understanding Neural Networks: Computer Explorations,* vol. 1 (Cambridge, Mass., The MIT Press).

CLEEREMANS, A. & HAYNES, J-D (1999). "Correlating Consciousness: a view from empirical science", *Revue International de Philosophie*, 3, pp. 387-420.

DA SILVA, J.J. (1995). "A General Definition of the Semantic Informational Content of Signals". In: Carnielli, W. & Pereira, L. C. (orgs.). *Logic, Sets and Information* (Campinas, CLE/UNICAMP).

FODOR, J. A. (1981). *Representations: Philosophical Essays on the Foundations of Cognitive Science* (Cambridge, Mass., The MIT Press).

HAUGELAND, J. (1990). *Artificial Intelligence: the very idea* (Cambridge, Mass; The MIT Press).

HILLIX, D. (1985). *The Connection Machine* (Cambridge, Mass., The MIT Press).

HORGAN, T. & TIENSON, J. (1993). "Levels of Description in Non-Classical Cognitive Science". In: Hookway, Ch. & Peterson, D. *Philosophy and Cognitive Science* (Cambridge, Cambridge University Press).

KWOH, CHEE-KEONG *et al.* (1996). "Using Hidden Nodes in Bayesian Networks", *Artificial Intelligence*, 88, pp. 1-38.

KOVÁCS, Z.L. (1996). *Redes Neurais Artificiais* (São Paulo, Edição Acadêmica).

LUNGARZO, C. (200?) "A Face Exata da Ciência Cognitiva". In: Vidal, V. *Ciências Cognitivas, um Enfoque Multidisciplinar* (Rio de Janeiro, Ed. Fundação Oswaldo Cruz), no prelo.

———. (1986). *Lógica y Lenguajes Formales* (Buenos Aires, Centro Editor de América Latina), 2 volumes.

MONK, J. D. (1976). *Mathematical Logic* (New York, Springer-Verlag).

PIQUEIRA, J.R.C. (2001). "Teoria da Informação e sua Utilização em Problemas de Biologia" (comunicação pessoal do autor apresentada no 1.° Simpósio Brasileiro de Filosofia da Natureza).

PARBERRY, I. (1990). "A Primer on the Complexity Theory of Neural Networks". In: Banerji, R.B., *Formal Techniques in Artificial Intelligence* (Amsterdam, North-Holland).

POSNER, M. I. (ed.) (1996). *Foundations of Cognitive Science* (Cambridge, Mass, The MIT Press).

SHANNON, C.E. & WEAVER, W. (1964). *The Mathematical Theory of Communication* (Urbana, Ill., The University of Illinois Press).

SLOMAN, A. (1993). "The Mind as a Control System". In: Hookway, Ch. & Peterson, D. (eds.), *Philosophy and Cognitive Science* (Cambridge, Cambridge University Press).

VELOSO, P. A. S. (1984). "Aspectos de uma Teoria Geral de Problemas", *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* **7**, pp. 21-42.

ZHANG, N. L. (1996). "Irrelevance and Parameter Learning in Bayesian Networks", *Artificial Intelligence*, 88, pp. 359-373.