

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DE SÃO PAULO
PUC-SP**

Eduardo Kiochi Nakamiti

Agentes inteligentes artificiais

MESTRADO EM COMUNICAÇÃO E SEMIÓTICA

**SÃO PAULO
2009**

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DE SÃO PAULO
PUC-SP**

Eduardo Kiochi Nakamiti

Agentes inteligentes artificiais

MESTRADO EM COMUNICAÇÃO E SEMIÓTICA

Dissertação apresentada à Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de MESTRE em Semiótica sob orientação do Prof. Doutor Rogério da Costa Santos.

**SÃO PAULO
2009**

Banca Examinadora

*A minha família, as mulheres da
minha vida (elas sabem quem são) e
aos grandes e poucos amigos (eles
também sabem quem são)*

RESUMO

A explosão dos Agentes Inteligentes Artificiais, considerados superficialmente como elementos que apresentam raciocínio autônomo e cujas decisões influem processos, é uma realidade cada vez mais sentida no cotidiano dos seres humanos, principalmente nos meios de comunicação eletrônicos, entre usuários de serviços bancários, em acessos a serviços telefônicos, nos eletrodomésticos e em nossos entretenimentos.

Sua presença é sentida às vezes pela facilidade de acesso a recursos muitas vezes de forma poderosa ou outras vezes de forma discreta. Também pode ser sentida de forma negativa, quando ocorre o bloqueio de uma operação bancária eletrônica sem explicação.

Muito do aprendizado, hoje em dia, passa pela internet, e buscar informação na rede sem a ajuda de mecanismos de busca é desconcertante. Hoje em dia esses mecanismos nos oferecem mais do que simplesmente o resultado de uma procura. Eles parecem ter inteligência própria ao nos oferecer sugestões relacionadas ao nosso interesse. Esta forma de comunicação está se incorporando aos costumes e é fortemente influenciada pelos denominados agentes, contidos nos sistemas.

Nesse trabalho, é feito um histórico do seu aparecimento e das inovações tecnológicas e culturais introduzidas, focalizando, primariamente, os primórdios da Inteligência Artificial para que seja construída uma visão clara e detalhada dos agentes inteligentes artificiais até o momento presente, a fim de que seja possível estabelecer uma trajetória hipotética de evolução futura.

O referencial teórico do trabalho apóia-se na complexidade do tema abordado. Complexidade que evoca ferramentas e olhares distintos, dinâmicos e interatuantes, apontando para a computação e seus vários aspectos, a inteligência artificial e suas ferramentas; a cibernética como primeira arena de interdisciplinaridade e, atingindo a semiótica como ambiente e ferramenta de análise do processo de produção e mediação do conhecimento e as teorias da complexidade.

O corpus da análise e interpretação restringe-se ao fenômeno dos Agentes Inteligentes Artificiais desde sua origem, a partir da inspeção de vários campos de conhecimento, necessários à compreensão do tema abordado.

O trabalho levanta a hipótese da tendência marcante de pulverização e invisibilidade crescentes dos Agentes Inteligentes Artificiais, como elementos de apoio na tomada de decisão e controle da informação recebida

PALAVRAS-CHAVES

Agentes inteligentes artificiais, Inteligência Artificial, Robótica, Software, Computadores, Cibernética, Internet

ABSTRACT

The diffusion of Artificial Intelligent Agents, superficially considered as elements that have independent thinking and whose decisions influence processes in the everyday human reality increasingly known, especially in electronic media, the users of banking services, on access to telephone service in our home appliances and entertainment.

Its presence is sometimes felt by the ease of access to resources often so powerful and sometimes so unnoticed. It can be perceived in a negative way, when access to electronic banking services is denied without explanation.

Much of learning today, relies on Internet and getting information online without the help of search engines is disappointing. Today, these mechanisms offer more than simply the result of a search. They seem to have the intelligence to offer suggestions in relation to our interest. This form of communication that are incorporating to their customs, is strongly influenced by known agents, in computer systems.

In this work, we will make a history of its appearance, and technological innovations and cultural, primarily focusing on the first Artificial Intelligence in order to built a clear, detailed view of the Artificial Intelligent Agents, at present, and to establish a hypothetical path for future developments.

The methodological basis of work is based on the complexity of the issue addressed. Such complexity refers to tools and distinct views, dynamic and interactive, pointing to the computer and its various aspects, the artificial intelligence and its tools, the cyber arena of interdisciplinarity as the first and, to the environment and the semiotic analysis tool of the production and mediation of knowledge and theories of complexity.

The corpus of the analysis and interpretation are circumscribed to the phenomenon of Artificial Intelligent Agents of nowadays and of the future, but for both, and according to the methodology adopted, the fields of knowledge are inspected more in the expectation of higher fidelity description.

The main conclusion is the remarkable trend of spraying and increasing invisibility of Artificial Intelligent Agents, as elements of support in decision making and control of the environment and the information we received.

KEYWORDS

Artificial Intelligent Agents, Artificial Intelligence, Robotics, Software, Computers, Cybernetics, Internet

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	HISTÓRICO DE DESENVOLVIMENTO: PASSOS E VÔOS	2
2.1	Prelúdio	2
2.2	Inteligência Artificial, o Início de Tudo	7
2.3	Após o Batismo da Inteligência Artificial	18
3	AGENTES INTELIGENTES ARTIFICIAIS, O QUE SÃO?	35
3.1	As Tentativas de se Compreender o Fenômeno	35
3.2	Tentando Observar o Fenômeno	43
3.2.1	Elementos de uma Comunidade Virtual	44
3.2.2	Tipos de Comunidades Virtuais	46
3.3	Expressão na Comunidade Virtual	48
4	O FUTURO: O HOMEM E A MÁQUINA OU O HOMEMÁQUINA?	53
4.1	Auscultando a Evolução Tecnológica	55
4.2	Pacotes de Informação	58
4.3	Infodutos	61
4.4	Servo Mecânico	63
4.5	Engenharia do Minúsculo	63
4.6	Tecnologias de amanhã hoje	66
4.7	E o <i>Software</i> ?	68
4.8	Os Homens	68
5	CONCLUSÕES	74
	BIBLIOGRAFIA	77

1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação trata dos Agentes Inteligentes Artificiais. Considerados elementos de raciocínio autônomo, cujas decisões influem processos no cotidiano dos seres humanos e cada vez mais presentes - e por outro lado - mais invisíveis.

Sua presença é sentida às vezes pela facilidade de acesso a recursos muitas vezes de forma poderosa ou outras vezes de forma discreta. Também pode ser sentida de forma negativa, quando ocorre o bloqueio de uma operação bancária eletrônica sem explicação.

Muito do aprendizado, hoje em dia, passa pela internet, e buscar informação na rede sem a ajuda de mecanismos de busca é desconcertante. Hoje em dia esses mecanismos nos oferecem mais do que simplesmente o resultado de uma procura. Eles parecem ter inteligência própria ao nos oferecer sugestões relacionadas ao nosso interesse. Esta forma de comunicação, que esta geração presencia, está se incorporando aos costumes e é fortemente influenciada pelos denominados agentes, contidos nos sistemas. Os avanços recentes apontam para um papel de crescente destaque.

O presente trabalho está dividido em três partes principais:

O Capítulo 2, **Histórico de desenvolvimento: Passos e vôos**, trata de sua evolução a partir de uma perspectiva histórica dos avanços precedentes, envolvendo a própria capacidade humana de comunicação, a informática, a lógica, a robótica, a tecnologia de transmissão de dados.

O Capítulo 3, **Agentes Inteligentes Artificiais, o que são?** aborda o conceito de agente inteligente artificial no atual estágio de compreensão do que é a inteligência artificial e do modo como eles são implementados em *software* e *hardware*.

O Capítulo 4, **Futuro: O homem e a máquina ou o homemáquina?** é um exercício argumentativo de precognição, a partir das linhas de pesquisa e das próprias teorias de como e em que velocidade os avanços tecnológicos vão ocorrer nas próximas décadas, buscando-se antever a conformação e destino dos agentes inteligentes artificiais nesse período.

Finalizando o trabalho, suas conclusões encontram-se no Capítulo 5.

2 HISTÓRICO DE DESENVOLVIMENTO: PASSOS E VÔOS

2.1 Prelúdio

Para tratarmos do presente e do futuro dos Agentes Inteligentes Artificiais, vamos tratar de seu histórico, que se confunde com o desenvolvimento de diversos ramos do conhecimento humano, tais como informática, robótica, lógica e linguagem, dentre outros. Um recorte histórico exato do conhecimento necessário, que enquadre uma perspectiva adequada, é extremamente difícil nessas condições. Por outro lado, uma excessiva ampliação pode facilmente ocasionar a perda de foco no tema.

Optamos por delimitar este assunto ao relato dos principais fatos, tentando ordená-los numa linha de tempo, e personagens que se envolveram, de uma forma ou de outra, no desenvolvimento da Inteligência Artificial.

Apesar de a história remontar a 3.000 anos A.C., no Egito, e ocorrerem colaborações importantes dos gregos Platão e Aristóteles, a maior atenção recairá nos relatos do século XX, detalhando um pouco mais a partir da Segunda Guerra Mundial.

A idéia de construir máquinas com inteligência não é nova. Desde a antiguidade o homem mostrou o desejo de conceber dispositivos, em vários materiais tais como metal, madeira ou marfim, dotados de movimento e inteligência. A construção de “máquinas” para auxílio do homem nas suas atividades surge pela primeira vez em Homero, na *Ilíada* (canto XVIII), onde eram descritas as *trípodes*, criadas por Hephaistos, deus do fogo, que:

“Tinham nos seus pés umas rodinhas de ouro, sobre as quais, por si mesmo, e por seu alvítrio, podiam girar na sala (...) mui bem mandadas” e as “servas da casa (...) artefatos, e todas de ouro, e muito semelhantes às raparigas que vivem realmente (...) que aprenderam com os deuses o que é preciso e o fazem com perfeição”. [75]

Em 1651, Thomas HOBBS publica o *Leviathan*, onde é sugerido que os seres humanos através de suas organizações ou máquinas, poderão criar uma nova inteligência. Blaise PASCAL, em 1654 efetua trabalhos sobre cálculo probabilístico com a *Pascaline* uma máquina mecânica de calcular que ele mesmo inventou em 1642, então com 19 anos.

Agentes Inteligentes Artificiais

Povos antigos como gregos e judeus já construíam estátuas dotadas de movimento. Em 1732, em uma enciclopédia alemã encontrava-se a definição para autômato:

“São instrumentos mecânicos preparados de modo tão sutil e engenhoso, segundo as artes da geometria, que se movem e andam sem a ajuda de força externa”.[75]

Na primeira metade do século XVIII o inventor francês Jacques de VAUNCANSON ficou famoso com os autômatos construídos por ele, os quais eram exibidos ao público como o "Tocador de Flauta de Vaucanson" que funcionava graças a um dispositivo pneumático e mecânico, que tocava trechos musicais diferentes e seu pato, um animal artificial fabricado em cobre, tinha mais de 400 peças articuladas em apenas uma asa. Assim, o pato de Vaucanson imitava todos os movimentos de um pato natural, inclusive, comendo e bebendo água e encantou os visitantes da exposição de Paris, em 1738.

Também merece destaque um boneco, criado pelo suíço Jacques BROZ, que pegava uma pena, molhava-a no tinteiro e escrevia uma frase inteira, simulando a habilidade humana.

Fazem parte também desse conjunto crescente de criadores de autômatos, Joseph FABER e Thomas EDISON, o inventor norte-americano, pai da lâmpada elétrica incandescente. As criaturas mecânicas de Faber faziam perguntas e ofereciam as respostas. As bonecas falantes de Edison encantaram adultos mais que crianças.

Um "homem-vapor", desenvolvido em 1893 por George MOORE, caminhava com o dobro da velocidade de um humano: 14 quilômetros por hora.

No século 17, um oficial conhecido por De GENNES construiu um pavão que tanto caminhava, como o homem de Moore, como ingeria alimentos, caso do pato de Vaucanson.

A palavra “robô” tem sua origem no termo “robota” da língua tcheca que significa “escravo, trabalhador compulsório” e figurou no título de uma peça daquele país em 1921,

Agentes Inteligentes Artificiais

“R.U.R.” (*Rossum Universal Robota*). Nela, o autor idealizava uma fábrica que produzisse andróides “robotas”, máquinas que fizessem várias atividades para servirem ao homem.

Anos depois, o escritor de ficção científica Isaac ASIMOV, talvez o autor que mais utilizou robôs em seus trabalhos, lançou o conto “Runaround”, em 1942, em que apresentou um novo termo “Robótica”, o qual ficou sendo mais que uma nova palavra, mas sim um conceito de inteligência associada às máquinas.

Este conceito inspirou não só as ciências ligadas à tecnologia, mas todo o mundo que, passou a pensar mais efetivamente nessas máquinas.

Em outra vertente, retornemos Antigo Egito. Nele, a arte de construir autômatos pode parecer, à primeira vista, o elo mais forte de ligação com os agentes inteligentes artificiais. Eles deverão ser melhor definidos e estudados a partir de nossa visão moderna. Mas é necessário e importante flexibilizar não apenas o conhecimento histórico factual, mas sua própria compreensão, para captar-se o “espírito da época”, integrando cada elemento no conjunto das idéias, fatos e instituições da época, buscando-se um sentido de relatividade, mediante a compreensão de que cada época tem suas circunstâncias próprias e suas características ideológicas, culturais, e outras, não julgando à luz das críticas de hoje.

Assim é que é a própria criação da escrita pode ser considerada um elemento de ligação em termos da tecnologia, de impacto intelectual, social e mesmo ideológico, envolvidos com os agentes inteligentes. Afirmar essa que parece estranha em nossos dias. Mas, afinal, o que foi a escrita em seus primórdios?

A escrita no Egito e em diversos outros povos antigos era tida como um elemento sagrado. Se talvez pelo poder que conferia a quem a detinha, por isso confinada às classes sacerdotais e nobres, a própria observação desse poder maravilhava os antigos: Fixar o conhecimento e as informações no tempo para posterior consulta, para si ou demais pessoas, para toda a posteridade e para os próprios deuses.

A escrita maravilhava os antigos, conferindo a ela capacidades divinas. O Livro dos Mortos Egípcio, por exemplo, além de um manual que os nobres falecidos deveriam possuir para guiá-los nas provas do pós-morte, até sua chegada na “Terra dos Juncos”, uma espécie de paraíso egípcio, era ele mesmo animado de poderes. Não apenas era um texto sagrado e importante. Era um texto escrito. Isso já significava muito. E as palavras escritas tinham poder justamente porque espelhavam a realidade. Não é à toa que os

hieróglifos, que representavam os demônios ou maus espíritos que o falecido deveria enfrentar, eram riscados – como que aleijados – para que eles não pudessem atacar o falecido. [84]

O texto escrito, em sua essência, era visto como uma realidade própria e ativa, fixada sobre o papiro.

Os antigos hebreus, talvez herdando essa visão dos egípcios em seu longo contato, tinham a crença de que a Tora fora escrita em letras de fogo, duzentos anos antes de toda a Criação. Esta, portanto, seria a matriz perfeita, na forma da palavra escrita, da qual a realidade cotidiana seria uma verdadeira “realidade virtual” e não o contrário. [86]. E por muito tempo não se jogava ao lixo nenhuma palavra escrita, sempre guardando em potes, considerada sua sacralidade inerente à sua fixação na forma escrita.

Mesmo os romanos, povo prático e belicoso, tinham em suas origens essa percepção da palavra escrita. A Lei das Doze Tábuas, primeiro código de leis romanas realizada no séc. V A.C., foi a inscrição pública das antigas leis secretas dos patrícios. “Codex” etimologicamente significa entalhar em pedra, ou seja deixar claro e indelével para todos. Na verdade, ela foi escrita sobre tábuas de madeira, mas o caráter publicizante das regras de convivência social, inscritas dessa forma e de uma vez por todas, foram lembradas e respeitadas por mais de mil anos, nunca sendo considerada como lei derogada, ainda que a mudança dos costumes e o emprego de leis posteriores, na prática, poderiam tê-la relegado ao completo esquecimento.

Essa intermediação, se é assim que se pode chamar, entre escrita e realidade, e sua ação criativa, criadora e dinâmica, até mesmo interativa, mais que um simples meio de fixar o conhecimento, ou por outro, não apenas mágico ou sacro, aproximava-se, em suas origens, dos agentes inteligentes e autônomos, ainda que hoje, o olhar sobre a tecnologia disponível e a banalização dos elementos culturais arcaicos nos diga o contrário.

A partir de especulações sobre a inteligência e as realizações tecnológicas desde as civilizações antigas, passando pelos mulçumanos e medievais ocidentais, podemos observar os períodos mais próximos.

Agentes Inteligentes Artificiais

1763 – É publicado postumamente um livro de Thomas BAYES sobre a teoria do raciocínio sobre probabilidades condicionadas.

1815 - Nasce ADA BYRON KING, única filha legítima do poeta inglês Lord Byron. Matemática, foi a primeira programadora da história dos computadores, desenvolvendo algoritmos e procedimentos computacionais um século antes da criação dos primeiros computadores modernos.

1832 - Charles BABBAGE projeta o primeiro computador mecânico programável.

1847 - George BOOLE, desenvolve a Lógica Simbólica que ficou conhecida por Álgebra de BOOLE ou *booleana*.

1858 – Charles DARWIN e Alfred WALLACE expõem a teoria da evolução das espécies, com base na seleção natural.

1890 – Herman HOLLERITH patenteia uma máquina que processa dados de censos armazenados em cartões perfurados. Este fato deu origem a IBM mais tarde.

2.2 Inteligência Artificial, o Início de Tudo

A primeira aproximação do termo veio do cientista inglês Alan Mathison TURING, em 1950 com seu clássico artigo *Computing Machinery and Intelligence* [101] onde associou o processo do pensamento humano com o processo computacional e que previa: a teoria dos jogos, tomadas de decisões, compreensão de linguagem natural, tradução, comprovação de teoremas, encriptação e quebra de códigos.

Aliás, foi TURING em 1937, que concebeu a Máquina Universal de Turing, e de modo independente de Alonzo CHURCH, propõem que todos os problemas que um ser humano resolve, podem ser reduzidos a um conjunto de algoritmos. Outra lembrança de TURING é que juntamente com seu amigo David CHAMPERNOWNE, escreveu o primeiro programa de jogo se xadrez.

Tudo isto teve origem durante a segunda guerra mundial quando HITLER e os nazistas já tinham ocupado a maior parte da Europa. Eles tinham desenvolvido o ENIGMA um codificador de mensagens de altíssima complexidade que permitia as trocas de informações importantes sem que caíssem nas mãos dos aliados.

Em 1940, o governo britânico reuniu seus melhores cientistas sob a liderança de TURING para quebrar o código militar alemão em BLETCHLEY PARK. Lá ele trabalhou com o primeiro computador que utilizou relés eletromagnéticos aplicando álgebra BOOLEANA, o ROBINSON, idealizado por Claude Elwood SHANNON do Laboratório Bell nos Estados Unidos.

A notória superioridade da força aérea alemã, aliada ao seu encriptador estava tornando os alemães invencíveis; era, portanto, de extrema importância que o grupo de TURING não falhasse. E o projeto ROBINSON, funcionou e decodificou as mensagens do ENIGMA de primeira geração.

Os nazistas então desenvolveram uma nova geração mais complexa de codificador, e o grupo britânico de computação ULTRA, construiu então o COLOSSUS, com duas mil válvulas de rádio, que veio a substituir o ROBINSON, e conseguiram

Agentes Inteligentes Artificiais

decifrar as codificações do ENIGMA de segunda geração, de modo a permitir que a Real Força Aérea vencesse a Batalha da Grã-Bretanha.

Essa experiência como criador de computadores e em estudos de processos de pensamento humano e computacional, levou TURING em 1950 a propor o seu famoso teste, onde uma máquina seria considerada inteligente se um juiz analisando respostas de uma máquina e a de humanos, não distinguisse a máquina dos humanos.

Essa proposta ficou conhecida como “Teste de Turing” e é extremamente difundido como meio de classificar a inteligência de uma máquina.

Uma área de desenvolvimento do Teste de Turing é a implementação de *softwares* de interface com humanos. Várias competições têm sido organizadas com o objetivo de aplicar o teste.

Desde o começo do seu uso a *inteligência artificial*, esteve relacionada com *comunicação*, para desvendar os signos e os significados de uma mensagem, e interferindo na comunicação. Neste caso a interferência na Comunicação acarretaria sérias conseqüências para a humanidade. Talvez, o nosso mundo atual tivesse outra face sem esses estudos.

Para resolver problemas, o homem usa as principais funções associadas à inteligência humana tais como, raciocínio, aprendizagem e auto-aperfeiçoamento e, sendo assim, pode-se afirmar que o conceito de Inteligência Artificial é bem mais amplo que uma técnica e sim, que é composto de várias técnicas para resolução de problemas [6].

O conceito é, pois, bem abrangente e complexo visto que, trata-se da definição de uma inteligência que não está associada às condições cognitivas do ser humano, mas, em síntese, é constituído por um conjunto de técnicas de programação para resolver certos tipos de problemas em informática, através de programas, essencialmente algoritmos, que comandam os computadores, procurando imitar a forma de resolução de problemas de modo semelhante à que o ser humano usa [1].

Historicamente, alguns pesquisadores dividem as investigações de *inteligência artificial* em duas vertentes, que foram chamadas de IA “*neats*”, limpa, clássica ou simbólica, que envolve a manipulação de símbolos e de conceitos abstratos, e de IA “*scruffies*”, *conexionista* também conhecida como a Escola das Redes Neurais Artificiais.

Com relação a esta última, duas linhas de pesquisa corriam paralelas, uma biológica, interessada no funcionamento do cérebro humano e seus neurônios e outra, no estudo da cognição, no raciocínio e em como representar o comportamento dos neurônios humanos no computador, uma vez que é essa célula que realiza todo o processamento das informações no corpo humano e toma decisões a partir de aprendizado anterior.

A proposta que, pelo menos em princípio, uniu precocemente as duas linhas, foi o desenvolvimento das Redes Neurais Artificiais (RNAs).

Sua origem histórica remonta a 1943, com o desenvolvimento do Modelo Neural Artificial de Warren MCCULLOCK, mestre em psicologia pela Universidade de COLUMBIA e pós-graduado em filosofia e neurofisiologia pela Universidade de YALE, que juntamente com Walter PITTS um gênio em Estatística que na época com 17 anos foi co-autor da obra “*A Logical Calculus of Ideas Immanent in Neural Nets*” [68], pela Universidade de ILLINOIS. Eles sugeriram que qualquer instrução informatizada poderia ser executada através de uma rede de neurônios interligados, e argumentaram que tal rede estruturada seria capaz de aprender.

A inspiração para as redes neurais artificiais são as redes neurais biológicas de nosso próprio cérebro. O cérebro humano possui cerca de 10 bilhões de neurônios, células mais diferenciadas do organismo, pois apresentam estrutura e funcionamento mais complexos. Um neurônio é dividido basicamente em três partes: corpo celular, dendritos e axônio. A conexão entre os neurônios é feita de forma que o dendrito recebe um impulso elétrico, processa e transmite ao próximo neurônio, através do axônio, que é ligado aos dendritos do neurônio seguinte quando excitados acima de seu limiar (Figura 1).

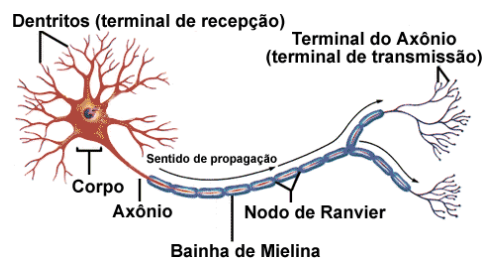


Figura 1 - Neurônio biológico.

Fonte: <http://www.labinfo.lncc.br>

Agentes Inteligentes Artificiais

Considerando que cada conexão responde como um “sim” ou um “não” e que cada neurônio é capaz de criar até 10.000 sinapses, que são o contato entre dois neurônios com neurônios adjacentes, ocorrerá um número máximo de respostas sim/não que o cérebro pode conter, ou seja, $10^{10} \times 10^4 = 10^{14}$ ou 100 trilhões de trilhões de conexões formando, deste modo, uma enorme e complexa rede neural biológica de armazenamento e processamento de informações.

Redes Neurais Artificiais são sistemas paralelos distribuídos, compostos por unidades de processamento simples, os denominados neurônios artificiais, que calculam determinadas funções matemáticas, dispostas em uma ou mais camadas interligadas por um grande número de conexões associadas a pesos, os quais armazenam o conhecimento adquirido pelo modelo que servem (Figura 2).

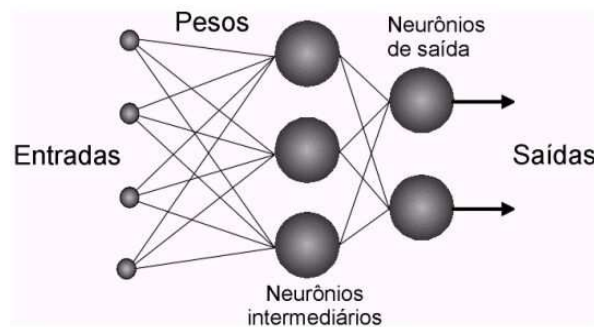


Figura 2. Exemplo de arquitetura de uma RNA.

Fonte: <http://www.dei.unicap.br>

O procedimento usual na solução de problemas passa pela fase de aprendizagem, em que um conjunto de exemplos é apresentado para a rede, a qual extrai as características necessárias da informação fornecida e utiliza posteriormente para gerar respostas para o problema real.

Deste modo, para que uma Rede Neural Artificial possa fornecer resultados convenientes, é necessário que passe por uma fase de treinamento, onde os pesos sinápticos são ajustados de forma que ela se adapte aos diferentes estímulos de entrada. Durante esta fase de treinamento, ocorre o seu aprendizado.

Agentes Inteligentes Artificiais

Há vários processos de aprendizado, os quais, de forma geral podem ser classificados em:

- **Aprendizado Supervisionado:** É fornecida uma referência do objetivo a ser alcançado. Um exemplo de processo de Aprendizado Supervisionado é o Aprendizado por Correção de Erro.
- **Aprendizado Não-Supervisionado:** Neste caso não é fornecida nenhuma referência externa. Podemos citar como exemplo o processo de Aprendizado Competitivo.

O principal atrativo das RNAs como ferramenta computacional é a capacidade de aprender por meio de exemplos e generalizar a informação aprendida, ou seja, aprender com dados conhecidos, para apresentar respostas para dados desconhecidos. Mais precisamente, as RNAs possuem algumas características que as tornam satisfatoriamente aplicáveis a problemas não adequados à computação tradicional:

- I. **Generalização:** Podem aprender através de conjuntos de exemplos e apresentar respostas coerentes para entradas não vistas durante o treinamento;
- II. **Adaptabilidade:** Podem adaptar-se ao seu novo ambiente através de alterações em seus pesos sinápticos, no caso de operarem em outro ambiente. Também podem ser projetadas para alterarem seus pesos em tempo real ou para operarem em ambientes que variem com o tempo;
- III. **Informação Contextual:** Processam as informações contextuais de forma natural, uma vez que o processamento de um neurônio é afetado pelo processamento de outros neurônios da rede;
- IV. **Uniformidade:** A mesma notação é utilizada em diferentes domínios de aplicações; os neurônios são encontrados em todas as redes neurais.[75].

Paralelamente aos avanços da I.A e da Ciência da Computação, a Lógica, como ferramenta de análise e decisão também sofreu um grande avanço.

Do prisma lingüístico, uma lógica, ou sistema lógico, é uma classe de técnicas que permite derivar novas proposições de conjuntos dados de proposições. Por meio de uma

lógica, pode-se efetuar inferências e construir teorias. Com o auxílio da lógica, obtêm-se conclusões de dadas premissas e, ademais, pode-se deduzir conseqüências dos princípios básicos que definem uma ciência.

Antes de 1930, a Lógica tem como ponto culminante a obra de Whitehead e B. Russell intitulada “Principia Mathematica”, em três volumes publicados respectivamente em 1910, 1912 e 1913. Esse livro engloba trabalhos de lógicos como Peano e Frege, bem como os estudos de Cantor sobre a teoria dos conjuntos. Muitos lógicos, matemáticos e filósofos contribuíram para transformar a lógica numa ciência nova: Carnap, Wiener, Herbrand e, sobretudo, a escola de Hilbert.

Ainda nessa primeira parte do período contemporâneo, Lewis codificou a lógica modal moderna e o matemático holandês Brouwer construiu, com seus discípulos, em particular Heyting, uma lógica heterodoxa, alternativa à clássica. Muito importante foi também a contribuição da escola polonesa, que concorreu para tornar a lógica uma das mais importantes ciências do nosso tempo; o lógico polonês Jukasiewicz formulou os primeiros sistemas lógicos polivalentes, independentemente do que se havia obtido na Idade Média.

A evolução da lógica a partir de 1930 foi notável: Gödel publicou seus teoremas de incompleteza; Turing formulou a teoria geral dos processos computáveis; a teoria da recursão foi desenvolvida por Church, Kleene, Rosser e outros. Tarski, Robinson e outros criaram a teoria de modelos; Gödel e Cohen introduziram as técnicas dos modelos construtivos e dos modelos booleanos, provando-se a independência do axioma da escolha com relação aos outros axiomas da teoria de conjuntos, elaborando-se matemáticas não cantorianas e outras. Apareceram numerosas lógicas não clássicas e a lógica algébrica progrediu muito. Nessa etapa de sua evolução, a lógica integrou-se como uma das partes relevantes da matemática.

Hoje, são concebidas infinitas lógicas possíveis, tais como a lógica clássica, a lógica intuicionista, a lógica modal clássica, a lógica modal polivalente, a lógica clássica categorial, a lógica difusa, a lógica paraconsistente e outras.

As várias lógicas, são, porém, divididas em clássica ou tradicional e não-clássicas. Estas subdividem-se em complementares da clássica e heterodoxas ou rivais da clássica.

É importante, nesse ponto, a apresentação de uma rápida idéia do que essas divisões compreendem, para poderem ser oportunamente revisitadas.

Pode-se caracterizar a lógica clássica por seu núcleo, que é o cálculo de predicados clássico de primeira ordem, com ou sem igualdade, o qual possui uma linguagem essencialmente bem definida e uma semântica-padrão, implicando domínios de objetos com certos elementos distinguidos mais operações e relações entrelaçando tais objetos. Esse núcleo estende-se às teorias de conjuntos e às lógicas de ordem superior, com a teorias de tipos.

A seguir, são apresentados quatro dos princípios básicos da lógica clássica, também chamada tradicional:

- I. **Princípio da identidade:** $x = x$, ou seja, todo objeto é idêntico a si mesmo.
- II. **Princípio do terceiro excluído:** $p \vee \neg p$, ou seja, de duas proposições contraditórias, isto é, tais que uma é a negação da outra, uma delas é verdadeira.
- III. **Princípio da contradição** (ou da não contradição): $\neg(p \wedge \neg p)$, isto é, entre duas proposições contraditórias, uma é falsa.
- IV. **Princípio da identidade proposicional:** $p \rightarrow p$, que pode ser interpretado como “sendo verdadeiro, sempre verdadeiro; sendo falso, sempre falso”.

Todavia, além da lógica clássica, existem as lógicas não clássicas, como já mencionado anteriormente.

A lógica tradicional pode se tornar mais ampla por várias maneiras. Por exemplo, torna-se possível transformá-la em uma lógica modal pela adoção de operadores apropriados, os quais incorporam as noções de necessidade, possibilidade, impossibilidade e contingência. Essa transformação pode ocorrer de várias maneiras, introduzindo-se os operadores modais e recorrendo-se a postulados convenientes. Assim, podem ser desenvolvidas infinitas lógicas modais padrão. Outra possibilidade importante é a utilização de operadores temporais, definido-se as lógicas temporais.

Pela adoção de outros operadores, pode-se construir lógicas da crença, do conhecimento, da verificação e várias outras, que constituem as lógicas complementares da clássica, pois simplesmente enriquecem a linguagem e os objetivos dessa.

Agentes Inteligentes Artificiais

Entretanto, há lógicas que modificam ou restringem os princípios da lógica clássica, designadas por lógicas heterodoxas ou rivais da clássica.

Das inúmeras, salientam-se as lógicas paracompletas, que derrogam o princípio do terceiro excluído. Exemplos dessas lógicas são a lógica intuicionista de Brouwer-Heyting e várias outras lógicas polivalentes.

Há lógicas que, derrogam a lei da contradição, pelo menos em certos aspectos, denominadas paraconsistentes.

Por último, as lógicas não reflexivas impõem delimitações à lei da identidade, com aplicações à mecânica quântica, por exemplo, pois a relação de igualdade ou de identidade não se aplica às partículas elementares.

A lei da identidade proposicional é derrogada na lógica da implicação causal, a implicação causal: “ p implica causalmente q ”, significa que p causa q e, nas interpretações comuns dessa conexão, não vale a lei em questão; conseqüentemente, se defendida a tese de que a “verdadeira” implicação constitui algum tipo de implicação causal, a lógica resultante tem que ser heterodoxa.

Há casos, porém, em que lógicas heterodoxas são susceptíveis de serem concebidas como complementares da clássica. Com efeito, pode-se juntar à lógica clássica um operador de implicação causal, diga-se, para tratar de certas questões de física; a lógica resultante, portanto, seria uma lógica complementar da clássica.

Um dos sistemas de lógica heterodoxa, desenvolvidos independentemente, pelo lógico polonês Stanislaw JASKOWSKI entre 1949 e 1949 e pelo brasileiro Newton C. A. Da COSTA a partir de 1958 é a lógica paraconsistente, desenvolvida para desafiar o princípio da contradição. A lógica clássica, bem como, outras lógicas não clássicas não tratam deste princípio. A lógica paraconsistente pode ser utilizada como a lógica subjacente de teorias inconsistentes e não triviais. Nela uma contradição não invalida, ou não trivializa, todo o sistema. Segundo a Lógica Paraconsistente, uma sentença e a sua negação podem ser ambas verdadeiras. A Lógica Paraconsistente apresenta alternativas a proposições, cuja conclusão pode ter valores além de verdadeiro e falso - tais como indeterminado e inconsistente.

Agentes Inteligentes Artificiais

A lógica paraconsistente rompe o paradigma caracterizado pela lógica de tradição aristotélica, possibilitando a aceitação da existência de teorias inconsistentes e a coexistência de sistemas lógicos incompatíveis entre si.

JASKOWSKI formalizou com base na lógica discursiva um cálculo proposicional paraconsistente denominado cálculo proposicional discursivo. Independentemente, nesta mesma época, o lógico brasileiro Da COSTA, desenvolveu e vem desenvolvendo vários sistemas paraconsistentes contendo todos os níveis lógicos usuais: cálculo proposicional, cálculo de predicados, cálculo de predicados com igualdade, cálculo de descrições e linguagem de ordem superior na forma de teoria dos conjuntos.

A partir dos resultados de Da Costa, os quais o filósofo peruano Francisco Miró QUESADA, na década de 1970 denominou de “paraconsistentes” originando daí o termo lógica paraconsistente, a lógica paraconsistente vem se constituindo em um campo de pesquisa muito progressivo e promissor tanto numa perspectiva puramente teórica como em aplicações em áreas de inteligência artificial e sistemas de computação, servindo ao tratamento semântico de paradoxos e do conhecimento incerto. [22]

Em 1944 Howard AIKEN construiu o MARK I, o primeiro computador programável americano, que utilizava fitas de papel perfurado para programar e válvulas a vácuo para cálculos.

Em 1945, John von NEUMANN, professor do Instituto para Estudos Avançados de PRINCETON, NJ, projetou a arquitetura básica de computadores ainda hoje utilizada, na qual a memória armazena tanto instruções como dados.

Em 1946, John W. MAUCHLEY e John Presper ECKERT criaram o *Electronic Numerical Integrator and Calculator* (ENIAC), para o exército americano, que ficou famoso pela sua capacidade de processamento que era mais de mil vezes mais rápido que o MARK I, e foi o primeiro computador inteiramente eletrônico, digital, programável e de uso geral.

Agentes Inteligentes Artificiais

Em 1947, William SHOCKLEY, Walter BRATTAIN e John BARDEEN inventam o transistor.

Em 1948, Claude SHANNON publica sua Teoria da Informação, propondo uma medida de entropia da informação e desperta o interesse sobre as redes neurais.

Norbert WEINER foi um dos mais se destacaram neste novo campo, formalizando observações através de análises dos princípios relacionados à teoria da avaliação. Ele era um zoologista formado em HARVARD que publicou também em 1948 o *Cybernetics*, uma teoria da comunicação e controle neurológico de homens e máquinas, onde alcunhou a palavra Cibernética até hoje utilizada e definida, pelo próprio Weiner, como “a ciência do controle e da comunicação, no animal e na máquina”, ou seja, a arte e técnica do comando. Trabalha com os sistemas, tanto biológicos (organismos), quanto mecânicos (mecanismos), suas condições de estabilidade e de realimentação, buscando o estudo da complexidade. Pretendeu também estudar o que se entende por informação e como ela é codificada e decodificada em seu fluxo por um sistema, utilizando inclusive a Teoria da Informação de SHANNON. Por fim, trata da informação em termos de regulação e controle de sistemas, tanto em termos congênitos como adquiridos, envolvendo a interação entre física, psicologia e biologia e, tratando da aprendizagem sob o enfoque de uma teoria geral dos sistemas reguladores complexos.

A abrangência original da cibernética, ligada atraiu a discussão sobre temas importantes à época como a comunicação de massas e a tomada de decisão política, econômica e social. Porém, sua própria abrangência acabou por esvaziar muito dos temas científicos da cibernética, migrados para as disciplinas de automação e controle, informática, neurofisiologia e ecologia.

Foi neste ano também que foram apresentados os primeiros computadores de programa armazenado do mundo, o ESDAC de Maurice WILKES e o BINAC de ECKERT e MAUCHLEY.

Em 1949, Donald HEBB conhecido por seu trabalho *A Organização do Pensamento* e considerado o pai da psicobiologia cognitiva, demonstrou que efetivamente, redes neurais poderiam aprender, esclarecendo o processo de aprendizado do cérebro como

Agentes Inteligentes Artificiais

um processo puramente local de alteração das sinapses, criando o que ficou conhecido como Lei de HEBB: Se um neurônio A é repetidamente estimulado por outro neurônio B, ficará mais sensível aos estímulos de B e a conexão sináptica de B para A será mais eficiente.

Essa lei de aprendizagem proposta por Hebb foi interpretada matematicamente pela comunidade que trabalhava com RNAs e serviu de base para vários trabalhos na área.

A empresa de ECKERT e MAUCHLEY desenvolveu o UNIVAC, o primeiro computador vendido comercialmente, cujo primeiro trabalho foi compilar os resultados do censo nos EUA.

Em 1951 Marvin MINSKY e Dean EDMONDS construíram no MIT o primeiro computador neural chamado SNARC. EDMONDS foi responsável pela formulação da primeira rede neural simulando um rato tentando sair de um labirinto.

Mais tarde, Minsky, por suas inúmeras contribuições a área, foi alcunhado de o Pai da Inteligência Artificial Simbólica.

Muitos pesquisadores passaram a se relacionar ao raciocínio simbólico baseado em regras ou baseado em relações lógicas.

Herbert SIMON, cientista político e economista, ganhador de prêmio Nobel, propôs a teoria do *satisficing*, onde num processo de decisão não são consideradas todas as variáveis possíveis, o que foi o precursor da noção de *heurística*. SIMON também formulou uma teoria econômica organizacional preceituando que as partes superiores de uma organização trabalhariam com um objetivo principal e as partes inferiores trabalhariam com um número limitado de sub-objetivos, e isto valia para uma grande empresa, pessoas, uma colônia de insetos, um inseto ou um cérebro do inseto.

Um professor de computação da Universidade de CARNEGIE MELLON chamado Allen NEWELL trabalhou junto com SIMON num projeto que objetivava descrever conceitos para o reconhecimento de padrões existentes na execução de diversas tarefas.

Agentes Inteligentes Artificiais

Juntamente com J. C. SHAW criaram uma nova linguagem de computador, o *Idiom Processing Information* (IPI), que deu origem ao IPL-II a primeira linguagem de inteligência artificial em 1955.

Também em 1955, iniciou-se o Vale do Silício na Califórnia, com a fundação do Laboratório de Semicondutores de William SHOCKLEY.

Atribui-se a John McCARTHY, um cientista americano doutor pela Universidade de Princeton, o mérito de ter agrupado MINSKY, SHANNON, SIMON, NEWELL e outros pesquisadores interessados em redes neurais e no estudo da inteligência, a se reunirem num encontro de dois meses na Faculdade de DARTMOUTH, em HANOVER, NH, EUA, no verão de 1956 quando o termo *Inteligência Artificial* (IA) foi utilizado oficialmente para denominar este novo campo da ciência.

Apesar de várias discussões para substituição do termo como, “Processamento Complexo da Informação” ou “Simulação de Processos Cognitivos”, não tiveram êxito e o termo acabou sendo adotado pelo mundo acadêmico até os dias atuais.

2.3 Após o Batismo da Inteligência Artificial

Após a fixação do nome Inteligência Artificial (IA) veio uma enxurrada de trabalhos, de forma que alguns dos pioneiros pesquisadores acharam que dominar a funcionalidade do cérebro humano não seria assim tão difícil.

Os pólos de difusão desta nova ciência eram o *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), a *Carnegie Mellon University* e a *Stanford University*. A empresa IBM também investiu muito nesta nova tecnologia, e em seus laboratórios sob o comando de John BACKUS foi desenvolvido o FORTRAN.

Allen NEWELL, J.C.SHAW e Herbert SIMON criaram um programa chamado *Logic Theorist* que foi um marco na história da IA, pois era capaz de comprovar teoremas matemáticos; e inclusive comprovou o Paradoxo de RUSSELL, que perseguiu o grande

filósofo e matemático Bertrand RUSSEL, por mais de 10 anos, antes de ser publicado no *Principia Mathematica* [88], que escreveu junto com Alfred North WHITEHEAD.

O Paradoxo de RUSSEL é uma questão a respeito da Teoria dos Conjuntos:

Considere um Conjunto X que, por definição, contém todos os conjuntos que não são membros de si mesmos. O Conjunto X contém a si próprio ou não?

Temos duas respostas possíveis SIM e NÃO.

Se considerarmos SIM, então o Conjunto X contém a si próprio, mas se ele contém a si próprio, pela definição do Conjunto X, o Conjunto X não pode ser membro do Conjunto X e, portanto não pertence a si mesmo. Uma vez que a resposta SIM conduz a uma contradição, então é a resposta errada, e a correta é NÃO.

Se a resposta é NÃO, então o Conjunto X não contém a si mesmo. Mas pela definição, se o Conjunto X não fosse membro de si mesmo, então ele tem que pertencer ao Conjunto X, uma nova contradição.

Isto pode parecer sem importância para a maioria das pessoas, mas para Russel, ameaçava os fundamentos da Matemática.

A Matemática *russeliana* é baseada no conceito dos conjuntos e a questão da inclusão é fundamental. A definição do conjunto X é racional, a questão da inclusão também o é.

Então por que não temos uma resposta racional?

Este paradoxo consumiu um dos casamentos de RUSSEL e mais de uma década para ser resolvido.

A resposta estava em se processar uma transformação lógica de cada vez, então num instante de tempo a resposta é SIM e num outro imediatamente posterior é NÃO. Nunca é SIM e NÃO ao mesmo tempo.

Em 1957, NEWELL e SIMON fizeram um upgrade no *Logic Theorist* para transformá-lo no *General Problem Solver* (GPS) [77] que não era pré-programado somente para provar teoremas matemáticos. As técnicas recursivas de recuperação de informações imitavam protocolos humanos de resolução de problemas.

Agentes Inteligentes Artificiais

Não era só na Matemática que a IA tinha se infiltrado, em 1957, Noam CHOMSKY lingüista do MIT desenvolveu um sistema gramatical para análise sem referência à sintaxe ou semântica, que foi utilizado pelos cientistas de IA, pois o conhecimento poderia ser representado e analisado sem a necessidade de saber o significado do que estava sendo dito. Em seu livro *Syntactic Structures* [18], considera seriamente a computação necessária para a compreensão de uma linguagem natural. Foi a primeira de muitas obras que lhe renderam o título de Pai da Lingüística Moderna.

Em 1958, McCARTHY e MINSKY fundaram o Laboratório de Inteligência Artificial do MIT, onde McCARTHY desenvolveu o LISP, uma das pioneiras linguagens de IA.

Em 1959, Grace Murray HOPPER, desenvolveu o COBOL, uma linguagem de computador desenvolvida para uso em negócios. Grace foi uma das programadoras do MARK I.

Em uma conferência em 1959, Frank ROSEBLATT, apresenta pela primeira vez o *Perceptron*, um novo modelo de RNA. Nele os neurônios eram organizados em camadas de entrada e saída, onde os pesos das conexões eram adaptados a fim de se atingir a eficiência sináptica e demonstrou que se os neurônios fossem acrescidos de sinapses ajustáveis, poderiam ser treinadas para classificar certos tipos de padrões. O Perceptron descrito por Rosenblatt possui três camadas, um de entrada, uma intermediária e uma de saída., Seu Perceptron foi melhor desenvolvido no livro *Principles of neurodynamics* de 1962

Sua estrutura era formada por fotocélulas que informavam aos neurônios a quantidade da intensidade de luz aplicada sobre eles. Os neurônios avaliavam a força relativa da entrada de luz e, se o peso fosse maior do que uma entrada predeterminada pelo sistema, então disparariam uma informação avisando ao próximo nível de neurônios sobre a intensidade daquela. Eventualmente, emergiria um padrão decorrente desse tipo de ciclo de transferência de informações.

Foi criado, portanto o fundamento para o treinamento das redes neurais artificiais.

Agentes Inteligentes Artificiais

A partir de 1960. Robert K. LINDSAY criou um programa chamado *Sad Sam* capaz de ler frases e entender o significado como por exemplo: José é irmão de João. Maria é mãe de José. A partir daí o computador concluía que João é filho de Maria.

Depois vieram outros como o *Semantic Information Retrieval* (SIR) de Bertran RAPHAEL que entendia sentenças em inglês.

A Guerra fria entre URSS e EUA, também contribuiu para o desenvolvimento da IA, e mais uma vez a necessidade de comunicação levou ao desenvolvimento de uma rede de proteção de informações, de modo que elas poderiam ser descentralizadas e compartilhadas com segurança, no caso de um ataque ao PENTÁGONO. Foi criada então a ARPANET pela *Advanced Reserch Projects Agency* , exclusivamente para uso militar. O Departamento de Defesa americano, tinha acabado de criar o viria a ser o maior fenômeno midiático do século.

Em 1961, os primeiros robôs industriais do mundo são comercializados sendo que o mais conhecido foi o UNIMATE da Ford Motor Company, nos EUA.

Em 1963, Tom EVANS, sob a supervisão de Marvin MINSKY, criou o programa ANALOGY. Este foi projetado para resolver problemas que envolviam a associação de padrões geométricos que ocorriam em casos passados com padrão de casos presentes.

Também neste ano a Universidade de Stanford fundou o Laboratório de IA sob a supervisão de John McCARTHY.

A linguagem *Beginer's All-purpose Symbolic Instrution Code* (BASIC) foi criada no Dartmouth College por Thomas E. KURTZ e John G. HENRY, em 1964.

Também o ano de 1964 foi marcado por duas grandes previsões:

A primeira foi a de Gordon MOORE, que diz que os circuitos integrados irão dobrar de complexidade a cada ano e meio, e a Marshall McLUHAN, por intermédio de seu livro *Understanding Media*, prevê o potencial da mídia eletrônica, ao criar os termos *aldeia global* e *o meio é a mensagem*.

Agentes Inteligentes Artificiais

Em 1965 foi inaugurado o Instituto de Robótica na Universidade Carnegie Mellon, sob a supervisão de Raj REDDY.

De 1965 a 1970, MINSKY e Seymour PAPERT dirigiram o projeto *Blocks Microworld Project* no laboratório de IA do MIT. Este projeto melhorou o conhecimento sobre a computação, a robótica e, até mesmo a linguagem natural necessária para a formulação de relações entre o mundo real e a linguagem de máquinas.

Em 1968, MINSKY e PAPERT publicaram o livro *Perceptrons*, onde apresentam a limitação de redes neurais de uma camada, pois demonstrou que um *perceptron* é incapaz de determinar se o desenho de uma linha está totalmente conectada. Isto fez com que as pesquisas de redes neurais esfriassem.

Também neste ano, Gordon MOORE e Robert NOYCE, fundam a *Integrated Eletronics* (INTEL) *Corporation*, que teria papel fundamental no desenvolvimento de *chips* para os *hardwares* de computadores pessoais.

Em 1968, Terry WINOGRAD, um estudante de doutorado sob a orientação de Seymour PAPERT, iniciou um programa denominado SHRDLU, que finalizou em 1970 e criou uma conversa simulada entre um computador e um usuário, através do qual este poderia fazer perguntas utilizando a linguagem natural.

Em 1970 Douglas LENAT programou o *Matemático Automatizado*, um programa para redescobrir teoremas sem qualquer auxílio externo. Combinou um jogo de idéias rudimentares, um senso de experimentação e um senso para boas descobertas, guiando suas atividades.

Com a diminuição das tensões entre URSS e EUA, a guerra fria acaba e começou se um período de coexistência pacífica, então o governo dos EUA, permitiu o uso do ARPANET pelos pesquisadores e suas respectivas universidades. Devido a grande demanda apresentada, a rede foi dividida em duas, a MILNET, que possuía as localidades

Agentes Inteligentes Artificiais

militares e a nova ARPANET que ficaria para pesquisas. Porém esta novidade provocou o uso dos alunos, dos amigos dos alunos divulgando cada vez mais a rede. Um esquema técnico denominado *internet protocol* (IP) permitia o tráfego de informações nas redes. A *National Science Foundation* (NSF) investiu na criação de *backbones* para interligar as redes. Estava criado o meio físico daquilo que falamos que seria o fenômeno de comunicação do século.

Em 1971 Alain COLMERAUER e Phillipe ROUSSEL escreveram uma linguagem de computador chamada PROLOG, que viria a ser uma das mais utilizadas em IA.

Começaram a surgir especialidades distintas dentro da IA. Estas incluíam o trabalho de Edward FEIGENBAUM com *sistemas especialistas*; Roger SHAMK em *análise de linguagem*; Marvin MINSKY com *a representação do conhecimento*; Douglas LENAT em *aprendizado de máquinas e natureza heurística* e David MARR em *visão de máquina*.

Em 1974 Paul J. WERBOS inventou o algoritmo *backpropagation* que habilitou redes neurais a executar operações de classificação além das simplesmente executadas pelo programa *Perceptrons*.

Em abril de 1975, Bill GATES e Paul ALLEN fundam a MICROSOFT, que viria a ter um importantíssimo papel no desenvolvimento de linguagens de máquinas para os computadores pessoais que viriam a povoar a vida do cidadão comum.

Também em 1975, John HOLLAND cria os Algoritmos Genéticos, os quais se baseiam nos processos evolutivos observados nas espécies, envolvendo correspondentes dos cromossomos, genes, alelos, genótipo e fenótipo no modelo computacional especialmente proposto para simular esses processos.

Os termos citados anteriormente que são largamente usados nos sistemas naturais têm as seguintes correspondências computacionais: cromossomos ("*string*" ou

Agentes Inteligentes Artificiais

configuração); genes (uma posição do *string*); alelo (valor da função objetivo, ou custo); genótipo (estrutura) e fenótipo - "aparência", forma, ou modelo dos indivíduos dominantes.

O fundamento teórico consiste em que, à similaridade da teoria biológica dos sistemas naturais, os indivíduos mais aptos sobrevivem e geram descendentes com suas características hereditárias. Estes elementos, que comporão as novas gerações, tendem a ter a mesma aparência, ou fenótipo, que seus antecessores.

Assim, um algoritmo genético parte de uma população de indivíduos gerados aleatoriamente, formando as configurações iniciais de um problema, faz a avaliação de cada um mediante a aplicação da função objetivo, seleciona os mais aptos, ou seja, cuja função de custo tenham os maiores valores, se for um problema de maximização, ou menores, no caso de minimização e promove “manipulações genéticas”, como cruzamento e mutação, o que na prática corresponde a perturbações, a fim de criar uma nova população. Este processo adaptativo pode ser usado para resolver qualquer problema de otimização, compondo um método analógico com as seguintes características: usa técnica de randomização; é robusto (abrangente) e trabalha unicamente com o valor da função objetivo.

Em 1976, Steven P. JOBS e Stephen G. WOZNIAC, fundam a *Apple Computer Corporation* e lançam no mercado, o conceito de computador pessoal. Em 1977 criam Apple II, com recursos gráficos coloridos é um grande sucesso mercadológico.

Entre 1970 e 1979, Tom MITCHELL publicou diversos trabalhos sobre aprendizagem automática; Rodney BROOKS, cria o sistema ACRONYM, para reconhecimento de objetos tridimensionais; TATE cria o sistema de planejamento NONLIN, que usa o conceito de formalismo da tarefa; Jaime CARBONELL desenvolve o sistema MICS para compreensão de conversas; Herbert SIMON, recebe o prêmio Nobel de Economia; QUINLAN propõe o método de aprendizagem automática ID3; KOWALSKI desenvolve o Cálculo Situacional; John McDERMOTT desenvolve o XCON, um sistema pericial capaz de propor a configuração de sistemas computacionais da Digital Equipment Company e Dan BRICKLIN e Bob FANKSTON desenvolvem o *Visicalc* e tornam os computadores pessoais mais amigáveis e inteligentes ao usuário comum.

Agentes Inteligentes Artificiais

No início dos anos 80, as redes neurais, começaram a receber múltiplas camadas, e com isso vão se tornando mais sofisticadas, fazendo voltar o interesse da comunidade pelo seu uso; e os *backbones* da NSF ampliam se com o uso cada vez maior da comunidade científica, e crescem também os *backbones* criados por empresas particulares, esta rede começou a ser efetivamente chamada de INTERNET.

Em 1980, a *lógica difusa (fuzzy)*, ou lógica nebulosa, inicialmente desenvolvida por ZADEH a partir de 1965, foi empregada pela primeira num sistema projetado pela Hitachi, para controlar o as operações de trens em SENDAY, no Japão [12].

Tratando-se da lógica difusa, pode-se afirmar que o emprego da lógica clássica leva a uma linha de raciocínio lógico baseado em premissas e conclusões de forma binária, isto é, uma declaração é falsa ou verdadeira, não podendo ser ao mesmo tempo parcialmente verdadeira e parcialmente falsa. Esta suposição e o princípio da não contradição, que coloca que “p e não p” cobrem todas as possibilidades, formam a base do pensamento lógico ocidental.

A lógica difusa viola estas suposições. O conceito de dualidade, estabelecendo que algo pode e deve coexistir com o seu oposto, faz a lógica difusa parecer natural, até mesmo inevitável. A lógica de Aristóteles trata dos valores “verdade” das afirmações, classificando-as como verdadeiras ou falsas. Entretanto, muitas das experiências humanas não podem ser classificadas simplesmente como verdadeiras ou falsas, sim ou não, branco ou preto. Por exemplo, a altura de um homem e o grau de risco apresentado por uma estrutura. Um sim ou um não como resposta a estas questões é, na maioria das vezes, incompleta. Na verdade, entre a certeza de ser e a certeza de não ser, existem infinitos graus de incerteza. Esta imperfeição intrínseca à informação representada numa linguagem natural, foi tratada matematicamente no passado com o uso da teoria das probabilidades.

A base da lógica difusa está no conceito de conjunto difuso, que foi introduzido, na década de 1960, a partir de estudos desenvolvidos em Berkeley, a partir da conclusão de que os recursos tecnológicos disponíveis eram incapazes de automatizar as atividades relacionadas a problemas de natureza industrial, biológica ou química, que compreendessem situações ambíguas, não passíveis de processamento através da lógica computacional fundamentada na lógica booleana.

Agentes Inteligentes Artificiais

Na década de 1970, foram desenvolvidos estudos para o controle de uma máquina a vapor e após inúmeras tentativas frustradas com tipos distintos de controladores, incluindo o PID (proporcional-integrativo-derivativo), somente foi possível fazê-lo através da aplicação do raciocínio difuso. Esse sucesso serviu de alavanca para muitas outras aplicações, como em 1980, no controle difuso da operação de um forno de cimento. Vieram em seguida, várias outras aplicações, destacando-se, por exemplo, os controladores difusos de plantas nucleares, refinarias, processos biológicos e químicos, trocadores de calor, máquinas diesel, tratamento de água e sistemas de operação automática de trens.

Estimulados pelo desenvolvimento e pelas enormes possibilidades práticas de aplicações que se apresentaram, os estudos sobre sistemas difusos e controle de processos avançaram rapidamente, culminando com a criação em 1984, da “Sociedade Internacional de Sistemas Difusos”.

A lógica difusa, como base da teoria dos conjuntos difusos, tem se mostrado mais adequada para tratar incertezas nas informações do que a teoria das probabilidades. Pode-se definir a lógica difusa como sendo uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em uma linguagem natural e convertê-las para um formato numérico, de fácil manipulação por sistemas digitais. Considere-se a seguinte afirmativa: Se o tempo de um investimento é longo e o sistema financeiro tem sido não muito estável, então a taxa de risco do investimento é muito alta. Os termos “longo”, “não muito estável” e “muito alta” trazem consigo informações vagas. A representação destas informações vagas se dá através do uso de conjuntos difusos.

Devido a esta propriedade e a capacidade de realizar inferências, a lógica difusa tem encontrado grandes aplicações nas seguintes áreas: sistemas especialistas, computação com palavras, raciocínio aproximado, linguagem natural, controle de processos, robótica, modelamento de sistemas parcialmente abertos, reconhecimento de padrões e processos de tomada de decisão [37].

Os conjuntos difusos têm como objetivo aproximar o raciocínio humano da lógica executada pelas máquinas. Os conjuntos convencionais possuem limites bruscos (por exemplo, o conjunto dos números maiores que 2), e a transição dos membros para não membros é abrupta e repentina. O grau de associação do conjunto pode ser especificado, por exemplo, por um número “1” para os membros e “0” para os não membros. Por exemplo um controlador de temperatura pode considerar 35°C como quente mas 34,9°C

como frio. Em um conjunto difuso, as transições entre membros e os não membros dá-se em uma faixa gradual, sendo associado um grau ao elemento entre “0” (totalmente não membro) e “1” (totalmente membro). Naquele controlador de temperatura, 20°C pode ser considerado morno e um pouco frio ao mesmo tempo, 50°C será muito quente e assim por diante. Desta forma, a saída de um sistema difuso será contínua e suave.

De maneira não muito bem compreendida, os humanos têm a capacidade de associar um grau a um determinado objeto sem compreender conscientemente como se chega a ele. Por exemplo, um aluno não teria dificuldade em assinalar um grau ao professor no conjunto dos “bons professores”. Esse grau é alcançado imediatamente sem nenhuma análise consciente sobre os fatores que influem nessa decisão.

O grau de associação difere da probabilidade, é sim, uma medida da compatibilidade do objeto com o conceito representado pelo conjunto difuso. No exemplo, o número 0,3 é a compatibilidade de João com a definição do conjunto difuso dos homens jovens. Esse número 0,3 não é a probabilidade de João ser um homem jovem, pois ele já tem sua idade definida de 48 anos.

Um conceito relacionado aos conjuntos difusos é o de variável lingüística. Entende-se por variável um identificador que pode assumir um dentre vários valores. Deste modo, uma variável lingüística pode assumir um valor lingüístico dentre vários outros em um conjunto de termos lingüísticos. Variáveis lingüísticas podem também conter modificadores (também lingüísticos) que alteram seu valor. Exemplos de modificadores válidos são: muito, pouco, não muito, mais ou menos. Existem também conectivos que podem ser aplicados à estas variáveis, “e” e “ou”. Assim, um valor válido para a variável lingüística altura seria “não muito alto” e “não muito baixo”. Os modificadores lingüísticos podem ser definidos matematicamente, como no exemplo dos conjuntos, baixo e muito baixo, onde o modificador muito é caracterizado por elevar cada ponto da função de pertinência à segunda potência. Os conectivos “e” e “ou” são equivalentes a operações de união e intersecção de conjuntos, respectivamente, podendo dar origem a conjuntos complexamente definidos, porém representados lingüisticamente de maneira simples.

A lógica difusa também pode ser definida, como a lógica que suporta os modos de raciocínio que são aproximados, ao invés de exatos, como se está naturalmente acostumado a trabalhar [8]. Nesta lógica, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um processo de composição difusa. A lógica difusa

Agentes Inteligentes Artificiais

combina lógica multivalorada, teoria probabilística e inteligência artificial para que possa representar o pensamento humano, ou seja, ligar a linguística e a inteligência humana, pois muitos conceitos são melhores definidos por palavras do que pela matemática [22]. O valor verdade de uma proposição pode ser um subconjunto difuso de qualquer conjunto ordenado, ao contrário dos sistemas lógicos binários, onde o valor verdade só pode assumir 2 valores: verdadeiro ou falso.

Resumindo, as principais características da lógica difusa são:

- baseia-se primariamente em palavras, ou seja, os valores verdade são expressos lingüisticamente. Por exemplo: quente, muito frio, verdade, longe, perto, rápido, vagaroso, médio etc.
- possui modificadores de predicado, como por exemplo: muito, mais ou menos, pouco, bastante, médio etc.
- possui um conjunto de quantificadores, como por exemplo: poucos, vários, em torno de, usualmente.
- faz uso das probabilidades lingüísticas, como por exemplo: provável, improvável, que são interpretados como números difusos e manipulados pela sua aritmética.
- manuseia todos os valores entre 0 e 1, tomando estes, como limites apenas.

Também em 1980, foi desenvolvido o sistema pericial PROSPECTOR, que processa informações geológicas, geoquímicas e geofísicas do Mount Tolman nos EUA e prevê a existência de molibdênio, que foi comprovado mais tarde; são desenvolvidos dois sistemas para o reconhecimento de voz: HERSAY-II, que usa o conceito de *blackboard* e o HARPY que cumpre os requisitos impostos pelo Departamento de Defesa Americano. DAVIS define a Inteligência Artificial Distribuída (IAD) como a área que tem como objetivo a resolução de problemas para as situações nas quais um único solucionador de problemas, uma única máquina ou uma única localização computacional não são apropriados.

Em 1981, a IBM lança o seu *Personal Computer* (PC) que viria a se tornar um dos padrões de microcomputação pessoal no mundo.

Agentes Inteligentes Artificiais

No Japão, é lançado o ICOT, um programa visando à criação de sistemas computacionais de 5ª geração.

Nesse mesmo ano é criada a BITNET, acrônimo de "*Because It's Time Network*", uma rede remota, que inicialmente conectava a Universidade de Nova Iorque e da Universidade de Yale, baseada no *software Remote Spooling Communication Subsystem (RSCS)* e o protocolo de comunicação NJE (*Network Job Entry*), ambos da IBM, em uso entre as duas universidades, e a ligação por uma linha telefônica permanente. A idéia de uma rede cooperativa entre as universidades e instituições foi um passo decisivo para a criação da BITNET, pensada para ser um meio rápido e barato de comunicação no meio acadêmico. Com esse conceito foi criado o CREN (*Corporation for Research and Educational Networking*) sediado em Washington, para administrar a rede. Seus serviços consistiam de fornecimento de serviços de correio eletrônico e de transferência de arquivos entre computadores de instituições educacionais e de pesquisa na América do Norte, América do Sul, Europa e Japão, tendo alcançado mais de 2.500 pelo mundo, mas suplantada pela maior abrangência da internet na década de 90.

Em 1982, John HOPFIELD demonstrou como uma rede neural artificial simples poderia adquirir a habilidade de calcular. Para isto teria que estruturar uma memória [15]. O princípio básico seria o seguinte:

Uma unidade ou elemento processador estaria sempre ativo ou inativo. Estas unidades estariam conectadas as outras conexões simétricas valoradas. Uma conexão positiva, faria com que ativassem uma a outra, e uma negativa desativasse uma vizinha.

Uma unidade aleatória seria escolhida, se alguns de seus vizinhos estivessem ativos, a unidade computaria a soma dos valores para aqueles vizinhos ativos. Se a soma fosse positiva, a unidade se ativaria, caso contrário tornar-se-ia negativa. Sucessivamente o processo seria repetido até que a rede alcançasse sua estabilidade e nenhuma unidade mudasse mais de estado. Estava então definido um padrão de memória associativa. Este processo foi denominado de relaxamento paralelo.

Em 1983, BROOKS usa o conceito de "*volume varrido*" para o planejamento de trajetórias; Douglas LENAT trabalha no projeto CYC, que visa suportar sistemas de língua

Agentes Inteligentes Artificiais

natural robustos com necessidades de bases de conhecimento de grande dimensão e DAVIS introduz o *Contract Net Protocol*, um protocolo para negociação entre agentes.

Nesse mesmo ano é publicada a técnica do *Simulated Annealing*, Têmpera Simulada, utilizado, de forma eficiente, para resolver problemas genéricos de otimização combinatória (discreta) e global (contínua) [12]. A fundamentação baseia-se nas simulações da evolução do equilíbrio térmico dos materiais, a qual utiliza simulações probabilísticas para gerar seqüências de estados do material caracterizados pelas posições de suas partículas; de forma que, sob altas temperaturas estas estão totalmente "desorganizadas" correspondendo a uma configuração aleatória de um problema de otimização, geralmente distante da configuração ótima desejada.

Uma pequena alteração nas posições de algumas destas partículas (perturbação) resulta numa variação de energia, para mais ou para menos, que equivale a uma alteração no valor da função objetivo no mesmo sentido. Essa técnica teve bastante repercussão posterior quando foi aplicada como algoritmo de aprendizado em RNAs, dando origem à "Máquina de Boltzmann".

Em 1984, HERMAN e KANADE desenvolvem o sistema de visão por computador, o MOSAIC e começa a ser desenvolvido na Carnegie Mellon University de PITTSBURG, o NAVLAB, que fará com que veículos autônomos possam ser guiados sem a intervenção humana.

Novamente aparece em 1985, uma significativa contribuição de MINSKY, quando publicou o seu famoso *Society of Mind*, livro no qual apresenta uma teoria da mente em que a inteligência é vista como sendo o resultado de uma organização adequada de uma hierarquia de mentes com mecanismos simples no nível mais baixo da hierarquia.

Ainda em 1985, Jerome WEISNER e Nicholas NEGROPONTE fundaram o *Media Laboratory* no MIT, dedicado a pesquisar possíveis aplicações e interações da informática, sociologia, comunicação e inteligência artificial no contexto da tecnologia de mídia.

A MICROSOFT e a IBM lançam o MS Windows, que seria a referência em sistemas operacionais para computadores pessoais.

Agentes Inteligentes Artificiais

Em 1987, Etienne WENGER publica um livro sobre *Tutores Inteligentes*, sistemas capazes de ensinar de um modo inteligente e os sistemas de fala possuem um grande vocabulário, reconhecimento de fala contínua ou independência do falante, os sistemas robóticos de visão movimentam mais de 300 milhões de dólares nos EUA, e a memória de computador custa cem mil vezes menos do que em 1950, quando TURING enunciou o seu teste.

MINSKY e PAPERT publicam uma edição atualizada do *Perceptrons* em 1988, na qual discutem os recentes desenvolvimentos em redes neurais para inteligência e faz-se renascer o interesse pelo assunto.

Em 1989, Pattie MAES pesquisadora do MIT, publica um artigo *How to do the right thing* [59] onde propõe um algoritmo para a seleção de ações de um agente autônomo que tem uma coletânea de módulos de competência, que são ativados ou desativados dinamicamente segundo critérios de comportamento, mediante conflitos do tipo orientado x perdido, seguir planejado x adaptar se ao novo ou fazer detalhadamente x fazer rapidamente. Este artigo chamou a atenção da comunidade científica para o que viriam a ser definidos mais tarde Agentes Inteligentes Artificiais.

Em 1989, em Genebra, Suíça, o pesquisador Tim BARNES-LEE do *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* (CERN), desenvolveu aquilo que daria o início a nova fase da internet, o *World Wide Web*, um sistema que interligava universidades, para o tráfego de dados de pesquisas.

Novamente MAES publica outro artigo relevante *Designing Autonomous Agents* [57] em 1990.

Em 1990 a Matsushita Electric Industrial Co. (PANASONIC) lança pela primeira vez um eletrodoméstico com circuitos eletrônicos baseados em *lógica difusa*.

Em agosto de 1991, BARNES-LEE criou o *HyperText Markup Language* (HTML) e o *HyperText Transfer Protocol* (HTTP), que viriam a ser fundamentais para a comunidade científica usar massivamente a internet.

Agentes Inteligentes Artificiais

Também em 1991, surge o Prêmio LOEBNER, que anualmente relança o desafio do Teste de Turing.

Em 1992, o conglomerado FIAT/LANCIA/ALFA ROMEO, passa a usar o *Integrated Diagnostic Expert Assistant System* (IDEA) para diagnosticar e reparar seus autos. A FORDYCE usa o *Logistics Management System* (LMS), um sistema de logística multi-agente da IBM.

O então senador Al GORE dos Estados Unidos lançou o termo *Superhighway of Information* em 1992, para o que viria a ser a internet.

Em 1993. Tom GRUBER define o termo *Ontologia* no âmbito de partilha do conhecimento com o sentido de “*especificação de uma conceitualização*”.

Em 1994, finalmente foi lançado o *World Wide Web* para as pessoas comuns, fazendo com que não somente o meio acadêmico tivesse amplo acesso à internet.

Agents that Reduce Work and Information Overload [56], é publicado por MAES no MIT em 1994, onde ela discorre sobre o crescimento de uso do computador e suas informações e as dificuldades das pessoas em interagir com a mesma rapidez. Propõe então que as técnicas de IA, particularmente dos agentes autônomos sejam utilizadas de maneira indireta como complementos auxiliares desta interação. O artigo focava numa nova forma de se construir agentes de interface; e ela apresentou diversos protótipos desde assistentes pessoais de agendamentos de compromissos, manipulação de e-mails, filtros de informações e seleção de entretenimentos.

Em 1995 Michael WOOLDRIDGE e Nicholas R. JENNINGS publicam no KNOWLEDGE ENGINEERING REVIEW, Inglaterra o artigo *Intelligent Agents: Theory and Practice*, onde clarificam o assunto em partes: 1- Teoria dos Agentes – O que é um agente e a formalização matemática de suas propriedades; 2- Arquitetura dos agentes isto é

Agentes Inteligentes Artificiais

modelos de *software* dos agentes e finalmente 3- Linguagem dos agentes onde discorrem sobre os diversos programas.

Em 1995, ZUE cria o GALAXIE, um sistema distribuído e descentralizado com uma interface por voz, que permite o acesso a informações sobre um vasto leque de domínios; FRAWLEY propõe a abordagem da Descoberta do Conhecimento que é posteriormente em fases por FAYYAD, onde se inclui a fase do *Data Mining*. Orlando Magic e o New York Knicks são os primeiros times de basquetebol a se utilizarem dos agentes inteligentes contidos no ADVANCED SCOUT, um sistema de *Data Mining* e de descoberta do conhecimento que auxilia os treinadores a montar estratégias para determinados jogos.

Também em 1995, Stuart RUSSEL e Peter NORVIG, escrevem o livro que se tornaria uma das referências de IA, o *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Este livro foi revisto para uma segunda edição em 2003. Em seu segundo capítulo, os autores aprofundam se no conceito de agentes inteligentes.

Em 1997, a HNC *Software* Inc. desenvolve o sistema FALCON que com base em redes neurais artificiais, monitora transações de com cartões de crédito para detectar pagamentos com suspeitas de fraude. O DEEP BLUE da IBM vence o campeão mundial de xadrez Gary KASPAROV e o robô móvel SOJOURNER, transportado pela *Mars Pathfinder*, explora a superfície de Marte, abrindo uma nova fase para a exploração espacial com robôs.

Em 1998, Walter BRENNER, Rudiger ZAENEKOW e Hartmut WITTIG, publicaram o *Intelligent Software Agents – Foundations and Applications*, onde explicaram seus fundamentos, métodos de desenvolvimentos e exemplos de aplicações.

Finalmente em 17 de maio de 1999, o sistema Remote Agent toma conta do controle da nave Deep Space 1, a 60 milhões de km da Terra. DS-1 passou nas proximidades do asteroide McAuliffe, de Marte e do cometa West-Kohoutek-Ikemura.

Agentes Inteligentes Artificiais

E daqui em diante para a computação quântica, a nanotecnologia, os algoritmos e *hardwares* com capacidades replicantes e evolucionárias, dos quais trataremos melhor no capítulo 4. O capítulo 3, a seguir, tenta definir o conceito de agentes inteligentes artificiais para que possamos entender o presente e imaginar o futuro de forma um pouco mais concreta.

3 AGENTES INTELIGENTES ARTIFICIAIS, O QUE SÃO?

3.1 As Tentativas de se Compreender o Fenômeno

Com o desenvolvimento da robótica, da informática e da explosão da internet a partir de 1994, surgem os filtros colaborativos e estabelecem-se os agentes inteligentes [64].

A informática, pelo desenvolvimento de linguagens e elementos de apoio ao desenvolvimento de *softwares* cada vez mais robustos, e também pela miniaturização crescente, possibilitam a dispersão dos elementos de monitoramento, memória e processamento pelo ambiente.

Processadores e memória, que antes custavam milhares de dólares e tinham capacidades extremamente restritas, deram origem a processadores compactos e poderosos, a custos baixos, possibilitando sua presença em várias partes de um automóvel, em eletrodomésticos, celulares e até em tênis ou roupas [56].

Esse avanço tecnológico possibilitou a implementação em *software* de sistemas cada vez mais sofisticados e descentralizados.

Nesse desenvolvimento, a internet expandiu-se e aumentou suas possibilidades de conexões, juntamente com o sistema de telefonia móvel, dando aos elementos de processamento a capacidade não apenas de se atualizarem com as informações localmente obtidas, mas também interagir em rede, obtendo e transmitindo informações em tempo real a qualquer outro local [39].

As interações puderam tornar-se mais precisas, e principalmente interativas, possibilitando a coletivização de seu funcionamento em forma crescente e difusa.

Baseados nos fatos entre 1989 e 1996 existem várias definições para os Agentes Inteligentes Artificiais [111]. Com isso, diferentes pesquisadores propõem definições, enfatizando as características desejáveis de um agente conforme seu tipo de trabalho.

Vários termos foram criados para referenciá-los, tais como agentes autônomos, agentes adaptativos, interfaces inteligentes, *knowbots*, *softbots* ou *taskbots* entre outros.

Um trabalho importante foi apresentado por Stan FRANKLIN e Art GRAESSER do *Institute for Intelligent Systems – University of Memphis* no *Third International*

Agentes Inteligentes Artificiais

Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages – Springer-Verlag em 1996, intitulado *Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents*.

FRANKLIN e GRAESSER propõem uma definição formal para os agentes autônomos distinguindo claramente um *Software Agent* de um programa qualquer, mas antes vamos citar aqui, algumas definições e suas respectivas limitações apontadas por eles no seu artigo:

- ***The MuBot Agent*** : (Sankar VIRDHAGRISWARAN da Crystaliz, Inc)

“O termo agente é usado para representar dois conceitos ortogonais. O primeiro é a habilidade do agente para trabalho autônomo. O segundo é a habilidade do agente para executar raciocínio orientado”

(“The term agent is used to represent two orthogonal concepts. The first is the agent’s ability for autonomous execution. The second is the agent’s ability to perform domain oriented reasoning”)

Esta é uma definição para tecnologias móveis, na qual a execução autônoma está subordinada a uma agência externa.

-The AIMA Agent

“Um agente é algo que pode ser visto como percebendo seu ambiente através de sensores e que age neste ambiente através de seus atuadores”

Agentes Inteligentes Artificiais

(“An agent is anything that can be viewed as perceiving its environment through sensors and acting upon that environment through effectors”)

AIMA é um anacronismo para *Artificial Intelligence: a Modern Approach* título do livro de RUSSEL e NORVIG. Os autores estavam interessados em *Software Agents* incorporados em técnicas de AI. Esta definição depende fortemente daquilo que tomamos por ambiente, sensação e ação.

Se definir o ambiente como o aquele que provê a entrada (*input*) e recebe a saída (*output*), e se receber estímulo (*input*), sente e produz uma saída (*output*), então, cada programa é um agente. Assim, se queremos chegar a uma diferença entre agente e programa, temos de restringir, pelo menos, algumas das noções de ambiente, sensores e de ação.

- The MAES Agent

“Agentes autônomos são sistemas computacionais que habitam alguns ambientes complexos e dinâmicos, sentem e agem de forma autônoma neste ambiente, conforme um conjunto de metas ou tarefas para que foram concebidos.”

(“Autonomous agents are computational systems that inhabit some complex dynamic environment, sense and act autonomously in this environment, and by doing so realize a set of goals or tasks for which they defined”)

Pattie MAES, do Media Lab do MIT, é uma das pioneiras na pesquisa de agentes inteligentes artificiais. Ela acrescenta um elemento crucial para a sua definição de um

Agentes Inteligentes Artificiais

agente: elementos que devem agir autonomamente, de modo a cumprir um conjunto de metas. Novamente os ambientes são restritos a complexo e dinâmico.

"Vamos definir um agente como uma entidade de *software* permanente dedicada a uma finalidade específica. Onde permanente distingue agentes de sub-rotinas; agentes têm as suas próprias idéias (agendas) sobre a maneira de realizar tarefas. E a finalidade específica distingue os agentes de toda aplicação multifunção; agentes são tipicamente muito menores."

("Let us define an agent as a persitent *software* entity dedicated to a specific purpose. 'Persistent' distinguishes agents from subroutines; agents have their awn ideas about how to accomplish tasks, their own agendas. 'Special purpose' distinguishes them from entire multifunction applications; agents are typically much smaller")

Os autores estão com a Apple. A exigência explícita de permanência é uma nova e importante adição aqui.

"Agentes inteligentes continuamente executam três funções: Percepção das condições dinâmicas do ambiente; ação para afetar as condições do ambiente; e raciocínio para interpretar percepções, resolver problemas, tirar inferências e determinar ações."

Agentes Inteligentes Artificiais

Barbara Hayes-Roth da Stanford's Knowledge Systems Laboratory insiste que os agentes raciocinam durante o processo de seleção da ação. Se o raciocínio for interpretado de forma ampla, a arquitetura agente permite ações reflexivas, bem como ações planejadas.

- **The IBM Agent** (Intelligent Agent Strategy)

"Agentes inteligentes são entidades de *software* que realizam algum conjunto de operações em nome de um usuário ou outro programa com algum grau de independência ou autonomia, e ao fazê-lo, empregam algum conhecimento ou interpretação dos objetivos ou desejos do usuário."

Esta definição do Laboratório de Estratégia para Agentes Inteligentes da IBM, mostra um agente inteligente agindo por outro, com a autoridade concedida pelo outro.
The Wooldridge & Jennings Agent:

“ um *hardware* ou (mais usualmente) *software* baseado em sistema de computador que teria as seguintes propriedades:

- autonomia: agentes que operam sem a intervenção direta dos seres humanos ou outros, e têm algum tipo de controle sobre as suas ações e estado interno;
- habilidade social: agentes interagem com outros agentes (e possivelmente humanos) através de algum tipo de agente de comunicação de linguagem;
- reatividade: os agentes percebem seu ambiente, (que pode ser o mundo físico, um usuário através de uma interface gráfica, uma coleção de outros agentes, a internet, ou talvez todos esses

Agentes Inteligentes Artificiais

combinados), e responder em tempo útil às mudanças que ocorrem no mesmo;

- pró-atividade: os agentes não atuam simplesmente em resposta ao ambiente. Eles tem que ser capazes de exibir comportamento planejado ao tomar a iniciativa.

A definição de WOOLDRIDGE E JENNINGS, além de explicar detalhadamente a autonomia, sensibilidade e ação, permite usar uma ampla, mas finita, variedade de ambientes. Eles ainda acrescentaram o requisito de comunicações.

Existem outras definições interessantes no artigo, mas aqui foram colocadas as mais relevantes.

Baseados nas críticas a outras definições de agentes, FRANKLIN e GRAESSER elaboraram a própria definição de Agentes Inteligentes Artificiais ou Agentes Autônomos:

“Um agente autônomo é um sistema situado dentro e participante, de um ambiente e que sente e age sobre ele, ao longo do tempo, no exercício da sua própria agenda e assim afetando o que ele sentirá no futuro.”

(“ An autonomous agent is a system situated within and a part of an environment that senses that environment and acts on it, over time, in pursuit of its own agenda and so to effect what it senses in the future”)

A definição acima satisfaz desde o “low end” dos dispositivos, que pode ser um termostato, usando um ou dois sensores e que consegue controlar a temperatura de um

Agentes Inteligentes Artificiais

ambiente, até o “*high end*” ou mais complexo dos agentes que são os seres humanos com todos os seus conflitos.

Como a definição acima é muito ampla, é necessário estabelecer uma classificação em subtipos, e que foi inspirada na taxonomia [32] dos seres vivos, para sugerir a taxonomia dos agentes.

Agentes autônomos:

- Agentes Biológicos
- Agentes Robóticos
- Agentes Computacionais
 - Agentes de Vida Artificial (*Artificial Life*)
 - Agentes de Programas (*Softwares*)
 - Agentes de Tarefa Específica
 - Agentes de Entretenimento
 - Vírus.

Em suma, a definição de agentes inteligentes artificiais parece estar atrelada à própria definição de inteligência. E esta, já não mais vista unidimensionalmente, como um “quociente de inteligência” de característica fortemente matemático, tende a enfeixar um amplo e difuso número de habilidades. E nesse ponto, as pesquisas progridem. As habilidades de diversos animais, com a de criar ferramentas, comunicar-se com humanos, e usar raciocínio rudimentar voltado a decisões, bem como a de fazer cálculos ou de mentir, são cada vez mais testadas, demonstrando que atributos considerados humanos a até a poucos anos, agora são vistas gradativamente distribuídas no reino animal. Reforçam que, ao invés de se perseguir o conceito numa definição, é necessário o estabelecimento de um sistema de gradação para o raciocínio e a inteligência, na compreensão de um fenômeno mais complexo e amplo do que se supunha.

Mesmo não havendo uma escala estabelecida no presente momento, considera-se que a tecnologia de informação, tanto em termos de *software* quanto *hardware*, atinge a inteligência média de um inseto, mesmo que em tarefas específicas, ultrapasse a

capacidade de processamento humana em várias ordens de grandeza, o que provavelmente é uma das fontes da confusão do tema [44].

3.2 Tentando Observar o Fenômeno

Os agentes inteligentes artificiais são os elementos naturais para o controle e automação de processos, decidindo automaticamente sobre o quê, quando e mesmo como fazer, em variados graus de autonomia. Facilitam a comunicação e o acesso à informação, e inexoravelmente ligados à internet, esta como base de informações e portal de acesso para relacionamentos profissionais e pessoais. Assim, a abordagem das comunidades virtuais, sendo elas um espaço virtual de interação interpessoal e de criação de uma inteligência coletiva, pode lançar mais luz sobre o papel dos agentes inteligentes artificiais, uma vez que é um palco adequado para sua atuação.

As comunidades virtuais são definidas por PALLOF [78] como comunidades que usam as tecnologias de rede, em especial a internet, para estabelecer a comunicação além das barreiras geográficas e de tempo. Diferem em diversos aspectos quando comparadas com as comunidades tradicionais, pois não dependem de um espaço físico, geograficamente delimitado, para existirem, surgindo e mantendo-se pela identificação de idéias ou atividades propostas, não se sobrepondo de forma tão pronunciada sobre a expressão individual.

As listas de discussão de grupos de alunos ou funcionários de uma empresa, e que são a base de muitas das comunidades virtuais podem ser um bom observatório dessa dinâmica: enquanto muitas pessoas tímidas e “marginais” à comunidade real da qual fazem parte, no espaço virtual, enviando mensagens e respondendo mensagens de outras pessoas, polarizam atenção e são “vistas”. Ganham assim um foro diferenciado para se expressar, modificando, às vezes drasticamente, seu *status* social entre os dois tipos de comunidade. STEVEN JONES descreve o termo personalidade eletrônica [41], ou seja, a pessoa que nós nos tornamos quando estamos nos comunicamos virtualmente.

As comunidades virtuais são organizadas em torno de uma atividade, ou um pequeno grupo delas. Comunidades virtuais não precisam de fronteiras formais para fluírem. Como os membros não podem ver os outros, as normas não dominam tanto como em comunidades tradicionais, o que permite o melhor crescimento individual.

Elas surgem uma década após o estabelecimento da internet. Iniciada em meados dos anos 80, com base na Usenet, um sistema de rede que ligava os centros de computação de universidades que utilizavam o sistema operacional Unix, eram distribuídas notícias

sobre vários tópicos relacionados à rede, e na qual os participantes podiam criar seus próprios grupos de notícias sobre temas de interesse. Nesse início, eram locais para discussões aos quais os membros podiam enviar mensagens tratando de algum tópico de interesse e ler as mensagens dos outros usuários.

Os grupos de discussão orientavam-se aos assuntos técnicos e escolares, começando, com o tempo, a surgir grupos com interesse em assuntos não técnicos como música, comida e mesmo drogas e crescimento quantitativo exponencial. De um pouco mais de uma centena de grupos em 1984, cresceram para quase dois mil em 1991 e para mais de dez mil em 1994 [82]. Atualmente essa contagem perde o sentido, uma vez que muitos dos grupos de discussão já não existem de forma independente, mas criadas como sub-comunidades dentro de estruturas maiores como o Orkut ou Twitter.

Inicialmente os grupos de discussão desenvolviam-se em ambientes não comerciais da internet, mas como oportunidade de negócio, serviços comerciais começaram a explorar esse mercado, com hospedagem de fóruns de discussão para o compartilhamento de interesses pessoais e profissionais. Mais adiante, o fornecimento de notícias e acesso a canais de informação estimularam ainda mais as comunidades, variando-se os temas e popularizando-as junto ao público.

3.2.1 Elementos de uma Comunidade Virtual

ADLER [2] apresenta alguns elementos que definem uma comunidade virtual, destacando as suas dimensões, os fatores que contribuem para a criação do “senso de comunidade” e os motivos primários que motivam a participação das pessoas.

Quanto às dimensões, são identificados cinco níveis em uma comunidade:

- **Coesão:** o senso de se estar criando um grupo e que o indivíduo pertence ao grupo;
- **Eficácia:** O impacto que o grupo tem sobre a vida dos membros e sobre o mundo fora dele;

Agentes Inteligentes Artificiais

- **Ajuda:** A habilidade de perceber que os membros a estão procurando e recebendo vários tipos de assistência;
- **Relacionamentos:** A probabilidade dos membros agirem individualmente, inclusive formando outros grupos; e
- **Auto-regulamentação:** a habilidade do próprio grupo se policiar.

Quanto aos principais componentes que contribuem para a criação de um “senso de comunidade”, segundo ADLER:

- **Inclusão:** O quanto os participantes estão abertos e encorajados a participar das ações e das atividades com outros participantes;
- **Influência mútua:** O quanto os participantes estão abertos a discussões em certos pontos e a afetar os outros participantes; e
- **Compartilhamento de experiências emocionais:** Inclui o compartilhamento de eventos que têm uma conotação emocional e são tipicamente festivos, como viagens, aniversários, casamentos e outros.

Quanto à motivação, dentre vários, os principais motivos que levam à criação de uma comunidade virtual são:

- **Necessidade:** Talvez seja um dos principais motivos para a criação de comunidades virtuais. Por exemplo, nas instituições de ensino, os materiais apresentados em salas de aula podem ser repassados aos estudantes ou projetos de pesquisas podem ser discutidos em horários quando não há a possibilidade do encontro físico dos envolvidos.
- **Independência de espaço:** É a possibilidade de inter-relação entre indivíduos geograficamente separados, com os mesmos interesses, como, por exemplo, pessoas que vivem em zonas rurais, e que têm necessidade ou interesse em comunicar-se com pessoas que vivem em centros urbanos. Desse modo, as comunidades virtuais possibilitam a criação de redes de comunicação entre pessoas dispersas pelo mundo.

Agentes Inteligentes Artificiais

- **Economia:** um motivo importante, principalmente em comunidades virtuais formadas dentro de empresas. Os administradores podem economizar recursos com a criação de comunidades virtuais em suas organizações, pois nelas os membros podem discutir assuntos relativos à empresa sem a necessidade de gastar mais tempo de seu trabalho em encontros específicos realizados em determinados lugares e momentos, bem como compartilhar conhecimentos sobre determinados assuntos de interesse a outros membros em futuras ações da organização.

As comunidades podem ser utilizadas com os seguintes objetivos:

- Prover um meio para a comunicação e para a troca de conhecimentos. Esse conhecimento pode ser coletado e armazenado para futura referência e recuperação; e
- Descobrir e gerar relacionamentos (membros em uma mesma comunidade de interesse comum). Isto pode ser interessante para os usuários para uma futura procura de parceiros para cooperação e interação. O objetivo é ajudar pessoas a procurar pessoas que possam vir a ajudá-las.

3.2.2 Tipos de Comunidades Virtuais

As comunidades virtuais podem possuir objetivos distintos entre si [17]. Sendo assim, uma classificação tentativa das comunidades existentes as agrupa em quatro grandes categorias básicas.

- **Comunidades virtuais de relacionamentos:** Uma comunidade virtual construída encima de relacionamentos promove tipos especiais de ligações entre pessoas, interconexões que resultam em uma peculiar harmonia, só encontrada em famílias ou grupos de amigos. Essas ligações podem ser baseadas em um interesse, objetivo ou problema comum, mas, a todo o instante, a ênfase é no relacionamento

construído entre os participantes. Pontos como compromisso, confiança e valores são inerentes a qualquer relacionamento que surge em uma comunidade.

- **Comunidades virtuais de lugar:** Os indivíduos freqüentadores desse tipo de comunidade coabitam um mesmo local e, sentindo-se parte de um grupo, desfrutam de segurança e comodidade. O local não é necessariamente um espaço físico real, mas importante que forme uma identidade. Pessoas de vários países e origens podem se encontrar numa comunidade virtual, por exemplo, porque estudaram numa mesma universidade. Outro exemplo bem claro é a das comunidades de jogos, nas quais os participantes encontram-se num “mundo virtual” central, conectando-se de qualquer lugar da rede. Muitos jogos permitem a criação de equipes, que podem ser de pessoas que nunca se viram, jogando contra outras equipes, em tempo real e com alta interatividade. Em muitos casos, os jogadores podem também, criar seus próprios ambientes e permitir que outros jogadores participem.
- **Comunidades virtuais de conhecimentos:** Nas quais se reúnem pessoas que de forma séria tem algum objetivo em comum, podendo muitos terem os mesmos objetivos, valores e concepções sobre determinado assunto. As principais características nesse tipo de comunidade são o compartilhamento e as idéias, normalmente expressas de uma forma interpessoal e técnica. Por exemplo, comunidade de pesquisadores acadêmicos que se juntam para estudar algum problema científico.
- **Comunidades virtuais de memória:** Uma comunidade baseada em um passado compartilhado ou em algum acontecimento histórico. Um exemplo marcante é a comunidade de sobreviventes do Holocausto, na qual, pela internet os sobreviventes e seus descendentes conversam com pessoas que se sensibilizam com o assunto.
- **Comunidades virtuais de necessidade:** Uma comunidade de necessidade baseia-se em algum fato ou acontecimento semelhante, tendo algum fator que afete emocionalmente os participantes. Por exemplo, a rede que liga pessoas com câncer ou pessoas que perderam os filhos em acidentes de trânsito.

3.3 Expressão na Comunidade Virtual

O sentimento de grupo é um dado sociológico da espécie humana. São Tomás de Aquino já tratava da definição do homem como ser gregário, afirmando que o homem se mantém solitário apenas em situações excepcionais, tal como num naufrágio, estado de loucura ou quando buscava a beatitude como eremita.

A evolução e a necessidade mantiveram a expressão da espécie humana não como indivíduos, mas afirmado em pequenos bandos tentando se proteger de predadores, fenômenos naturais hostis e demais adversidades, unindo esforços e cooperando nesse sentido.

O espaço de existência – ou a realidade da vida - é, muitas vezes e persistentemente, insatisfatória do ponto de vista mental, como Sidharta Gautama já afirmava:

O mundo está cheio de sofrimentos. O nascimento, a velhice, a doença e a morte são sofrimentos, assim como o são, o fato de odiar, estar separado de um ente querido ou de lutar inutilmente para satisfazer os desejos. De fato, a vida que não está livre dos desejos e paixões está sempre envolta com a angústia. Eis o que se chama de a Verdade do Sofrimento.

O sofrimento psicológico aprofunda-se nas camadas do subconsciente ou inconsciente, no qual se encontra um vazio depressivo em relação às coisas, isto é, experimentam-se sentimentos de insatisfatoriedade em relação às transformações constantes, sem que se tenha o conhecimento de suas causas. Sofre-se por se encontrar dificuldades em aceitar mudanças, como o envelhecer, a perda de um bom emprego ou o término uma relação.

Os jovens, em especial, talvez não sintam tanto os sofrimentos da vida, pelas esperanças de tempos melhores, entretanto sentem-se deslocados entre crianças indefesas e

adultos numa sociedade já bem cristalizada, sentindo a necessidade de se agrupar e, tão ou mais importante, de receber a aceitação do grupo [17].

Nessas condições são os principais, mas não os únicos, a encontrarem a sensação de segurança no espaço das comunidades virtuais. Aceitação, possibilidade de expressão sem muita rejeição. Sentir-se membro de um grupo.

Compartilhamento de idéias, relacionamento sentimentais a partir de um personagem auto-criado, utilização de avatares digitais, criação de ambientes virtuais, países imaginários, enfim, modos de interação que unem a cooperação e sentimento de participação grupal com a segurança e minimização de frustrações.

Sob a complexidade de interações em espaços virtuais colaborativos, as possibilidades de mediação ou interação direta, por ou com agentes inteligentes artificiais, pode e precisa aumentar.

Não só como facilitadores técnicos em filtragem de informações, sugestões de ações e rastreadores de hábitos, podem também ser o interlocutor ou o próprio produtor do ambiente em que se desenrolam as atividades. Não apenas nos ambientes virtuais, mas dentro de equipamentos, podem operar como um mordomo discreto, recheando o ambiente com facilidades e apetrechos de forma imperceptível e prestativa [105].

Dos robôs humaniformes servindo as pessoas no imaginário da literatura e do cinema, os agentes inteligentes artificiais dispersos no ambiente e cada vez mais interconectados vão assumindo suas posições [53], possibilitando uma qualidade de vida diferenciada, mais dependente da tecnologia, talvez num estilo mais estressante, mas certamente com expectativa de vida maior e, exatamente por ele, em alguns aspectos mais densa e proveitosa.

Dadas as considerações já realizadas, de que embora os elementos tecnológicos disponíveis no atual estágio demonstrem uma capacidade de armazenamento e de processamento, em tarefas específicas, muito maior que a capacidade humana, a “inteligência artificial” ainda é bem pequena, no momento atual, os esforços voltam-se para um lado fundamental que é o do avanço tecnológico, tratado especialmente no próximo capítulo. Por outro lado, parece se voltar para algo mais imediato, na questão do *design* da interação homem-máquina [43].

Um exemplo disso é a convergência de duas tecnologias inicialmente díspares, como a telefonia celular e os computadores. Uma primeira aproximação de ambas as tecnologias foi pela utilização de linhas telefônicas para realizar a comunicação entre *mainframes*. Posteriormente, ambas desfrutaram o processo de miniaturização e posteriormente da mobilidade. Nesse momento, a manutenção de utilização de canais telefônicos por computadores ampliou-se para outros canais, além da possibilidade, muitas vezes lúdicas, de um emular o outro, como em pequenos programas que imitam um telefone na tela do computador.

Mas a miniaturização e mobilidade tornaram possíveis que várias funcionalidades pudessem ser instaladas em um mesmo equipamento. *Notebooks* com acesso *wireless*, câmera e microfone, além de tecnologias de compactação e transmissão como VOIP, possibilitam a realização de ligações telefônicas mediadas por computadores, com certas vantagens. A realidade recente dos chamados *netbooks*, leves e com acesso à internet, fáceis de transportar e guardar, apresentam com agudeza essa tendência [100].

Os aparelhos celulares, também contando com gravadores, câmeras, aparelhos de GPS, memória e processadores, conseguem rodar vários programas, em versões leves, e inclusive sistemas operacionais, podendo conectar-se à internet e, por seu custo utilizados por pessoas que não querem ou não podem comprar um computador no acesso à suas mensagens eletrônicas e a outras facilidades básicas da rede mundial.

Voltando ao *design*, ambas as tecnologias praticamente convergiram a um ponto comum.

Um *netbook* é considerado desconfortável para ser utilizado como um computador, servindo mais como um acessório móvel do que um computador pessoal de trabalho. Se a realização de ligações telefônicas por eles são em tese possíveis, seu tamanho reduzido para um computador, é enorme para um celular, não sendo viável para ser utilizado como um.

Por outro lado, os celulares, como verdadeiras plataformas multimídias, têm sua funcionalidade limitada nesta área, não se prestando a ser usados de forma mais intensa como computadores.

Mesmo com as novas concepções de simplicidade e multifuncionalidade apresentadas pela APPLE em seus Ipod, para apresentar músicas e vídeos, e seu Iphone,

esses equipamentos não permitem muitos outros avanços para que seja vistos como mini-computadores.

Simplificadamente, o tamanho entre eles impõe um distanciamento, não permitindo uma convergência total, pelos atuais paradigmas de utilização e transporte.

Caso distinto de geladeiras ou microondas, que foram lançados há alguns anos atrás, com acesso à internet, numa expectativa de que as donas-de-casa acessem a rede mundial para baixarem receitas ou comprassem mantimentos pelo visor do forno, num exemplo de projeção infeliz de convergência de tecnologias.

O mesmo pode ser dito da expectativa de domínio da telefonia com vídeo. Um sonho nas décadas centrais do século XX, a possibilidade agora real e acessível, mediante a tecnologia 3G, de se falar ao telefone ao mesmo tempo em que se vê o interlocutor, não parece ser muito bem-vinda, pois com o advento anterior da telefonia móvel – a materialização de outro sonho de comunicação – e, em consequência, a diminuição drástica da privacidade individual, afinal as pessoas podem ser “rastreadas” em qualquer lugar a qualquer hora.

As expectativas de comunicação onipresente e de comunicação com vídeo, ambas um sinal do “futuro”, nas décadas passadas, quando efetivamente realizadas no presente, causam descontentamento aos usuários, dificultando sua adesão [40].

E perspectivas em *software* também. O A9 é usado e considerado um eficiente programa de busca, desenvolvido especialmente para a empresa de comércio digital Amazon – contentando seus usuários e interagindo com o usuário sob as melhores concepções de um agente inteligente artificial.

Por outro lado, o esperado Wolfram Alpha, um prometido “motor de busca” revolucionário, para além da atual concepção de buscadores, como o Google, e que foi idealizado e lançado em maio de 2009 por Stephen WOLFRAM e sua equipe, um gênio que inclusive tem uma teoria própria sobre a estrutura do universo, pode ser considerado um fiasco.

Sendo agora referido apenas como “um primeiro passo num projeto ambicioso, de longo prazo de tornar todo o conhecimento sistematizado imediatamente computável por qualquer um” em www.wolframalpha.com, é um sistema que não consegue consolidar de

Agentes Inteligentes Artificiais

forma minimamente contentável e segura o conhecimento na maioria das áreas – ou palavras-chaves de busca.

Essas considerações servem de prelúdio ao próximo capítulo, que tratará das tendências e expectativas de desenvolvimentos futuros da tecnologia de comunicação e informática, dentre outras, com foco nos agentes inteligentes artificiais e suas perspectivas.

4 O FUTURO: O HOMEM E A MÁQUINA OU O HOMEMÁQUINA?

Os desenvolvimentos de diversas linhas de pesquisa levam a crer que a primeira metade do século XXI será marcada pela grande evolução da genética, da nanotecnologia e da robótica, ao mesmo tempo em que deverá evoluir muito na criação de fontes alternativas de energia para compensar a escassez de petróleo e, principalmente, as mudanças climáticas.

Quando se fala de tecnologia futura, percorremos o *mundo do talvez*. É inevitável associar conhecimento e imaginação. Tecnologia está atualmente muito relacionada com capacidade de processamento por computadores, mas no futuro deverá estar relacionada também com outros paradigmas que procurarão imitar e ultrapassar a capacidade da mente humana.

Dada as circunstâncias atuais, pode-se até mesmo supor que a civilização está no limiar de uma transição para um novo patamar em termos tecnológicos e os agentes inteligentes artificiais terão papel de destaque nesse futuro, tanto como elementos de *software* como implementações de *hardware*.

Ou mais.

A comunidade científica já descreve o que pode ocorrer, mais cedo ou mais tarde, como “singularidade tecnológica” [45].

O termo “singularidade” começou a ser usado na física, na qual designa fenômenos tão extremos que as equações e modelos já não são capazes de descrevê-los, como os buracos negros, lugares de densidade infinita, que levam as leis da física a resultados absurdos. A singularidade na tecnologia leva a pensar que num determinado momento a evolução será tão rápida e vertiginosa que ultrapassará a capacidade humana de acompanhá-la.

O fundamento dessa idéia é que as tecnologias de várias áreas evoluem cada vez mais rapidamente e concentram cada vez mais funcionalidades que levam a uma rápida mudança da nossa forma de vida. Há exemplos bem ilustrativos desta singularidade tecnológica, como será tratado nesse capítulo. E mesmo que ela não ocorra, por limitações inúmeras, os avanços tecnológicos possivelmente evoluirão pelos caminhos descritos, inclusive já delineados no momento presente.

A idéia surgiu na década de cinquenta, com o matemático John von NEUMANN, um dos criadores do computador, que vaticinou que as tecnologias poderiam chegar a um ponto para além do qual “os assuntos humanos, da forma como conhecemos, não poderiam continuar a existir”. Desde então, a evolução tem sido cada vez mais rápida, alimentando cenários de ficção em que quase somos esmagados pela tecnologia, como nos filmes “Terminator”, “Blade Runner”, “I Robot”, ou até mesmo no romance “Maşınmondo”, ou “Mundo das máquinas”. Escrito originalmente em Esperanto pelo húngaro SÁNDOR SZATHMÁRI, em 1964, o conto descreve com minúcias não só a tomada de consciência das máquinas, mas também a toda uma fase pós-biológica que se seguiria à “rebelião das máquinas”.

Porém, ambas as opiniões, de pessimismo e de otimismo são levantadas em relação à singularidade tecnológica, sendo descrita por alguns como uma possível transição revolucionária sob a qual seres humanos e máquinas começarão a evoluir, em uma certa harmonia, em direção a uma certa condição de “imortalidade”.

O pano de fundo quantitativo para essas afirmações surge com a datação da evolução tecnológica que remonta alguns milhões de anos, pelas ferramentas de pedra, e sua aceleração ao longo do desenvolvimento da agricultura, da escrita, da Revolução Industrial e dos computadores, dentre outros avanços considerados revolucionários em termos tecnológicos [47]. Finalmente, verifica-se que o século XX apresentou um crescimento exponencial no número de patentes concedidas, na difusão da telefonia, das verbas dedicadas à educação. Extrapolando-se a linha do tempo, observa-se no futuro, a sucessão de eventos de grande impacto no desenvolvimento tecnológico, que ao invés de distanciados por milhares, centenas ou dezenas de anos, estarão distanciados por intervalos de tempo cada vez mais curtos de dias, horas, segundos, tornando obsoletos nossos esforços por acompanhar mudanças de envergaduras colossais em intervalos tão diminutos.

Entre os idealizadores dessa abordagem, o professor Ray KURZWEIL destaca-se utilizando a chamada “Lei de Aceleração dos Retornos”, um conceito relacionado à alavancagem que as tecnologias antecessoras legam às seguintes [44]. Por exemplo, com máquinas de computação melhores, cálculos são realizados mais rápida e eficientemente, possibilitando o projeto de equipamentos melhores, que por sua vez aceleram o desenvolvimento de mais equipamentos e tecnologias, que melhoram as máquinas de computação, que realimentam o ciclo, cada vez mais rápida e eficientemente.

E não só isso. A popularização dos celulares, que compreendem cada vez mais funcionalidades, e em custos decrescentes, ocorreu num intervalo relativamente curto, e num ritmo exponencial. O mesmo com a internet. E o uso simultâneo de ambos está em vias de se popularizar também, que como já mencionado, torna-os uma plataforma para operações na internet. A popularização alimenta a queda de preços pelo efeito de escala de produção, que por sua vez acelera ainda mais a disseminação. Contraste com a popularização da televisão, que demorou décadas para ter seu preço reduzido e sua distribuição consolidada – e ainda em vésperas de se tornar interativa a partir da recém estabelecida TV digital.

4.1 Auscultando a Evolução Tecnológica

Vejamos algumas idéias que respaldam essa abordagem de evolução. A Lei de Moore, segundo a qual o número de transistores num *chip*, de um determinado tamanho, dobra a cada 18 meses. Com maior precisão, o poder de computação, que começa com as primeiras máquinas eletromecânicas, mais de um século atrás, dobrava a cada três anos, e depois, a partir da metade do século XX, duplicava em intervalos de dois anos. No momento atual, a potência das máquinas dobra a cada ano, indicando que a própria taxa de duplicação está em processo de aceleração, e, portanto, com tendência de aumento do poder de computação, que tende ao infinito [67].

As previsões mais otimistas dão conta que esta progressão só poderá ser válida cerca de mais uma década, sendo que o limite será atingido por volta do ano 2020, levando-se em conta o paradigma tecnológico corrente. Um microprocessador é uma complexa combinação de elementos muito simples, “portas lógicas”, circuitos elementares capazes de “tomar decisões”. E as portas lógicas são materializadas através da combinação de transistores, funcionando como uma espécie de interruptor que ora liga e desliga, controlando a corrente elétrica que gera a informação numérica básica dos computadores, expressa em sequências de zeros e uns. Portanto, para aumentar a capacidade de processamento é necessário aumentar o número de transistores dos microprocessadores,

aumentando-se também sua frequência de operação. O próprio Gordon Moore declarou anos atrás que a Lei de Moore tem seus dias contados: “A evolução não poderá continuar para sempre porque as dimensões (dos circuitos) estão a aproximar-se do tamanho do átomo. Parece que teremos mais quinze a vinte anos até atingirmos os limites fundamentais do átomo.”

Devido a esta limitação física, a comunidade científica tem sublinhado a inevitabilidade de se encontrarem alternativas aos transistores baseados em silício. As nanotecnologias ou a computação ótica e quântica são apontados como caminhos de futuro, já com protótipos lançados, mesmo que os investimentos maciços ainda sejam canalizados para o paradigma do silício.

A Lei de Moore é apenas uma expressão de desenvolvimento exponencial mais amplo, não tendo sido o primeiro, mas o quinto paradigma a fornecer crescimento exponencial do poder computacional. O primeiro paradigma, eletro-mecânico, foi substituído pelo baseado em transmissão, em seguida pelos tubos de vácuo, transistores, chegando aos circuitos integrados. Cada vez que um paradigma perdeu sua força, outro paradigma entrou em ação e continuou de onde o anterior parou.

E a velocidade de progresso, não apenas de tecnologia da informação, mas de toda a tecnologia, não vai permanecer na atual velocidade de desenvolvimento. De fato, o crescimento exponencial vai além da simples computação, e se aplica a todas as áreas de tecnologias baseadas em informação, as quais têm o potencial de remodelar nosso mundo.

Tal como a taxa de aceleração na Lei de Moore, ela parece também estar aumentando, em outras áreas de conhecimento, podendo duplicar a cada década. Comparando-se a evolução tecnológica, os últimos 25 anos avançaram tanto quanto os 100 anos antecedentes. E pelo passo de aceleração, a próxima década avançará como vinte, e a seguinte, como quarenta anos. Nesse cenário, o século XXI poderá equivaler a algo entre mil e dez mil anos de progresso no ritmo do final do século XX, o qual, por mais revolucionário que tenha sido, não teve o mesmo ritmo de progresso na velocidade desta primeira década do século XXI.

Mesmo a taxas mais modestas de aceleração, cada década do século XXI terá um desenvolvimento cada vez maior que a anterior, todas bem acima de qualquer outra do século XX.

Agentes Inteligentes Artificiais

Segundo Kurzweil [45], um computador de mil euros tem hoje a mesma inteligência de um inseto. No futuro, sob o ritmo de avanço tecnológico, pode-se esperar que se consiga igualar a capacidade de um rato, de um homem, e finalmente, de toda a humanidade. Vale então a pena olhar o passado e verificar o que ele pode nos informar.

A Segunda Guerra Mundial gerou um grande número de invenções e marcou o início de uma era recheada de tecnologia. Dentre as muitas invenções salientam-se o radar, o avião a jato, a bomba atômica, as armas de precisão teleguiadas, os mísseis balísticos, os transistores, semicondutores, fibras óticas, computadores, internet, tecnologia *stealth* de invisibilidade ao radar, satélites, telefones celulares, *lasers*, sistema de posicionamento global (GPS), sistemas de identificação por radiofrequência (RFID) e assim por diante. A lista das aplicações científicas e tecnologias na guerra é impressionante. Cada uma dessas tecnologias teve profundo impacto no curso da guerra e na forma como se protegeram os combatentes. Em suma, estima-se que o conhecimento tecnológico, desde que a humanidade mantém registros, até a atualidade, já duplicou várias e várias vezes desde então.

O tempo que leva desde que uma invenção encontre a sua “aplicação prática”, um uso sem o qual já não se pode mais passar, é conhecido como período da invenção à inovação. Por exemplo, as armas de precisão, introduzidas nos anos sessenta não foram amplamente adotadas até bem mais tarde, quando a imprensa registrou cenas de incrível precisão de mísseis ar-terra entrando por janelas, na Primeira Guerra do Golfo. Neste caso, o tempo da invenção à inovação foi de cerca de trinta anos. Isto é especialmente verdadeiro no que se refere aos avanços em ciência básica, como a matemática aplicada, física, química e biologia. Raramente uma invenção revela o que ela vai afetar no final. Na verdade, mesmo atualmente alguns críticos menos informados ainda lamentam toda a inutilidade gerada pelos pesquisadores.

Os trabalhos de pesquisa não frutificam rapidamente. O padrão é que as aplicações da pesquisa básica demorem algumas décadas, não dias. Por exemplo, o tempo que se passou entre a invenção e inovação foi de 79 anos no caso da lâmpada fluorescente; 56 anos para a bússola giroscópica; 14 anos no caso do motor a jato; 13 anos com o radar; 8 anos para o telefone sem fio. De maneira semelhante, revoluções da guerra moderna, onde os investimentos e a exigência de resultados são enormes, não acontecem de uma hora para outra.

Pontuando, a tecnologia *stealth* começou com um investimento em pesquisa básica, nos anos de 1950, conduzida pelo Air Force Office of Scientific Research a partir de algumas teorias básicas desenvolvidas pelo físico russo PYOTR UFIMTSEV, cuja aplicação era ignorada no seu próprio país. Com todos estes exemplos pode-se inferir que a maior parte da tecnologia que vamos usar nos próximos anos já foi descoberta ou será em breve, mesmo que não se tenha a noção exata de sua importância. Por outro lado, o tempo de aplicação torna-se cada vez menor, sendo que uma nova tecnologia é posta em uso comercial muito mais depressa conforme a cada novo ano e, portanto, não será necessário mais esperar várias décadas para vê-las operacionais.

Com relação aos computadores, a preocupação é direcionada. Enquanto outras tecnologias e equipamentos são meras ferramentas, os computadores podem superar sua atual condição para atingirem o *status* de “seres inteligentes” e, por conseguinte, instrumentos de ampliação de nossa própria inteligência, parceiros, ou mesmo rivais.

Vamos agora visitar algumas linhas de desenvolvimento e seus potenciais futuros.

4.2 Pacotes de Informação

A idéia da computação quântica, usando átomos para processar dados não é nova, existem pesquisas neste sentido desde o início da década de 80, mas eram apenas vagas teorias, que apenas atualmente começam a se concretizar. Num processador quântico, existem átomos ao invés de transistores. No lugar de bits, há bits quânticos, ou qubits. A idéia fundamental é que num átomo, a rotação de cada elétron corresponde a um pequeno movimento magnético, que pode ser controlado caso o átomo seja colocado sobre uma superfície magnética suficientemente sensível.

Uma peculiaridade interessante é que enquanto um transistor permite apenas dois estados, ou seja, ligado ou desligado, cada qubit possui três estados diferentes. Dois estados são determinados pela rotação dos elétrons (horário ou anti-horário), enquanto o terceiro é uma característica bastante peculiar dentro do mundo quântico, onde os elétrons podem girar simultaneamente nos dois sentidos.

Agentes Inteligentes Artificiais

Parece estranho, e é por isso que existem tantos cientistas pesquisando nesta área, mas de qualquer forma, combinado com os dois estados anteriores temos um total de 4 estados possíveis, o que permite que cada qubit processe ou armazene dois bits simultaneamente.

Isto permite ampliar exponencialmente a capacidade dos processadores quânticos, já que dois qubits correspondem a 4 bits, 3 qubits correspondem a 8 bits e 5 qubits correspondem a 32 bits. 10 qubits seriam suficientes para 1024 bits, enquanto 20 correspondem a mais de um milhão. Esta pode ser a grande chave para aumentar de forma inimaginável tanto a potência dos processadores quanto a capacidade dos dispositivos de armazenamento de memória. Não se trata de processadores operando a 100 ou 500 GHz, mas de computadores capazes de resolver em poucos segundos cálculos que um processador atual demoraria milhões de anos para resolver.

E pesquisas paralelas têm se desenvolvido, o grupo de estudos de lógica paraconsistente do Instituto de Estudos Avançados da USP tem estudado a questão pois, além desse ganho quantitativo, poderão ser realizados processamentos sobre bases lógicas mais complexas, envolvendo tanto a lógica difusa quanto a lógica paraconsistente, um vez que os fundamentos da computação quântica envolve naturalmente esses paradigmas.

Em relação à criptografia, pode-se esperar a distribuição quântica de chaves. Sua origem remonta a 1935, quando Einstein publicou com seus colegas B. PODOLSKY e N. ROSEN um trabalho que hoje é conhecido como paradoxo EPR, as iniciais dos nomes de seus autores. Num esforço para refutar a mecânica quântica, Einstein tentou provar a incompletude dessa nova teoria.

O paradoxo EPR parecia mostrar que a informação podia viajar mais rápido do que a velocidade da luz. Em vez disso, o trabalho de Einstein levou a um novo ramo da física, usado atualmente na transmissão de códigos secretos, que originou um campo conhecido com criptografia quântica, que cresce cada vez mais. Usando a mecânica quântica, os cientistas demonstraram a possibilidade de se criar um código com apenas duas chaves, únicas e insusceptíveis de serem interceptadas. Esta inovação significa que algum dia bancos e empresas, talvez possam gerar um código inviolável.

Através dos computadores quânticos ocorrerão gigantescos avanços em praticamente todos os campos, como a criação de códigos de encriptação realmente seguros, tratada acima, pesquisas em gigantescos bancos de dados usando algoritmos

Agentes Inteligentes Artificiais

inteligentes e traços de inteligência artificial que poderão ser feitos quase instantaneamente, a transmissão de dados poderá alcançar velocidades da ordem de vários Terabytes (ou Petabytes) por segundo usando fibras óticas de alta densidade e *routers* quânticos, capazes de lidar com esta quantidade de informação. Será o suficiente para a internet se transformar num mundo virtual, onde as pessoas poderão encarnar os *avatares* de forma eficiente, relacionando-se através de voz, gestos e até de toque, como no mundo real.

Esse raciocínio levou à indagação da própria textura da realidade. O físico John Archibald WHEELER, um dos últimos colaboradores de Einstein, criador do termo buraco negro, também se debruçou sobre estas idéias ao longo dos anos 80 e concluiu que, num nível mais básico do que quarks, múons e as menores partículas que conhecemos, a matéria era composta por bits. “Cada partícula, cada campo de força e até mesmo o espaço-tempo derivam as suas funções, o seu sentido e a sua existência de escolhas binárias. O que chamamos de realidade surge em última análise de questões como sim/não”.

Mesmo as teorias das cordas ou do *loop* gravitacional, que tentam descrever as partículas em termos mais fundamentais que os atualmente utilizados, não passam de funções mais amplas de descrição de cada estrutura. Esta teoria deu origem à ciência da física digital, que possui uma maneira peculiar de descrever os fenômenos.

Quando, por exemplo, um átomo de oxigênio se une a dois de hidrogênio para formar uma molécula de água, é como se cada átomo operasse sobre questões como sim/não para avaliar todos os possíveis ângulos entre eles até optar pelo mais adequado. No final, a impressão é de que os átomos fizeram uma simulação dos processos físicos. É uma concepção filosófica que remete à Teoria de Informação de SHANNON [106], mas que levada ao pé da letra relembra-nos da Matrix do filme com o mesmo nome: o Universo poderá ser uma enorme simulação computacional – a Maia indiana, ou grande ilusão, a encobrir o Shunya, o conceito também indiano do vazio, que, aliás, deu origem ao conceito ocidental do zero.

A grande pergunta é quando esse novo paradigma será implementado, já que não se pode definir com um mínimo de certeza quando haverá uma base de progressão estável. Pode demorar cem anos para que esse estágio tecnológico seja alcançado, ou pode demorar apenas duas ou três décadas. Não se sabe quando surgirão as soluções para os enormes problemas que ainda dificultam a vida dos pesquisadores. De qualquer modo, os primeiros

computadores quânticos já são realidade, a IBM, por exemplo, anunciou seu primeiro *chip* quântico em 2001. Ainda é um projeto bastante rudimentar, possui apenas 5 qubits, trabalha a apenas 215 Hz, e necessita de um aparato gigantesco de equipamentos para funcionar, mas já mostra que é realmente possível produzir processadores quânticos.

4.3 Infodutos

Para dar conta dessa eventual massa de dados gerados e processados, os avanços nas comunicações e meios de transmissão também caminham. Se a velocidade de transmissão de 2,5 Gbps a milhares de quilômetros é hoje banal, cabos de fibra ótica transmitindo a 10, 20 e 40 Gbps estão sendo instalados. Por outro lado, sem acréscimos de custo exorbitantes, as infra-estruturas de grande distância já não se baseiam numa única fibra, mas em várias dezenas colocadas lado a lado. A tecnologia de rede *ethernet* continuará a dominar e a acelerar a velocidade. De acordo com o Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) nos próximos anos haverá a padronização de transmissão para 100 Gbps [17]. Velocidade impensável atualmente para ligações sem fios.

As comunicações sem fios também irão evoluir bastante principalmente pelos dos novos padrões WiMAX. Cada vez mais os computadores, equipamentos domésticos e eletrônicos sairão de fábrica com dispositivos *wireless* para se ligarem com a casa ou escritório, assim como crianças poderão carregar um dispositivo para serem rastreadas pelos pais, como previu Nicholas NEGROPONTE, cientista do MIT. Com a tendência da infra-estrutura de telecomunicações se tornar uma rede única, os dispositivos terão papel fundamental. São eles que irão conduzir o usuário que não precisará de se preocupar em descobrir se o serviço a que está em uso vem pela rede de telefonia móvel, fixa, Wi-Fi, TV Cabo ou por qualquer outro meio. No futuro haverá uma grande rede em que a tecnologia IP correrá sobre vários meios de comunicação e sobre o qual correrão os vários serviços disponíveis, desde voz, vídeo, multimídia, imagens, etc.

O grande desafio que se aproxima para se poder ligar mais usuários da internet, mais equipamentos e permitir intercomunicação com outras redes, em especial as redes

sem fios, é a migração da rede internet de IPv4 (endereçamento de 32 bits) para IPv6 (endereçamento de 128 bits). No futuro próximo deverá haver utilização massiva de conteúdos multimídia, como vídeo, e por isso a velocidade da comunicação terá de crescer bastante. A rede tem ainda de proporcionar confidencialidade através de encriptação, identificação única para acesso a recursos na rede, acesso sem fios em qualquer lugar de modo seguro, biometria, gestão da identificação e personalização.

Os países ricos continuaram a evoluir os seus sistemas de comunicação via satélite, mas darão cada vez mais importância a outros sistemas que se apresentam como alternativa de recurso.

Uma das áreas em estudo é da utilização de frequências rapidamente absorvidas pela atmosfera, as ondas da ordem de terahertz (um terahertz = 1.000 GHz) que não se propagam a mais do que alguns quilómetros. Esta delimitação é também uma vantagem que pode assegurar comunicação segura de pequeno alcance entre os nós de uma rede dinâmica de computadores ou, por exemplo, entre soldados, quando quiserem impedir a interceptação a longas distâncias.

Outra área que se irá desenvolver será por certo as redes sem fios na banda VHF. Com a necessária tendência para minimizar o consumo de combustíveis, haverá lugar para a utilização de veículos inteligentes controlados remotamente que transmitirão em tempo real para o centro de fusão de dados toda a informação que vão recolhendo.

E a nanotecnologia também apresenta suas respostas para novos paradigmas, como será tratado depois.

4.4 Servo Mecânico

Quanto à robotização, o campo militar está na vanguarda para a criação de robôs de combate. O Pentágono mantém um programa designado por Future Combat Systems (FCS) para a modernização do exército americano já para a próxima década. O atual programa, maior da história, dispondo de recursos da ordem de cem bilhões de dólares é formado por uma série de sistemas, contando com humanos apenas em algumas das partes, e conectados em rede com as mais avançadas tecnologias capazes de dominar os cada vez mais complexos teatros de operações. Os robôs bélicos, já em fase de construção, estão muito longe de se parecerem ou atuarem como um humano, no entanto são já essenciais na desativação de explosivos, inspeção de *bunkers* e trincheiras. As novas versões já incluem rifles automáticos. Dentro de uma década, cada unidade do exército americano poderá ter vários soldados robôs.

A idéia do Pentágono de ter soldados robôs está sendo desenvolvida há trinta anos e pode levar mais algumas décadas até se atingir o objetivo. Em 2035 o Pentágono planeja ter soldados robôs que combatam como humanos. E pelos avanços divulgados, pretendem ter robôs humaniformes em menos de duas décadas.

Agentes inteligentes artificiais representados no filme Metropolis ou os sonhados pelo escritor Isaac ASIMOV em seus vários romances. Companheiros tangíveis para guerras, missões espaciais, trabalhos perigosos. Enfim, companhia aos humanos solitários.

4.5 Engenharia do Minúsculo

A nanotecnologia, utiliza técnicas capazes de medir, manipular e organizar a matéria na escala nanométrica - do tamanho de um milionésimo de milímetro. A nanotecnologia atual, ou a “engenharia molecular”, faz parte da tendência difusa de miniaturizar as coisas, que já ocorre há muitas décadas, mas agora num patamar abaixo das dimensões de nossas unidades biológicas, as células.

Já está em desenvolvimento uma miríade de novos materiais e técnicas, aperfeiçoadas através da nanotecnologia. Nas perspectivas militares, os avanços recentes

sugerem a possibilidade, por exemplo, de envolver projéteis com uma camada da grossura de uma molécula, tornando-os super-eskorregadios e capazes de penetrar muito mais profundamente do que as atuais bombas padrão *antibunker*. Pretende-se que os avanços futuros também possam permitir que algum dia os militares em combate transportem “nanomédicos” na sua corrente sanguínea, para reparar danos nos órgãos internos. Mais algum tempo, com a queda de custos e esses tratamentos seriam disponibilizados à população civil, numa utilização mais humanitária e construtiva.

Na tecnologia da informação, a nanotecnologia pode fazer frente à já visível barreira da Lei de Moore, respondendo com um sexto paradigma de evolução da computação que não seja necessariamente quântico, através da distribuição tridimensional e nanoscópica de elementos eletro-digitais.

Embora nosso cérebro utilize neurônios lentos e grandes para os atuais padrões computacionais, devido à sua organização tridimensional e massiva interconexão sinápticas, a computação paralela realizada pelo cérebro supera em muito a nossa atual tecnologia.

As implementações de computação tridimensional estão surgindo, ainda em fase experimental. A junção desse conceito com a operação em escala molecular pode significar a superação do *design* biológico de forma estarrecadora.

Arranjos hexagonais de átomos de carbono, chamados de nanotubos, podem ser utilizados como matéria-prima para a construção de qualquer componente eletrônico e devidamente organizados, podem formar circuitos eletrônicos, em escala molecular.

Um centímetro cúbico de nanotubos superaria em sessenta mil vezes a capacidade computacional do cérebro humano. Um centésimo de milímetros cúbicos seria equivalente a um cérebro humano. E estima-se que essa capacidade computacional esteja disponível a custo acessível entre 2030 e 2040. Em 2050, espera-se a capacidade computacional de toda a humanidade em *chips* comerciais. Não um, mas milhares ou milhões desses *chips* produzidos e comercializados. Capacidade virtualmente inesgotável de armazenamento de toda a informação passada e de todo o processamento para o planejamento do futuro.

Nesse panorama, mesmo em momentos bem anteriores, a disseminação pelo ambiente de *hardwares* de suporte a ações de processamento e armazenamento de memória de agentes inteligentes artificiais seria uma imposição natural. Equipamentos, vestuário,

calçados e mesmo implantes imperceptíveis contendo a capacidade de processamento humano, ou de uma miríade de humanos, conectados entre si, onipresentes no ambiente.

E as possibilidades não param por aqui, dependendo apenas de tempo e superação de barreiras técnicas mais ou menos transponíveis [42]. Já existem tecnologias que demonstram a possibilidade de comunicação direta entre elementos digitais e neurônios. transistores neurais detectam pulsos elétricos em neurônios, disparando, ou, por sua vez podem induzir impulsos elétricos ou mesmo impedir que neurônios disparem. Dessa forma a comunicação nos dois sentidos é garantida.

A partir de implantes, ou mesmo de nanorobôs, seria possível a conexão entre o cérebro e a máquina, podendo o correr o compartilhamento de informações, memórias e mesmo de sensações provenientes dos órgãos dos sentidos.

Num cenário mais sofisticado, nanorobôs, cada um muito menor que um neurônio, poderiam percorrer a corrente sanguínea ou se fixarem junto a neurônios e à fibras nervosas, interagindo entre si, formando conexões adicionais em um número equivalente ou mesmo muito maior que as conexões biológicas, e interagindo com estas, possibilitariam a ampliação da capacidade humana de raciocínio e memória, não apenas a “nativa”, biologicamente existente, mas também possibilitaria a importação de memórias ou de capacidades adicionais, numa explosão exponencial da interação homem-máquina [46].

O alcance e letalidade dos braços humanos foram ampliados por pedras e galhos, depois por pedras afiadas e lanças; pás, martelos colheres, potes e sacos ampliaram a capacidade humana de transportar e mover materiais. Peles de animais e fibras vegetais possibilitaram ao homem deslocar-se pela Era Glacial a quase todos os pontos do planeta. Barcos, carroças, automóveis e aviões possibilitaram e possibilitam o deslocamento de nossa espécie numa rapidez e escala desconhecidos no reino animal.

A linguagem oral e posteriormente a escrita quebraram o paradigma de transmissão de informações às futuras gerações numa escala de alguns bit, apenas através do código genético, para milhões. O atual *status* da tecnologia da informação possibilita a transmissão em níveis de trilhões de bits de novas informações legadas, em crescimento acelerado.

Agentes Inteligentes Artificiais

Os celulares, MP3 aos MP10, *notebooks* e demais equipamentos ampliam nossa capacidade. Implantes seriam um avanço inicialmente vistos como invasivos, mas seguindo a tendência crescente de consumo de mais implementos.

A ampliação das nossas capacidades mentais inicialmente realizadas por livros e régua de cálculo, agora são obtidas pelos equipamentos móveis, nos bolsos e fones de ouvidos. Num patamar futuro, imperceptivelmente dispostos sobre o corpo e, posteriormente, sob o corpo, possibilitando não apenas mais informações, mas mais raciocínio e virtualização de nossos sentidos a partir de interação efetiva entre cérebro e elementos digitais – e sempre com possibilidade de conexão extracorporal, o que produziria uma verdadeira rede mundial de cérebros.

E, finalizando, nesse panorama, seria possível o escaneamento cerebral em escala um para um, ou seja, de praticamente todos os detalhes anatômicos e fisiológicos do cérebro, a partir da nanotecnologia invasiva. Um mapeamento completo e detalhado de cada função neural a cada instante, podendo-se assim entender melhor os princípios básicos de funcionamento do cérebro, podendo-se projetar *softwares* mais inteligentes e mesmo mais próximos da capacidade humana, o que já acontece em certa medida com a tecnologia atualmente disponível, trabalhando-se com a arquitetura cerebral, sobre a base de estruturas caóticas, altamente paralelas, auto-organizáveis, holográfica e, sem redundância expressiva, extremamente complexas.

A singularidade, prevista como um conflito entre a inteligência humana e a sintética pode seria ser atingida pela fusão de ambas num nível maior que o atual. Notemos, pois que essa fusão já ocorre, apenas ainda não muito eficientemente.

4.6 Tecnologias de amanhã hoje

Exemplos de “tecnologias do futuro” que podem ser observados agora mesmo e ilustram o avanço de ficções do passado realidades de hoje. Reforçam a possibilidade de desenvolvimentos não lineares de toda a tecnologia, em especial a da informação e, por conseguinte, dos agentes inteligentes artificiais nas direções anteriormente delineadas, o que apóia o que foi explanado nos parágrafos anteriores sejam expectativas futuras, mesmo

que sem tempo certo para ocorrerem, mas não muito distantes – e não somenos delírios futuristas.

Para além da já revolucionária tecnologia de geoposicionamento GPS, agora trivializada pelos navegadores portáteis de automóveis, que orientam qualquer motorista pelo trânsito das grandes cidades, novos sistemas de navegação são vislumbrados. Os EUA estão desenvolvendo programas para garantir a qualidade do posicionamento GPS mesmo quando o sinal não está disponível ou está sob interferência. Estes programas *Robust Surface Navigation* (RSN) e *Sub-Surface Navigation* (SSN), tendo como base sinais de radio provenientes de emissores civis de várias origens, como antenas de TV, antenas de celulares, etc. O programa SSN pretende assegurar um sistema de navegação a soldados que se movam em túneis, trincheiras e cavernas até cem metros de profundidade.

No setor militar, desenvolvem-se campos de forças não letais, denominados “efeito de fuga” a partir de ondas milimétricas concentradas em 95 gigahertz (GHz). Elas produzem, em um certo sentido, um “campo de força”, fornecendo uma opção não-letal alternativa a gritar para alguém ou nele atirar. O programa da força aérea americana, que tornou-se público, estuda essas ondas que produz uma intensa dor nas pessoas atingidas a distâncias maiores do que as típicas das pequenas armas de fogo. Como não são ondas ionizantes, não são cancerígenas, e parecem não produzindo efeitos danosos de longo prazo, pelo tempo de exposição esperado.

Estão também em desenvolvimento armas de energia dirigida baseadas em *lasers* e microondas de alta potência, já superando as expectativas iniciais no que se refere ao que essas tecnologias podem chegar a atingir.

Novos mísseis hipersônicos estão sendo construídos após várias décadas de pesquisa básica e aplicada em voo de alta velocidade, o “scramjet” de combustão supersônica. Várias décadas após o início do projeto, o voo do avião experimental X-43A comprovou as idéias de WEBER e McKAY, voando a dez vezes a velocidade do som em 2004. E esses resultados são apenas o início de uma longa série de experimentos de campo para que esses motores de altíssima velocidade possam ser utilizados.

Da mesma forma, o torpedo russo VA-111 Squall começou a ser desenvolvido na década de sessenta, tornando-se agora o protótipo um míssil submarino capaz de velocidades da ordem dos 200 nós debaixo de água, possivelmente até 250 nós, ou seja, até 450 km/h sob a água.

Agentes Inteligentes Artificiais

O Departamento de Defesa Americano está desenvolvendo o chamado "Smart Dust", que são minúsculos elementos robóticos com a dimensão de um milímetro e que podem agir como espiões militares por poderem captar imagens, transmitir informações entre si e com uma base e coordenar-se. Ainda uma primeira geração, mas antevendo-se avanços em breve.

Tecnologias militares para manter a defesa e ataque, mas que propulsionam o desenvolvimento de inovações que poderão ser aplicadas no campo civil mais adiante e mostram que o quadro apresentado sobre a progressão da capacidade computacional não é impossível. Talvez apenas mais distante que o esperado.

Como os avanços são militarmente explorados, pode-se tentar imaginar o que acontecerá quando os computadores forem tão inteligentes como os humanos e houver a capacidade instalada para a produção de processadores cada vez mais poderosos. Por exemplo, se esses sistemas forem baseados em entidades nano tecnológicas auto-replicantes: um nanorobô que se autoduplicasse. Se o tempo de replicação fosse de quinze minutos, criando outro nanorobô igualmente capaz de se autoduplicar, em apenas algumas horas, a partir de uma unidade, poderiam surgir 68 bilhões de nanorobôs. Se for um onívoro, ou seja, utilize todos os materiais disponíveis do meio circundante e replicando a essa velocidade, num cenário catastrófico, em poucos dias a biosfera poderia ser reduzida a um deserto. Sistemas complexos tem propriedades emergentes que não podem ser controladas nem previstas. Sistemas emergentes com inteligência muito superior à humana poderiam sair do controle facilmente. Um cenário irreal, espera-se, mas aventado entre outros, pelo cientista BILL JOY, co-fundador da Sun Microsystem e criador da linguagem Java, que expõe o perigo do desenvolvimento futuro da genética, nanotecnologia e robótica.

4.7 E o Software?

Uma vez que os atuais agentes inteligentes artificiais desenvolvem-se a partir de *software*, implementados em servidores de redes ou como elementos do sistema de

gerenciamento de equipamentos, a questão que surge é: Como ocorrerá o avanço nessa área?

O presente capítulo foi quase todo ele dedicado aos avanços de *hardware*, uma vez que essas promessas de implementações físicas podem simplesmente aniquilar nossa visão de mundo atual. Com capacidades computacionais absurdamente gigantes á disposição, mesmo *softwares* mesmo dotados poderão “pensar” adequadamente, uma vez que muito de suas limitações estão em suas plataformas físicas. Com bancos de memória e capacidade de processamento virtualmente infinito, algoritmos de sistemas especialistas ou redes neurais artificiais não terão muitos limites.

E, já tratados, os algoritmos de inspiração biológica, como as redes neurais artificiais e os algoritmos genéticos, existentes há várias décadas, poderão ser a base para a emulação de inteligência adaptativa e evolucionária – coisas para as quais foram propriamente projetados, mas ainda numa fase que pode ser considerada embrionária [38].

Por outro lado, isso não vai fornecer automaticamente os níveis humanos de inteligência, porque a textura organizacional fina, e também o *software*, o conteúdo e o conhecimento embutidos são igualmente importantes.

Mesmo assim, as pesquisas têm sido realizadas nessa área, indicando que a produtividade de *software* tem melhorado muito rapidamente, considerando-se que esforços em novas ferramentas de desenvolvimento de *software*, a produtividade também cresce exponencialmente, ainda que com um exponencial menor que o de *hardware*.

4.8 Os Homens

Os avanços tecnológicos e científicos não vêm apenas no sentido da formação dos “cyborgs”, os imaginários seres, meio biológicos, meio máquinas, cujo nome derivou-se dos conceitos da Cibernética [55].

Na atual taxa de desenvolvimento exponencial, a medicina e as condições gerais de saúde têm melhorado bastante, aumentando ao longevidade média das pessoas. Se a mil

anos atrás a expectativa de vida girava em torno de trinta anos, no século XVIII, cada ano transcorrido acrescentava alguns dias à expectativa de vida. Já no século XIX, o aumento era de algumas semanas. No começo do século XXI, a taxa de acréscimo de expectativa de vida é de cento e vinte dias por ano transcorrido. Como os avanços em terapias genéticas, produção de remédios, clonagem terapêutica e demais transformações na biotecnologia, e essa taxa vai continuar crescendo [46].

Extrapolando-se a curva de aceleração no aumento da expectativa de vida, pode-se estimar que em dez a quinze anos, seria acrescentado mais de um ano à expectativa de vida, o que na prática significaria a imortalidade para a geração que a alcançasse. Como a expectativa de vida é algo estatístico, não significaria que todos nunca mais morreriam, mas que dentro de mil, dez ou cem mil anos, ainda viveriam pessoas dessa primeira geração, senão a grande maioria delas.

Uma possibilidade para a próxima década? Próximo século? Ou apenas um truque matemático? Devemos nos lembrar que podemos acelerar um corpo a velocidades muito altas, cada vez mais altas, mas quanto essas velocidades aproximam-se da velocidade da luz, quantidades cada vez maiores de energia são necessárias para um pequeno acréscimo na velocidade ao corpo. A velocidade da luz é uma abarreira intrasponível à qual apenas pode-se aproximar assintoticamente.

Talvez possamos acrescentar uma expectativa alta, mas não possamos ultrapassar a taxa de aceleração de um para um ano. Possivelmente não possamos fazer isso.

Esse raciocínio nos lembra também que os modelos de aceleração tecnológica não são lineares. E talvez, nem mesmo exponenciais, podendo infletir em algum momento. Muito se discutiu sobre “tecnologia”, palavra com a mesma raiz que “técnica”, ambas originadas do grego “tekhne” e que nos remete ao acúmulo de conhecimentos e sua aplicação muitas vezes fria, inumana mesmo [31]. Opondo-se em certo sentido a elas encontramos a palavra “arte”, dela derivando-se “artista”, partilhando da mesma etimologia em “artífice” e “artesão”, este que fazia uma cadeira, pintava um quadro e construía uma Catedral.

A palavra “arte” origina-se de “ars” latino, que era o sinônimo da “tekhne” grega. Apenas a partir do Renascimento, culminando com a Revolução Industrial, o que é considerado arte foi separando-se gradativamente do que é considerado técnica. Hoje nos surpreendemos se um técnico é também um artista ou vice-versa. Mas nem sempre foi

Agentes Inteligentes Artificiais

assim. Ambas faziam parte de “ciência”, ou seja, do conjunto do “saber” e do “conhecimento”, que no íntimo de cada um forma a “consciência”.

Depara-se com a necessidade de fomentar as “boas práticas” em campos profissionais, onde as tecnologias específicas são aplicadas. Foram esquecidas em detrimento de “práticas eficientes a qualquer custo”.

Visualizou-se isso quando os sistemas produtivos tradicionais degeneraram ante ao capitalismo mercantil e muito mais dramaticamente sob os capitalismo industrial e financeiro. Uma regulação externa foi necessária para que todo o sistema se mantivesse, inicialmente como a proteção de direitos individuais contra o absolutismo do Estado, depois, pela preservação de direitos sociais e coletivos contra o empresariado e depois, de preservação dos chamados direitos difusos e os “transindividuais”, que abarcam toda a humanidade, contra o próprio sistema, pela manutenção de condições ambientais mínimas para todos, indistintamente. O sistema não apresentava regulagens internas inerentes que equilibrassem os “ganhos exponenciais”, devendo ser impostos externamente, vergando a curvatura para limites toleráveis, não auto-canibalizantes [70].

A interação com a tecnologia e as perspectivas dos agentes inteligentes artificiais pode ser uma face desse estado de não controle, quando insumos e recursos talvez não possam ser utilizados da forma imaginada, nem lineares, mas também não apenas exponenciais e, nem mesmo tão intercambiáveis com a consciência humana.

Não seria exagero se disséssemos que os processos mentais são regidos por uma estupidez coletivamente bem orquestrada. O cérebro processa 400 bilhões de bits de informação por segundo. No entanto somente tomamos “consciência” de 2.000 deles, referentes ao ambiente próximo, ao corpo e ao tempo. Ou seja, as coisas estão acontecendo e nós não as assimilamos por completo, não temos nem um filete de consciência do que pensamos ter consciência. E o mais importante é que de nada valerá ter ou não ter consciência se o envolvimento com tantos bits não nos fornecer uma mente minimamente equilibrada, que tem como base a infinita interdependência de causas e condições [31].

Normalmente as pessoas comuns que vivem a vida na mediocridade e acham-na chata, monótona ou sem graça, estão tão hipnotizadas pelo ambiente sistemático que nem sequer se dão ao luxo de se questionar um pouco além do seu comodismo. Alguns se prendem, repetidas vezes, a esta ou aquela distração. Quem sabe, em algum momento novas afirmações possam flertar e interagir com elas: “esta é uma magnífica linha

ilusória!” ou “o que é fantástico também deve ser abandonado!”, o que pode levá-las a pensar que estejam numa situação paradoxal.

Ocorre que essa transição de maturidade pode ser resultante dos conceitos “fixos” que começam a ruir.

Se as informações processadas são limitadas por um caráter seletivo com relação às cercanias, e só temos consciência de uma fração tão pequena desse colossal número de bits, o que de fato está acontecendo? Para a integridade psicossomática é importante perceber a realidade dos bits restantes, mesmo que sejam provisórios. Não há consistência na compreensão da realidade de aparências em sua totalidade, pois não sabemos ainda o que se passa atrás de todas as paredes e o cérebro também não aloja uma infinidade de bits: o mundo está fora de nossas cabeças [35].

No sentido de ações, o bem é ligado à construção e o mal à destruição, contudo, não há como separarmos uma coisa da outra. Amigos e inimigos podem se converter conforme as circunstâncias. Supondo um naufrágio: alguém é forte e sabe nadar, mas se tentar salvar a sua mãe ou seu filho, ambos morrerão afogados. Quem escolher? Nas situações muito críticas, a ética sobre as decisões que se deve tomar é impecável e nossa real natureza é identificada ao analisar em que nível amamos os outros. Além disso, ao perder de vista o controle da mente ou o perdão, logo se odeia alguém ou a si mesmo.

Quanto à consciência humana, vários experimentos levaram à percepção de que a autoconsciência, ou seja, a noção da “individualidade”, a propriedade do cérebro de criar a distinção entre um “eu” e o “outro”, sendo mais um dos constructos mentais, não se confundindo com a noção de consciência.

Descobriu-se que a aplicação de ondas com o formato invertido ao que é produzido no cérebro na frequência de 40 Hz, correspondente à atividade gama, anula a autoconsciência. Por isso a noção de identidade, o “eu interior”, foi anulada. Os voluntários submetidos a essa experiência continuaram com as mesmas habilidades de raciocínio e memória, como jogar xadrez ou falar idiomas entretanto, desconheciam quem eram.

Ao se buscar a compreensão da consciência, entramos no território da mente-corpo, no qual a psique está incluída. A palavra grega “psique”, da qual, naturalmente, provém nossa “psicologia”, refere-se de modo bem mais abrangente à qualidade de estar

Agentes Inteligentes Artificiais

vivo. Quando a psique está íntegra, os pensamentos e emoções que estão ligados a ela não são um problema a ser resolvido ou negado.

O relacionamento entre o conhecido e o desconhecido – e o acesso ao porão da mente – sempre pôde ser consagrado. Santo Tomás de Aquino escreveu:

Não observo minha alma à parte de seus atos. Portanto, há processos na alma dos quais não temos consciência imediata.

5 CONCLUSÕES

Os agentes inteligentes artificiais, cada vez mais pulverizados, estarão integrados em rede, utilizando vários meios de comunicação intercomutáveis, invisivelmente dispersos pelo ambiente – numa próxima etapa poderemos estar vestindo os elementos, como celulares, fones, roupas com controles, óculos com telas interativas ao meio observados etc. Algo que já ocorre de modo insipiente, mas já disponível. Adiante, numa provável evolução tecnológica, equipamentos dentro de nossos corpos - os *chips* de localização por GPS são uma realizada - e finalmente no próprio cérebro, em interação direta com as sinapses e, portanto, na própria raiz dos pensamentos, podendo extinguindo a diferença entre humanos e máquinas.

Esse panorama, já em desenvolvimento, corrobora a possibilidade de que nas próximas décadas, estaremos sobre um novo patamar tecnológico, baseado em computadores quânticos e uma robótica sofisticada, baseada principalmente em nanotecnologia. A partir de uma rede cada vez mais densa de comunicação, serão reduzidas as barreiras entre os agentes inteligentes, para compor, talvez, uma estrutura inteligente massiva, cooperativa e difusa, não se restringindo a um *hardware* específico, uma CPU ou um *mainframe*, nem a um *software* determinado, por mais abrangente que seja [64].

Quanto às perspectivas de avanços, são inúmeras e otimistas, sendo que muitas possivelmente vão se concretizar, prevendo como ponto focal, uma espécie de simbiose final entre homens e sua tecnologia, na formação de uma nova inteligência ora mais humana no topo, como hoje já se verifica pontualmente, hora híbrida, hora artificial. Nesse cenário a distinção clara entre inteligência humana ou das máquinas seria superada.

Nessas condições o sistema emergente, acompanhando e estimulando a automação acelerada de linhas de projeto e produção, poderá aperfeiçoar-se num ritmo cada vez maior, levando ao conceito de singularidade, ou superação do conceito de humanidade, para o conceito mesmo de pós-humanidade como ilustrado por LUCIA SANTAELLA:

Agentes Inteligentes Artificiais

“O potencial para as combinações entre vida artificial, robótica, redes neurais e manipulação genética é tamanho que nos leva a pensar que estamos nos aproximando de um tempo em que a distinção entre vida natural e artificial não terá mais onde se balizar. De fato, tudo parece indicar que muitas funções vitais serão replicáveis maquinicamente assim como muitas máquinas adquirirão qualidades vitais. O efeito conjunto de todos esses desenvolvimentos tem recebido o nome de pós-humanismo” [91].

Em termos individuais, não podemos, nos esquecer, entretanto, que esses avanços são normalmente imaginados e tratados simplificadaamente. Na Amazônia, ainda existem mais de uma tribo que nunca tiveram contato com o homem branco, vivendo por ora ainda na Idade da Pedra. Em boa parte da África e de interiores da América Latina, as condições de saneamento e de segurança alimentar não são, sequer satisfeitas e o contato com aparatos tecnológicos, mesmo já ultrapassados é diminuta [90]. Nas periferias das grandes cidades, das referidas áreas abarcadas pelo BRIC, a propagação de tecnologia não é realizada de forma homogênea, como por exemplo, e mais dramaticamente, no campo da saúde.

Por outro lado, se neste momento todas as máquinas no mundo fossem desativadas simultaneamente, a civilização entraria em um colapso irreparável. Há poucas décadas, entretanto, essa dependência não se verificava.

Esses dados sugerem a manutenção de um padrão de distribuição irregular de avanços, não se antevendo um “Admirável Mundo Novo”, completa e totalmente transfigurado, mas como no romance, mantendo ilhas, maiores ou menores, de elementos do passado, ainda que dependentes das áreas de tecnologia de ponta.

Agentes Inteligentes Artificiais

As concretizações, porém, podem ser em prazos não tão curtos quanto os previstos, devido a potenciais “assíntotas” ou “sigmóides” acompanhando o atualmente palpável processo de avanço tecnológico exponencial.

Os agentes inteligentes artificiais, inicialmente como elementos de controle robótico, foram tornando-se cada vez mais incorpóreos, como programas computacionais implementados em elementos de processamento, cada vez menores, mais potentes e mais baratos, facilitando sua universalização e, com o advento da internet, tornaram-se mais interativos e dinâmicos, manifestando nela seu potencial maior de filtrar e orientar os usuários nos conteúdos da internet e também nos equipamentos que se comunicam, tais como eletrodomésticos, TVs e celulares, cada vez mais de forma invisível e pulverizada, mediando nossa relação com o meio, em especial na recepção de informações [65].

E nos largos panoramas – e em todos eles – de evolução científica e tecnológica, eles são os elementos centrais, devendo se desenvolver apoiados nos avanços que ocorrem em várias frentes, tornando-se cada vez mais elementos invisíveis com maturidade muito rápida e ganhando onipresença.

BIBLIOGRAFIA

- 1 AMERIKA, Mark, *META/DATA A Digital Poetics*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2007
- 2 ADLER, Richard P., CHRISTOPHER, Anthony J. Internet Community Primer: Overview and Business Opportunities. *Internet community primer*, 1998. [on-line] Disponível em <http://www.digiplaces.com/pages/printable_html.html> Acessado em 2 de agosto de 2008.
- 3 ANJOS, Pablo Lucas dos. Comunidades Virtuais de Aprendizado Adaptativo. *Comunidades virtuais de aprendizado adaptativo*. [on-line] Disponível em <http://ia.ucpel.tche.br/cva/ComunidadesVirtuaisAdaptativas_3.doc>. Acessado em 2 de agosto de 2008.
- 4 ASHBY, W. Ross *Introdução à Cibernética* Perspectiva, São Paulo, 1970.
- 5 BAIRON, Sérgio, *Hipermídia e Antropologia Visual*, Projeto Tecnologias Digitais e Antropologia Visual, DVD, São Paulo (Br) e Porto (Pt), 2007
- 6 BAKHTIN, Mikhail *Marxismo e filosofia da linguagem* Hucitec, São Paulo, 2006.
- 7 BEIGUELMAN, Giselle, *Link-se*, Peirópolis, São Paulo, 2005
- 8 BENATTON, J.F. *Modos de Pensar e sistemas de controle – um ponto de vista na história* IEA – USP (Coleção Documentos, série ciência cognitiva), 1994
- 9 BENJAMIN, Walter, *A obra de arte na era da reprodutibilidade técnica* (1936), Abril Cultural coleção Os Pensadores, São Paulo, 1975
- 10 BERROCAL, J.L., FIGUEROLA, C.G., ZAZO A.F., RODRIGUEZ, E., *Agentes Inteligentes: Recuperação Autónoma de Información em el Web*, Universidad de Salamanca, Espanha
- 11 BETANCOURT, Michael, *The Aura of the Digital*, 1000 days of theory, Arthur and Marilouise Kroker Editors, 2006
- 12 BITTENCOURT, Guilherme. *Inteligência artificial. Ferramentas e teorias*. Florianópolis: Editora da UFSC, 1998..
- 13 BOURRIAUD, Nicolas, *Postproducción*, Adriana Hidalgo Editora, Córdoba, Argentina, 2004

- 14 BRADSHAW, Jeffrey M. *Software Agents*, Massachusetts, MIT Press, 1997
- 15 BRAGA, A. P.; LUDERMIR, T. B.; CARVALHO, A. C. P. L. F. *Redes neurais artificiais: Teoria e aplicações*. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2ª edição, 2007.
- 16 BRENNER, Walter ; ZARNEKOW, Rudiger; WITTING, Harmut *Intelligent Software Agents – Foundations and Applications* Springer-Verlang New York, 1998
- 17 CASTELLS, Manuel, *A Sociedade em rede*, Paz e Terra, 1999, 10a. Ed.2007
- 18 CHOMSKY, Noah *Syntactic Structure* The Hague:Mouton, 1957
- 19 COSER, Adriano. *Utilização de agentes inteligentes no trabalho colaborativo via internet*. Florianópolis, 2000. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal
- 20 COSTA, Rogério *A Cultura Digital*, Publifolha, São Paulo, 2002
- 21 COSTA, Rogério *Sociedade de Controle*, São Paulo em Perspectiva 18(1) , São Paulo, 2004
- 22 Da COSTA, Newton C.A. et al. *Lógica paraconsistente aplicada* Atlas, São Paulo, 1999.
- 23 DAVIS, Erik. *Techgnosis - Myth, Magic and Mysticism in the Age of Information*. Nova Iorque: Harmony Books, 1998.
- 24 DAVIS, R.; LENAT, Douglas B. *Knowlwdge-based systems in artifficial intelligence* McGraw-Hill New York, 1980
- 25 de Santa Catarina, 2000.
- 26 DELEUZE, Gilles, *A dobra.Leibniz e o barroco*, Papirus, Campinas, 1991
- 27 EPSTEIN, Richard L. e CARNIELLI, Walter *Computabilidade, funções computáveis, lógica e os fundamentos da matemática* Unesp, São Paulo, 2006.
- 28 FELINTO, Erick. *A Religião das Máquinas – Ensaio sobre o Imaginário da Cibercultura*, Porto Alegre: Sulina, 2005.
- 29 FELINTO, Erik. Transhumanismo e Mito: Notas Sobre o Culto do Ciborgue, in: **Olhares Sobre a Cibercultura** (André Lemos & Paulo Cunha orgs.), Porto Alegre: Sulina, 2003, pp.24-36.
- 30 FOSTER, Don *Author Unknwon: on the trail of anonymous* Nova Iorque: Henry Holt and Company, 2000

- 31 FRANCO, Edgar Silveira. **Arte e Novas Tecnologias: O Movimento Pós-Humano**, in: Quiosque: Observatório das Mídias, João Pessoa, (Marca de Fantasia: Nº 2), João Pessoa, 2001, pp.11-14.
- 32 FRANKLIN, Stan; GRAESSER, Art *Is it na Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agent* Proceedings of the Third International Workshop on Agents Theory, Architertures and Languages Springer-Verlag, 1996
- 33 GALMICHE, Michel *Semântica Gerativa* Presença, Lisboa, 1975.
- 34 GOSCIOLA, Vicente, *O Conceito de Hipermídia*, Projeto Tecnologias Digitais e Antropologia Visual, DVD, São Paulo (Br) e Porto (Pt), 2007
- 35 GUATTARI, Félix, *Caosmose - Um novo paradigma estético*, Editora 34, São Paulo, 1992
- 36 GUITTA, P. *Do caos a inteligência Artificial*, Unesp São Paulo, 2003
- 37 HAYES-ROTH, Barbara *An Architecture for Adaptive Intelligent Systems* Articial Intelligence: Special Issue on Agents and Interactivity, 1995
- 38 HAYKIN, S. *Redes Neurais. Princípios e Práticas* , Bookman, São Paulo, 2000
- 39 HUANG, Zhisheeng *An Architecture for Web Agents* Scientific Literature Digital Library, 2002
- 40 JENKINS, Henry, *The work of Theory in the Age os Digital Transformation*, <http://www.braintrustdv.com/essays/work-of-theory.html>
- 41 JONES, Steven G. *Cybersociety 2.0: Revisiting computer-mediated communication and community*. Thousand Oaks. 1998.
- 42 JULIAN, V.;BOTTI, V., *Agentes Inteligentes: el siguiente paso em la Inteligencia Artificial*, Universidad Politécnica de Valencia, Espanha
- 43 KIDD, Cory D.,BREAZEAL, Cynthia, *Human-Robot Interaction Experiments: Lessons learned*, MIT Media Lab,Cambridge, Massachusetts, 2005
- 44 KURTZWEIL, Ray. **The Age of Spiritual Machines – When Computer Exceed Human Intelligence**, Nova Iorque: Penguin Books, 2000.
- 45 KURZWEIL, Ray *Singularity is near* Vicking Penguin, New York, 2005.

- 46 KURZWEIL, Ray. **Ser Humano Versão 2.0**, in: Caderno Mais!, Folha de São Paulo, São Paulo, domingo, 23 de março de 2003.
- 47 LEVY, Pierre *As Tecnologias da Inteligência: O futuro do pensamento na era da Informática* Editora 34 São Paulo, 1998
- 48 LEVY, Pierre **Cyberdemocratie** Odile Jacob, Paris, 2002
- 49 LEVY, Pierre, **Cibercultura**, Instituto Piaget, Lisboa, Portugal, 2001
- 50 LIEBERMAN, Henry, *Letizia: An Agent That Assists Web Browsing*, Media Laboratory, Cambridge, Massachusetts
- 51 LOTMAN, Mihhail, *Umwelt and semiosphere*, University of Tartu, Estonia
- 52 LOVEJOY, Margot, *Art in the Electronic Age - Digital Currents*, Routledge, New York
- 53 LUCA, Michael., D'INVERNO Mark. *Understanding agent systems*. New York: Springer Verlag, 2001. 191p.
- 54 MACHADO, Arlindo *Arte e mídia*, Jorge Zahar Ed., Rio de Janeiro, 2007
- 55 MACIEL, Mario e VENTURELLI, Suzete. **Imagens Pós-humanas: Ciborgues e Robôs**, in: Anais do Sigradi (Simpósio de Gráfica Digital -2004), 2004, pp. 247-248.
- 56 MAES, Pattie *Agents That Reduce Work and Information Overload* Em: Communications of the ACM vol 37, No. 7 Julho,1994
- 57 MAES, Pattie *Designing Autonomus Agents* The MIT Press, Cambridge, MA 1990
- 58 MAES, Pattie e LIU, Hugo, *What Would They Think? A Computacional Model of Personal Attitudes*, Proceedings of the ACM International Conference on Intelligent User Interfaces, Madeira, Funchal, Portugal, 2004
- 59 MAES, Pattie *How to do the rigth thing* AI-Laboratory, MIT Press, Cambridge, MA, 1989
- 60 MAES, Pattie, ISHII, Hiroshi e COELHO, Marcelo, *Surflex: A Programmable Surface for the Design of Tangible Interfaces*, MIT, Cambridge, Massachusetts, 2008
- 61 MAES, Pattie, LIU, Hugo e DAVENPORT, Glorianna, *Taste Fabrics and the Beauty of Homogeneity*, The Media Laboratory, MIT, Massachusetts, 2005
- 62 MAES, Pattie, LIU, Hugo e DAVENPORT, Glorianna, *Unraveling the Taste Fabrics of Social Networks*, The Media Laboratory, MIT, Massachusetts, 2005

- 63 MAES, Pattie; GUTMAN, Robert; MOUKAS, Alexandros. *Agents that buy and sell: transforming commerce as we know it* Communications of the ACM vol 43 , March 1999
- 64 MAES, Pattie; MAX, Metral; YEZDI, Lashkari, *Collaborative Interface Agents*, MIT Media Laboratory, Cambridge, Massachusetts
- 65 MANOVICH, Lev, *Post-media Aesthetics*, Extraído do <http://www.manovich.net/IA/index.html>, acessado em 08/04/2006
- 66 MANOVICH, Lev, *The Language of New Media*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2001
- 67 Mc CARTHY, John *Ascribing mental qualities to machines*. Technical report AI Lab Stanford University, Stanford CA, 1978
- 68 McCULLOCK, Warren S.; PITTS, Walter *A logical Calculus of the ideas immanent in neural nets* Bulletin of Mathematical Biophysics Boston MA 1943
- 69 McLUHAN, Marshall *Understanding media: the extension of man* McGraw-Hill New York, 1964
- 70 MINSKY, Marvin *The Society of the Mind* Simon and Schuster, New York, NY, 1986
- 71 MINSKY, Marvin; PAPPERT, Seymour *Perceptrons* MIT Press Cambridge, MA 1969
- 72 MORAVEC, Hans P. *Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence*, Cambridge: Harvard University Press, 1990.
- 73 MORAVEC, Hans P. *Robot: Mere Machine to Transcendent Mind*, Oxford: Oxford University Press, 1999.
- 74 MORIN, Edgar, *O cinema ou o homem imaginário*, Moraes Editores, Lisboa, 1970
- 75 MULLER B. and REINHARDT, *Neural networks: an introduction*. J. Springer-Verlag, Berlin, 1990.
- 76 NEGROPONTE, Nicholas *The Architecture Machine*; Towards a more Human Environment. MIT Press, Cambridge, MA, 1970
- 77 NEWELL, A.; SIMON, H. *GPS, a program that simulates human thought* Em: Computers and Thought ed.E.A.Feigenbaum e J. Feldman, New York, NY McGraw-Hill, 1963

- 78 PALLOF, R., PRATT, K., *Building Learning Communities in Cyberspace: effective strategies for the online classroom*. San Francisco: Jossey-Bass, 1999.
- 79 PEIRCE, Charles Sanders, *Escritos Coligidos/Charles Sanders Peirce*, seleção e tradução de Armando Mora D'Oliveira, Coleção os Pensadores, Abril Cultural, São Paulo, 1980
- 80 PELLANDA, Eduardo Campos, *Olhar complexo sobre a internet móvel e o rompimento do cordão umbilical com a informação*, PUCRS, Porto Alegre, RS, 2002
- 81 PIGNATARI, Décio *Informação linguagem comunicação* Ateliê Editorial, Cotia, 2003.
- 82 RABUSKE, Renato Antônio *Inteligência Artificial* Ed. da UFSC, Florianópolis, 1995.
- 83 RHEINGOLD, Howard, *A Comunidade Virtual*, Gradiva, Lisboa, Portugal, 1996
- 84 RICH, E. *Inteligência Artificial*. São Paulo: Makron Books, 1994.
- 85 ROCCA, Adolfo Vasquez, *Peter Sloterdijk: El Desprecio de las Masas, consideraciones em torno al poder*, PUCV, Valparaíso, Espanha, 2006
- 86 ROCCA, Adolfo Vasquez, *Sloterdijk y el hombre como experimento sonoro; deriva biotecnológica e historia espiritual de la criatura*, Revista Observaciones Filosóficas n.4, Buenos Aires, Argentina, 2007
- 87 ROSENBLATT, Frank *Principles of Neurodynamics* Spartan New York, 1962
- 88 RUSSEL, Bertrand *The Principles of Mathematics*. Reedição W.W. Norton Company, New York 1996
- 89 RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice-Hall, Inc , Englewood Cliffs, NJ, 1995
- 90 SANTAELLA, Lucia, *Linguagens líquidas na era da mobilidade*, Paulus, São Paulo, 2007
- 91 SANTAELLA, Lucia. *Culturas e Artes do Pós-Humano: Da Cultura das Mídias à Cibercultura*, São Paulo: Paulus, 2003a.
- 92 SANTOS, Jair Ferreira dos. *Breve o Pós-Humano: Ensaio Contemporâneos*, Curitiba: Francisco Alves e Imprensa Oficial do Paraná, 2002.

- 93 SANTOS, Laymert Garcia dos. **Politizar as Novas Tecnologias: O Impacto Sócio Técnico da Informação Digital e Genética**, São Paulo: Editora 34, 2003.
- 94 SEVERINO, Antonio Joaquim, *Metodologia do trabalho científico*, Cortez, São Paulo, 2002
- 95 SILVA, Tomaz Tadeu (Org.). **Antropologia do Ciborgue –as vertigens do pós-humano**, Belo Horizonte: Autêntica, 2000.
- 96 SLOTERDIJK, Peter, Esferas III (Espumas), Ediciones Siruela, Madrid, Espanha, 2006
- 97 SMITH, D.C.; CYPHER, A. and SPOHRER, J. *KidSim: Programming Agents Without a Programming Language* Communications of ACM, vol 37, 1994
- 98 SPINOZA, Benedictus de, *Pensamentos Metafísicos; Tratado da correção do intelecto; Ética; Tratado Político; Correspondência/Baruch de Espinosa*, seleção e tradução de Marilena Chauí, Coleção os Pensadores, Abril Cultural, São Paulo, 1979
- 99 STEFIK, Mark *Focusing the Light: Making Sense in the Information Explosion* . Em: The internet Edge, Massachusetts, MIT Press, 1999
- 100 THÓRISSON, Kristinn R., *Face-to-Face Communication with Computer Agents*, MIT Media Laboratory, Cambridge, Massachusetts
- 101 TURING, Alan *Computing Machinery and Intelligence* Reeditado em ANDERSON, Alan Ross Mind and Machine Prentice-Hall Englewood Cliffs, NJ, 1964
- 102 UEXKÜLL, Jacob, *A teoria do Umwelt*, Revista Galáxia n.7, abril de 2004
- 103 Various, *The Cinematic*, Whitechapel London, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts - PRINCE, Richards, *Why I Go to the Movies Alone*, 1983; DAVID, Catherine, *Photography and Cinema*, 1989; DURANT, Régis, *Melancholic Mutations in Cindy Sherman's Film Stills*, 1996; WALL, Jeff and FIGGTS, Mike, *An Email Exchange*, 2005; CREWDSON, Gregory, *Interview with Anna Holtzman*, 2006
- 104 VIANA, Valdisio *Meta-heurísticas e programação paralela em Otimização Combinatória*, UFC Edições, Fortaleza, 1998.
- 105 VIEIRA, Jorge A. , *Formas de Conhecimento: Arte e Ciência - Uma visão a partir da Complexidade*, Vol. III Ontologia. 1, Ed. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, Fortaleza, CE, 2008

- 106 VIEIRA, Jorge A. , *Organização e Sistemas*, Revista Brasileira de Informática na Educação, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 11-24, 2000
- 107 VINGE, Vernor. **True Names: And the Opening of the Cyberspace Frontier**, New York: Tor Books, 2001.
- 108 VITA-MORE, Natasha. **Create/Recreate: The 3rd Millennial Culture**, Los Angeles: Extropy Institute, 2000.
- 109 WEIBEL, Peter, *La Imagen Inteligente: Neurocinema o cinema cuántico?* Extraído do http://217.76.144.68/archibos/20/mobliglatorio/00015/html/weibel_frameset_session5.htm , acessado em 20/07/2004
- 110 WOOLDRIDGE, Michael; JENNINGS, Nick *Intelligent Agents: Theory and Practice* The Knowledge Engineering Review, 1995
- 111 WOOLDRIDGE, Michael; JENNINGS, Nick *Software Agents* IEE Review, January, 1996