



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Ciências e Letras Campus de Araraquara – SP

LUIS FERNANDO ALTENFELDER DE ARRUDA CAMPOS

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E INSTRUMENTALIZAÇÃO DIGITAL NO ENSINO:
A SEMIFORMAÇÃO NA ERA DA AUTOMATIZAÇÃO COMPUTACIONAL**



ARARAQUARA- S.P. 2018

LUIS FERNANDO ALTENFELDER DE ARRUDA CAMPOS

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E INSTRUMENTALIZAÇÃO DIGITAL NO ENSINO:
A SEMIFORMAÇÃO NA ERA DA AUTOMATIZAÇÃO COMPUTACIONAL**

Tese de Doutorado apresentada para o exame de defesa junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação Escolar da Faculdade de Ciências e Letras – Unesp/Araraquara.

Linha de pesquisa: Teorias Pedagógicas, Trabalho Educativo e Sociedade

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antônio Calmon Nabuco Lastória

ARARAQUARA- S.P. 2018

Campos, Luis Fernando Altenfelder de Arruda
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E INSTRUMENTALIZAÇÃO
DIGITAL NO ENSINO: A SEMIFORMAÇÃO NA ERA DA
AUTOMATIZAÇÃO COMPUTACIONAL / Luis Fernando
Altenfelder de Arruda Campos – 2018
208 f.

Dissertação (Mestrado em Educação Escolar) –
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita
Filho", Faculdade de Ciências e Letras (Campus
Araraquara)

Orientador: Luiz Antônio Calmon Nabuco Lastória

1. Pensamento. 2. Inteligência Artificial . 3.
Tecnologias Educacionais . 4. Teoria Crítica. I.
Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo sistema automatizado
com os dados fornecidos pelo(a) autor

LUIS FERNANDO ALTENFELDER DE ARRUDA CAMPOS

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E INSTRUMENTALIZAÇÃO DIGITAL NO ENSINO:
A SEMIFORMAÇÃO NA ERA DA AUTOMATIZAÇÃO COMPUTACIONAL**

Tese de Doutorado apresentada para o exame de defesa junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação Escolar da Faculdade de Ciências e Letras – Unesp/Araraquara.

Linha de pesquisa: Teorias Pedagógicas, Trabalho Educativo e Sociedade

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antônio Calmon Nabuco Lastória

Data da Defesa: 24/08/2018

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

Membro Titular (1): Prof. Dr. Luiz Antonio Calmon Nabuco Lastória
Orientador: Universidade Estadual Paulista- UNESP/FClar

Membro Titular (2): Prof. Dr. Ari Fernando Maia
Universidade Estadual Paulista- UNESP/Bauru

Membro Titular (3): Prof. Dr. Sílvio Henrique Fiscarelli
Universidade Estadual Paulista- UNESP/FClar

Membro Titular (4): Prof. Dr. Rodrigo Antônio de Paiva Duarte
Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG

Membro Titular (5): Prof. Dr. Daniel Ribeiro Silva Mill
Universidade Federal de São Carlos- UFSCar

Membro Suplente (1): Prof. Dr. Sinésio Ferraz Bueno
Universidade Estadual Paulista- UNESP/Marília

Membro Suplente (2): Prof. Dr. Belarmino Cesár Guimarães da Costa
Universidade Metodista de Piracicaba- UNIMEP

Membro Suplente (3): Prof. Dr. Newton Duarte
Universidade Estadual Paulista- UNESP/FClar

Local: Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências e Letras
UNESP- Campus Araraquara

Dedico essa tese ao meu avô, o professor e antropólogo Fernando Altenfelder Silva com quem tive uma forte ligação na infância e que sempre serviu de referência como exemplo de pesquisador e professor universitário.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer os familiares, amigos e professores que me incentivaram e apoiaram ao longo de todo o percurso da pós-graduação. Dentre essas pessoas faço uma menção mais direta:

Ao meu orientador, o prof. Dr. Luiz Antônio Calmon Nabuco Lastória pelas preciosas análises e orientações que permitiram o desenvolvimento dessa pesquisa, assim como pelas excelentes aulas e cursos ministrados que reforçaram a admiração intelectual e impulsionaram muitas das reflexões críticas contidas nesse trabalho

Aos professores Ari Fernando Maia e Silvio Henrique Fiscarelli pelas arguições durante a qualificação e pelas importantes sugestões bibliográficas.

Aos colegas do grupo de estudo de “Teoria Crítica: Tecnologia, Cultura e Formação” pelas discussões teóricas e pelo compartilhamento de experiências acadêmicas.

Ao programa de Pós-Graduação em Educação Escolar da Faculdade de Ciências e Letras - UNESP/Araraquara por possibilitar a realização dessa pesquisa.

Aos colegas de trabalho do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia, IFSP-*Campus* Piracicaba pelos apoio e incentivos à realização do Doutorado.

A Rose pelos cuidados e por me ajudar na organização dos meus espaços de estudo.

Ao meu pai Carlos, ou Halo como é mais conhecido, a quem admiro como pessoa e que preenche meu cotidiano com valiosas conversas, poesias e quadros.

A minha mãe Nilce pelo exemplo de mãe, pessoa e mulher, que além de todo carinho, é para mim como professora universitária um modelo de profissional.

Todo modelo esbarra, pois, contra situação de limite que são, para ele, paradoxos. São, para ele, inexplicáveis. Para dar alguns exemplos: os modelos religiosos esbarram contra Deus, o modelo marxista esbarra contra liberdade numa estrutura determinista, o modelo da física contra o fator da indeterminabilidade. Obviamente os paradoxos não aniquilam os modelos. O modelo se defende encapsulando o paradoxo. As religiões fazem teologias, o marxismo teorias da liberdade, a física cálculos de indeterminabilidade. Mas o paradoxo persiste. Confrontados com o paradoxo podemos adotar duas atitudes: a) podemos aceitá-lo como paradoxo (como “mistério”, como “limite do pensável”, como “ultrapassando a compreensão humana”). Neste caso teremos transformado nossa crença inicial no modelo em fé no modelo. b) Podemos resolver o paradoxo construindo um metamodelo. Neste caso teremos abandonado a crença inicial no modelo. Mas devemos saber, ao fazê-lo, que resolvemos o paradoxo apenas para cair em outro. VILÉM FLUSSER

Estar à altura da situação técnica atual, que promete aos homens a plenitude e a abundância, significa orientar essa técnica para satisfação das necessidades de uma humanidade que não precisa mais da violência, porque é senhora de si mesma. (...). Mas o pragmático, por ser ele mesmo regressivo, apega-se ao ponto de vista daquele que não consegue pensar além do dia seguinte, do próximo passo, porque não sabe se viverá até amanhã. Ele representa a pobreza. Isto é ao mesmo tempo sua verdade porque os homens ainda são mantidos na pobreza, e sua inverdade porque o absurdo da pobreza tornou-se evidente. THEODOR W. ADORNO

Ora, então minhas previsões se opõem à minha tese. Sim; esta é a contradição interna de toda “profecia”: ao afirmar determinado futuro como provável, nega a liberdade humana, mas “profetiza” precisamente para que o futuro possa ser escolhido livremente. VILÉM FLUSSER

*Inteligência é uma categoria moral.
THEODOR W. ADORNO*

RESUMO

Em um momento histórico em que os dispositivos computacionais substituem progressivamente o homem na execução de atividades cognitivas, esta pesquisa procura refletir, por meio de pressupostos extraídos da teoria crítica, as decorrências sobre o processo de ensino e aprendizagem; e, também sobre as modificações proporcionadas à educação por meio da incorporação de programas digitais voltados a simulações mecânicas de aspectos da inteligência humana. Para realizar essa investigação são recobradas discussões concernentes às relações entre determinação, liberdade e pensamento. Em seguida, são pontuadas elaborações teóricas relevantes para o desenvolvimento da lógica em direção as concepções de máquinas computacionais. A partir da computação delineiam-se os momentos de origem e desenvolvimento das ciências cognitivas e da inteligência artificial. Por fim, a pesquisa volta-se ao exame de como a formação do pensamento é impactada pelo uso de tecnologias educacionais que procuram automatizar tanto atividades intelectivas como parte do trabalho docente.

Palavras chaves: Pensamento; Inteligência Artificial; Tecnologias Educacionais; Teoria Crítica

ABSTRACT

In a historic moment when the computing devices progressively replace the man in the performance of cognitive activities, this research seeks to reflect, through assumptions extracted from the critical theory, derivations, on the process of teaching and learning, the amendments provided education through its incorporation of digital programs aimed at mechanical simulations aspects of human intelligence. To accomplish this research are first retrieved discussions concerning the relationship between determination, freedom and thought. Then they are punctuated relevant theoretical elaborations for the development of logic towards the concepts of computing machines. After arriving computing delineates up times of origin and development of cognitive science and artificial intelligence. Finally, the research back to the examination of how the formation of thought is affected by the use of educational technologies that seek to automate as intellectual activities as part of the teaching work.

Key words: Thought; Artificial Intelligence, Educational Technologies, Critical Theory

SUMARIO

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.ENTRELAÇAMENTOS ENTRE DETERMINISMO E LIBERDADE: DO CAOS MÍTICO AOS PENSAMENTOS PROGRAMADOS POR APARELHOS..... | 24 |
| 1.1 DO CAOS À ORDEM..... | 24 |
| 1.2 AS CAUSAS DO ACASO E DA SORTE..... | 26 |
| 1.3 A LIBERDADE E O DESVIO DOS ÁTOMOS..... | 28 |
| 1.4 ACASO E DETERMINISMO NA ERA MODERNA..... | 30 |
| 1.5 ACASO E DETERMINISMO NA COSMOLOGIA SEMIÓTICA DE PEIRCE..... | 31 |
| 1.6 INTELIGÊNCIA ORGÂNICA E CONSERVAÇÃO DO ACASO..... | 34 |
| 1.7 A ABSURDA PROGRAMAÇÃO DO ACASO..... | 40 |
| 1.8 INQUIETUDES DE UM PENSAMENTO QUE RESISTE A SUA PRÓPRIA COERÇÃO.... | 46 |
| | |
| 2. DOS PRINCÍPIOS DA RAZÃO À CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO..... | 51 |
| 2.1 BREVE PERCURSO DOS PRINCÍPIOS DA RAZÃO À CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO..... | 51 |
| 2.1.1 ARISTÓTELES E A LÓGICA..... | 54 |
| 2.1.2 CONTRIBUIÇÕES HISTÓRICAS PARA FORMALIZAÇÃO MATEMÁTICA DA LÓGICA..... | 55 |
| 2.1.3 O DESENVOLVIMENTO DA LÓGICA MATEMÁTICA..... | 58 |
| 2.1.4 OS DIFERENTES TIPOS DE LÓGICA..... | 59 |
| 2.2 A INCOMPLETUDE NAS ORIGENS TEÓRICAS DO COMPUTADOR..... | 62 |
| 2.2.1 O PARADOXO DO MENTIROSO | 62 |
| 2.2.2 KURT GÖDEL E O TEOREMA DA INCOMPLETUDE..... | 63 |
| 2.3 AS MÁQUINAS DE TURING E A FORMALIZAÇÃO DO INCOMPUTÁVEL..... | 65 |
| 2.3.1 A MÁQUINA DE TURING..... | 65 |
| 2.3.2 A MÁQUINA DE TURING UNIVERSAL E O PROBLEMA DA PARADA..... | 67 |
| 2.4 TESTES E QUESTIONAMENTOS DA INTELIGÊNCIA NAS MÁQUINAS..... | 69 |
| 2.4.1 O TESTE DE TURING..... | 69 |
| 2.4.2 O QUARTO CHINÊS..... | 71 |
| 2.5. CLAUDE SHANNON E A TEORIA DA INFORMAÇÃO..... | 72 |
| 2.6 A CIBERNÉTICA..... | 73 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.6.1 O INÍCIO DA CIBERNÉTICA..... | 73 |
| 2.6.2 JOHN VON NEUMANN E OS PRIMEIROS COMPUTADORES..... | 75 |
| 2.6.3 AS CIBERNÉTICAS NAS ORIGENS DO COGNITIVISMO..... | 77 |
| 2.6.4 A CIBERNÉTICA DE SEGUNDA ORDEM..... | 78 |
| 2.7 RETOMANDO CRITICAMENTE OS ANTECEDENTES DA COMPUTAÇÃO..... | 80 |
| | |
| 3. CIÊNCIA COGNITIVA E A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL..... | 82 |
| 3.1 O COMEÇO DA CIÊNCIA COGNITIVA E DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL..... | 82 |
| 3.1.2 O COGNITIVISMO COMPUTACIONAL..... | 84 |
| 3.2 FILOSOFIA DA MENTE E A COMPUTAÇÃO..... | 86 |
| 3.3 OS SISTEMAS ESPECIALISTAS..... | 88 |
| 3.4 O CONEXIONISMO..... | 90 |
| 3.4.1 OS NEURÔNIOS ARTIFICIAIS DE MCCULLOCH..... | 90 |
| 3.4.2 AS REGRAS DE APRENDIZAGEM DE DONALD HEBB..... | 92 |
| 3.4.3 OS PERCEPTRONS E AS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS..... | 93 |
| 3.5 COMPUTAÇÃO EVOLUCIONÁRIA E ALGORÍTIMOS GENÉTICOS..... | 96 |
| 3.6 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO..... | 97 |
| 3.7 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E APRENDIZAGEM DA MÁQUINA..... | 99 |
| 3.8 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E O PROCESSAMENTO DA LINGUAGEM NATURAL...107 | 107 |
| 3.8.1 OS <i>CHATTERBOTS</i> | 107 |
| 3.8.2 OS ASSISTENTES VIRTUAIS INTELIGENTES..... | 110 |
| 3.8.3 IBM WATSON E A COMPUTAÇÃO COGNITIVA..... | 111 |
| | |
| 4. TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL..... | 115 |
| 4.1 DO SURGIMENTO DA ESCRITA ÀS MAQUINAS DE ESCREVER..... | 115 |
| 4.2 PROPOSTAS PEDAGÓGICAS DO USO DE TECNOLOGIAS PARA O ENSINO..... | 116 |
| 4.2.1 AS MÁQUINAS DE ENSINAR DE SKINNER..... | 116 |
| 4.2.2 A PROGRAMAÇÃO DO COMPUTADOR COMO RECURSO PEDAGÓGICO | 118 |
| 4.3 DAS DIFICULDADES DE INSERÇÃO DAS TDIC NAS ESCOLAS À DISSEMINAÇÃO DE DISPOSITIVOS COMPUTACIONAIS EM SALA DE AULA..... | 120 |
| 4.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E ARQUITETURA DE ENSINO..... | 122 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.5 A DEFESA DO USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO | 125 |
| 4.5.1 UM TUTOR INTELIGENTE PARA CADA ALUNO..... | 127 |
| 4.5.2 SUPORTES INTELIGENTES PARA APRENDIZAGENS COLABORATIVAS | 130 |
| 4.5.3 REALIDADE VIRTUAL INTELIGENTE COMO APOIO A APRENDIZAGEM | 129 |
| 4.5.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO E AMPLIAÇÃO DO MUNDO FÍSICO..... | 130 |
| 4.5.5 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO E OS PROFESSORES..... | 133 |
| 4.5.6 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM..... | 133 |
| 4.5.7 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E OS PROBLEMAS DA EDUCAÇÃO..... | 134 |
| 4.6 INCENTIVOS DOS ESTADOS UNIDOS À EDUCAÇÃO EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL | 138 |
| 4.7 TENTATIVAS DE VAPORIZAÇÃO DIGITAL DA UNIVERSIDADE..... | 139 |
| 4.8 SISTEMAS DE TUTORIA DIGITAL INTELIGENTES E A VAPORIZAÇÃO DA SALA DE AULA..... | 142 |
| 4.9 EDUCAÇÃO PARA UM MUNDO PERMEADO POR INTELIGÊNCIAS ARTIFICIAIS.. | 148 |
| | |
| 5. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E INSTRUMENTALIZAÇÃO DO ENSINO. | 154 |
| 5.1 DA RAZÃO INSTRUMENTAL À INSTRUMENTALIZAÇÃO COMPUTACIONAL DA RAZÃO | 154 |
| 5.2 INDUSTRIALIZAÇÃO DIGITAL DA CULTURA | 165 |
| 5.3 INTELIGENCIA ARTIFICIAL E INSTRUMENTALIZAÇÃO DO ENSINO..... | 173 |
| | |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 188 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 198 |
| ANEXO I- LOGICA FUZZY E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL..... | 205 |
| ANEXO II- GLOSSARIO BASEADO NO RELATÓRIO DA PEARSON..... | 207 |

INTRODUÇÃO

A utilização do termo automatização relaciona-se, na sociedade moderna industrial, a um movimento de substituição, na fábrica, do homem como mão de obra, pela máquina como meio de produção. Ao se falar em automatização na educação, pretende-se retomar um pouco esse sentido de substituição homem-máquina especificamente no ensino. Entretanto, questiona-se o que é automatizado nesse caso e quais as consequências políticas, econômicas e sociais que se fazem notar quando essas tentativas de automatização ocorrem.

Com o desenvolvimento tecnológico no capitalismo dos séculos XX e XXI, chegamos a uma época na qual as forças, esforços e tensões envolvidos na formação do pensamento e da sensibilidade humana são modificados pelo uso de aparelhos e programas voltados à simulação das capacidades cognitivas do homem. A educação não foge desse contexto, sendo frequente o uso de tecnologias que não só dispensam a presença dos alunos em sala de aula mas, também, o contato e a mediação do professor, caminhando com isso, na direção da automatização do próprio trabalho de ensinar. Cada vez mais o ensino é deixado a cargo de programas elaborados para simular mecanicamente aspectos inerentes à atividade do pensamento. Aparelhos programados para realizar, no lugar do professor, o acompanhamento e a avaliação das aprendizagens dos alunos, fornecendo, a partir do cotidiano e hábitos pessoais do estudante, feedbacks sobre o que precisam estudar, quais exercícios devem realizar e quais os melhores métodos para aprender.

Essas modificações se refletem em concepções como a de Skinner (1968), que defendia o uso da máquina em diversas situações de ensino devido à maior eficiência de aparelhos e ferramentas técnicas em relação ao professor na apresentação de consequências imediatas adequadas para respostas corretas de um aluno para um determinado problema. Ao professor caberia desenvolver uma boa programação de ensino, assim como um técnico em computação que desenvolve a linguagem de programação para uma máquina, determinando por meio de linhas de comando a sequência de instruções que ela deve realizar.

Com a evolução do uso da tecnologia no ensino é possível citar, além dos dispositivos pensados por Skinner (1972) em sua época, o caso dos programas de inteligência artificial empregados em ambientes educacionais e em programas de tutoria

no ensino a distância, nesses casos até a programação do que vai ser ensinado seria realizada em grande parte pela própria máquina.

É nesse sentido que esta pesquisa procura analisar o campo da inteligência artificial não apenas como uma área das ciências cognitivas e da computação, mas também para destacar a fabricação, no capitalismo hodierno, de um modelo do que se compreende por inteligência ligado a avanços no campo da informática e da automatização robótica. Em uma época em que o próprio pensar humano pode ser simulado artificialmente, direcionado para funcionar de forma instrumental, mecânica e automática, o termo inteligência associa-se e nomeia programas capazes de realizar operações lógicas matemáticas complexas a partir de um processamento binário — operações que procuram possibilitar a reprodução parcial, em aparelhos, de aspectos ligados a habilidades humanas de representar o conhecimento, discriminar estímulos do ambiente, falar, compreender o que é falado e aprender a partir de ações executadas no passado.

A difusão e o desenvolvimento de tecnologias audiovisuais que misturam matérias voltadas a entretenimento com operações automatizadas, simulando funções cognitivas, como a memória, a linguagem e o raciocínio lógico, tendem a acentuar a transformação e a adaptação simbiótica do comportamento e da sensibilidade das pessoas às demandas propagadas por interesses de mercado. O homem, deslocando os esforços e tensões envolvidos na concepção de pensamentos próprios para conteúdos que possam entreter e provocar sua atenção, inclina-se a reproduzir, de modo descompromissado, opiniões coletadas nos meios de comunicação digitais. Acentua-se um processo já apontado por Adorno em seu texto sobre semiformação:

A experiência — a continuidade da consciência em que perdura o ainda não existente e em que o exercício e a associação fundamentam uma tradição no indivíduo — fica substituída por um estado informativo pontual, desconectado, intercambiável e efêmero, e que se sabe que ficará borrado no próximo instante por outras informações. Em lugar do tempo durável, conexão de um viver em si relativamente uníssono que se desemboca no julgamento, se coloca um "É isso" sem julgamento, algo parecido à fala desses viajantes que, do trem, dão nomes a todos os lugares pelos quais passam como um raio, a fábrica de rodas ou de cimento, o novo quartel, prontos para dar respostas inconsequentes a qualquer pergunta. A semiformação é uma fraqueza em relação ao tempo, à memória, única mediação que realiza na consciência aquela síntese da experiência que caracterizou a formação cultural em outros tempos. Não é por acaso que o semiculto faz alarde de sua má memória, orgulhoso de suas múltiplas ocupações e da consequente sobrecarga (ADORNO, 2010, p. 33).

Essa análise de Adorno parece se acentuar nos sujeitos afinados ao uso excessivo desses novos dispositivos tecnológicos que aceitam, assim, a diminuição de sua própria autonomia, contentando-se em desempenhar funções de postagem, compartilhamento e reprodução de conteúdo virtuais, o que ocorre sem a reflexão firme e duradoura sobre aquilo que produzem e compartilham. Nas poucas situações que refletem, fazem-no de forma frágil e segundo um formato ditado pelos próprios aparelhos que utilizam.

Nicholas Carr (2015) no livro *The Glass Cage: How Our Computer Are Changing Us*, salienta que em muitos momentos fazemos avaliações e julgamentos sem estarmos plenamente conscientes deles. Nesses casos, apelamos para um entendimento difuso e um conhecimento tácito que nos permite operar velozmente com demandas inesperadas e contextuais. Para trabalhar de modo rápido e implícito com circunstâncias que estão mudando repentinamente, o cérebro, após um esforço inicial e muitas repetições, modifica-se de forma que passa a discriminar imediatamente padrões aos quais já tinha sido exposto, realizando com precisão ações anteriormente praticadas, quase de forma instantânea e automática. Com o automatismo computacional de atividades como detecção, armazenamento e tratamento de informações, aparelhos eletrônicos realizam no lugar do cérebro parte dos exercícios de repetição envolvidos no fortalecimento de processos cognitivos, contribuindo com isso para deteriorar suas habilidades, embotar sua percepção, debilitar sua memória e diminuir o tempo de concentração que é capaz de dedicar de maneira ininterrupta a uma única atividade. A automatização cerebral permite que as energias gastas inicialmente em atividades como a aprendizagem de uma língua estrangeira ou a direção de um automóvel sejam economizadas e canalizadas para aumentar a disposição do sistema nervoso em trabalhar com relações desconhecidas, inesperadas e detalhes novos presentes nas experiências que realiza.

São diversas as profissões que vêm sofrendo modificações ocasionadas pela adoção de softwares que automatizam atividades que antes envolviam dedicados trabalhos intelectivos. A eficiência que introduzem na realização de uma tarefa substitui a *expertise* humana em relação a esta, dispensando o ser humano tanto de esforços manuais como da execução de uma performance cognitiva refinada.

Carr (2015) descreve modificações presentes em diversas áreas profissionais relacionadas ao processo de automatização: o piloto de avião que se transforma em um vigia de monitores e operador de sistemas operacionais; arquitetos, engenheiros e

designers que se tornam dependentes de programas de desenho assistidos por computador, como o CAD (*computer-aided design*); economistas presos a algoritmos preditivos dos valores das ações no mercado financeiro; e até programadores amarrados a aplicativos que os ajudam a construir códigos, os ambientes de desenvolvimento integrado, ou IDEs (Integrated Development Environment).

A grande velocidade com que muitos algoritmos executam inúmeros cálculos probabilísticos, aliada à precisão com que realizam repetidamente uma tarefa, acabam fazendo com que muitos aprendizes de uma especialidade, ao apoiarem-se na eficácia e precisão dos programas, se limitem a desenvolver os conhecimentos básicos de uma área, deixando assim de ensaiar desempenhos e confeccionar esboços que permitam explorar ambiguidades e imperfeições da própria execução humana. A automatização computacional carrega um potencial bloqueio ao exercício de experiências sensíveis e intelectuais capazes de mobilizar consciente (deliberadamente) e inconscientemente (no sentido de ser irrefletido) no sujeito uma apuração de seus saberes. Carr (2015) dá exemplo da composição de um desenho, tarefa imprescindível a um bom arquiteto. Nos desenhos feitos por computador destacam-se os aspectos formais, lógicos e funcionais. O arquiteto, ao limitar seu trabalho ao uso dessa ferramenta, acaba condicionando suas percepções às delimitações físicas do computador, não explorando, para além das funcionalidades ditadas pelo programa, seus olhos e mãos, ou seja, as possibilidades presentes na potencialidade motora e sensível de seu próprio corpo.

Aumenta cada vez mais a presença de aparelhos digitais com reprogramações automatizadas e funcionamento remoto tanto nos ambientes de trabalho quanto na privacidade dos lares, máquinas que “aprendem” a programar e interagir com os sujeitos mediante uma racionalização algorítmica de seu cotidiano:

Seu rádio-relógio o desperta às 7:00. Está tocando uma canção que você não conhece, mas está gostando. Por cortesia da rádio personalizada Pandora, ele está aprendendo o que você aprecia em música, como se fosse seu DJ pessoal. Talvez a canção, também, tenha sido produzida com a ajuda de machine learning. Você toma o café da manhã e lê o jornal, que saiu da máquina de impressão há algumas horas, com o processo de impressão cuidadosamente ajustado por intermédio do machine learning para evitar riscos. A temperatura em sua casa está agradável e sua conta de energia é baixa, já que você instalou um termostato inteligente Nest (DOMINGOS, 2017, p. 14).

Domingos (2017) relata uma série de usos, que já vêm ocorrendo nos Estados Unidos, da aplicação de algoritmos de aprendizagem na vida cotidiana, desde a hora de despertar, na ida para o trabalho, durante o trabalho, na hora do almoço, na ida para casa, na hora de dormir. Os algoritmos de aprendizagem já fazem parte de decisões dos mais diferentes profissionais, como médicos, juristas, esportistas, jornalistas, políticos e educadores:

O machine learning está presente em cada estágio de sua vida. Se você estudou online para o exame SAT¹ de admissão para a universidade, um algoritmo de aprendizado deu nota aos seus trabalhos. E se você tentou entrar para escola de negócios e fez o exame GMAT² recentemente, um de seus avaliadores foi um sistema de aprendizado. É possível que, quando se candidatou para um emprego, um algoritmo de aprendizado tenha selecionado seu currículo na pilha virtual e informado ao empregador: este é um forte candidato; dê uma olhada neste currículo. Seu último aumento pode ter sido cortesia de outro algoritmo de aprendizado. Se estiver pretendendo comprar uma casa, o site Zillow.com pode estimar qual vale a pena entre as que você está considerando. Quando estiver se decidindo por uma, você tentará um empréstimo para a compra da casa, e um algoritmo de aprendizado estudará sua proposta e recomendará (ou não) sua aceitação (DOMINGOS, 2017, p. 15–16).

Diante da quantidade excessiva de conteúdos expostos na realidade cotidiana, a todo segundo, pela internet, não é surpresa que haja o investimento em uma tecnologia que tenta automatizar e realizar para cada um a decisão do que deve aparecer na tela do computador, ou celular. Grandes empresas de informação, como Facebook e Google, reconhecem no campo da inteligência artificial uma oportunidade de auxiliar o usuário na identificação de seus próprios gostos e demandas, antecipando para o sujeito suas prováveis escolhas, utilizando, para isso, os registros de visualizações de conteúdos digitais anteriormente acessados por ele:

Quando o inevitável ocorre e os algoritmos de aprendizado se tornam o intermediário, o poder se concentra neles. Os algoritmos do Google determinam em grande parte quais informações uma pessoa deve encontrar; os da Amazon quais os produtos ela deve comprar, e os do site Match.com, com quem ela deve sair. A última etapa é sempre a

¹ *Scholastic Aptitude Test* (SAT) – assim como o ENEM no Brasil, este é um teste de aptidão escolar aplicado nos Estados Unidos.

² *Graduate Management Admission Test* (GMAT) – prova de admissão exigida pela maioria das escolas de negócio dos Estados Unidos.

nossa — escolher entre as opções apresentadas pelos algoritmos —, mas 99% da seleção foi feita por eles. O sucesso ou o fracasso de uma empresa agora depende de quantos aprendizes gostam de seus produtos, e o sucesso de toda a economia — com as pessoas obtendo os melhores produtos para as suas necessidades pelo melhor preço — depende da excelência dos aprendizes (DOMINGOS, 2017, p. 35–36).

Com o aumento do tempo que se passa conectado a dispositivos eletrônicos as pessoas cada vez mais estão embebidas em uma realidade permeada por interfaces digitais sensíveis e interativas que vêm sofisticando suas funcionalidades. Interfaces comandadas por programas capazes de coletar, filtrar, classificar, gerenciar, transmitir, monitorar e analisar um fluxo constante de dados, por meio de algoritmos que incorporam de modo codificado decisões políticas, normas e valores de grandes empresas da área da computação e informática. Refletindo os interesses econômicos de um capitalismo em acelerada renovação, tais normas são convertidas em um conjunto complexo e sequencial de instruções binárias que delimitam as aplicações, funcionalidades e configurações das interfaces com as quais um determinado usuário de certo aparelho eletrônico vai poder interagir. Para além das relações de consumo, com a automatização computacional, o trabalho produtivo se torna gradativamente mediado e programado por algoritmos de predição probabilística e modelos estatísticos que terceirizam processos de tomada de decisão antes realizados diretamente por pessoas.

Como aponta a matemática com PhD em Harvard e cientista de dados Cathy O’Neil em seu livro *Armas de destruição matemática* (*Weapons of Math Destruction*, título original) essas modificações computacionais carregam uma dimensão política que muitas vezes fica velada, pois muitos algoritmos e modelos estatísticos codificam e costumam camuflar, sob uma aparente neutralidade, interesses, preconceitos, estereótipos e valores morais presentes em nossa sociedade. As instituições públicas e empresas privadas que utilizam tais modelos matemáticos acabam reproduzindo, mesmo que involuntariamente, em muitos casos, relações econômicas e sociais injustas que podem arruinar a vida de indivíduos, famílias e até mesmo comunidades inteiras (O’NEIL, 2016).

Diversos setores da economia já aplicam algoritmos e técnicas de inteligência artificial para automatizarem processos de análise, seleção e tomadas de decisão. Baseados em estatísticas que buscam destrinchar nossos comportamentos, tais algoritmos tentam elaborar modelos probabilísticos de previsão que antecipem nossas ações futuras, quantificando matematicamente em sistemas de pontuação nossos potenciais para um

determinando processo de produção e consumo, ou seja, a probabilidade que temos, pela posição e funções que ocupamos na sociedade, de maximizar lucros e minimizar custos.

Apesar de considerar os benefícios que modelos matemáticos e computacionais de análise de dados podem trazer quando acompanhados de cuidadosas reflexões sobre seus processos e resultados, O'Neil (2016) relata diversos usos danosos e prejudiciais desses modelos. Ela descreve o uso problemático dessas ferramentas matemáticas destrutivas em várias situações: a aceitação em uma faculdade, a seleção para uma vaga de emprego, a concessão de empréstimos e financiamentos, a determinação de preços de seguros de saúde, a exploração publicitária personalizada, o monitoramento policial de um bairro, as decisões judiciais referentes a penas e prisões e as avaliações de desempenho de instituições escolares, alunos e professores. Nestes diversos casos prolifera-se o uso de dados e algoritmos que autorreforçam tendências capitalistas em acentuar preconceitos correlacionados à desigualdade na distribuição de renda entre as pessoas. Aqueles associados a elementos de pobreza tendem a ser jogados ainda mais para baixo enquanto os associados à riqueza tendem a aumentar seus benefícios econômicos.

Os sistemas estatísticos quando não elaborados com cuidado e contínua atenção podem reforçar fatores que ajudam a perpetuar injustamente padrões correlacionais inexistentes de causa e efeito. Um modelo estatístico inteligente considera um número grande de dados e variáveis para contrabalancear as anomalias e exceções que produz, tendo ainda que receber feedbacks constantes para corrigir seus desvios de percurso, aproveitando os erros para se autoaperfeiçoar.

O problema apontado por O'Neil é que com a crescente automatização computacional de modelos matemáticos e estatísticos de tratamento de dados combinada com a terceirização de análises e avaliações de desempenho para esses instrumentos, foram disseminados mecanismos opacos de avaliações empresariais e institucionais baseados em resultados, decisões e julgamentos formulados por algoritmos. Diante da necessidade de analisar uma quantidade enorme e maciça de dados, as conclusões baseadas em sistemas matemáticos seriam probabilisticamente menos sujeitas a erros que as de uma pessoa em posição de gerência. Os profissionais humanos poderiam focar seus esforços na análise de casos específicos. Nesse contexto, os sistemas automatizados de coleta e análise de dados são levados a sério, principalmente, quando estão auxiliando escolhas e seleções relacionadas a cargos e funções voltadas a uma massa de pessoas de baixa renda. Por mais que esses sistemas funcionem, também, para as pessoas com alta

renda, a elas geralmente é oferecido um atendimento pessoal e exclusivo à disposição, pronto para corrigir possíveis erros presentes nos sistemas digitais que codificam seus dados.

Enquanto Carr (2015) expõe como somos condicionados cognitivamente por procedimentos computacionais automatizados, O'Neil (2016) se detém em como instituições e empresas incorporam modelos estatísticos-matemáticos destrutivos que ajudam a perpetuar injustiças sociais e desigualdades econômicas.

Em um mundo de tecnologias artificialmente inteligentes e aprendizagens programadas virtualmente, as máquinas adquirem mais autonomia, tomando o lugar do homem em atividades que exigem não apenas força física, mas também as operações cognitivas necessárias para a produção, a organização e a representação do conhecimento. Ainda mais, esses dispositivos computacionais configuram nossas relações uns com os outros e com nós mesmos, ampliando ou diminuindo nossas experiências naturais, sociais e culturais.

Assim como os programas de televisão que, ao buscarem imitar os comportamentos e a vida das pessoas, acabam servindo de modelo para o comportamento dessas mesmas pessoas, muitas tecnologias, ao tentarem reproduzir as habilidades humanas (como revisores de texto, programas de busca de informações, editores de imagens e vídeos, redes sociais de comunicação, calculadoras, programas de computador) acabam por produzir a adaptação das capacidades de imaginar, formar conceitos, falar, escrever, lembrar e raciocinar dos próprios indivíduos ao uso dessas ferramentas.

Os impactos subjetivos das tecnologias sobre o comportamento e a sensibilidade dos sujeitos no campo da educação podem ser observados na maneira como alunos e professores se comportam durante uma aula, ou nos momentos de estudo, quando da leitura de um texto, da escolha dos materiais utilizados, da elaboração de um discurso e do relacionamento com outros professores e alunos. Situações de ensino em que ocorre um aumento das tecnologias audiovisuais acarretam, ao mesmo tempo, a diminuição da presença de textos longos, sem muitas figuras, prevalecendo o uso de imagens digitais como recurso didático para manter a concentração dos estudantes na aula. Isso pode evidenciar uma fragilidade de muitas escolas e docentes que, para chamar a atenção de alunos acostumados a um mundo *high tech*, estruturam o conteúdo ensinado segundo a exposição constante e acelerada a estímulos e informações de rápido consumo e imediato descarte. As próprias atividades motoras e esforços cognitivos dos sujeitos afeitos às mais novas tecnologias são condicionados de modo a responderem de forma rápida e

automática, seguindo os fluxos de dados e as diversas funcionalidades operacionais presentes nos programas e dispositivos aos quais estão constantemente conectados.

Esta pesquisa visa desvelar as forças que regem a implementação desses sistemas digitais de educação e os aspectos, na automatização do processo de aprendizagem e organização do material, bloqueadores da formação de experiências reflexivas e autocríticas por parte de educadores e aprendizes. Em outras palavras essa pesquisa pretende atualizar o conceito adorniano de semiformação na era da automatização computacional:

Com a cultura e o indivíduo sendo administrados racionalmente, a cisão entre ambos aumenta. Pois o processo que os relaciona ganha autonomia. Devido à insegurança gerada pela irracionalidade das relações sociais, a técnica se converte em fetiche, que imaginariamente tenta minimizar aquela insegurança (CROCHICK, 1998, p. 181).

Adorno salienta que a formação (Bildung) “nada mais é que a cultura tomada pelo lado de sua apropriação subjetiva” (ADORNO, 2010, p.9). Porém com os processos de identificação e padronização presentes na industrialização da cultura realizado nas sociedades capitalistas, a formação se converte em semiformação (Halbbildung) entendida como “o espírito conquistado pelo caráter de fetiche da mercadoria” (ADORNO, 2010, p.25). Além de modificar a experiência reflexiva ao afetar a sensibilidade, as tecnologias podem apresentar um potencial regressivo acentuando o processo de semiformação ao serem utilizadas de modo a facilitar o condicionamento dos sentidos a uma dinâmica compulsiva de satisfação imediata — imediatismo propiciado pelo uso de programas computacionais que, ao tentarem antecipar regularidades no comportamento, respondem com antecedência às intenções do sujeito, dispensando-o do empenho preciso para que ele reflita e se implique de fato na atividade que está realizando.

Ao mesmo tempo que tais ferramentas facilitam nossas vidas pela eficiência que geram na execução das tarefas a que se propõem, produzem em nós uma dependência e um comodismo em relação a elas. O conforto, a segurança e as facilidades que o desenvolvimento tecnológico pode gerar à sociedade também pode propiciar circunstâncias que incentivam comportamentos impulsivos, promovendo ações banais e destrutivas por parte de alguns usuários, os quais, incapazes de suportar frustrações advindas das contradições presentes na realidade e intolerantes em relação à alteridade,

não encontrando resistências, sentem-se encorajados a propagar irrefletidamente opiniões preconceituosas e apologias à violência:

Os sujeitos-objetos produzidos cientificamente e purificados de todo mito, que constitui a realização do não-espírito universal, são infantis. As regressões meio espontâneas e meio organizadas de hoje em dia transformam-se finalmente, no sentido da cultura de massas, em mandamentos conscientemente que regem o tempo livre em “proper standard of infantile decorum” em gargalhada do inferno diante do mandamento cristão de tomar as criancinhas como modelo. A substituição de todos os fins por meios tem culpa nisso (ADORNO, 1998, p. 98).

Situações como essas reforçam a relevância de reflexões que levem em conta os impactos dos avanços tecnológicos sobre o processo educativo de modo a explorar suas possibilidades em direção à formação de uma consciência crítica resistente a uma simples adaptação e reprodução das barbáries do mundo existente:

Educar para a mídia perpassa a ação formativa de identificar os mecanismos regressivos associados às tecnologias: no novo mundo digital significa interpretar no fascínio da imagem, da mutação em velocidade, do compartilhamento imediato em rede, os invólucros da dominação econômica e simbólica, nos quais o sujeito contraditoriamente se realiza e se projeta. A autoconsciência de si é um exercício educativo atuante para retirar o sujeito da opacidade tecnológica, na qual não se reconhece em sua particularidade. A educação estética e o esclarecimento sobre os mecanismos de funcionamento das tecnologias digitais e da lógica de construção de mercadorias pela indústria cultural tornaram-se competências formativas para mediar a ação na escola e fora dela (MAIA; COSTA, 2015, p. 152).

Levando em conta o entrelaçamento atual entre educação e tecnologias que simulam e atuam sobre funções cognitivas humanas, esta tese procura investigar, a partir das análises de teóricos críticos, como Theodor Adorno, Max Horkheimer, Herbert Marcuse e Walter Benjamin, o processo de instrumentalização da razão e o impacto sobre o trabalho educativo de concepções pedagógicas estruturadas a partir do uso de tecnologias educacionais que procuram automatizar tanto atividades intelectivas como parte do trabalho docente. Pesquisa que tem o objetivo de fomentar reflexões críticas sobre o sentido do que se denomina inteligência artificial, principalmente quando esse campo está envolvido diretamente com o processo educacional e com a elaboração de propostas pedagógicas.

Por atuar profissionalmente como psicólogo no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia (IFSP) no Campus Piracicaba e trabalhar com professores, pais e alunos do curso técnico de Informática integrado ao Ensino Médio e com o curso superior de Análise de Desenvolvimento de Sistemas (ADS), acabei me envolvendo com questões que requeriam um conhecimento articulado entre diferentes campos, como a psicologia, a educação e as ciências da computação. Diante desse contexto, juntamente com a participação em um grupo de estudo³ focado em autores da primeira geração da teoria crítica, como Theodor Adorno, Marx Horkheimer e Herbert Marcuse, surgiu o interesse em realizar uma pesquisa teórica conceitual que trouxesse, como eixo central, um tema abarcando elementos destes quatro campos de estudo: psicologia, educação, teoria crítica e computação.

Ao pesquisar pressupostos teóricos e aplicações de conhecimentos em subáreas da inteligência artificial, como representação do conhecimento, aprendizado de máquina e processamento de linguagem natural, já é possível realizar um estudo entre o entrelaçamento de campos diversos, como o psicológico, o educacional e o computacional — estudo possível ao se focar as próprias distinções e semelhanças semânticas do uso, nessas áreas, de termos como aprendizagem, representação, linguagem e inteligência. Dentro do próprio campo semântico, dos significados, já é possível refletir sobre as modificações produzidas pelo uso educacional de programas adjetivados de inteligentes — adjetivo dado a aparelhos que funcionam a partir de códigos algorítmicos capazes de simular parte de esforços envolvidos na realização de operações cognitivas, realizando automaticamente e sem um controle humano direto das etapas intermediárias, a simulação parcial de processos como discriminação de estímulos visuais, auditivos e sinestésicos, atenção seletiva, memorização de informações, raciocínio indutivo e dedutivo, assim como aspectos da própria capacidade de aprender.

Por meio da investigação e análise crítica de autores, conceitos e propostas pedagógicas que procuram pensar o impacto da inteligência artificial (I.A.) na educação, esta pesquisa pretende analisar criticamente como os processos de automatização computacional presentes na sociedade vêm afetando o campo educacional. Nesse intento, procura analisar implicações sociais e subjetivas do emprego, em ambientes de ensino, estudo e aprendizagem, de programas capazes de realizar parte do trabalho docente,

³ Grupo de Estudos e Pesquisas “Teoria Crítica: Tecnologia, Cultura e Formação” (CNPq), vinculado ao Departamento de Psicologia da Educação da Faculdade de Ciências e Letras da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP- *Campus Araraquara*

auxiliando, ou até substituindo a presença do professor em situações de avaliação dos estudantes, oferecimento de feedbacks e apresentação de conteúdos que são pré-requisitos para o avanço na aprendizagem dos alunos em uma determinada área de conhecimento.

A tese que se pretende defender apoia-se na hipótese de que as modificações tecnológicas que acompanham o uso, ou pretensões de uso, da inteligência artificial como ferramenta de ensino estão revelando tendências presentes no modo de funcionamento das sociedades capitalistas atuais em produzir a comercialização digital da educação — transformações que tendem a forçar o campo educativo a se ajustar às demandas do campo da informação e não o inverso, modificando as instituições de ensino de modo a que funcionem como empresas comerciais em que os alunos são tratados como clientes e os professores como auxiliares de venda de seus produtos (como materiais didáticos, diplomas e tecnologias educacionais). A análise dos pressupostos teóricos e avanços tecnológicos no campo da inteligência artificial voltados a remodelar a educação pode revelar impactos subjetivos e objetivos proporcionados pelas configurações digitais que a indústria cultural vem tomando no início do século XXI.

Para tanto, no primeiro capítulo são apresentados elementos históricos e conceituais que visam auxiliar a compreensão acerca da atividade do pensamento, para além de suas determinações causais e mecânicas. São retomadas discussões entre determinismo e acaso ao longo de um percurso que se estende das narrativas míticas gregas, acerca da passagem do caos à ordem, até o mundo atual dominado por programas codificados. Tal exposição visa avaliar em que medida a liberdade ainda representa uma noção plausível para nos referirmos ao pensamento humano, levando em conta, no momento atual, as tentativas de reduzi-lo aos seus aspectos lógicos e matemáticos — análise que aponta para algumas das possíveis implicações presentes na educação quando programas computacionais substituem o homem na execução de atividades cognitivas.

No segundo capítulo realiza-se um percurso que parte dos princípios lógicos racionais da identidade — não contradição, terceiro excluído, razão suficiente —, passando pela formalização aristotélica da lógica, pela aproximação entre lógica e matemática aritmética, indo até a reprodução desses princípios lógicos em aparelhos mecânicos e eletrônicos, como os computadores. São apresentados conceitos que acompanham o desenvolvimento teórico de campos como a lógica, a ciência da informação e a cibernética, de modo a contextualizar o momento que vai possibilitar o surgimento e a consolidação da ciência da computação.

O terceiro capítulo expõe o movimento histórico de origem e constituição das ciências cognitivas e da inteligência artificial, principalmente no que se refere às perspectivas simbólicas (sistemas especialistas) e conexionistas (redes neurais artificiais) e às disciplinas, como a de representação do conhecimento, aprendizagem da máquina e processamento da linguagem natural. Em cada uma dessas áreas são descritas e analisadas criticamente algumas de suas aplicações técnicas. Esta exposição pretende apresentar elementos que ajudem a compreender o que está envolvido quando o pensamento é delimitado pelas suas possibilidades de reprodução mecânica em aparelhos e programas digitais.

O quarto capítulo apresenta propostas pedagógicas que enfatizaram ao longo do segunda metade do século XX o uso de máquinas voltadas ao ensino, os movimentos em direção à inserção de tecnologias computacionais nas escolas, experiências atuais de implementação de tecnologias educacionais, plataformas digitais e algoritmos atuando como tutores inteligentes. O capítulo também apresenta propostas para o uso da inteligência artificial na educação e para adaptação pedagógica de instituições de ensino superior em um futuro marcado pela digitalização e automatização computacional.

O quinto e último capítulo retoma reflexões teórico-críticas sobre os conceitos de razão instrumental e indústria cultural, analisando suas reconfigurações diante dos avanços tecnológicos possibilitados com o advento do computador, da internet, de softwares de processamento de dados e sistemas operacionais que simulam funções cognitivas humanas. São pontuados mecanismos de instrumentalização computacional da razão e de industrialização digital da cultura indicando suas implicações para o campo educacional. A análise procura refletir criticamente sobre as propostas pedagógicas que fundamentam e estruturam a interação entre estudantes, educadores e o uso dessas simulações computacionais do pensamento direcionadas ao monitoramento, à avaliação e à programação da aprendizagem dos alunos, assim como as consequências da substituição do contato presencial entre aluno e professor pelo contato intermediado por tecnologias audiovisuais, plataformas digitais e softwares de inteligência artificial voltados para a personalização do ensino.

CAPÍTULO 1

ENTRELAÇAMENTOS ENTRE DETERMINISMO E LIBERDADE: DO CAOS MÍTICO AOS PENSAMENTOS PROGRAMADOS POR APARELHOS

Toda tese drástica é falsa. No ponto mais íntimo, a tese do determinismo e a tese da liberdade da vontade coincidem. As duas proclamam a identidade.

T.W. ADORNO

Toda lógica contém inevitável dose de mistificação. Toda mistificação contém boa dose de inevitável verdade.

GUIMARÃES ROSA

Procurando levantar aspectos históricos conceituais que permitam pensar o próprio pensamento para além de suas determinações lógicas e matemáticas, este capítulo retoma um percurso histórico que parte das narrativas gregas do caos como divindade propulsora de uma ordem cósmica, passa por autores que ajudam a expor e refletir sobre contraposições entre concepções de acaso e determinismo e se estende até críticas contemporâneas à instrumentalização do pensamento por programas codificados. Tal explanação intenta discutir com que contornos é possível atribuir o conceito de liberdade ao pensamento humano para além de suas dimensões causais e mecânicas.

1.1 DO CAOS À ORDEM

Começemos discutindo um princípio peculiar: o princípio mítico grego da ordem a partir do caos (*Kháos*)⁴, tentativa de estabelecer uma narrativa sobre a origem do cosmo e, por meio dela, dar ordem às coisas, empreitada que toma forma nos mitos tal como elaborados pelas primeiras civilizações, sobretudo aquela de maior importância para a história ocidental: a civilização própria à Hélade arcaica:

Nesta comunidade agrícola e pastoril anterior à constituição da pólis e à adoção do alfabeto, o aedo (i.e., o poeta cantor) representa o máximo poder da tecnologia da comunicação. Toda a visão de mundo e consciência de sua própria história (sagrada e/ou exemplar) é, para este grupo social, conservada e transmitida pelo canto do poeta. É através

⁴ *Kháos*: nome derivado do verbo grego *kháein* que significa “abrir-se”, “entrebriar-se”, abismo insondável (BRANDÃO, 1997, p. 184).

da audição deste canto que o homem comum podia romper os restritos limites de suas possibilidades físicas de movimento e visão, transcender suas fronteiras geográficas e pessoais, que de outro modo pareceriam infranqueáveis, e entrar em contato e contemplar figuras, fatos e mundos que pelo poder do canto se tornam audíveis, visíveis e presentes. O poeta, portanto, tem na palavra cantada o poder de ultrapassar e superar todos os bloqueios e distâncias espaciais e temporais, um poder que só lhe é conferido pela Memória (*Mnemosyne*) através das palavras cantadas (Musas) (TORRANO, 1995, p. 16).

As musas inspiram poetas que declamam em versos a origem do universo a partir de potestades, divindades que explicam a origem do cosmo, as quais possuem a capacidade de realizar a cisão de si. Neste sistema autopoietico, *Kháos* é tido como divindade que representa o princípio, o vazio informe, insondável e primordial que gerou a si mesmo e por cissiparidade⁵ produziu outras potestades como *Geia*, *Tártaro* e *Eros*. O próprio *Kháos* representa a passagem do indiferenciado para o diferenciado, só podendo ser colocado como entidade a partir de seu ato de autocriação. Nas palavras de Brandão (1997):

Esta divisão marca a passagem ao diferenciado e a possibilidade de orientação, constituindo-se na base de toda organização do cosmo. Estar desorientado é entrar no Caos, de onde não se pode sair, a não ser pela intervenção de um pensamento ativo, que atua energeticamente no elemento primordial (BRANDÃO, 1997, p. 184).

Os aedos, por intermédio de suas narrativas, buscavam dar algum grau de organização à origem e ordenamento do cosmo por meio da palavra falada (*parole*), narrativa repetida e consolidada em rituais nos quais os homens encenavam os feitos e acontecimentos trágicos vividos por deuses e heróis. Já as elaborações realizadas pelos pré-socráticos, representadas pela *arkhé*⁶, refletiram a sedimentação de explicações míticas, poéticas e metafóricas em direção às primeiras abstrações lógicas e conceituais, mesmo que ainda de forma singela em relação às posteriores sistematizações e organizações teóricas estabelecidas por filosofias como as de Platão e Aristóteles. Os

⁵ Conforme as palavras de Torrano (1995, p. 44) sobre o processo geracional das potestades na *Teogonia*, de Hesíodo: “Há na *Teogonia* duas formas de procriação: por união amorosa e por cissiparidade. Os primeiros seres nasceram todos por cissiparidade: uma Divindade originária biparte-se, permanecendo ela própria ao mesmo tempo que dela surge por esquizogênese uma outra Divindade”.

⁶ “A *Arkhé* é o que vem antes de tudo, no começo e no fim de tudo, o fundamento, o fundo imortal e imutável, incorruptível de todas as coisas, que as faz surgir e as governa. É a origem mas não como algo que ficou no passado e sim como aquilo que, aqui e agora, dá origem a tudo, perene e permanentemente” (CHAUI, 1994, p. 41).

múltiplos e diversificados discursos sobre os deuses e demais entidades envolvidas na origem do cosmo cedem lugar à postulação de uma única substância, ou princípio, capaz de explicar não apenas o começo, mas as atuais possibilidades de composição e origem de todas as coisas: *arkhé*, princípio que explicaria a constituição das coisas e do ordenamento cósmico⁷.

Para além das formulações pré-socráticas é possível caminhar no sentido de outras explicações da realidade em que a ordem e a determinação ganham ainda maior força. Organizações teóricas nas quais tudo deve ter o seu devido lugar, inclusive os movimentos aparentemente caóticos e as modificações imprevistas observadas na natureza. Tal é o caso da física de Aristóteles em que até o acaso só é possível devido à existência de uma ordem determinista que o precederia.

1.2 AS CAUSAS DO ACASO E DA SORTE

Aristóteles organizou a realidade cósmica de modo que tudo tenha a sua ordem e lugar, isso de forma que todas as coisas realizem as finalidades (*telos*) que lhes são próprias. Somente no mundo sublunar existiria a possibilidade de as coisas se movimentarem contra a sua natureza; tal possibilidade resultaria de um movimento “violento” produzido por algum agente. Cessada a força que o produziu, elas tenderiam a voltar ao seu lugar natural, como uma pedra arremessada para cima que depois cai voltando ao chão. Além do nosso mundo, em que tais movimentos são possíveis, existiria ainda o supralunar, mundo em que não há espaço para causas acidentais. Nele, todos os movimentos ocorrem seguindo uma trajetória circular e contínua, segundo causas necessárias, e obedecendo a uma finalidade da qual não podem se desviar. O universo seria então composto de uma série de esferas, uma atuando como motor movente da outra que se encontra em posição inferior. Essa sucessão de esferas seria finita, culminando em um último motor imóvel — ato puro associado por Aristóteles a Deus; uma espécie de

⁷ Flusser, em um texto intitulado *Caos e Ordem*, apresentado em um Simpósio de 1989, em Graz, na Áustria, comenta sobre a relação entre os pré-socráticos e as tentativas de ordenamento do cosmos: “Os pré-socráticos constataram que fenômenos celestes são mais bem previsíveis que os terrestres [...]. Suspeitaram pois que no céu reina a ordem, e na terra a desordem” (FLUSSER, 1989, p. 1). Nesse texto, Flusser relaciona a procura por liberdade, a busca de ordem a partir do caos: “A esta negação do caos não devemos apenas as ciências naturais, mas igualmente as sociais, e antes disso as filosofias, as religiões, os mitos e as magias. Tudo isso são tentativas de tornar o caos previsível, e abrir o campo da liberdade” (FLUSSER, 1989, p. 1). No final desse texto, Flusser vai conceber “ordem” como “computação intencional de virtualidades” e “caos” enquanto “virtualidade não computadas” (FLUSSER, 1989, p. 6).

pleno pensamento contemplativo capaz de pensar a si mesmo, finalidade última a qual todas as coisas buscariam alcançar (PESSANHA, 1999).

A física aristotélica demarca distinções como as de essência-acidente, ato-potência e matéria-forma. A essência é aquilo que é fundamental e sem a qual algo não pode ser o que é. Já o acidente implicaria os atributos não obrigatórios para algo ser o que é. O ato se refere àquilo que algo é no aqui e agora, na atualidade, e a potência àquilo que pode ser, possibilidades futuras de modos de ser que um ser atualmente, em ato possui (ARISTÓTELES, 1995).

Outra distinção aristotélica importante para a discussão entre acaso e determinismo é a de matéria (*hylé*) e forma (*eidós*). A noção de matéria poderia ser aproximada à de potência no sentido de ser algo indeterminado, mas propenso a receber determinada forma. A forma (*eidós*) se aproximaria do ato no sentido de ser por ela que a matéria receberia determinações concretas em dado momento, atualidade ou “aqui e agora” (ARISTÓTELES, 1995).

A partir dessas três relações é possível entender melhor como Aristóteles, por meio de sua *teoria das quatro causas*, compreendia os princípios que governam o movimento, sendo o movimento referente a toda mudança observada na realidade, e, os princípios mesmos, sinônimos das causas fundamentais a que estão sujeitas todas as coisas. Essas causas são a causa material (*hylé*), a matéria de que é composta alguma coisa; a causa formal (*eidós*), responsável pelas determinações das coisas em relação às suas configurações físicas, aspectos, delimitações e definições; a causa eficiente (*Kinoun*), responsável pelo movimento, pelas mudanças e pela produção de algo; a causa final (*telos*), a finalidade correspondente ao para que uma coisa existe (ARISTÓTELES, 1995).

Entre as causas eficientes estão aquelas que, por suas excepcionalidades em relação a uma regularidade natural, são denominadas causas acidentais (*symbebekos*): *tyche* e *automaton*. O acidental é usado por Aristóteles no sentido de encontro casual, contingente entre duas ordens causais distintas que acabam coincidindo em algum ponto (ARISTÓTELES, 1995).

No caso de *tyche*, esse encontro entre cadeias causais distintas envolve a deliberação humana que, por acidente, acaba produzindo um resultado fortuito, imprevisível, excepcional. A própria denominação *tyche* faz referência a uma divindade grega associada à sorte dos indivíduos e da pólis, ou seja, a um destino divino ao qual os homens estão submetidos. Aristóteles faz essa alusão para tematizar a sorte em sua teoria

da causalidade de forma a explicar os acontecimentos que, apesar de envolverem uma decisão humana, fogem de uma previsão racional indo além da finalidade que motivou a decisão. O exemplo usado pelo filósofo em sua *Física* é o de alguém que vai a uma praça e encontra casualmente alguém que lhe deve dinheiro. Apesar de receber o que lhe é devido, o passeio à praça não tinha, em princípio, essa finalidade (ARISTÓTELES, 1995).

Já *automaton* diz respeito a um conceito mais amplo que engloba *tyche* e que faz referência aos movimentos espontâneos e inesperados que ocorrem no mundo sublunar, independente da presença, ou não, de uma deliberação humana. O exemplo trazido por Aristóteles é o de uma pedra que ao cair atinge e fere alguém. *Automaton* pode ser relacionado aos encontros espontâneos, imprevisíveis e contingentes que ocorreriam como exceções que confirmam e reforçam os acontecimentos regulares na natureza (ARISTÓTELES, 1995).

Tyche e *automaton* como causas acidentais seriam encontros coincidentes entre cadeias que possuem finalidades outras que não aquela marcada pela coincidência, os quais ocorrem inesperadamente sem possibilidade de previsão, determinação ou controle.

Em contraponto à relação do acaso como causa acidental em Aristóteles, as elaborações de Lucrécio e de Epicuro servem de auxílio para pensar sobre o acaso como quebra de uma determinação mecânica dos fenômenos da natureza. Trata-se, desta vez, de conceber o acaso como desvio dos átomos de sua trajetória retilínea.

1.3 A LIBERDADE E O DESVIO DOS ÁTOMOS

Lucrécio em sua obra *Da natureza das coisas*, partindo de reflexões de Epicuro, trata o desvio imprevisível e espontâneo dos átomos de sua trajetória retilínea como negação da própria ideia de um princípio determinista e mecânico da natureza — determinismo defendido por Demócrito para quem *arché*, princípio que rege a *physis* (natureza ou substância que compõe todas as coisas), se constituía de partículas indivisíveis; átomos separados por espaços vazios, e que, devido ao peso, se moviam para baixo, em queda, seguindo trajetória retilínea, de acordo com uma causalidade rígida e determinada (ROSSET, 1989).

Para melhor compreendermos esse pensamento é interessante retomar a diferença entre a noção de desvio de Epicuro e de Lucrécio, como apontado por Garcia-Roza (1999). Em Epicuro os átomos, devido ao seu peso, se moveriam, inicialmente, de forma

paralela, retilínea e uniforme em um espaço vazio sem começo nem fim. A partir desse estado ocorreria, então, um desvio (*parénklisis*), resultando na colisão e agregação daqueles em corpos. O desvio seria colocado como princípio de indeterminação estabelecido em meio ao estado natural regido por uma causalidade necessária. Epicuro utiliza a noção de desvio dos átomos como forma de fundamentar, frente a uma visão fatalista e mecânica, sua teoria da liberdade e do livre arbítrio dos homens. Em contrapartida, para Lucrécio verifica-se o rompimento com a própria noção de uma natureza original, organizada por um princípio causal ao qual corresponderia a noção corrente da *physis* grega. O desvio não ocorreria na natureza ou mesmo no campo do necessário, mas consistiria no próprio acaso independentemente de quaisquer noções de ordem prévia. É nesse sentido que Lucrécio, em sua obra *Sobre a natureza das coisas*, elabora a noção de *clinamen*; a declinação dos átomos, que ocorreria sem lugar definido e em um tempo indeterminado — acaso inicial e caótico inerente ao surgimento das coisas independentemente de qualquer ordem. Garcia-Roza (1995, p. 32) enfatiza a diferença:

Mas em que o *clinamen* de Lucrécio difere do *parénklisis* de Epicuro? Enquanto este último é postulado com a finalidade de assegurar a possibilidade de liberdade no interior da ordem, o *clinamen* não é uma alteração da ordem, é ausência de qualquer ordem. O *clinamen* não é algo que acontece por acidente a uma ordem já constituída, ele está presente nos elementos que vão constituir as coisas.

Para Garcia-Roza (1995), enquanto o *parénklisis* formulado por Epicuro seria um movimento oblíquo dos átomos, a partir de movimentos verticais paralelamente ordenados, o *clinamen*⁸ de Lucrécio consistiria num desvio, presente desde o início, determinando ao acaso o encontro entre os átomos.

1.4 ACASO E DETERMINISMO NA ERA MODERNA

Durante a Idade Média, a razão se curvou à fé religiosa e às imposições da igreja. Os valores e normas postos pelo cristianismo ordenavam a realidade por meio de um determinismo divino. Existiram tentativas como a de Santo Agostinho e São Tomaz de

⁸ Um autor que faz a aproximação entre o átomo epicurista e a atividade do pensamento é Deleuze (1975). Deleuze entende o átomo epicurista como a mínima parte sensível de um objeto, a mínima parte pensável. Nesse sentido, ele compreende *clinamen* como o diferencial da matéria, e, portanto, aquele ínfimo momento do pensamento; incerteza que caracteriza o mínimo tempo contínuo pensável.

Aquino em conciliar as crenças cristãs com pensamentos racionais platônicos e aristotélicos da Grécia antiga, mas a razão sempre ficava subordinada à fé no Deus cristão.

No Renascimento, com a gradativa recuperação e revalorização de elementos da cultura greco-romana, o emprego e o desenvolvimento de conhecimentos matemáticos, como a geometria euclidiana e as descobertas revolucionárias na astronomia com Nicolau Copérnico (1473–1543), Johannes Kepler (1571–1630) e Galileu Galilei (1564–1642), ocorreu uma nova revalorização de pensamentos que traziam como núcleo principal do conhecimento tanto o poder lógico, dedutivo da razão, caso do racionalismo representado por René Descartes (1596–1616) e Gottfried Leibniz (1646–1716), como pensamentos que atribuíam essa importância às regularidades da experiência sensível, o empirismo representado por Francis Bacon (1561–1626) , John Locke (1632–1704) e, posteriormente, David Hume (1711–1776).

O futuro determinismo probabilístico irá ganhar força a partir principalmente de pensadores empíricos. Francis Bacon é considerado um dos fundadores da filosofia experimental, defendendo que a verdade nasce da experiência e que é necessário a formulação de um método capaz de organizar sistematicamente nossos conhecimentos sensíveis — um método de investigação indutivo da natureza que nos ajudaria a transformar experiências sensíveis caóticas em conhecimentos determinados e operáveis ao nosso próprio favor, diminuindo assim, os riscos de nos prejudicarmos com as ilusões que criamos diante da realidade. Tais ilusões são chamadas de ídolos e organizadas pelo filósofo em quatro tipos. Os primeiros, os “ídolos da tribo”, inerentes à natureza humana de reduzir o complexo ao mais simples mediante generalizações que partem de poucos casos — os boatos e a astrologia entrariam nessa classe, pois envolveriam crenças supersticiosas baseadas em evidências insuficientes. Os “ídolos da caverna”, nome inspirado no mito platônico pois referem-se às nossas tendências em distorcer experiências sensíveis devido a opiniões pessoais. Os “ídolos do foro ou mercado”, relacionados às ambiguidades da linguagem e aos equívocos da comunicação humana. Por último, os “ídolos do teatro ou autoridade”, ligados à submissão passiva a autoridades, sejam autores, sistemas filosóficos, leis ou regras inquestionáveis. Bacon acreditava no poder revolucionário dos conhecimentos científicos tendo chegado a escrever sobre uma sociedade utópica organizada a partir de tecnologias elaboradas por meio dos métodos empíricos da ciência, a Nova Atlântida (ANDRADE, 1999).

Nas ciências, o inglês Isaac Newton (1643–1727), por meio da obra *Princípios matemáticos da filosofia natural*, ajudou a impulsionar uma visão determinista do

universo em que os fenômenos são governados por forças conservativas, reversíveis no tempo e regidos por causalidades mecânicas. O acaso nesse universo seria fruto de desconhecimento. O auge dessa visão seria formulado pelo matemático Pierre-Simon Laplace (1749–1827), que acreditava ser possível determinar todas condições causais passadas e futuras do universo caso existisse um intelecto que conhecesse a totalidade das forças de movimento atuando em tudo que existe em um determinado momento. Tal inteligência onisciente e onipresente ficou conhecida como “demônio de Laplace”, sendo um símbolo da radicalização determinista da ciência newtoniana:

Portanto, contra o devir natural dos antigos, a ciência clássica nos oferece uma outra natureza pensada como um autômato e submetida às leis matemáticas, de tal forma que dadas as condições atuais de um determinado sistema do mundo, ela é capaz de fornecer com rigor e precisão seus estados passados e futuros. Nessa nova ciência não há lugar para o homem ou para os fatos históricos. E se o homem é incluído, é para ser explicado como um objeto dentre outros, submetido a esse determinismo universal. Na ciência clássica não há lugar para o acaso, o demônio de Laplace domina de forma absoluta” (GARCIA-ROZA, 1999, p. 40).

O filósofo americano Charles Sander Peirce (1839–1914) seria um dos primeiros a questionar a predominância do determinismo mecanicista newtoniano.

1.5 ACASO E DETERMINISMO NA COSMOLOGIA SEMIÓTICA DE PEIRCE

Tanto o acaso relativo à teoria aristotélica por meio das noções de causa accidental, quanto a noção de acaso compreendida como desvio dos átomos de sua trajetória retilínea (*clinamen*), presente em Lucrécio, ambas denominadas de “tiquismo” grego em referência a *tyque*, irão influenciar as reflexões metafísicas e cosmológicas contidas na semiótica de Charles Peirce. Para compreendermos essa influência, exporemos sinteticamente alguns conceitos fundamentais de seu pensamento. Num segundo momento procuraremos estabelecer a relação entre as suas reflexões e as duas formas de acaso presentes em sua cosmologia: o acaso matemático e o acaso absoluto.

Peirce (2005) elabora sua semiótica, ciência que busca estudar os processos comunicacionais a partir da compreensão do signo como qualquer coisa que representa algo para alguém. Para tanto, distingue três polos: o interpretante, o representante e o objeto. Os signos, portanto, podem ser classificados segundo certa organização da realidade que perpassa três formas de percepção dos fenômenos: a primeiridade em que

se tem contato com uma qualidade pura, presente e imediata destituída de qualquer distinção ou reflexão. Vincula-se às noções de possibilidade, potencialidade, liberdade, acaso e espontaneidade. A secundidade envolve a atualidade, o confronto com a alteridade, o choque com o outro, o esforço que acompanha a realização de uma ação irrefletida, a experiência de opostos. A terceiridade, por sua vez, está relacionada à elaboração de uma lei, ou regra geral, estabelecida por convenção, assim como a reflexão sobre nossas sensações, sentimentos e ações (PEIRCE, 2005).

Como pensar o acaso a partir da organização semiótica peirciniana da realidade? Como indica Salatiel (2008), Peirce, inicialmente, pensa o acaso a partir da matemática e da Lei do Grande Número⁹. Diante disso, o acaso é tratado como desconhecimento. Não obstante, envolve questões epistemológicas no sentido de permitir a determinação e a quantificação das tendências relativas a um evento futuro por intermédio de cálculos probabilísticos.

Além do acaso matemático, em certo momento de sua obra, Peirce também fala de um acaso absoluto. Diferentemente da incorporação aristotélica do acaso como um encontro acidental entre cadeias causais, consequência de uma ordem causal prévia¹⁰, Peirce argumenta que no início do cosmo já se faria presente um acaso original e caótico. Este estaria relacionado à primeiridade, estado do qual se produziria, em movimento evolutivo, ordens cada vez mais complexas com suas leis e princípios próprios. Peirce realiza uma espécie de inversão em relação à concepção de acaso aristotélica, colocando primeiramente a potência e, depois, o ato; antes a pura matéria indeterminada, e, depois, a forma com suas delimitações e determinações. O acaso caótico inicial estaria ligado ao próprio movimento de evolução do universo, sendo as primeiras determinações já uma passagem à secundidade; índice de uma divisão material em que ocorrem os primeiros movimentos de um dado evento “A” em direção a um evento “B”. Com a evolução do

⁹ Segundo a Lei do Grande Número, com o aumento das observações de determinado evento, a frequência de sua ocorrência tende a se aproximar de uma probabilidade específica. Essa lei é um dos teoremas fundamentais das leis da probabilidade.

¹⁰ Salatiel em sua tese *Sobre o conceito de acaso em Charles S. Peirce*, discorre acerca da influência das elaborações teóricas de Aristóteles e Epicuro sobre a compreensão do acaso. Peirce denomina essas teorias de tiquismo grego, em referência à deusa *Tyque* (fortuna para os romanos) — divindade que, como apontado, está relacionada à sorte e ao destino dos cidadãos e da pólis. O tiquismo grego faz referência tanto às elaborações de Aristóteles sobre o acaso por meio das noções das causas acidentais, quanto às elaborações de Lucrecio e Epicuro acerca do desvio dos átomos de sua trajetória retilínea. Sem levar em consideração a distinção entre *parenklisis* e *clinamen*, essas noções, por não quebrarem totalmente com certa determinação causal, são aproximadas ao que Peirce entende por acaso matemático. O acaso absoluto estaria mais próximo da noção de potência em Aristóteles (SALATIEL, 2008).

cosmo e a consolidação das determinações em regularidades naturais, o universo caminharia de um estado inicial caótico e aleatório, embora simples e livre de determinações causais (primeiridade), para o campo da terceridade. Este último constituído por uma maior complexidade e diversidade, contendo diferentes sistemas com seus padrões, leis e determinações causais (SALATIEL, 2008).

Pierce faz críticas à mecânica newtoniana buscando apontar os seus limites em sistemas não conservativos. Nesse sentido utiliza-se de noções advindas da termodinâmica e da teoria da evolução de Darwin para embasar sua cosmologia. A termodinâmica clássica se aproximaria da noção de acaso matemático ao propor que sistemas idealmente fechados (sem troca de matéria, energia e informação com o meio externo) tendem probabilisticamente a aumentar seu grau de organização diminuindo sua entropia (grau de desorganização), sendo esses sistemas fechados sujeitos a processos reversíveis, ou seja, que podem voltar ao seu estado original. Essas noções serviriam de analogia para a atuação do acaso matemático probabilístico que produziria ordem e regularidade em pontos específicos do cosmo fazendo com que eles evoluíssem em direção a uma certa uniformidade e homogeneidade, produzindo hábitos e leis locais. No caso da teoria da evolução, a importância da variabilidade e da contingência no processo de seleção natural seria relacionada à atuação do acaso absoluto que geraria quebras na regularidade do cosmo. Os seres vivos como sistemas abertos, ao estarem a todo instante trocando energia, matéria e informação com o meio, seriam não conservativos, dissipando sua energia até morrerem, estando, portanto, sujeitos a processos irreversíveis. O cosmo não dissiparia sua energia até sua própria extinção pois, enquanto o acaso absoluto atuaria no sentido de possibilitar um aumento de complexidade, pela quebra de padrões e geração de excepcionalidades, por outro lado, entraria em ação, em regiões locais, o acaso matemático fazendo com que localmente o cosmo fosse estruturado pelo seguimento ortodoxo de leis e regularidades específicas. Do entrelaçamento desses dois acasos ocorreria produção de uma “heterogeneidade organizada” (SALATIEL, 2008).

A evolução do cosmo, do acaso caótico à ordem complexa, com diferentes leis e determinações, põe em funcionamento o acaso matemático probabilístico como uma espécie de tendência à racionalização e à aquisição de hábitos presentes no universo. De outra parte, a quebra das leis e regularidades verificadas no universo, bem como a produção de eventuais excepcionalidades, ocorreria devido ao acaso absoluto. O universo estaria expandindo-se e aumentando sua complexidade. As leis e regularidades da natureza, por si só, não seriam capazes de explicar os processos evolutivos responsáveis

pela produção da diversidade e heterogeneidade presentes na realidade. Peirce defende um acaso inicial e espontâneo que continua a agir sobre o universo sob a forma do acaso absoluto; independentemente de quaisquer determinações causais e lógicas. Este processo envolveria inclusive a semiose humana tornando todo conhecimento algo transitório e sujeito a mudanças. Ao considerar a junção entre o acaso matemático e o acaso absoluto, Peirce admite certa imprecisão e vagueza não apenas no cosmo como em sua própria teoria semiótica, pois tanto a realidade objetiva quanto o pensamento estariam constituídos por um misto de caos e ordem.

Retomando: o acaso absoluto, envolvendo a primeiridade, seria uma espontaneidade ou potência produtora de indeterminação na realidade, exercendo, com isso, uma função evolutiva e organizadora de sistemas complexos no universo. Diante dessa concepção de Peirce, resta a seguinte indagação: o que ocorre quando surge uma ordem capaz de englobar o próprio acaso de maneira que a sua força desviante em relação ao pré-estabelecido, seu *clinamen*, se inverta, transformando-se em determinação ordenadora, em fundamento de uma nova ordem que se impõe como dominante? Uma ordem paradoxal programada para incorporar as virtualidades do acaso; uma ordem regida por processos autônomos e espontâneos que admitem tanto as leis e regras quanto suas transgressões; uma ordem eficaz em eliminar as próprias tensões entre caos e ela mesma de modo a inverter automaticamente os polos que se contradizem. Para pensar sobre essa nova ordem caótica recorreremos ao auxílio das reflexões de Christoph Türcke sobre a constituição de viações nervosas que possibilitam a conservação do acaso, e à análise de uma sociedade pós-histórica dominada por aparelhos de Vilém Flusser.

1.6 INTELIGÊNCIA ORGÂNICA E CONSERVAÇÃO DO ACASO

Após passar, de maneira breve, pelas narrativas míticas até as primeiras elaborações filosóficas racionais sobre a origem do cosmo, a partir da formulação de certos princípios de determinação da realidade, ou mesmo a negação da existência de tal princípio, como no atomismo de Lucrécio, e abordar a influência do tiquismo grego sobre a cosmologia e a semiótica peirciniana, neste ponto serão expostas teorizações que ajudam a compreender a relação entre acaso e determinismo na formação das atividades primitivas do pensamento. Para isso, serão utilizados alguns argumentos filogenéticos levantados por Türcke (2010) envolvidos na transição da natureza para a cultura. Pontos

que salientam transformações sucessivas de excitações em alucinações e destas em representações mentais.

Türcke (2010) busca retomar acontecimentos relacionados à origem da cultura, analisando pela dialética e pelo materialismo histórico a própria constituição da pulsão freudiana, seguindo as pistas deixadas por Freud na elaboração do conceito de compulsão à repetição traumática. Tal apreciação perpassa desde o mistério do automovimento no cosmo até a constituição de viações neurais voltadas à descarga de estímulos excitantes quando estes são apresentados em excesso ao organismo. A exposição de seres humanos a repetidos choques inesperados é tomada como impulso inicial para uma dinâmica de formação histórica dos sonhos que não se dá de forma estática, mas que dialeticamente — no sentido de confrontação, entrelaçamento e troca de lugares entre opostos — é regido por três contramestres: deslocamento e condensação, salientados por Freud, e inversão, promovido, por Türcke, junto aos outros dois, à categoria de contramestre. Esses três conceitos servem como referência para situar o rastro envolvido na origem das atividades primitivas do pensamento — elementos que acompanham a passagem da natureza, pelo afrouxamento de suas próprias forças impulsoras, para a cultura.

Apesar de refletir sobre a origem filogenética da cultura, Türcke (2010) não pretende colocar a compulsão a repetição traumática como princípio explicativo da realidade, como fizeram os pré-socráticos, expresso no conceito de *arkhé*, e Aristóteles, com a noção de uma causa teleológica do cosmo, atuando como motor imóvel. O autor enfatiza:

A compulsão à repetição traumática é o buraco de agulha filogenético para cultura, buraco sem alternativa, mas não é princípio - isso, pelo fato de que está em profundo desacordo consigo mesmo. A sua fuga do susto é também constantemente fuga de si mesmo. Ela quer parar; por isso repete constantemente o assustador. Assim é a compulsão humana por excelência e mostra exemplarmente o que as pulsões querem: precisamente permanecer sossegadas (TÜRCKE, 2010, p. 302).

Coloquemos a seguinte situação: um organismo exposto a uma enxurrada de estímulos impactantes, imprevisíveis e assombrosos, produtores de um ameaçador estremecimento, indício da possibilidade de diluição de sua unidade em um ambiente sem limites internos e externos. Frente a repetidas exposições a essa energia excessiva, oriundas inclusive do interior do próprio corpo, o organismo ameaçado, incapaz de transformar o excesso energético em ações motoras de fuga, realiza um processo de

deslocamento, condensação e inversão, em que a energia excedente, gerada em sucessivos choques, vai deixando de produzir apenas fuga e distanciamento. Esse excesso energético produz uma sobrerreação tão intensa que é capaz de ir além da estratégia de defesa de muitos animais, os quais, diante de uma ameaça, para a própria proteção, procuram mimetizar o ambiente. Além do mimetismo, o ser humano ultrapassa a ameaça apavorante, não apenas se acomodando às excitações amedrontadoras, mas fazendo com que o que lhe apavora seja acomodado.

Como recurso, para diminuir a tensão trazida pelo impacto imediato do excesso de excitação, o organismo, antes mesmo da exposição aos estímulos ameaçadores, prepara-se para uma possível aproximação da fonte de angústia e pavor. Ocorre uma tentativa de reprodução alucinada do horror, uma espécie de voltar-se contra si homeopático, possibilitando ao organismo aumentar sua imunidade diante de futuras e imprevisíveis manifestações aterrorizantes. Esse processo é relacionado por Türcke (2010) a uma forma primitiva de reflexividade humana. O susto perturbador começa a ser transformado em angústia antecipatória, estratégia de defesa do organismo para dominar e diminuir os efeitos do excesso de energia impactante.

A alucinação, por sua vez, reflete um movimento de inversão, movimento que poderia também ser denominado de fuga para a frente, pois consiste em um modo de adiantar o perigo de forma a se preparar para ele. Inverte-se a fuga em evacuação, impulso revertido, deslocamento que no lugar do distanciamento entre organismo e estímulos leva os estímulos a fugirem do organismo pela produção de viações nervosas. Para aliviar o aumento de tensão, viabiliza-se um caminho, forma-se um percurso que, ao mesmo tempo em que é formado, deixa suas marcas, facilitando a repetição posterior de trajetos semelhantes, reprodução com possibilidades de desvios, mas que começa a concretizar uma estrutura com um grau considerável de determinação, condicionando as possíveis viações futuras.

Em uma combinação de determinação (caminhos neurais preparados por viações já percorridas por antigos impulsos) e acaso (bilhões de sinapses e possíveis caminhos viáveis que futuros impulsos podem percorrer), desenha-se o caminho neurofisiológico em direção ao pensamento, como indica Türcke:

Precisamente esse excesso esbanjador de possibilidades é a base da inteligência do cérebro. Ele, de fato, afrouxa a determinação neural. No excesso de oferta de possibilidades não é mais possível combinar, de modo exato, sobre qual seria a sequência ótima de sinapses para os

impulsos elétricos em sua viagem pelo cérebro, o caminho do menor esforço [...]. Na transcorrência da evacuação de estímulos há um momento de espontaneidade, algo não determinado, um grau de liberdade. Este, porém, representa um específico potencial de inteligência (TÜRCKE, 2010 p. 146).

Para dar base material a esse afrouxamento dos impulsos naturais em direção à cultura, processo relacionado à atividade primitiva do pensamento, Türcke (2010) destaca a presença de três momentos interdependentes envolvidos na condução nervosa de estímulos: a base neural, a viabilização de fuga de estímulos e as viações.

Fazendo uma analogia com a narrativa mítica da origem, o caos gera uma ordem sem deixar de gerar a si mesmo simultaneamente. No caso da teoria aqui exposta, o ponto de partida é o acaso caótico de choques estranhos e apavorantes, não tendo o organismo um preparo nervoso para seus impactos, restando para diminuir a tensão, a formação de caminhos opostos. Por um lado, a fuga dos estímulos excitantes; por outro, não podendo deslocar-se para fugir dos estímulos, resta-lhe o desenvolvimento de mecanismos para a evacuação das excessivas estimulações. Surgem as viações nervosas que podem ser associadas à conservação de um repertório de conduta do organismo.

Por meio de inúmeras repetições que vão se autonomizando, em relação à presença do choque traumático, ocorre a formação das primeiras viabilizações para a evacuação de energias excitatórias, o que equivale a certa estrutura capaz de facilitar futuramente a utilização de viações anteriormente percorridas. Na medida em que antecipa alucinatoriamente, mesmo que inicialmente na forma de angústia, futuros contatos com estímulos pavorosos, ocorre uma maior preparação para eles, o que aumenta consequentemente o repertório do organismo para enfrentar as ameaças antes que elas aconteçam.

No nível do sistema nervoso, a evacuação de estímulos se apresenta por meio da constituição programada genética e epigeneticamente¹¹ de viabilizações capazes de, uma

¹¹ “Epigenético”, na verdade, é apenas um conceito ambíguo para algo não localizável exatamente, algo que não é genético, mas que também não é adquirido individualmente. O termo grego *epi* significa “tanto quanto”, “após”, “pospor”. Um epílogo é um dizer posterior; um epifenômeno é algo que “está pendente” num fenômeno, um acessório; filosoficamente se poderia falar de um acidente que se agrega à substância, sem o qual não resulta em algo concreto. A substância genética de um organismo também precisa de tais acidentes, de certo modo, de um *back office*, sem a ajuda da qual ele nem poderia se desenvolver em um organismo individual. [...]. O limite do epigenético com o aspecto genético é igualmente tão indistinto quanto o aspecto individual. Onde terminam os desempenhos prévios não mais modificáveis do epigênio e inicia aquilo que um organismo ainda pode modificar ao longo da vida, isso nunca se pode indicar com certeza (TURCKE, 2010, p. 148).

vez formadas, facilitar a sua repetição futura, delimitando caminhos mais rígidos, as viações. Ocorre o estabelecimento de uma estrutura nervosa mais fixa, isso sem deixar de manter um impulso de liberdade, certa conservação do acaso, faísca para o surgimento de uma inteligência orgânica. Esta última relacionada às viações neurais que conseguem, ao mesmo tempo, manter um repertório que pode ser repetido, possibilitando a formação da memória, sem deixar de abrir espaço, por meio das inúmeras conexões sinápticas, para a variabilidade de desvios contingentes e contextuais.

Paralelo ao desenvolvimento de uma estrutura cerebral que permite o desenvolvimento da inteligência humana, percorrendo o caminho de encobrimento do susto aterrorizante pela alucinação e posteriormente pela representação mental, Turcke também aponta para o caminho acústico do desenvolvimento do pensamento, neste caso acompanhando o percurso histórico de formação da linguagem ao longo de diversas transformações culturais. Assim como a alucinação vai servir de base e permitir o surgimento da representação mental, o nome vai ser a base e o substrato que permitirá o surgimento da linguagem. Começando com os sons difusos emitidos pelos homens primitivos em situações apavorantes, passando pela passagem de gritarias e balbucios, a constituição da palavra e do nome, e deste último em frase, o filósofo expõe:

Quando a palavra surgiu, ela era plena de excitação torturante — e, com isso, repleta do desejo de expressar a tortura gritando e, assim, novamente desaparecer. Constantemente, porém, restou algo mais da tortura do que se podia exprimir gritando. Em vez de se apavorar, a palavra se firmou. Sem que cessasse de ser válvula de excitação, ela se tornou asilo de excitação: nome. Ele devia consagrar o susto, isto é, torná-lo um poder de proteção, mas restou muito mais do susto do que se podia desviar. Ele devia atribuir integridade ao nomeado, mas ocorreu bem menos integridade do que ele conjurou. Deste modo, afixaram-se complementos no nome, autonomizaram-se, voltaram-se contra ele, rebaixaram-no a um componente profano da frase e pressionaram o seu impulso sagrado e invocativo para o subterrâneo da linguagem, em que ele desde aí leva a sua existência reprimida como seu forno subcutâneo de excitação e desassossego. Assim a palavra tentou curar-se a partir de si mesma à semelhança da alucinação, que outrora havia iniciado como cura da excitação traumática, mas que mesmo não sendo suportável necessitou de outras curas, fez surgir de si o mundo das representações mentais e, por estas mesmas representações que se voltavam contra sua causadora, foi rebaixada ao subterrâneo mental, e desde então não cessa de constantemente soltar labaredas até o mundo da representação como geradora de impulsos e agitadora (TURCKE, 2010, p. 294).

Essas passagens de excitações caóticas em estruturas passíveis de determinações, compostas seja de representações mentais ou de linguagem, têm como motor de formação o processo de repetição. Esta, como afirma TURCKE (2010), não é apenas algo que acontece sempre de novo, mas também algo que se altera sempre um pouco cada vez que é repetido. Os indícios da compulsão à repetição relacionados à passagem de processo naturais para a cultura podem ser encontrados nos rituais de sacrifício. Assim como a alucinação seria uma espécie de fuga para a frente, em que o organismo anteciparia um estímulo angustiante a fim de diminuir a tensão produzida pelo impacto direto e inesperado com um evento agonizante, os rituais sacrificiais seriam uma forma de reproduzir, em formato mais controlado, experiências apavorantes de modo que, pela repetição, ocorre uma apropriação dessas experiências capaz de propiciar a inversão de seus efeitos sobre o organismo. Evitando os excessos de excitações de um susto produzido pelo acaso, os processos de deslocamento, condensação e inversão da experiência de horror em rituais de sacrifício, presentes na pré-história da humanidade, ajudaram a consolidar e desenvolver a imaginação, a linguagem e o pensamento no homem — processo sujeito a uma nova inversão no sentido oposto, agora do enfraquecimento:

Um maquinário audiovisual tecnicamente aperfeiçoado trabalha em tempo integral, repete sem cessar a irradiação dos seus aclamados impulsos de atenção, mas essa irradiação não repete mais processos de movimentação do tipo que se sedimenta em rituais e hábitos. Ao contrário: ela os densedimenta. A excitação traumática que outrora impulsionava no sentido de formação e repetição de rituais, o desejo de se livrar dessa excitação e encontrar repouso — tudo isso é estranho à compulsão à repetição técnica. Ele funciona de modo meramente mecânico; sem dor, sem cansaço, sem desejo, sem objetivo. A tremenda força de sua simplicidade e de sua autossuficiência coloca em andamento nada menos que a inversão da lógica da repetição humana (TURCKE, 2016, p. 80).

Tais reflexões tentam apontar elementos envolvidos no percurso de sedimentação das atividades cognitivas cerebrais por meio dos processos de condensação, deslocamento e inversão atuantes na transformação da natureza em cultura — percurso histórico que, em sua radicalização tecnológica, tende a caminhar para uma reinversão, causando um afrouxamento, relaxamento ou densedimentação das energias cognitivas. As máquinas assumem o lugar do cérebro em muitas atividades, exercitando no seu lugar os esforços intelectivos necessários ao desenvolvimento do pensamento e da inteligência. A automatização mecânica, simulando funções cognitivas, dispensa o homem das etapas

intermediárias envolvidas no treino da atenção, percepção, memória, linguagem e pensamento. Nos tempos hodiernos consolida-se uma nova inversão, o próprio funcionamento do sistema nervoso e dos neurônios é tomado de modelo para a construção de máquinas e programas, que é o caso da inteligência artificial conexionista, com suas redes neurais artificiais, assim como a própria seleção natural, formadora do código genético, tomada como referência na computação evolutiva para a construção de algoritmos genéticos.

As tecnologias, ao tentarem reproduzir as habilidades humanas como revisores de texto, programas de busca de informações, editores de imagens e vídeos, redes sociais de comunicação, calculadoras, programas de reconhecimento e classificação automática de padrões, acabam por produzir a adaptação das capacidades humanas de imaginar, formar conceitos, raciocinar e lembrar ao uso desses programas e aparelhos:

Os movimentos maquinais permitem ser repetidos incomparavelmente melhor que os humanos, isto é: por programação. A qualidade de um programa maquinal consiste em que ele pode transcorrer sempre de novo com a mesma confiabilidade. A habilidade das máquinas é uma nova habilidade de repetição, por assim dizer, sobre-humana. Aquilo que as máquinas desempenham, elas realizam costumeiramente muito mais rapidamente, de modo mais exato e mais permanente do que os homens, no entanto nunca sem que os homens com ela se ocupem. E isso significa: todas as repetições que o homem repassa para a máquina retroagem sobre ele (TÜRCKE, 2010, p. 304).

A repetição e coordenação mecânica de atividades cognitivas por meio de aparelhos diminui, quando não dispensa a necessidade de o homem exercitar com seu próprio corpo e sistema sensorial os esforços envolvendo a coordenação e organização de trabalhos intelectivos mais elaborados. A falta de exercício, por sua vez, favorece o condicionamento das sensibilidades humanas a vínculos de dependência com as mediações tecnológicas. Tempo e energia são dedicados à realidade vista por intermédio das interfaces dos aparelhos, em detrimento do repertório para elaboração de experiências concretas, presenciais e históricas independentes do suporte de aparelhos audiovisuais e do registro em arquivos digitais.

1.7 A ABSURDA PROGRAMAÇÃO DO ACASO

Vilém Flusser (2011) em seu livro *Pós-História* fornece uma perspectiva interessante e complementar ao que foi exposto para pensarmos as relações entre

necessidade e acaso, destino e causalidade, religião e ciência. Contraposições que servem de alicerce para diferentes maneiras de compreendermos as características do pensamento humano para além de sua simulação inteligente. Para tanto, Flusser delimita três perspectivas relacionadas, respectivamente, ao legado mítico, aos pressupostos oriundos das ciências da natureza, e, mais contemporaneamente, aos programas produzidos ao acaso e sem causa ou propósito definidos:

A nossa herança mítica habituou-nos à noção de uma existência e de um mundo regidos pelo destino, e as ciências da natureza despertaram em nós a noção de uma existência e de um mundo regido pela causalidade. A atualidade exige que repensemos tais noções, a do destino, a da causalidade, e a do programa (FLUSSER, 2011, p. 37).

A primeira perspectiva se refere ao pensamento mítico religioso e, portanto, a uma perspectiva “finalista”. Está mais ligada às questões colocadas pela religião em termos de destino e de livre-arbítrio. Nos dois extremos dessa forma de pensar estão, de um lado, o aprisionamento do homem a um destino fatal e, de outro, à possibilidade de exercício do arbítrio humano no sentido de emancipar-se de seus impulsos mais íntimos em direção ao pecado. O tempo, concebido por uma visão em que ainda predominavam as atividades agrícolas, é circular, orbital. O homem nesse universo pode tornar-se fonte de certa violência e injustiça ao deslocar as coisas de seu devido lugar, deixando ao destino o trabalho de recolocá-las em sua posição natural, segundo uma ordem pré-estabelecida.

Uma segunda abordagem, desta vez baseada em concepções científicas, é denominada pelo autor de “causalística”. Essa visão se aproxima de uma forma de pensar mecanicista, contrapondo determinismo e caos, de modo a excluir a noção de liberdade, na medida em que a reduz ao mero desconhecimento subjetivo diante das complexas relações entre causas e efeitos que engendram objetivamente a realidade. Essa maneira de ver o cosmo o estrutura conforme uma sequência determinada, em que as ligações entre situações prévias e consequências futuras tornam-se inevitáveis. O homem seria, também ele, fruto de uma cadeia causal que organiza os processos evolutivos e biológicos. A esse cenário corresponde a época industrial em que o tempo fora visto de forma linear, seguindo uma sequência unidirecional, como ocorre no transcorrer de um rio. O presente, nessa perspectiva, pode ser tratado como um ponto em uma reta. Nesse mundo, o homem é o responsável pelos próprios atos, sendo estes irreparáveis e definitivos, por mais que sejam frutos de causas desconhecidas e tenham efeitos imprevisíveis.

Por fim, a terceira visão corresponde à “programática” em que os aparelhos e seus programas digitais comandam toda a realidade num jogo absurdo de acasos. Para Flusser (2011) estaríamos entrando numa época pós-histórica em que o pensamento passaria a ser regido por programas. Estes programas jogam com todas as virtualidades possíveis de forma absurda, e sem obedecer a nenhum propósito ou causa. O tempo, então, passa a ser dominado pelo presente. Desse modo, torna-se intolerante às ausências, atuando como um campo magnético que atrai e consome tanto o passado, como o futuro, bem como todas as possibilidades virtuais, tempo em que o limite entre a realidade e a ficção é enfraquecido, não importando mais se algo é real ou não, mas sim que as coisas (principalmente os aparelhos) funcionem conforme o programado:

O que caracteriza os programas é o fato de que são sistemas nos quais o acaso vira necessidade. São jogos nos quais todas as virtualidades, até as menos prováveis, se realizarão necessariamente, se o jogo for jogado por tempo suficientemente longo [...]. Estruturas tão absurdamente improváveis como o cérebro humano surgem necessariamente ao longo do desenvolvimento do programa contido na informação genética, embora tenham sido inteiramente imprevisíveis na ameba, surgem ao acaso em determinado momento (FLUSSER, 2011, p. 40).

Pensamentos estritamente científicos ou religiosos, na atualidade, convivem com essa nova lógica aberrante em que as esferas contrapostas da ciência e da religião veem-se embaralhadas segundo combinações caóticas, agora organizadas por programas:

O conceito da visão programática é, pois, o acaso. Isto é o que é novo. Para o pensamento finalístico não há acaso: o que parece ser acaso é na realidade um propósito ainda desconhecido. Tampouco há acaso para o pensamento causalístico: o que parece ser acaso é na verdade causa ainda não descoberta. Mas para o pensamento programático é o contrário que ocorre. O que parece ser propósito, e o que parece ser causa, são na verdade acasos ingenuamente interpretados. O pensamento finalístico é ingênuo, porque procura causas por detrás dos acasos, a fim de conferir-lhes significado. O pensamento causalístico é ingênuo, porque procura causas por detrás dos acasos, a fim de ordená-los... Destarte a visão programática revela o pensamento finalístico enquanto ideologia antropomorficante, e o pensamento causalístico enquanto ideologia objetificante [...]. A visão programática é a visão do absurdo (FLUSSER, 2011, p. 41).

Essa programação absurda, que inverte caos em ordem ao computar e jogar com todas as potencialidades latentes da realidade, revela, por sua vez, um movimento de passagem de mundo histórico, escrito em linhas que seguem certa linearidade narrativa e

textual, para um mundo pós-histórico, ordenando de acordo com códigos digitais, regido por fluxos de dados e informações, por conexões rápidas, de fácil abertura às novas relações, em detrimento de um contato duradouro com um único e mesmo conteúdo.

Nesse “admirável mundo novo”, encontramos o analista de sistemas responsável por manipular os códigos que constituem essa nova sintaxe digital. Ganham ênfase as tentativas que vêm sendo desenvolvidas desde os primórdios das ciências cognitivas a partir das concepções cibernéticas, as quais procuravam elaborar aparelhos que agissem com autonomia em relação ao próprio homem. Autômatos artificiais, autorreguláveis e capazes de aprender a partir de uma interação com o ambiente de modo a modificar a sua própria programação inicial. As elaborações cibernéticas foram consolidadas e aperfeiçoadas com o desenvolvimento do campo da inteligência artificial, assim como da informática em geral. Elas são organizadas não apenas por linhas de comando, rotinas e instruções lógicas, mas também por meio de simulações do sistema nervoso, modelos¹² mecânicos de conexões neuronais. Redes nervosas artificiais, denominadas *perceptrons*, compostas por pequenas calculadoras algébricas (unidades de ativação) habilitadas a modificarem as forças e os “pesos” de suas conexões, melhorando seus desempenhos, aprendendo e identificando padrões a partir dos diferentes dados a que são expostas. Esses processos artificiais tentam simplificar fenômenos cognitivos naturais para, desse modo, permitir sua materialização mecânica. O objetivo, com isso, é o de reproduzir e automatizar, em seus aspectos gerais, os comportamentos hipotético-dedutivos, no caso da inteligência artificial simbólica, exemplificada por programas denominados sistemas especialistas, e os comportamentos indutivo-classificatórios por meio da inteligência artificial conexionista baseada em redes neurais artificiais.

Por sua vez, além dos programadores, a ênfase também recai sobre profissionais envolvidos com a produção de formas atraentes aos aparelhos e conteúdos virtuais: designers, publicitários e técnicos audiovisuais responsáveis pela manipulação semiótica dessas novas linguagens programáveis de forma a atrair os consumidores digitais. Transformando o acaso em *insight*, esses técnicos da forma buscam construir signos que atuem como sereias virtuais em um mar de (in)formações audiovisuais. Signos capazes de encantar os navegadores amarrados em seus aparelhos eletrônicos dirigidos não mais

¹² É significativo o efeito de inversão que o termo modelo permite, de algo que imita a algo a ser imitado. Dupuy (1996, p. 186) expressa bem essa ambiguidade: “Mas, no mais das vezes, é de maneira irrefletida que o objeto e o modelo sentem uma aborrecida tendência a constantemente inverterem seus papéis. Oscilação que a própria palavra modelo, como dissemos, encerra em sua ambivalência: é modelo o que imita, mas também o que merece ser imitado”.

por trabalhadores embrutecidos, mas por mecanismos automáticos e autônomos em relação aos próprios esforços e deliberações humanas. Ao homem resta apenas divertir-se segundo as categorias e funções programadas em aparelhos aos quais estão amarrados:

A cultura moderna, burguesa, fez a separação brusca entre o mundo das artes e o mundo da técnica e das máquinas, de modo que a cultura se dividiu em dois ramos estranhos entre si: por um lado o ramo científico, quantificável, “duro”, e por outro o ramo estético, qualificador, “brando”. Essa separação desastrosa começou a se tornar insustentável no final do século XX. A palavra design entrou nessa brecha como uma espécie de ponte entre esses dois mundos. E isso foi possível porque essa palavra exprime a conexão interna entre técnica e arte. E por isso design significa aproximadamente aquele lugar em que a arte e a técnica (e, conseqüentemente, pensamentos, valorativos e científicos) caminham juntos, com pesos equivalentes, tornando possível uma nova forma de cultura (FLUSSER, 2007, p. 183–184).

Na sociedade codificada e programada, como exposta por Flusser, predomina uma espécie de acaso matemático e probabilístico que atua no sentido de possibilitar, estatisticamente, a computação e organização segundo cálculos proposicionais, de incontáveis virtualidades. Nesse jogo até o caos é transformado em uma variável de destaque. O simples fato de sua nomeação dar contornos ao que é caracterizado por não ter contornos já mostra a contradição introduzida pela nomeação de uma entidade que se distinguiria em princípio por ser inominável; negação de qualquer ordem e determinação. Interessante perceber como esse processo já estava na base de um trajeto por meio do qual se desenvolveu a própria razão ocidental: a concepção mítica quanto à passagem do caos a um ordenamento determinista e instrumental.

Para o pensamento radicalmente instrumentalizado e racionalizado, o caos consolida a inversão de seu sentido, contribuindo para nomear explicações que buscam relações de determinação entre todos os eventos da realidade. Esse é o caso da Teoria do Caos em que o simples bater de asas de uma borboleta pode apresentar relações causais probabilísticas com fenômenos que podem vir a ocorrer do outro lado do mundo; relações aparentemente caóticas, mas que podem ser explicadas com base em teorias matemáticas como as dos sistemas não lineares. Para organizar e determinar a existência da própria conexão entre as coisas, recorre-se à noção de caos com o intuito de nomear teorias apropriadas para o estabelecimento de padrões. O caos é assim invocado para negar o próprio caos como algo indeterminado. Ele se torna um conceito teórico que afirma a obediência de tudo a uma ordem complexa e universal.

Em um mundo em que tudo deve ter o seu lugar, inclusive o caos e o acaso, a atividade do pensamento se reifica por meio de um processo automático e autônomo, emulado pela máquina que o próprio pensamento foi capaz de produzir. Isso ao ponto em que a sua produção possa finalmente substituí-lo. Eis uma inversão implícita realizada por muitos cibernéticos que buscavam não a humanização da máquina, mas a mecanização do humano. Dupuy¹³ (1996) aponta que o autômato cibernético ao ir em direção à mecanização do humano revela a presença, na constituição do próprio homem, do seu negativo, de seus aspectos inumanos. Contudo, com a automatização da cognição, essa mesma questão do que é ou não humano perde sentido. Para o pensamento programado o importante é que as coisas funcionem.

Diante dessas circunstâncias existiria alguma forma de engajamento possível? Flusser (2011, p. 151) nos indica um caminho:

Não podemos, pois, engajar-nos na inteligência humana contra tais virtualidades pré-intelectuais, não podemos engajar-nos em prol da “razão”, porque sabemos estar a própria razão no programa de tais virtualidades. Somos contrarrevolucionários em ambos os sentidos: receamos tanto o antirracionalismo romântico quanto o racionalismo iluminista. Sabemos que ambos estão no programa, e conhecemos as suas realizações: o fascismo e a sociedade dos aparelhos. Em outros termos sabemos que a inteligência tem estupidez que a estupidez do coração ignora. Isto torna ambivalente o nosso contrarrevolucionarismo. Somos contra tudo. Nosso engajamento em liberdade é totalmente negativo.

Nesse ponto específico da reflexão, Flusser mostra-se um pensador dialético. Seu engajamento pela liberdade se dá por meio do negativo. Ele se restringe a pensar a liberdade em sua impossibilidade no momento atual. Aliás, eis uma indagação que deve ser levada ao extremo no sentido de se pensar a própria liberdade no âmbito do pensamento. Nesse sentido, a compreensão de Theodor W. Adorno a respeito do pensamento pode contribuir para outras reflexões no que tange à relação entre inteligência, determinismo e liberdade.

¹³ Em seu livro *Nas origens das ciências cognitivas*, Dupuy (1996, p. 143) comenta a respeito das influências da cibernética sobre o pensamento laciano. Com esse intuito faz referência a uma citação de Lacan em que o psicanalista afirma que a máquina não é humana, mas que permanece a questão de saber se o que se entende por humano é tão humano assim.

1.8 INQUIETUDES DE UM PENSAMENTO QUE RESISTE À SUA PRÓPRIA COERÇÃO

Segundo Adorno (2009), o pensamento é visto como a tentativa autorreflexiva de compreender a realidade por meio da sua organização e classificação em conceitos — tentativa fadada ao fracasso e ao equívoco devido à própria contradição presente nos conceitos que buscam explicar e identificar algo de não conceitual; algo presente no objeto e com o qual o pensamento fica sempre em dúvida, buscando tensionar seus limites no intuito de ultrapassá-los. Nesse ponto, Adorno (2009) salienta o momento de não liberdade inerente ao próprio pensamento:

[...] os pensamentos não são de maneira alguma livres. Poder-se-ia comprovar a sua não liberdade mesmo antes de todo controle social, de toda adaptação às relações de dominação, em sua forma pura, na consistência lógica, a coerção em face daquilo que é pensado tanto em face daquele que pensa e que só se apropria do pensado por meio da concentração. Estrangula-se aquilo que não se integra à execução do juízo; o pensamento exerce de antemão essa violência que a filosofia refletiu no conceito de necessidade (ADORNO, 2009, p. 197).

Contudo, Adorno faz a ressalva de que:

Sem o momento coercitivo, porém, o pensamento não poderia existir de maneira alguma. A contradição entre liberdade e pensamento não pode ser eliminada nem pelo pensamento, nem para o pensamento, mas exige sua autorreflexão. Os filósofos especulativos de Leibniz a Schopenhauer com razão concentram seus esforços na causalidade (ADORNO, 2009, p. 197).

Ainda conforme Adorno (1995), o pensamento está sempre tentando alcançar aquilo que ele mesmo não é. Para tanto, ele deve em um primeiro momento buscar a experiência da coisa, deixar-se levar passiva e pacientemente pelo objeto pensado, concentrando-se sobre ele para daí estabelecer as determinações próprias ao conteúdo visado. Nesse sentido, pontua o filósofo, uma inversão é necessária para se alcançar a liberdade no pensamento, pois é preciso deter-se sobre sua própria determinação pelo campo causal da necessidade: “Quanto mais objetiva é a causalidade, tanto maior é a possibilidade de liberdade; é por isso que, quem quer a liberdade, precisa insistir na necessidade” (ADORNO, 2009, p. 209).

Desse modo, o pensamento para manter um grau de liberdade deve admitir sua própria falta de liberdade, refletindo sobre como está aprisionado ao campo da necessidade, buscando, assim, sair das convenções metodológicas e se arriscando a perder suas próprias sustentações — pensamento que arrisca realizar a difícil tarefa de pensar contra si mesmo utilizando da lógica para mostrar os próprios limites da lógica.

Adorno presenciou apenas o contexto inicial do surgimento das ciências da computação e o advento do computador, época em que estavam em voga concepções ainda reunidas em um campo denominado cibernética. Naquela conjuntura, ele chegou a refletir sobre a tentativa de reproduzir as atividades do pensamento por aparelhos:

Por certo que, tanto no conhecimento pré-filosófico quanto na filosofia, as coisas não se passam sem uma certa independência do pensar em relação à coisa mesma. Graças a ela, o aparato lógico alcançou um inestimável avanço em relação à consciência primitiva [...]. Mas o pensar, com a sua independização enquanto aparelho, tornou-se simultaneamente presa da coisificação, coagulou-se em método autocrático. Isto se evidencia, de modo grosseiro, nas máquinas cibernéticas. Elas põem diante dos olhos das pessoas a nulidade do pensar formalizado, alienado de seu conteúdo objetivo, na medida em que são capazes de fazer melhor que os sujeitos pensantes algumas das coisas que constituiriam o orgulho do método da razão subjetiva. Se aqueles se tornam apaixonadamente órgãos executores de tal formalização, cessa, virtualmente, de ser sujeitos. Assemelham-se às máquinas como cópias mais imperfeitas destas. O pensar filosófico só começa quando não se contenta com conhecimentos que se deixam abstrair e dos quais nada mais se retira além daquilo que se colocou neles. O sentido humano dos computadores seria o de aliviar tanto o pensamento dos viventes, que ganhassem liberdade para o saber que não se encontra já implícito (ADORNO, 1995, p. 15–16).

Para lidar com essa contradição inerente aos pensamentos formalizados é importante admitir no próprio ato do pensar o seu momento coercitivo em relação ao que é pensado, assim como a possibilidade de essa coerção se transformar em irracionalidade; possibilidade concretizada quando o pensamento se limita aos seus aspectos pragmáticos e instrumentais. Transformado em razão instrumental, o próprio pensamento nega a sua origem histórica, esquecendo-se de seu passado mítico, de seu vínculo com os processos de dominação social e de autoconservação. Eis um ponto que Adorno, e também Horkheimer (1985, p. 23), retomaram constantemente ao abordarem a origem mítica da razão: “O mito queria relatar, denominar, dizer a origem, mas também expor, fixar, explicar. Com o registro e coleção de mitos, essa tendência reforçou-se. Muito cedo deixaram de ser um relato, para se tornarem uma doutrina”.

A razão esquece de sua origem mítica ao se entregar irrefletidamente ao mito do progresso tecnológico. Nesse esquecimento, ela se reduz aos esquemas lógicos matemáticos delimitados por meio de métodos instrumentais. Ocorre, assim, a pressuposição de um esquema em que tudo tem seu lugar, sendo até mesmo o caos transformado em probabilidade. Isso de forma a poder ser, ele também, classificado lógicamente e cientificamente. Essa situação levou Adorno a indicar a importância de se estabelecer um ponto de resistência às investidas no sentido de se fazer da filosofia apenas uma ferramenta da ciência: “Se a filosofia, como semântica científica, pretende traduzir a linguagem em lógica, então ainda lhe cabe, como filosofia especulativa, fazer a lógica falar” (ADORNO, 2007, p. 86).

E para “fazer a lógica falar” o pensamento precisa trabalhar com as contradições colocadas pela razão, procurando, por meio do conceito, dizer algo de não conceitual. Elaborando, pela negação determinada, uma constelação de conceitos que ao escapar do pensamento meramente sistemático, de um sistema fechado em sínteses totalizantes, se desenvolveria de modo aberto à não identidade e às singularidades únicas de cada evento particular; um pensamento que procurasse manter as contradições objetivas, as tensões e impasses presentes na realidade; um pensamento que tentasse quebrar suas próprias determinações, e capaz de pensar contra si mesmo. Em outras palavras: um pensamento apto a pensar ao mesmo tempo dialética e não dialeticamente.

É interessante ver no próprio estilo de pensar adorniano o modo como o filósofo se deixa conduzir pelas especificidades do conteúdo trabalhado, adotando nesse sentido, uma forma ensaística ao compor sua textualidade. Composições que estão sempre tensionando e colocando em confronto as mediações entre polos de conceitos opostos, por exemplo, sujeito e objeto, particular e universal, autonomia e heteronomia, indivíduo e sociedade. Dessa forma, procura abrir espaço às negatividades e dissonâncias presentes em cada material que é confrontado pelas correntes reflexivas, lógicas e conceituais que constituem o pensar. Assim, lançando mão de uma metáfora epicurista, Adorno permite que o pensamento sofra desvios de uma trajetória que o atraia para um sistema total (e totalitário). Desvios estes em direção à formação de experiências intelectuais abertas ao contato com os objetos, considerados em suas múltiplas determinações, suas incongruências, fissuras e detalhes.

Para refletir sobre as imbricações entre liberdade e pensamento, este capítulo procurou apontar algumas amarras históricas que submetem a própria noção de liberdade, desde os seus primórdios, ao campo da ordem e da determinação causal. Movimento

expresso pela própria incorporação da natureza caótica a um discurso que busca o ordenamento sistemático da realidade: “O mero caos, que o espírito reflexivo desqualifica no mundo em favor da própria onipotência, é tanto um produto do espírito quanto o cosmos que ele institui a fim de venerá-lo” (ADORNO, 2007, p. 57).

Nesse sentido retomou-se às origens míticas do cosmo conforme a narrativa grega referente ao caos produtor de ordem. Do mito à teoria do caos verifica-se ordenamento teórico conceitual que sedimenta noções como as de acaso e determinação. Percurso este que revela uma tendência crescente em termos de formalização lógico-matemática dos conceitos, como acontece no campo científico com a passagem da noção de causa para a de probabilidade, chegando ao ponto de redução do próprio pensamento a cálculos e algoritmos capazes de serem reproduzidos mediante programas e aparelhos. Formalização que dispensa especulações sobre a falta ou não de liberdade do pensar, atribuindo ênfase — ainda que não exclusivamente — a seus aspectos instrumentais, funcionais e utilitários.

Essa trajetória nos revela uma crescente mecanização funcional e automatização programática das atividades cognitivas. Constatado o processo de engessamento lógico do pensamento, considera-se importante retomar alguns aspectos próprios às reflexões de Adorno, pois a sua perspectiva filosófica se apresenta como um convite ao pensamento vivo e ávido por realizar experiências singulares; experiências que vão além da simples subsunção de todos os objetos a uma lógica da identidade e da equivalência, em que tudo é intercambiável e pode ser mensurado, sobretudo, por seu valor de troca. Para que isso seja possível, diante das injustiças e contradições presentes na sociedade hodierna, não é ocioso lembrar ao pensamento que mantenha sua negatividade, de modo a não se reduzir a um mero formalismo técnico e pragmático. Esforço crítico imprescindível para o intelecto ir além da coerção que exerce sobre as coisas, e empenho necessário para tencionar seus próprios condicionamentos de modo a acolher o material que o atinge e o ultrapassa. Isso, de modo a compor, nesse conflituoso acolhimento, constelações que quebrem sua identificação estrita com a própria dominação e terrores históricos que ajudou e que ajuda a produzir no presente. Pensamento dialético com força para confrontar a si mesmo reflexivamente, revelando, nesse confronto, os contraditórios entrelaçamentos entre os aspectos da realidade que o determinam e as possibilidades de liberdade abertas negativamente, por aquilo que, nele mesmo, se revela não idêntico à sua própria determinação instrumental.

Os próximos dois capítulos visam acompanhar um percurso que parte dos princípios fundantes da lógica e vai em direção à construção do computador, mostrando sua relação com a formação das ciências cognitivas e com a área específica da inteligência artificial, principalmente no que se refere às perspectivas simbólica (sistemas especialistas) e conexionista (redes neurais artificiais) e a disciplinas como aprendizagem da máquina, representação do conhecimento e processamento da linguagem natural. Este movimento procura expor elementos que ajudem a compreender o que está envolvido quando o pensamento é delimitado pelas suas possibilidades de reprodução mecânica em aparelhos. No quarto capítulo ocorrerá a exposição de propostas de ensino envolvendo inteligência artificial e o quinto capítulo refletirá sobre as implicações, no processo de ensino-aprendizagem, do uso e mediação de tecnologias educacionais capazes de simular aspectos do pensamento por meio de técnicas do campo da inteligência artificial.

CAPÍTULO 2

DOS PRINCÍPIOS DA RAZÃO ÀS CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

Todo modelo esbarra contra uma situação de limite que chamei “paradoxo”. Este fato foi elaborado pela teorema de Godel. Em poucas palavras trata-se do seguinte: Todo modelo produz, no curso de sua aplicação, uma situação que, embora faça parte do universo do modelo, ultrapassa a competência do modelo (...). E assim podemos construir metamodelos de metamodelos, resolvendo paradoxos e caindo em paradoxos, numa redução ao infinito. VILÉM FLUSSER

Toda lógica carrega consigo a hipoteca não lógica de sua metabase. Por mais logicamente que se pense, acontece ao mesmo tempo algo não lógico, e sem isto aquilo não pode se dar. C.TÜRCKE.

2.1. BREVE PERCURSO DOS PRINCÍPIOS DA RAZÃO À LÓGICA COMPUTACIONAL

O capítulo anterior tomou como ponto de partida um princípio que focava as origens míticas do cosmos, ou seja, uma visão cosmogônica. Neste, o destaque inicial é para certos princípios racionais. Deste modo, a retomada histórica aqui se dá a partir do interior do próprio campo da lógica e vai até o seu uso mecânico em aparelhos como calculadoras e programas de computadores. A própria lógica remete a *logos* (originário do verbo grego *legein*) relacionado a ações de falar, nomear e narrar ordenadamente; e à *ratio* (originária do verbo latim *reor*) relacionados às ações de medir, contar, reunir, juntar, calcular; ou seja, a noção de razão provém de um pensamento direcionado à busca de ordem e regularidades. Pensamento que tenta tornar a realidade inteligível e passível de algum grau de dominação e controle. Na procura de ordem, a civilização ocidental vai levantando alguns alicerces que funcionam como fundamentos básicos do pensar organizado logicamente. Eis os princípios formais que orientam a razão ocidental:

- i. O princípio da identidade que afirma que algo é o que é, ou mais objetivamente que A é igual a A. Tautologia que está na base de qualquer definição dita racional e que tem suas primeiras formulações relacionadas a Parmênides.
- ii. O princípio da não-contradição. Postulado que afirma a impossibilidade de A ser A e não A ao mesmo tempo. Ou seja, esse princípio propõe que uma coisa não pode afirmar e negar a si mesma em uma mesma relação e em um mesmo momento sem se autoanular. Por exemplo, um círculo não pode ser círculo e

não círculo ao mesmo tempo. Aristóteles, no Livro IV de sua *Metafísica*, argumenta a respeito desse princípio:

Assim, que um tal princípio é o mais firme de todos, é evidente; mas, qual ele é, digamo-lo depois disso: é impossível que o mesmo seja atribuído e não seja atribuído ao mesmo tempo a um subjacente e conforme o mesmo aspecto [...]. De fato, por natureza, este é também o princípio de todos os demais axiomas (ARISTÓTELES, 2007, p. 18-19).

- iii. O princípio do terceiro excluído. Este pressuposto pode ser formulado da seguinte forma, ou a proposição A é verdadeira ou é falsa, ou isto ou aquilo, ou está certo ou errado, não existindo uma terceira possibilidade. Aristóteles também argumenta sobre este princípio no Livro IV da *Metafísica*:

Pois bem: tampouco é possível haver um intermediário na contradição, mas, necessariamente, uma coisa qualquer ou se afirma ou se nega a respeito de uma outra coisa. Isso é evidente, em primeiro lugar, para quem define o que são o verdadeiro e o falso. De fato, dizer que aquilo que é não é, é falso; por outro lado, dizer que aquilo que é é, ou que aquilo que não é não é, é verdadeiro. Por conseguinte, quem pretende afirmar que algo é ou não é poderá estar dizendo algo verdadeiro ou algo falso. No entanto, não pretendem afirmar que é ou que não é nem aquilo que é, nem aquilo que não é (ARISTÓTELES, 2007, p. 32).

- iv. Por último, o princípio da razão suficiente. Para todos os eventos, segundo este princípio, existe uma causa. Eis a fundamentação na causalidade na qual dado um evento A necessariamente, como consequência, se dará um evento B. Na base de todos os eventos está presente a causalidade, inclusive os que ocorrem ao acaso e por acidente (CHAUI, 2003).

Esses princípios acompanham o processo de sedimentação das tentativas de fixar, com mais precisão, as regularidades da natureza, de modo que esta possa ser controlada, e sobre ela o homem possa exercer o seu domínio. A lógica, mesmo antes de sua formalização por Aristóteles, já acompanhava informalmente a confecção de instrumentos voltados à automatização de raciocínios, ou ao menos parte deles. Este contexto está relacionado à construção dos primeiros aparelhos direcionados à mecanização do cálculo. Procedimentos capazes de poupar esforços cognitivos dispendiosos, economizando com isso, o tempo gasto na realização de inúmeras etapas envolvidas na execução de contas complicadas, porém necessárias, para esclarecer e

aumentar o domínio humano sobre o funcionamento complexo de vários fenômenos naturais.

Entre as ferramentas que inicialmente possibilitaram esse auxílio prático e cognitivo, podemos incluir, além da própria escrita que possibilitava a fixação e a repetição de uma atividade em etapas sequenciais, o quadrante (quarto de círculo graduado usado para a mediação angular da distância de um objeto da linha do horizonte); e o ábaco (moldura com linhas paralelas, cada uma representado uma posição numérica, como unidades, dezenas, centenas, em que eram colocados elementos, denominados contas, permitindo o seu deslizamento de forma a auxiliar no processo de contagem). Um objeto ao qual vale a pena fazer referência na trajetória aqui delineada, devido ao fato de ser considerado por muitos um dos primeiros computadores que se tem notícia historicamente, é o aparelho denominado *Antikythera*, em referência ao nome da ilha próxima de onde foi encontrado, nos mares gregos, em um navio naufragado. O dispositivo, que tem sua construção atribuída ao século I a.C., era voltado à realização de cálculos celestes (FONSECA FILHO, 2007).

A busca por regularidades naturais, por meio do estabelecimento de ciclos temporais pautados na observação e elaboração de constelações e mapas astrais, coloca em relação campos da matemática e da astronomia. Civilizações antigas como a egípcia, a chinesa, a mesopotâmica e a grega vão abrindo espaço, junto às suas narrativas míticas e explicações cosmogônicas, para a matemática dos cálculos celestes. A astronomia e a geometria começam a despontar como ferramentas importantes na organização e desenvolvimento dessas civilizações.

Essa relação entre astronomia e busca de ordenamento matemático apresenta suas marcas, inclusive, em elaborações teóricas como a de Aristóteles e sua organização cosmológica da realidade em esferas:

É evidente, portanto, que são essências, e que, entre elas, há uma que é primeira, outra, segunda, de acordo com a mesma ordenação das locomoções dos astros. Já o número dessas locomoções, é preciso examiná-lo pela ciência que, entre as matemáticas, é a mais apropriada à filosofia, isto é, a astronomia. De fato, é esta ciência que empreende seu estudo sobre essências que, embora sensíveis, são eternas, ao passo que as demais ciências matemáticas, isto é, a ciência dos números e a geometria, não estudam essência alguma (ARISTÓTELES, 2005, p. 214).

Aristóteles, reconhecido como o fundador da lógica formal, organiza com cuidado e rigor sua visão cósmica estabelecendo uma grande coerência interna para as suas teorizações. Para tanto, faz uso nessa empreitada do grande domínio do método dedutivo por ele mesmo sistematizado em seu *Organon*, obra que busca fundar um instrumento indispensável na consolidação de normas para um pensamento rigoroso, voltado a demonstrações corretas, coerentes e seguras.

2.1.1. ARISTÓTELES E A LÓGICA

Continuando o processo de consolidação de um pensamento pautado em princípios racionais, movimento que ganha força com Sócrates e com seu mestre Platão, isso sem deixar de realizar críticas e apresentar profundas divergências em relação a estes, Aristóteles fornece as bases da lógica formal. Em seus escritos intitulados *Organon* ele elabora a noção de silogismo, conceito em que partindo da relação entre premissas é estabelecida uma conclusão, como pode ser observado no exemplo clássico: Todo homem é mortal/ Sócrates é homem, logo Sócrates é mortal. Nesse raciocínio está contida a base do método dedutivo ou axiomático, que depende das evidências contidas nas premissas. As premissas ou axiomas, por sua vez, são afirmações pautadas em um processo indutivo que parte da experiência sensível de exemplos particulares para chegar a afirmações gerais. A observação de regularidades presentes em um considerável número de acontecimentos particulares permite agrupá-los em classes de eventos a partir dos aspectos semelhantes que apresentam entre si. Aristóteles não se debruça, em seus escritos de lógica, sobre a validade das premissas e sim sobre a validade do processo dedutivo, ou seja, a forma adequada de se relacionar as proposições que constituem premissas para se chegar a uma proposição conclusiva (PESSANHA, 1999).

A lógica aristotélica vai ser o ponto central de propulsão de diversas áreas da matemática assim como foi fundamental para o processo de sistematização do conhecimento científico. Mesmo com todas as críticas, aperfeiçoamentos e modificações que vai sofrer ao longo da história, ela está na base dos conhecimentos que vão dar origem, muito tempo depois, na metade do século XX, às ciências da computação. Partindo de Aristóteles é possível pontuar alguns autores fundamentais para a aproximação entre lógica e ciências matemáticas, assim como para consolidação dos preceitos lógicos envolvidos na gênese dos computadores digitais.

2.1.2 CONTRIBUIÇÕES HISTÓRICAS PARA FORMALIZAÇÃO MATEMÁTICA DA LÓGICA

O caminho aqui traçado procura apontar brevemente contribuições conceituais que permitiram uma íntima interconexão entre formalização lógica e a matemática em pontos que foram importantes para o posterior desenvolvimento das ciências da computação. Entre os autores que apresentaram esta contribuição estão:

Gottfried W. Leibniz (1646-1716) procurou aproximar a filosofia da matemática elaborando nesse percurso um projeto ambicioso no intuito de edificar uma linguagem universal, um “alfabeto do pensamento” que dispensaria as regras de dedução lógica de seu conteúdo semântico, permitindo reduzir a sua expressão à realização de operações de cálculo. Entre as contribuições trazidas pelo filósofo estão a inclusão de quantificadores como operadores lógicos e a ênfase sobre a lei da identidade e da não-contradição como pilares indispensáveis da razão. Leibniz é apontado como um dos precursores das tentativas de estabelecer uma linguagem artificial pautada no cálculo racional:

O primeiro a ter a ideia de usar linguagens artificiais foi o matemático e filósofo alemão Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716), no século XVII. Sua ideia era de desenvolver *uma língua philosophica*, ou *characteristica universalis*, que seria uma linguagem artificial espelhando a estrutura dos pensamentos. Ao lado disso, ele propôs o desenvolvimento de um *calculus ratiocinator*, um cálculo que permitia tirar automaticamente conclusões a partir de premissas representadas na *língua philosophica*. Assim quando homens de bem fossem discutir algum assunto, bastaria traduzir os pensamentos para essa linguagem e calcular a resposta: os problemas estariam resolvidos_ (MORTARI, 2001, p. 33).

Um dos projetos de Leibniz era o de possibilitar a construção de máquinas que dispensassem o homem de atividades repetitivas e elementares. Nesse sentido, Leibniz produziu uma calculadora mecânica a partir de outro dispositivo de cálculo já existente, um aparelho que realizava soma e subtração, construído um pouco antes por Blaise Pascal (1623-1662), outro grande filósofo do Ocidente. A calculadora de Leibniz¹⁴ foi uma das

¹⁴ RUSSELL e NOVRVING (2013, p. 7) em seu livro *Inteligência Artificial* relatam que “A primeira máquina de calcular conhecida foi construída em torno de 1623 pelo cientista alemão Wilhelm Schikard (1592-1635), embora, a Pascaline, construída em 1642 por Blaise Pascal (1643-1662), seja mais famosa. Pascal escreveu que ‘a máquina aritmética produz efeitos que parecem mais próximos ao pensamento humano que todas as ações animais’. Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) construiu um dispositivo mecânico destinado a efetuar operações sobre conceitos, e não sobre números, mas seu escopo era bastante

primeiras a realizar as quatro operações fundamentais da aritmética; além da soma e subtração, efetuava multiplicações e divisões (FONSECA FILHO, 2007).

George Boole (1815-1864) colaborou para o processo de maior formalização lógica ao levantar em sua obra, *The Mathematical Analysis of Logic* (1847), a possibilidade de representação da lógica por meio de equações algébricas que fazem uso de noções como (e), (ou) e (não); o que permite realizar as quatro operações básicas da aritmética (soma, subtração, multiplicação e divisão) (FONSECA FILHO, 2007).

Por suas contribuições, Boole é considerado um dos precursores da lógica simbólica. A álgebra booliana foi de fundamental importância para a elaboração da computação ao permitir a formalização de raciocínios proposicionais por meio de operações matemáticas que utilizam apenas dois valores quantitativos, o “Universo” e o “Nada”, equivalentes ao “1” e ao “0” em cálculos binários, o que possibilitou a estruturação de circuitos e portas lógicas (pequenos dispositivos eletrônicos), os quais irão constituir, em um tempo futuro ao de Boole, os *hardwares* dos computadores digitais (FONSECA FILHO, 2007).

Charles Babbage (1792-1871) é reconhecido como um dos precursores na construção de computadores. Isso ocorre em virtude de ter concebido, no ano de 1822, em Londres, uma engenhoca mecânica capaz de computar e imprimir tabelas matemáticas seguindo um conjunto de instruções que poderiam ser modificadas. Tal máquina seria capaz de executar até funções condicionais do tipo “se...então”, o que permitiria que sua programação variasse diante de situações e demandas diferentes (essas possibilidades dão a essa máquina os elementos nucleares que vão constituir futuramente os programas de computador denominados *softwares*). A aparelhagem idealizada por Babbage foi por ele denominada máquina analítica. Por ser planejada para dar conta de cálculos polinomiais (executando, por exemplo, operações envolvendo tabelas trigonométricas e logarítmicas), tal aparelho foi reconhecido como primeiro modelo de máquina computacional automática e adaptável. A engenhoca, na época em que foi concebida, não passou do plano da teorização, porém futuramente tal aparelho receberia o nome de máquina diferencial de Babbage (FONSECA FILHO, 2007).

limitado. Leibniz superou Pascal através de uma calculadora que podia somar, subtrair, multiplicar e extrair raízes, enquanto a Pascaline só podia somar e subtrair”

Gottlob Frege (1848-1925) é considerado o pai da lógica moderna, tendo seus trabalhos, como principal preocupação, não as leis e regras do pensamento, mas a sistematização do raciocínio lógico. Em suas formulações acaba enveredando para uma perspectiva que o levou a aproximar o campo da lógica ao que se compreende hoje por semântica. Exerceu fortes influências sobre pensadores como Russel e Wittgenstein ao tentar estabelecer, para a filosofia, um sistema simbólico que permitisse formulações tão exatas quanto as realizadas no campo da matemática. Entre os conceitos que ajudou a elaborar com maior exatidão em *Begriffsschrift, eine der arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens* (Ideografia, uma linguagem formalizada do pensamento puro construída de modo aritmético) e *Grundgesetze der Arithmetik. Begriffsschriftlich abgeleitet* (Leis Fundamentais da Aritmética, Ideograficamente Deduzidas) estão os conceitos de variável, constante, função lógica, função de vários argumentos e a concepção de alguns conectivos e quantificadores lógicos (FONSECA FILHO, 2007).

Giuseppe Peano (1858-1932), por intermédio da formulação do conceito de sucessor, trouxe contribuições essenciais para a formalização aritmética dos números naturais segundo uma lógica simbólica – empreendimento que, devido à contribuição do matemático, ficou conhecido como axiomas de Peano. Esses axiomas são imprescindíveis para compreender proposições matemáticas ligadas à teoria dos números, assim como proposições sobre as noções de consistência e completude. Entre as afirmações desses axiomas estão a de que zero é um número natural, zero não é sucessor de nenhum número e que se um dado número n é natural, o sucessor desse número ($n + 1$, por exemplo) também o é, sendo que se X é uma propriedade de números naturais, se X é uma propriedade de 0 , n e de $n + 1$, então todos os números naturais tem a propriedade X (FONSECA FILHO, 2007).

David Hilbert (1862-1943) procurou radicalizar as tentativas de construir uma linguagem sintática, lógica e universal que, partindo de axiomas básicos, fosse capaz de abarcar todos os diversos problemas apresentados pelo campo da matemática. Como consequência de seus esforços, propôs como prioridade de pesquisa a busca de soluções para 23 problemas não resolvidos que poderiam, caso fossem solucionados, acabar com as incertezas, incongruências e obstáculos que atrapalhavam uma formalização exata de todo sistema matemático. Dentro desses problemas está a questão sobre a decidibilidade, consistindo em saber se um determinado procedimento mecânico efetivo poderia provar

a veracidade, por meio de um conjunto básico de premissas, de todas as asserções matemáticas. Hilbert almejava formalizar, na procura da solução dos 23 problemas por ele expostos, um sistema ao mesmo tempo completo e consistente. Kurt Gödel por meio de sua teoria da incompletude e Alan Turing por meio da formalização da máquina de Turing vão demonstrar a impossibilidade de realização do projeto hilbertiano (FONSECA FILHO, 2007).

2.1.3 O DESENVOLVIMENTO DA LÓGICA MATEMÁTICA

Este percurso que passa por Leibniz, Boole, Babage, Frege, Peano e Hilbert revela uma tendência crescente da busca por uma precisão conceitual que permitisse uma íntima interconexão entre a formalização lógica e a matemática aritmética. O programa de Hilbert representa a radicalização dessas intenções. Em torno de 1900, a aparição dos paradoxos de Cantor, Russell e do barbeiro, relacionados principalmente à teoria dos conjuntos, acaba dificultando a empreitada em direção à submissão da matemática ao campo da lógica, comprometimento devido à dificuldade na construção de premissas seguras que dessem conta dessa tarefa. Como ilustração desses paradoxos está aquele elaborado por Bertrand Russell (1845-1918) em 1901. No paradoxo de Russell, um determinado conjunto X é considerado o conjunto de todos os conjuntos que não contêm a si próprios como membros. A questão apresentada pelo problema é saber se X é um conjunto que pertence a si mesmo. Considerando que X não é um conjunto pertencente a si mesmo, ele deve ser considerado contraditoriamente como um conjunto que pertence a si. Caso se considere X como um conjunto que contém a si mesmo, ele novamente, de forma contraditória, não deve ser considerado como um elemento do conjunto que ele mesmo é.

Para tornar mais clara e ilustrativa a contradição trazida pelo paradoxo apresentado por Russell, é possível expor outro problema lógico, denominado paradoxo do barbeiro. Imaginemos em uma pequena cidade um barbeiro que faz, obrigatoriamente, a barba de todos aqueles que não barbeiam a si mesmos. Neste caso, quem faz a barba do próprio barbeiro? Caso o barbeiro não faça a própria barba, ele deve obrigatoriamente se barbear. Mas se ele se barbeia, ele não deve barbear a si mesmo, pois a regra é que ele só deve obrigatoriamente barbear quem não faz a própria barba.

Esses paradoxos podem ser associados à expressão da lógica por meio de uma linguagem natural, a qual, devido à polissemia de sentidos, permitida pelos aspectos semânticos das palavras, está sujeita a ambiguidades. O uso de recursos como a autorreferência, por exemplo, expressa por meio de frases e palavras, facilita a presença dessas manifestações ambíguas. Porém, mesmo na própria lógica matemática, que busca, em sua linguagem, depurar aspectos semânticos a favor de elementos puramente sintáticos e formais, é possível chegar a contradições semelhantes envolvendo a autorreferência. Foi nesse sentido que caminharam as demonstrações de Gödel em sua teoria da incompletude.

2.1.4 OS DIFERENTES TIPOS DE LÓGICA

Antes de prosseguir a exposição, faz-se necessária uma breve apresentação dos diferentes tipos de lógica, de modo a situar o sistema lógico de primeira ordem, no qual se baseia tanto a teoria da incompletude de Gödel, como as elaborações de Alan Turing que estão na origem da ciência da computação. Os modelos lógicos aqui tratados seguem uma divisão apresentada em notas de aula do professor Rogerio A.A. Farjado, material intitulado *Lógica Matemática*, utilizado nas disciplinas de Introdução à Lógica e Lógica Matemática, no Instituto de Matemática e Estatística da USP (FAJARDO, 2016).

A Lógica proposicional: relacionada à lógica clássica aristotélica, pode ser considerada uma lógica simbólica elementar. Baseia-se principalmente nos princípios da não contradição e do terceiro excluído. É geralmente representada por fórmulas básicas e por símbolos primitivos, como letras maiúsculas e conectivos (“e”, “ou”, “se...então”). Ainda estão ausentes os quantificadores (“para todo”, “existe ao menos um”), o que torna baixa a sua capacidade de formalização de muitas questões do campo da matemática.

Lógica de primeira ordem: também conhecida como cálculo de predicados, extensão da lógica proposicional, sendo mais recomendada para a formalização da matemática. Além dos conectivos utilizados na lógica proposicional, apresenta outras representações simbólicas, por exemplo, os quantificadores e as variáveis, o que a torna mais complexa e expressiva. Nessa lógica surge a noção de universo ou domínio do discurso, sendo os quantificadores e variáveis aplicados sobre os objetos ou indivíduos do domínio.

Lógica de segunda ordem: é considerada uma extensão da lógica de primeira ordem. Assim como esta, é extensiva em relação à lógica proposicional. Portanto, apresenta maior complexidade e maior poder de expressão que a lógica de primeira ordem. Seus quantificadores e variáveis atuam sobre a classe ou conjunto de indivíduos, ou seja, consegue expressar variáveis que representam a quantificação de predicados. Em contrapartida a seu poder expressivo, alguns teoremas válidos na lógica de primeira ordem não são válidos em uma lógica de segunda ordem.

Teoria dos tipos: amplificação da lógica de segunda ordem realizada por Russell em sua obra *Principia Mathematica*. Nessa lógica é possível quantificar não apenas os indivíduos e a classe dos indivíduos como a classe das classes dos indivíduos em um movimento de ordem infinita. As variáveis, nesse caso são ordenadas por tipos (1º tipo, 2º tipo, 3º tipo). A lógica proposicional pode, segundo essa abordagem, ser considerada de ordem zero.

Lógica modal: ampliação da lógica proposicional pelo acréscimo de modalidades (possibilidade, tempo, probabilidade etc.). As modalidades que ganham maior destaque são as de possibilidade e necessidade. Esta lógica se utiliza da semântica dos mundos possíveis, a qual salienta a acessibilidade e a validade de uma proposição em diferentes mundos. Caso uma afirmação seja válida em todos os mundos, ela é necessariamente verdadeira; caso seja válida em pelo menos um dos mundos, ela é possivelmente verdadeira.

Lógica descritiva: uma linguagem mais simples e derivada da lógica de primeira ordem, na qual é possível traduzir todas as suas sentenças. Sua simplicidade ao não usar, por exemplo, variáveis, contribui para o seu uso em campos como o da ciência da computação.

Lógica paraconsistente: tem como um de seus elaboradores o brasileiro Newton da Costa. Ela permite o uso da contradição de forma que uma assertiva e sua negação sejam consideradas simultaneamente verdadeiras. Esta lógica pode ajudar, por exemplo, um programa de inteligência artificial a agir diante de situações contraditórias sem que este entre em colapso.

Lógica intuicionista: lógica que só considera válidos predicados que podem ser provados. Com isso, rejeita o princípio do terceiro excluído presente na lógica clássica. Caso uma afirmação não seja falsa, ela não é necessariamente totalmente verdadeira e

aceitável. Devido a essa rejeição, pode ser considerada uma lógica paracompleta em referência à lógica paraconsistente, a qual aceita como verdadeiras simultaneamente uma assertiva e sua negação. Esta lógica é muito utilizada pelos matemáticos denominados construcionistas (matemáticos que dão relevância à construção mental dos objetos matemáticos).

Lógica *fuzzy* ou difusa: diferentemente da lógica clássica, em que as assertivas recebem o valor de verdadeiro ou falso, nesta lógica as variáveis podem receber qualquer valor real no intervalo entre 0 e 1, possibilitando a formalização de problemas envolvendo incertezas, probabilidades e verdades parciais. Esta lógica é muito utilizada no campo da inteligência artificial.

Dois conceitos que ajudam a distinção entre as lógicas são os de compromisso ontológico e compromisso epistemológico. Por compromisso ontológico de uma linguagem lógica compreende-se os pressupostos do que existe no mundo determinado por certa linguagem:

Por exemplo, a lógica proposicional pressupõe que existem fatos que são válidos ou não são válidos no mundo. Cada fato pode ser encontrado em um desses dois estados, verdadeiro ou falso, e cada modelo determina verdadeiro ou falso para cada símbolo de proposição [...]. A lógica de primeira ordem pressupõe mais do que isso; especificamente que o mundo consiste em objetos com certas relações entre eles que são ou não válidas. Os modelos formais são correspondentemente mais complicados que a lógica proposicional. Lógicas com propósitos especiais criam ainda outros compromissos ontológicos; por exemplo, a **lógica temporal** pressupõe que fatos são válidos em instantes particulares, e que esses instantes (que podem ser pontos ou intervalos) estão ordenados [...]. A **lógica de alta ordem** visualiza as relações e funções referidas a lógica de primeira ordem como objetos em si. Isso permite que se façam asserções sobre todas as relações [...]. Diferentemente da maioria das lógicas com propósitos especiais, a lógica de alta ordem é estritamente mais expressiva que a lógica de primeira ordem, no sentido de que algumas sentenças da lógica de alta ordem não podem ser expressas por qualquer número finito de sentenças de lógica de primeira ordem (RUSSELL; NOVRVING, 2013, p. 253).

Compromisso epistemológico refere-se aos estados possíveis do conhecimento que cada linguagem permite a respeito dos fatos que pressupõe que existem:

Tanto na lógica proposicional quanto na lógica de primeira ordem, uma sentença representa um fato, e o agente acredita que a sentença é verdadeira, acredita que ela é falsa, ou não tem nenhuma opinião. Então, essas lógicas tem três estados possíveis de conhecimento a respeito de

qualquer sentença. Por outro lado, os sistemas que utilizam a **teoria da probabilidade** podem ter qualquer grau de crença, variando de 0 (descrença total) até 1 (crença total) (RUSSELL; NOVRVING, 2013, p. 253).

O quadro a seguir resume os compromissos ontológicos e epistemológicos de diferentes lógicas:

| LINGUAGEM | COMPROMISSO ONTOLÓGICO (o que existe no mundo) | COMPROMISSO EPISTEMOLÓGICO (a crença de um agente sobre os fatos) |
|--------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Lógica proposicional | Fatos | verdadeiro/falso/desconhecido |
| Lógica de primeira ordem | fatos, objetos, relações | verdadeiro/falso/desconhecido |
| Lógica temporal | fatos, objetos, relações, tempo | verdadeiro/falso/desconhecido |
| Lógica da probabilidade | Fatos | graus de crença que vão de 0 a 1 |
| Lógica difusa (<i>fuzzy</i>) | fatos com grau de verdade que vão de 0 até 1 | valor de intervalo conhecido |

Fonte: Adaptado de RUSSELL; NORVING, 2013, p. 253

Além da lógica proposicional e da de primeira ordem, uma outra lógica de relevância para a discussão que se pretende neste trabalho é a lógica *fuzzy*, por ser muito utilizada no campo da computação cognitiva, além de articular-se com o conceito peirceniano de abdução, o qual será abordado na análise realizada no último capítulo (para detalhes sobre essa lógica, ver anexo I).

2.2. A INCOMPLETUDE NAS ORIGENS TEÓRICAS DO COMPUTADOR

2.2.1. O PARADOXO DO MENTIROSO

Para compreender o pensamento de Kurt Gödel, que vai servir como embasamento para as primeiras elaborações lógico-formais estabelecidas por Turing, relacionadas aos momentos iniciais da ciência da computação, um caminho possível, para além da exposição do paradoxo do barbeiro descrito anteriormente, é a apresentação do paradoxo do mentiroso. Nele é possível salientar as operações que estão em jogo na formalização da noção de função recursiva¹⁵, ou seja, funções que, em seu predicado, fazem referência

¹⁵ A noção de recursividade, também chamada de relações de recorrência, pode ser compreendida como um procedimento autorreferente que invoca a si mesmo em sua própria descrição. No caso de uma imagem seria como uma pintura de uma moça segurando uma pintura contendo uma outra moça segurando uma outra pintura, isso sucessivamente. Recursividade envolveria problemas dentro de problemas. No campo mais formal da lógica, em uma função recursiva, após um primeiro passo elementar e conhecido, realiza-se um outro passo da função que faz referência ao passo anteriormente dado. No caso da computação um exemplo seria o seguinte algoritmo (sequência de instruções): primeira instrução: caso o problema seja

a si mesmas, base para a elaboração tanto da teoria da incompletude de Gödel quanto da formalização da máquina de Turing.

Eis a irresolúvel contradição colocada pelos megáricos (gregos antigos originários da cidade Mégara): caso alguém alegue “Eu estou mentindo agora”, estará aquele que afirma falando algo verdadeiro ou falso? Esta questão lógica ficou conhecida como paradoxo do mentiroso (FONSECA FILHO, 2007). Entre as variações feitas ao longo da história sobre este problema dedutivo está o seu desdobramento em duas assertivas: “a afirmação posterior é falsa” – “a afirmação anterior é verdadeira”, ou mesmo uma mais recente, em que Pinóquio, o boneco de madeira dos contos de fadas que toda vez que mente, e apenas quando mente, tem seu nariz aumentado de tamanho, afirma em um dado momento: “o meu nariz vai crescer agora”, afirmação que produz uma contradição.

A retomada, por Gödel, no campo da lógica matemática, dos problemas de autorreferência presentes nesses paradoxos vai atuar como calcanhar de Aquiles nas pretensões e rigidez de uma matemática baseada na teoria dos conjuntos:

A teoria de conjuntos teria um papel fundamental para os processos de axiomatização e aritmetização da matemática. O seu poder motivou matemáticos e filósofos a se preocuparem cada vez mais com o rigor lógico desta ciência, até que os paradoxos surgiram no caminho. Em um contexto onde as teorias matemáticas devem ser todas conduzidas pela teoria de conjuntos, a existência de contradições nesta teoria seria a ruína de todo um estilo de pensamento (LANNES, 2009, p. 46).

2.2.2. KURT GÖDEL E O TEOREMA DA INCOMPLETUDE

Kurt Gödel (1906-1978), por meio da sua “teoria da incompletude”, fornece uma formalização lógico-matemática para um problema equivalente ao paradoxo do mentiroso substituindo, para possibilitar o enquadramento segundo as regras lógicas e aritméticas, o binômio verdadeiro-falso pela questão da demonstrabilidade, expresso por sua vez, por outras duas oposições, completo-incompleto e consistente-inconsistente (FONSECA FILHO, 2007).

pequeno e simples/resolvê-lo diretamente. Segunda instrução: se não/ dividir o problema em problemas menores e voltar à primeira instrução (FEOFILOFF, 2009).

Um sistema lógico é consistente se não contém contradição. Uma teoria que contenha uma determinada fórmula X , para ser consistente não pode demonstrar a validade ao mesmo tempo de X e da negação de X .

Um sistema lógico formal é considerado completo quando contém para uma determinada teoria (por exemplo, a aritmética) todos os axiomas necessários para deduzir qualquer proposição contida nessa teoria, sendo que, a adição de um axioma novo qualquer produz uma contradição.

Ainda aos 23 anos, Gödel, em sua tese de doutorado de 1929 intitulada *Sobre a Completude do Cálculo Lógico*, defende que todo sistema axiomático lógico de primeira ordem (referente a indivíduos e não ao grupo de indivíduos de um universo discursivo) não contraditório admite modelos; ou seja, possui fórmulas e cálculos de predicados demonstráveis derivados dos axiomas presentes nessa lógica. Esta tese de Gödel corrobora o projeto formalista de Hilbert de um sistema lógico completo e consistente, capaz de dar conta de todos os problemas apresentados pela matemática (FONSECA FILHO, 2007).

Contudo, em 1931, Gödel vai chegar a resultados inversos aos por ele anteriormente expostos, elaborando e apresentando sua Teoria da Incompletude. Essa teoria, causadora de um grande impacto no campo da lógica, matemática e futura computação, afirma que um sistema suficientemente forte para abarcar a aritmética será necessariamente ou inconsistente ou incompleto. Para chegar a essa conclusão, Gödel, a partir do processo de aritmetização da linguagem, elabora uma fórmula equivalente ao enunciado, *eu não posso ser provada*. Chamemos essa fórmula de G . Caso se demonstre que G é verdadeiro, ao mesmo tempo que ocorre a prova de G nega-se o que a própria fórmula afirma: a impossibilidade de que G seja provada. Caso seja provada a negação de G , ao mesmo tempo G é afirmado. Isso significa que se provarmos G provaremos ao mesmo tempo a negação de G , o que torna esse sistema inconsistente. Caso não se prove nem G , nem sua negação, o sistema pode ser considerado incompleto (LANNES, 2016).

Gödel com sua teoria da incompletude demonstrou, em termos aritméticos, que esse problema lógico era inevitável, acompanhando toda tentativa de sistematização matemática. A teoria da incompletude mostra a necessidade de uma metalinguagem. Uma metalógica ou lógica de segunda ordem para resolver o problema da completude, pois a consistência (ausência de contradição) de um sistema teórico suficientemente forte (como

é o caso da aritmética de Peano) não pode ser provada partindo apenas dos axiomas dessa própria teoria. Esta impossibilidade vai ser retomada alguns anos depois com a elaboração da teoria da indefinibilidade de Alfred Tarski (1902-1983), em 1936, que atesta a inconsistência (contradição) da definição de verdade para uma linguagem a partir dela mesma, sendo necessário recorrer a uma metalinguagem (referente na lógica a uma linguagem de segunda ordem), distinguindo entre uma linguagem que fala de outra linguagem de uma linguagem-objeto (referente na lógica a uma linguagem de primeira ordem) (FONSECA FILHO, 2007).

Por dentro da própria lógica e da aritmética, Gödel expôs a inviabilidade dos ideais hilbertianos de uma sistematização completa e ao mesmo tempo consistente (livre de contradições), dessas duas ciências “duras” e símbolos da exatidão. A teoria da incompletude também permite demonstrar a impossibilidade de representação algorítmica de algumas funções envolvendo os números inteiros, o que vai estar presente, em outros termos, nas teorizações de Alan Turing de uma máquina que serviria como núcleo embrionário para desenvolvimento de computadores.

2.3. A MÁQUINA DE TURING E A FORMALIZAÇÃO DO INCOMPUTÁVEL

2.3.1. A MÁQUINA DE TURING

Em 1936, duas teorias, uma de Alonzo Church (1903-1995) e outra de Alan M. Turing (1912-1954), chegaram a resultados semelhantes aos da teoria da incompletude de Gödel. As formulações contidas em suas teorias permitiram tanto a formalização da noção de algoritmo (antes denominado informalmente como “procedimento efetivo”), quanto a resposta a uma de três questões apresentadas por Hilbert em uma conferência de 1928; questão que ficou conhecida como problema da decisão (na mesma conferência, Hilbert apresentou outras duas questões anteriormente abordadas, as quais ganharam relevância: uma sobre a consistência e outra sobre a completude na matemática). Tal problema consiste em saber se existiria um método efetivo, geral ou mecânico (ou seja, algorítmico), capaz de demonstrar a aplicabilidade de todas as fórmulas contidas em determinado sistema formal (sistema composto de um conjunto de axiomas e regras de inferência e de manipulação de símbolos) (FONSECA FILHO, 2007).

Para tornar mais claras as implicações desse problema é importante compreender melhor o significado formal de algoritmo, antes compreendido por noções como a de procedimento ou cálculo efetivo. Algoritmo pode ser entendido como um conjunto finito de instruções precisas e não ambíguas que, a partir de um estado inicial, manipula um conjunto finito de símbolos de forma a produzir um determinado estado final verificável. Caso se queira expressar um sistema formal por meio de algoritmos, este deve ser representado por uma divisão sequencial de passos, em que cada passo equivale a uma regra de inferência da sequência a ser seguida para se chegar aos teoremas e conclusões que o sistema comporta.

Alan Turing ao elaborar uma “teoria da máquina” vai acabar esbarrando no problema da decisão apresentado por Hilbert (para o qual em alemão é usado o termo *entscheidungsproblem*). Existiria um procedimento capaz de, em um número finito de passos, determinar a validade de qualquer fórmula contida na lógica de primeira ordem?

A grande contribuição de Turing para o problema da decidibilidade foi a substituição da noção de “procedimento efetivo” pela validade de uma fórmula “decidível por uma máquina”. A máquina de Turing é um dispositivo capaz de manipular um número finito de símbolos presentes em uma fita infinita dividida em quadrados, relacionada à “memória” da máquina. A cada momento a máquina se encontra em um estado no qual é possível fazer operações, como escrever ou apagar um símbolo, assim como deslocar-se para a direita ou a esquerda da fita. Em cada estado (Turing chega a usar metaforicamente o termo “estado mental”), a máquina fica sobre um quadrado determinado da fita que contém, ou não, um símbolo específico. A máquina é configurada para, a partir de um estado inicial, seguir uma sequência de instruções finitas (FONSECA FILHO, 2007).

Como exemplo de um programa executado por essa máquina é possível descrever o seguinte conjunto de instruções: apagar símbolo 1, deslocar-se para quadrado à direita, escrever símbolo 1 se o quadrado estiver vazio, se não manter o símbolo do quadrado e deslocar-se novamente para a direita. Turing contribui com sua máquina abstrata para a formalização do conceito de algoritmo para além de noções mais vagas de procedimento efetivo ou mecânico. Os passos envolvidos na realização de um cálculo ou cômputo (algoritmo) podem ser delimitados com o funcionamento de uma máquina teórica operando como um sistema formal automático. O sistema está programado para leitura, escrita e eliminação de símbolos (binários, por exemplo) contidos em uma fita infinita, dividida em casas de espaço determinado, sujeita às execuções de uma aparelhagem que,

sobre ela, realiza operações seguindo uma sequência finita de estados. A teorização de tal máquina buscava refletir o funcionamento da mente:

Turing definiu que os cálculos mentais consistem em operações para transformar números em uma série de *estados* intermediários que progridem de um para outro de acordo com um conjunto fixo de regras, até que uma resposta seja encontrada. Algumas vezes se usa o papel e lápis, para não se perder o estado dos nossos cálculos. As regras da matemática exigem definições mais rígidas que aquelas descritas nas discussões metafísicas sobre os estados da mente humana, e ele concentrou-se na definição desses estados de tal maneira que fossem claros e sem ambiguidades, para que tais definições pudessem ser usadas para comandar as operações da máquina (FONSECA FILHO, 2007, p. 76).

Alonzo Church demonstra em 1936 que existem fórmulas indecidíveis, portanto incomputáveis, utilizando-se de noções como o cálculo lambda, equivalente às funções recursivas pensadas por Gödel. No mesmo ano, Alan Turing vai chegar às mesmas conclusões, a partir de outros termos, ao formalizar matematicamente um conceito abstrato de máquina (FONSECA FILHO, 2007).

Com Church e Turing elaborando teorias correspondentes constitui-se a *Tese de Church-Turing* que afirma que qualquer função calculável por um procedimento finito pode ser computada por uma máquina de Turing, podendo, portanto, ser considerada um algoritmo computacional (FONSECA FILHO, 2007).

2.3.2. MÁQUINA DE TURING UNIVERSAL E O PROBLEMA DA PARADA

Como a máquina de Turing pode contribuir com o problema da decidibilidade? Para responder a esta questão é possível utilizar a formulação elaborada por Turing de uma máquina universal, ou seja, uma máquina programada para simular qualquer outra máquina de Turing:

Turing obteve os meios de resolver o problema da decisão de Hilbert. Basta-lhe traduzir: “Existe um procedimento geral efetivo que permita determinar se uma fórmula do cálculo dos predicados é demonstrável ou não?” por “Existe uma máquina (de Turing) capaz de decidir isso?”. Esta nova formulação equivale a tratar o sistema formal no sentido lógico, ou seja, um conjunto de axiomas e regras de inferência, como um procedimento mecânico que produza novas sentenças chamadas teoremas (DUPUY, 1996, p. 32).

A decisão fica a cargo de uma máquina que além de suas instruções é capaz de ler como instrução em seu estado de entrada o conjunto de instruções que constitui o programa de uma máquina de Turing específica qualquer. Neste procedimento, inspirado em teorizações de Gödel e suas formulações sobre a incompletude na aritmética, um único símbolo na entrada da máquina de Turing universal poderia servir para representar toda a sequência de regras que constitui o programa referente a uma máquina de Turing específica, imitando, desta forma, seu funcionamento. A máquina universal teria o poder de mimetizar qualquer outra máquina de Turing, inclusive ela mesma, o que traz à tona novamente, assim como no paradoxo lógico do mentiroso e na teoria da incompletude de Gödel, dificuldades relacionadas ao processo de autorreferência.

No caso da máquina de Turing universal, a possibilidade de autorreferência em sua programação acaba por produzir a impossibilidade de decisão sobre se um programa irá parar em algum momento ou se funcionará em *looping*, repetindo a si mesmo ininterruptamente de forma cíclica; pois, se se pode simular qualquer máquina, se pode simular uma máquina programada para produzir resultados iguais e até mesmo inversos ao seu. A contradição se estabelece, nesse caso, quando um programa toma o inverso de si mesmo como programa e produz como valor de parada a constatação de que nunca irá parar ou, no caso oposto, quando verifica que vai funcionar em *looping*, invocando infinitas vezes a si mesmo, indicando possuir um valor de parada. Turing formalizou esse problema paradoxal demonstrando que existem funções que são indecidíveis, e, portanto, incomputáveis por essas máquinas teóricas:

O desejável para um computador é checar todos os programas e eliminar aqueles que não dessem uma conclusão (uma resposta ou uma decisão de algum procedimento em aberto). Seria desejável, mas nós não podemos tê-lo. Isto é o que Turing mostrou. O teorema de Turing é análogo ao de Gödel: reza que não há nenhum procedimento geral para se deliberar se um dado procedimento será finalizado por uma decisão definitiva (LANNES, 2009, p. 122).

Todas essas contradições presentes no campo da lógica, matemática e computação indicam como as formalizações envolvendo um movimento de autorreferência acabam por impossibilitar o ideal de um sistema totalizante e autossuficiente que, a partir apenas de seus próprios fundamentos, seja ao mesmo tempo consistente, completo e decidível:

Assim, o computador de Turing- uma máquina elegante, abstrata e totalmente imaginária- o levou a uma demonstração paralela à de Gödel. Turing foi mais longe que Gödel ao definir o conceito geral de um sistema formal. Todo procedimento mecânico usado para gerar fórmulas é essencialmente uma máquina de Turing. Assim, todo sistema formal precisa ter proposições indecidíveis. A matemática não é decidível. A incompletude nasce da incomputabilidade. (GLEICK, 2013, p. 220)

Mesmo nas ciências mais duramente presas aos ideais de exatidão é necessário conviver com resultados irresolúveis, problemas sem uma resposta definitiva, questões com força para quebrar os suportes trazidos à razão pelos princípios da não-contradição, terceiro excluído e identidade. Ademais, para superar os impasses que encontram em seu interior, esses sistemas precisam superar a si mesmos, apelando, nesse sentido, a recursos que estão além de seus limites, em outras palavras, a uma metalinguagem ou metalógica. Essa solução ocorre na história da própria lógica com o desdobramento em divisões, tal como: a lógica proposicional, a lógica de primeira ordem e a lógica de segunda ordem, entre outras.

Outro desdobramento, trazido com a questão da autorreferência por Turing, seria o de pôr em jogo a relação entre imitação e imitado, entre a composição de um modelo como cópia de algo original e mais complexo, a tomada de um modelo como referencial a ser seguido. Este processo, indicado por Dupuy (1996), acaba mostrando que Turing parece antecipar, teorizando sobre uma máquina universal, as ciências cognitivas que concebem a mente como “modelo da faculdade de modelizar”. Indagando sobre a possibilidade dessa aproximação, entre mente e máquina, Turing elabora em 1950 um teste que, segundo ele, poderia atestar a existência de uma máquina pensante.

2.4. TESTES E QUESTIONAMENTOS DA INTELIGÊNCIA NAS MÁQUINAS

2.4.1. O TESTE DE TURING

O que poderia constatar a capacidade de pensar de uma máquina? No esforço por responder a essa questão, Turing formula no artigo “*Computing Machinery and Intelligence*”, de 1950, o que ficou conhecido como Teste de Turing. Na verdade, o próprio Turing problematiza a pergunta devido às dificuldades semânticas envolvendo a definição de pensamento. No lugar da questão presente no começo do artigo, Turing

propõe o que ficou conhecido como “jogo da imitação”. Tal experimento consiste em um investigador que conversa, sem ter contato direto e sem saber antes e durante a conversa quem é quem, com outro ser humano e com uma máquina (computador). Caso após a conversa esse investigador não saiba distinguir se o interlocutor do diálogo era um computador ou um ser humano, tal máquina teria passado no teste, pois teria conseguido simular a inteligência humana enganando o investigador.

Por mais questionável que o teste seja, em inúmeros aspectos, para determinar tanto o que é inteligência, quanto para dizer que uma máquina é inteligente, o jogo da imitação possui aspectos relevantes ao buscar uma máquina capaz de simular, em algum grau, capacidades intelectivas como as de comunicação e representação do conhecimento. O que contribui para aumentar a importância do experimento é que Turing, na verdade, descreve um momento prévio que aproxima esse teste da noção cognitivista de mente:

Nela, o interrogador se ocupa de um homem e de uma mulher, com o primeiro tentando fazer-se passar pela segunda. Só então vem a questão: o que acontecerá se substituirmos o homem pela máquina? A introdução de uma etapa suplementar muda sensivelmente a natureza do “teste”: para desconcertar o interrogador, a máquina tem agora que simular não simplesmente o comportamento de um ser humano (no caso, uma mulher), mas também a capacidade de simulação dele (na pessoa do homem). A simulação da capacidade de simulação, esta é realmente a definição funcionalista da mente (DUPUY, 1996, p. 39-40).

Com essa nova etapa, o jogo da imitação acaba exigindo mais que a habilidade de imitação. Exige também que a máquina simule o fingimento humano; dissimule de forma tão convincente como um exímio ator, tendo que esconder inclusive a capacidade de executar, melhor que os humanos, algumas operações que realiza com rapidez e precisão, como a execução de cálculos. Uma máquina inteligente ao ponto de conseguir expressar a ignorância que não possui, cometendo erros propositalmente, com o objetivo de enganar o investigador.

Mesmo passando no teste é possível questionar a inteligência da máquina como muitos fizeram. Um desses questionamentos que acabou ganhando destaque veio de Jonh Searle (1932-) em 1980 com a elaboração de um experimento hipotético denominado quarto chinês.

2.4.2. O QUARTO CHINÊS

Incomodado com a afirmação de que, caso passasse no teste de Turing, o computador poderia entender as regras, operações e manipulações simbólicas exclusivamente sintáticas que realiza, Searle, em 1980, para fazer uma analogia com o que se passa dentro do computador, formulou o experimento denominado quarto chinês.

Imaginemos uma pessoa, que não sabe nada sobre chinês, colocada em uma sala fechada com apenas duas aberturas, uma de entrada, onde são depositados papéis com perguntas escritas em chinês, e outra de saída, para devolução dos papéis com respostas a serem escritas também em chinês. Tal pessoa que não sabe nada de chinês tem à sua disposição, dentro da sala, um livro de instruções com regras complexas, indicando como manipular os caracteres chineses, para que se tenha como resultado as respostas às perguntas. Após certo treino, tal pessoa produziria as repostas solicitadas por algum chinês no exterior da sala, fazendo-se passar dessa forma por um chinês, isso sem ter a mínima compreensão do significado dos símbolos chineses que manipula. Mesmo sem compreender nada do que escrevia, ao manipular apenas formalmente os símbolos, essa pessoa teria passado no teste de Turing, tal como um computador poderia fazer, apenas seguindo as regras sintáticas de um programa (SEARLE, 2011).

Por trás desse experimento, Searle quer mostrar que o processamento do programa pelo computador, ao se limitar a aspectos sintáticos, não é suficiente para dar conta de aspectos semânticos (relacionados à capacidade de compreender e dar sentido aos símbolos). O experimento do quarto chinês recebeu críticas como as advindas da teoria dos sistemas que afirma, baseado no pressuposto de que o todo é maior que suas partes, a possibilidade de considerar que o sistema como um todo, composto pela pessoa no quarto e pelo livro de instruções, é capaz de compreensão. Desta maneira, considerar apenas a pessoa no quarto isoladamente seria como tomar o funcionamento de um único neurônio como o funcionamento do cérebro como um todo. Searle reafirma que mesmo considerando o todo continua valendo o fato de que a sintaxe não dá conta da semântica (SEARLE, 2011).

Outra crítica seria a de que com o desenvolvimento da robótica, as máquinas, pela presença de sensores, ao interagirem com estímulos ambientais e, ao modificarem sua programação nessa interação, seriam capazes de algum grau de experiência, conseguindo neste caso desenvolver certo nível de compreensão da realidade e dos símbolos que

manipula. Searle rebate essa crítica dizendo que esses novos sensores seriam apenas novas entradas capazes de fornecer mais materiais incompreendidos pela pessoa no quarto, o que só aumentaria os esforços e exigências sobre esta, não havendo ganho em compreensão semântica (SEARLE, 2011).

Tanto a teoria da máquina, da década de 1930, quanto o teste para determinar a inteligência nos computadores, elaborado em 1950, vão servir como referências propulsoras das ciências cognitivas e também do campo da inteligência artificial. Mas antes de abordá-los convém que nos detenhamos sobre três pontos: a concepção de informação de Claude Shannon, que vai influenciar fortemente essas áreas; a cibernética, campo de pesquisa que teve sua predominância ao longo da década de 1940 e vai marcar a pré-história das ciências cognitivas; e o surgimento, nessa mesma década, das primeiras máquinas que vão marcar a origem dos computadores contemporâneos.

2.5. CLAUDE SHANNON E A TEORIA DA INFORMAÇÃO

O engenheiro elétrico e matemático Claude Elwood Shannon (1916-2001) estabelece em 1937 uma conexão entre circuitos elétricos e formalismo lógico. Esta é considerada uma contribuição fundamental tanto para a materialização do computador digital, quanto para a pesquisa nos futuros campos da cibernética e inteligência artificial. A ligação entre circuitos elétricos e formalismo lógico permitiu a construção de máquinas projetadas para o uso da álgebra booliana (lógica que, como exposto anteriormente, permite cálculos com apenas dois valores, “0” e “1”, por exemplo). Esta álgebra propiciava às máquinas não apenas efetuar operações lógico-matemáticas como permitia uma configuração de uma espécie de “memória”, ao possibilitar, tanto por meio de interruptores eletromecânicos, os relés, como por componentes eletrônicos, os transistors, o armazenamento das operações que foram realizadas. (FONSECA FILHO, 2007).

Interessado nos princípios que regiam a comunicação humana e a codificação de mensagens (ordem) em meio a ruídos (desordem), Shannon publicou, em 1948, trabalhos que demarcaram o começo da Teoria da Informação, sendo o conceito de informação desligado de seu conteúdo semântico e aproximado do conceito de “bit”, com ênfase nas relações de entropia (perda de ordem e produção de algum grau de desordem) durante a transmissão. Em 1950, no artigo “*A Chess Play Machining*”, Shannon defendeu que

computadores digitais conseguiriam realizar tarefas simbólicas por meio de componentes como palavras e proposições. (FONSECA FILHO, 2007).

2.6. A CIBERNÉTICA

2.6.1. O INÍCIO DA CIBERNÉTICA

Assim como Alan Turing tem alguns de seus trabalhos ligados a demandas da Segunda Guerra Mundial – como a construção de uma máquina de decodificação de um outro aparelho denominado *ENIGMA* que codificava mensagens para os nazistas, ou seja, uma máquina para decodificar outra máquina –, um dos marcos de referência, para situar o início das pesquisas que vão compor o campo reconhecido historicamente com o nome de cibernética, também está ligado a exigências militares. Aliás, esses grandes desenvolvimentos tecnológicos científicos atrelados a interesses bélicos parecem, infelizmente, ser uma constante facilmente verificável ao longo do século XX. O marco, no caso cibernético, foi o trabalho realizado por Norbert Wiener (1894-1964), respondendo às solicitações do governo norte-americano para solucionar problemas enfrentados pela artilharia antiaérea. Wiener desenvolveu um sistema de ajuste automático da direção do tiro por meio de mecanismos que, observando a trajetória do alvo, mediam a diferença entre objetivo visado e o resultado real alcançado. A medida obtida possibilitava a autorregulação do sistema. Este trabalho, ao fornecer indícios para a noção de *feedback*, veio a ter importantes implicações sobre o campo de estudo que o próprio Wiener ajudaria a fundar sob o nome de cibernética:

Ao lado do que iria chamar-se teoria da informação, os problemas da defesa antiaérea faziam intervir outro ingrediente básico da futura cibernética: o conceito de elo de retroalimentação (*feedback*), inerente a toda regulação de um sistema com base no afastamento observado entre a sua ação efetiva (*output*) e o resultado projetado (meta, *goal*) (DUPUY, 1996, p. 46).

Foi Wiener que, apropriando-se do verbete grego *kybernetiké* (a arte de governar o barco) fixa ao campo de estudo, do qual fazia parte, o nome “cibernética”. Tal campo, para Wiener, deveria pesquisar as relações de comunicação e controle em animais e máquinas (FONSECA FILHO, 2007).

A publicação de dois artigos, em 1943, também faz parte dos momentos iniciais da cibernética. O primeiro artigo, da autoria de Norbert Wiener, em conjunto com o fisiologista Arturo Rosenblueth (1900-1970) e o engenheiro Julian Bigelow (1913-2003), tem o título de “*Behavior, Purpose and Teleology*”. No artigo, em cujo texto há uma preocupação em definir e classificar comportamentos, os autores se aproximam de noções behavioristas e fisicalistas (redução de todos os fenômenos a aspectos físicos), o que gerou posteriormente muitas críticas advindas da própria ciência cognitiva quando esta já estava consolidada. A possibilidade de estabelecer uma diferença em relação a um esquema de análise do tipo estímulo-resposta (tratado no artigo em termos de *input-output*) ocorre devido à noção de *feedback*, noção que, por relacionar e comparar as diferenças entre, de um lado, o comportamento que visa uma meta, e do outro, o comportamento efetivamente realizado, vai servir como eixo orientador para se pensar a intencionalidade a partir de aspectos mecânicos. Neste trabalho, a máquina é caracterizada como um autômato e é tratada como modelo da mente (DUPUY, 1996).

O segundo artigo de 1943, que remete aos primórdios da cibernética, é nomeado “*A Logical Calculus Immanent in Nervous Activity*”. Ele tem como autores o neuropsiquiatra Warren McCulloch (1898-1969) e o matemático Walter Pitts (1923-1969). Neste artigo, a redução da mente a aspectos físicos e lógicos vai ao extremo, tomando como referência um modelo mecânico dos neurônios, elementos mínimos organizados em rede no cérebro, facilmente comparado a circuitos elétricos materiais. Cérebro e mente são unificados como sendo a mesma coisa. As analogias, neste caso, ocorrem entre interconexões neuronais e portas lógicas. Cada neurônio tem nesse esquema teórico a função de uma calculadora aritmética rudimentar. Os autores procuram com esses modelos: “dar uma base puramente neuroanatômica e neurofisiológica ao juízo sintético a priori e, assim, fundar uma neurologia da mente” (DUPUY, 1996, p. 52).

Esses dois trabalhos acabam servindo de síntese, indicando a direção tomada pelas pesquisas realizadas no campo da cibernética. Além deles, o eixo de orientação para o envolvimento de profissionais de diferentes áreas e para a consolidação da cibernética como campo de pesquisa e estudo foram as Conferências Macy, que ocorreram de 1946 até 1953. Constituíram um total de dez conferências, tendo a primeira acontecido em Nova York. O nome dessas conferências se deve à ajuda para sua concretização da Josiah Macy Foundation, fundação médica filantrópica relacionada a problemas do sistema nervoso central. Nelas reuniram-se profissionais renomados de diferentes áreas, além dos

autores dos artigos anteriormente citados, como o matemático Norbert Wiener e o psiquiatra Warren McCulloch. Entre os participantes estavam antropólogos como Gregory Bateson e Margaret Mead, o psicólogo Kurt Lewin, o biofísico Heinz von Foerster, o psiquiatra Willian Ross Ashby, o engenheiro elétrico Claude E. Shannon e o matemático John von Neumann.

Como temas principais, a cibernética estabelece três destaques: a estrutura do cérebro, o funcionamento da mente e, como terceiro ponto, a máquina como materialização de um modelo lógico. Wiener em seu artigo relacionou o funcionamento da mente e da máquina lógica. MacCulloch, por sua vez, faz algo equivalente, mas entre cérebro (neurônio) e máquina. Para compreender melhor essas relações, debruçemo-nos sobre o desenvolvimento das primeiras máquinas lógicas a receberem de forma enfática a denominação de computadores.

2.6.2. JOHN VON NEUMANN (1903-1957) E OS PRIMEIROS COMPUTADORES

Assim como o início da cibernética é relacionado a artigos publicados em 1943 e a demandas trazidas pela Segunda Guerra, nesse mesmo ano, atendendo também a demandas militares, é construída, na Universidade da Pensilvânia, uma enorme calculadora eletrônica capaz de funcionar com grande rapidez. Tal calculadora foi nomeada *Electrical Numerical Integrator and Calculator* (ENIAC), sendo reconhecida futuramente como o primeiro computador digital eletrônico (existem candidatos a título semelhante, mas que devido a características específicas, como o fato de serem eletromecânicos, caso do MARK I, não se enquadram na mesma categoria). O ENIAC só podia ser configurado para um tipo de problema específico de maneira que, caso fosse programando especificamente para somar e, eventualmente, necessitasse fazer outra operação, teria que ser reconfigurado, o que, incomodamente, poderia levar de meia hora a alguns dias (FONSECA FILHO, 2007).

Buscando resolver o empecilho enfrentado pelo ENIAC, pela ausência de separação entre sua estrutura material (*hardware*) e o programa de instruções lógicas e regras de funcionamento (*software*), John von Neumann, após integrar, como consultor, a equipe da qual faziam parte construtores do ENIAC, elaborou uma nova versão de computadores, segundo uma arquitetura que no futuro receberia seu nome, *arquitetura de von Neumann*, o que é considerado uma injustiça com os inventores do ENIAC, John

Presper Eckert e John William Mauchly, que também estavam envolvidos no projeto. Tal versão, denominada *Electronic Discrete Variable Automatic Computer* (EDVAC), era capaz de funcionar com programas (códigos numéricos) armazenados em sua memória, o que permitia uma separação entre os programas e os dispositivos mecânicos do aparelho. No ENIAC o código com as instruções que a máquina deveria executar, ou seja, os programas, era processado juntamente com os dados, de forma paralela.

O modelo desenvolvido por von Neumann permitiu que ambos, dados e programas, fossem armazenados em uma mesma memória, ocorrendo um processamento em série. Esse modelo vigora ainda nos computadores atuais. É possível ver nas concepções de von Neumann influências tanto da máquina de Turing Universal (o computador como máquina universal capaz de simular outras máquinas), como de leituras críticas do artigo de McCulloch e Pitts em que são descritos os neurônios artificiais. A análise desses neurônios forneceram a ideia a von Neumann de separar a concepção simplificada e lógica do cérebro dos circuitos neurais materiais que o realizam:

Os neurônios são extremamente numerosos no cérebro e funcionam lentamente: a organização em paralelo é que otimiza o processamento da informação. Em contrapartida, os componentes de uma calculadora artificial podem alcançar velocidades muito grandes e são relativamente pouco numerosos: é preciso montá-los em série. Ainda hoje, quase todos os computadores – às vezes chamados “máquinas de von Neumann” – são máquinas sequenciais. Essa dominação é tão forte que até as redes neurais do conexionismo, estas máquinas altamente paralelas, são simuladas sobre máquinas de von Neumann (DUPUY, 1996, p. 54).

Essa concepção foi formalizada no artigo escrito em 1945, “*First Draft of a Report on the EDVAC*”, sendo que o EDVAC só veio a ser realmente construído em 1952. No entanto, baseado nas ideias de von Neumann, Maurice Wilkes elabora o EDSAC (*Electronic Delay Storage Automatic Calculator*) computador que, ao entrar em funcionamento em 1949, se torna o primeiro a usar a estrutura de programa armazenado, modelo presente até hoje na maioria dos computadores (FONSECA FILHO, 2007).

Em relação à cibernética, von Neumann produziu importantes discussões ao conceber sua teoria dos autômatos naturais e artificiais. Os autômatos, nesta teoria, seriam modelos abstratos, muitas vezes complexos, de máquinas capazes de computar dados (máquinas representadas por um conjunto finito de aplicações matemáticas repetidas

inúmeras vezes). Em suas pesquisas, ele se debruçou sobre a capacidade de autorreplicação de autômatos. Um ponto importante que defendeu, na investigação de autômatos, foi a inversão da análise de McCulloch ao usar a lógica formal para a compreensão do sistema nervoso:

Este explicava a neurofisiologia por meio da lógica; é mais fecundo, sugere von Neumann, enriquecer a nossa lógica partindo da neurofisiologia. Ele repetira muitas vezes que a lógica formal, em seu estado presente, é rígida demais, combinatória demais para poder colocar-se como lógica dos autômatos, sejam eles artificiais ou naturais; ele próprio procura edificar uma lógica mais complexa, mais próxima do contínuo, inspirando-se em métodos da teoria das probabilidades, na termodinâmica, na teoria da informação e na matemática (DUPUY, 1996, p. 56).

A importância do matemático John von Neumann vai muito além da computação e da cibernética, tendo realizado contribuições em diversas áreas. Para exemplificar outra de suas colaborações, podemos citar a teoria dos jogos ligada ao campo da economia (em 1944, juntamente com o economista Oskar Morgenstern, foi escrito o artigo “*Theory of Games and Economic Behavior*”). Aliás, a menção à economia não é por acaso, pois:

Há uma profunda comunidade de espírito entre a modelização cibernética e a modelização na economia matemática, e não é de se espantar, pois, que os muitos avatares da primeira (teoria dos sistemas, pesquisa operacional, teoria do controle ótimo, teoria da decisão etc.) tenham proporcionado à segunda muitas de suas ferramentas (DUPUY, 1996, p. 70).

2.6.3. A CIBERNÉTICA NAS ORIGENS DO COGNITIVISMO

Partindo de inspirações como a teoria da máquina de Turing, a teoria da informação de Shannon, a teoria geral dos sistemas de Ludwig von Bertalanffy (1901-1972), a teoria dos jogos de von Neumann e a invenção de James Watts (1736-1819) de reguladores centrífugos de pressão nas máquinas a vapor, princípio dos processos de automatização por *feedback* negativo, o rumo tomado pela cibernética foi não no sentido da humanização da máquina mas da mecanização do humano, compreendendo o homem a partir das simulações lógicas, matemáticas e mecânicas que elaborava. A cibernética acabaria por perder força. Em seu lugar iria florescer o campo que ficaria conhecido como ciências cognitivas, assim como as pesquisas sobre inteligência artificial. Tais “filhas” acabariam apresentando certa rejeição em relação à sua origem cibernética, mas não

poderiam deixar de reconhecer a importância histórica de sua antecessora. Nesse contexto, que remete à década de 1950, o computador é adotado com mais incisão e clareza como modelo da mente (DUPUY, 1996).

2.6.4. CIBERNÉTICA DE SEGUNDA ORDEM

Além das “filhas” denominadas ciências cognitivas e inteligência artificial, existia uma outra que em seu próprio nome não negava seus vínculos, a cibernética de segunda ordem, preocupada em estudar os sistemas de observação no lugar dos sistemas observados (estes últimos estudados pelos autores da cibernética de primeira ordem). O termo e a divisão foram especificações feitas em 1974 por um antigo participante das conferências Macy, o biofísico Heinz von Foerster (1911-2002). Ele buscou desenvolver estudos sobre a epistemologia do observador. Envolvido em discussões que tinham como tema a questão da auto-organização, em 1960, von Foerster, para expor seu pensamento, defendia que não existiam sistemas auto-organizados isolados do meio externo. Para tanto, elaborou o princípio de “ordem pelo ruído” considerando que uma organização acontece graças a uma mescla de ordem e desordem, aspecto salientado por von Foerster em entrevista para a jornalista científica Guitta Pessis-Pasternak (1993):

Não se pode ignorar o fato de que, para se organizar, para ordenar, todo sistema, todo organismo é obrigado a buscar energia fora de si mesmo, ou seja, em seu ecossistema. Na Física contemporânea, por exemplo, as “estruturas dissipativas” de Ilya Prigogine demonstram que a “ordem por flutuações” leva a um sistema de um estado desordenado a um estado ordenado. Em outras palavras, o caos faz surgir a ordem (FOERSTER, 1993, p. 199).

Outro autor fundamental, ligado à segunda cibernética, é o neurologista e matemático Ross Ashby (1903-1972). Em 1952 ele publicou *Design for a Brain* (Projeto para um cérebro) procurando explicar o funcionamento da mente por meio de um modelo mecânico. Ashby vai desenvolver a concepção de um autômato capaz de autoadaptação. O mecanismo por ele elaborado estaria habilitado a modificar a si mesmo, realizando automaticamente sua autorregulação, isso conforme as exigências das situações e contextos a que era exposto. Tal autômato recebeu o nome de homeostato, e, apesar de não ter o objetivo de realizar uma tarefa específica, era um experimento modelo para formalizar, por axiomas, a interação entre o organismo e o ambiente. Esta proposta, ao

dispensar termos mentalistas, o aproximava de concepções behavioristas. Para preservar seu funcionamento fisiológico, tal autômato envolveria, em sua composição, um pequeno número de variáveis fundamentais, configuradas de modo a permitir dois momentos:

No primeiro, todas as conexões são estabelecidas, o sistema global é determinista e a sua dinâmica figura a co-evolução do “cérebro” e de seu ambiente. Se ao longo da evolução, uma ou muitas variáveis essenciais do cérebro saem de sua zona vital, automaticamente tem início o segundo nível, e o homeostato muda suas conexões ao acaso. Ele se torna, portanto, um novo autômato determinista, que terá ou não a capacidade de manter as variáveis essenciais na zona desejada. O homeostato terá demonstrado a tese que encarna se conseguir, seja qual for o ambiente, encontrar as conexões certas, aquelas que mantêm o cérebro “vivo” e o “adaptam”, portanto, a esse meio ambiente (DUPUY, 1995, p. 202).

O homeostato buscava provar que a vida assim como a inteligência não eram meros acidentes evolutivos, mas potencialidades de todo sistema isolado. Tal conceito reflete aspectos envolvidos em diversas teorizações da segunda cibernética. Movimento que contribuiu para a formação de concepções como de auto-organização e complexidade, noções desenvolvidas posteriormente por autores como Henri Atlan, Edgar Morin e Jean Pierre Dupuy (PASTERNAK, 1993).

Um dos desdobramentos de noções como o homeostato são as reflexões que vão dar origem à teoria da *autopoiesis*, concepção elaborada por dois biólogos chilenos, Francisco Varela (1946-2001) e Humberto Maturana (1928-), no livro escrito em 1980, *Autopoiesis and Cognition*. A *autopoiesis* faz referência à noção dos seres vivos como seres autorreprodutores, ou seja, com a habilidade de reproduzirem a si mesmos. Os autores criticam a inteligência artificial simbólica e conexionista no que tange à ênfase dada por estes campos de conhecimento ao conceito de representação, importância que deve ser deslocada para o conceito de ação, envolvido mais diretamente nos processos de autocomposição e transformações recíprocas entre organismo e ambiente (KASTRUP, 2008).

Enquanto a segunda cibernética se mantém ligada à neurologia e à elaboração de modelos biológicos da inteligência, as ciências cognitivas e a inteligência artificial vão fixar de vez suas referências nas ciências da computação.

2.7. RETOMANDO CRITICAMENTE OS ANTECEDENTES DA COMPUTAÇÃO

Partindo dos princípios lógicos racionais de identidade, não contradição, terceiro excluído, razão suficiente, passando pela formalização aristotélica da lógica, pela aproximação entre lógica e matemática aritmética até sua reprodução em aparelhos mecânicos e eletrônicos, como os computadores, procurou-se fazer um breve mapeamento histórico-conceitual dos elementos envolvidos no processo que vai desembocar na simulação mecânica de atividades do pensamento.

A própria lógica indica a existência de procedimentos que rompem com o princípio da não contradição. Estas constatações reforçam a possibilidade de o pensamento abarcar processos não passíveis de formulações mecânicas, mas que, permitindo reflexões intuitivas, podem ser apreendidos por um sujeito:

O sujeito cognoscente é dominado no momento da intuição e arrancado, pelo presente atual, da uniformidade da mera subsunção, de antigos juízos, conclusões, e sobretudo relações cuja unificação coloca em foco aquele momento do objeto que é mais que o seu valor de posição no interior do sistema. Na intuição, a *ratio* recorda o que ela esqueceu. // Nesse sentido, Freud estava certo – ainda que não tenha planejado isso – ao atribuir ao inconsciente uma espécie de racionalidade. A intuição não é a antítese da lógica: ela pertence à lógica e a adverte ao mesmo tempo sobre o momento de sua verdade. Como um ponto cego no processo do conhecimento, do qual este não pode se desvencilhar, as intuições impelem a razão a refletir sobre si mesma como uma forma de reflexão da arbitrariedade, com a finalidade de pôr um fim na arbitrariedade. Nas lembranças não arbitrarias, o pensamento arbitrário busca, como sempre, em vão, algo para curá-lo daquilo que ele, não obstante, precisa perpetrar (ADORNO, 2007, p. 95).

É relevante o fato de que a própria origem do campo da computação acompanhe o movimento da lógica e da matemática na formalização de limites próprios. A teoria da máquina de Turing e o seu fracasso em estabelecer uma fórmula genérica capaz de decidir, seja qual for o algoritmo específico utilizado, se a máquina irá parar ou irá funcionar em *looping*, demonstra as barreiras existentes na passagem de conceitos intuitivos para procedimentos mecânicos:

O próprio Gödel estava convencido de que as consequências de seu teorema da Incompletude levavam a sérias limitações no que diz respeito à simulação mecânica das atividades mentais humanas

pretendida pelos pesquisadores da Inteligência Artificial. A intuição matemática, que seria a base de todos os sistemas formais e da própria possibilidade de fundamentar a Matemática, não poderia ser expressa algoritmicamente (TEIXEIRA, 1998, p. 75).

Antes de expor a consolidação desse movimento nas ciências cognitivas e inteligência artificial, este capítulo procurou retomar o fato de que mesmo por dentro de seu próprio sistema, a lógica encontrou seus limites e impossibilidades. Pela teoria da incompletude, Gödel põe abaixo a pretensão de uma espécie de “teoria de tudo” na matemática, mais especificamente na aritmética. Para que fosse possível dar conta de alguns problemas lógico-matemáticos de forma consistente, completa e decidível seria necessário a lógica quebrar seus próprios princípios fundamentais, a identidade, a não contradição e o terceiro excluído, ou, para preservá-los, ir além de si mesma estabelecendo uma metalinguagem matemática.

CAPÍTULO 3

A CIÊNCIA DA COGNIÇÃO E A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A classificação é a condição do conhecimento, não o próprio conhecimento, e o conhecimento por sua vez destrói a classificação. T. W. ADORNO e M. HORKHEIMER

O momento da não-identidade no juízo identificador é facilmente discernível, na medida em que todo objeto singular subsumido a uma classe possui determinações que não estão contidas na definição da classe T. W. ADORNO

3.1. O COMEÇO DA CIÊNCIA COGNITIVA E DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Seguindo a tradição acadêmica de sua antecessora, a cibernética que tem as conferências de Macy como referência, o ponto de orientação para se estabelecer o começo das ciências cognitivas é uma reunião de pesquisadores. O Simpósio de Teoria da Informação realizado no MIT (Massachusetts Institute of Technology) em 1956. Em tal evento destacou-se a apresentação de três artigos fundamentais:

O primeiro é intitulado “*Logic Theory Machine*” (Máquina de teoria lógica), escrito pelo psicólogo Allen Newell (1927-1992) e pelo economista Herbert Simon (1916-2001). O artigo é o primeiro a demonstrar que um computador pode produzir uma prova completa de um teorema lógico. A prova ocorreu devido à criação, pelos autores, de um programa de computação, o *Logic Theorist*. Este recebeu a reputação de primeiro programa de inteligência artificial por conseguir resolver problemas cuja resolução antes era atribuída apenas aos seres humanos (GARDNER, 1995).

O segundo artigo se chama “*Three Models of Language*” (Três modelos da linguagem) de autoria do reconhecido filósofo e linguista Noam Chomsky (1928-). Neste texto, são expostas limitações no uso da teoria da informação de Claude Shannon para a compreensão da linguagem natural. Para superar as limitações, é afirmada a necessidade de um novo modelo, capaz de levar em conta as transformações formais da língua. Em trabalhos futuros, Chomsky iria desenvolver a Gramática Gerativa, buscando, entre muitos outros aspectos, explicar essas transformações linguísticas (GARDNER, 1995).

O terceiro alicerce de origem da ciência nascente é o trabalho denominado “*The Magical Number Seven*” (O mágico número sete) do psicólogo George Miller (1920-2012). Essa pesquisa estabelece o limite aproximado de sete itens como poder de processamento da memória de curto prazo. Após esse número, as pessoas começavam a apresentar dificuldades em distinguir as informações a que eram expostas (GARDNER, 1995).

A ciência cognitiva, caracterizada inicialmente como campo de estudos do processamento da informação, passou a conquistar território para além da computação, alcançando áreas como psicologia, filosofia, neurociências e antropologia. Nesse momento, que compreende aproximadamente o período entre 1955 e 1960, um livro que teve uma grande importância histórica para a ciência nascente foi *The Computer and Brain* (O computador e o cérebro), publicado em 1958 após a morte de seu autor, o já mencionado John von Neumann. Nesta obra, von Neumann reflete sobre a analogia entre cérebro e computador, abordando pontos como os programas de computação, a memória e os autômatos autorreplicantes (GARDNER, 1995).

Na passagem dos anos 1950 para 1960 começava a se delinear, com mais clareza, uma divisão que iria separar as ciências cognitivas em dois campos de pesquisa distintos. De um lado, o cognitivismo computacional e a inteligência artificial simbólica, que trabalham diretamente com o conceito de representação e manipulação de símbolos. Esta perspectiva adota como principal modelo o processamento sequencial e lógico formal dos computadores. O símbolo, nesse caso, seriam unidades discretas, físicas e semânticas, capazes de combinações entre si por meio de regras lógicas. O nível simbólico se diferencia de outros dois, o neurofisiológico e o socio-histórico (KASTRUP, 2008).

De outro lado, o conexionismo e a inteligência artificial baseada em redes neurais, preocupados em investigar o funcionamento e as propriedades emergentes de um conjunto de conexões entre as unidades mínimas, os neurônios artificiais, minicalculadoras capazes de alterar a força de suas conexões. A estrutura e o funcionamento do sistema nervoso, com o seu processamento de informações distribuído e paralelo, é a grande referência neste caso (KASTRUP, 2008).

3.1.2. COGNITIVISMO COMPUTACIONAL

No final de 1956, matemáticos e lógicos reuniram-se em uma pequena conferência no Dartmouth College em New Hampshire, nos Estados Unidos, para discutir os fatores envolvidos na construção de computadores habilitados a simular aspectos do pensamento. Entre os participantes de destaque estavam Allen Newell, Herbert Simon, o matemático John McCarthy (1927-2011) que formulou o termo inteligência artificial e, por último, o matemático Marvin Minsky (1927-2016). Os dois últimos fundaram em 1957 o primeiro laboratório de inteligência artificial no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) (GARDNER, 1995).

O desenvolvimento das linguagens de programação também tiveram um grande avanço durante a década de 1950. Em uma breve descrição, podemos caracterizar as linguagens computacionais como linguagens capazes de ler algoritmos (antes chamado, no campo da lógica e da matemática, procedimentos finitos), ou seja, um conjunto de instruções para manipulação de símbolos que tenha um número finito de passos sequenciais. A linguagem algorítmica pode tanto ser um subconjunto de uma linguagem natural, como português, inglês, francês etc., quanto de uma linguagem artificial, menos sujeita a ambiguidades, regida por regras sintáticas e possuindo uma semântica formal (referente aos comportamentos causados no computador pela linguagem).

Existem vários níveis de linguagem, sendo a gradação dos níveis referente, de um lado, à proximidade com o código da máquina, expresso em números binários; e do outro lado, às linguagens de alto nível, mais abstratas e próximas da linguagem humana, o que facilita sua programação. A tradução de uma linguagem de alto nível para a linguagem da máquina seria realizada por programas denominados compiladores.

Ao longo da década de 1940 surge a primeira geração de computadores, em que se enquadram o ENIAC e o EDVAC. Esses computadores eram compostos por dois níveis de linguagem: a linguagem da máquina usada para realizar a programação, e a linguagem lógica digital em que o programa era executado. O EDSAC acrescentou um interpretador, o que diminuiu o número de instruções a serem executadas, gerando economia dos circuitos utilizados. A segunda geração de computadores (1956-1963) desenvolveu-se com o aparecimento do transistor (1948); a terceira geração (1964-1970) avança graças à constituição dos circuitos integrados; a quarta fase é relacionada ao surgimento dos chips eletrônicos e vigora até hoje, dividindo a cena com o recente aparecimento de uma quinta

geração de computadores, caracterizada pela habilidade de processamento dos dados em paralelo, o que permite a esses sistemas irem além do modelo sequencial de von Neumann (FONSECA FILHO, 2007).

O FORTRAN (*IBM Mathematical FORMula TRANslation System*), produzido em 1954 na IBM (International Business Machine), foi a primeira linguagem de programação de alto nível a ter uma grande receptividade no mundo científico. Os desenvolvedores desta linguagem prometiam unir mais facilidade de codificação sem perda na velocidade de execução. Já no âmbito da inteligência artificial, em 1956, Newell e Simon (com a ajuda de Cliff Shaw) desenvolveram a linguagem IPL (*Information Processing Language*). O objetivo da linguagem, composta de regras claras e de fácil compreensão, era permitir a implementação de um programa capaz de imitar habilidades humanas de resolver problemas, o *Theory Logistic*. Foi a primeira linguagem de processamento de informação e listas, vindo a ser substituída pela linguagem LISP (*LISt Processing*) elaborada por John McCarthy em 1958 para a realização de operações algébricas e processamento de listas, atendendo às demandas relacionadas à inteligência artificial (FONSECA FILHO, 2007).

Em 1959, Simon e Shaw produziram o *General Problem Solver* (Solucionador de Problemas Gerais), projeto ambicioso de um programa de resolução de problemas complexos. Em vez de usar o método de tentativa e erro, o programa era capaz de verificar a diferença entre o seu estado presente e o resultado a ser alcançado. Esta estratégia era repetida sucessivamente, acarretando a diminuição gradativa da distância entre as etapas intermediárias e a solução almejada. Os desafios deveriam ser passíveis de formalização simbólica, contribuindo desta maneira, com a construção das provas para teoremas, criptografias e habilidades em jogos como o xadrez. Apesar de ter fracassado em várias tarefas, o programa conseguiu resolver alguns problemas simples (GARDNER, 1995).

Essas experiências ajudaram a consolidar o cognitivismo computacional. A cognição pode ser tratada, nesta vertente, como a capacidade humana de computar representações simbólicas. O computador é tratado como um sistema, ao mesmo tempo físico e simbólico, servindo de importante modelo para o estudo do funcionamento da mente:

A concepção funcionalista dos estados mentais incorpora duas acepções de função. Um programa de computador é uma função no sentido teleológico (para efetuar cálculos) e matemático – para todo input, a

aplicação do programa permite o cálculo de um output. À semelhança do que acontece no computador – em que, a cada cálculo efetuado segundo a efetuação de um programa, um determinado evento físico se produz –, os funcionalistas supõem que todo evento mental particular é um evento cerebral particular (PEDRO, 2010, p. 192).

Em 1960 ocorreu a fundação do Centro de Estudos Cognitivos em Harvard, contando com a participação dos psicólogos Jerome Bruner (1915-2016) e George Miller (1920-2012). Ao mesmo tempo que fortalecia a crítica ao behaviorismo, em trabalhos que davam ênfase ao conceito de *feedback*, o centro consolidou as ciências cognitivas como campo de pesquisa. Um dos aspectos investigados foi o da possibilidade de computadores autoverificarem seu desempenho, simultaneamente aos instantes em que estão seguindo metas (PEDRO, 2010).

3.2. A FILOSOFIA DA MENTE E A COMPUTAÇÃO

No campo da filosofia da mente, o cognitivismo computacional retoma a discussão cartesiana da divisão entre mente e corpo. No caso, a metáfora utilizada para essa divisão seria entre o computador em sua dimensão física, os *hardwares* e, do outro lado, os programas lógicos e sua dimensão simbólica, os *softwares*. O filósofo Hilary Putnam (1926-2016) apresenta a hipótese funcionalista da mente ao dizer que as operações por ela realizadas, independem do material físico que lhe serve como substrato, seja ele orgânico ou de silício. Zenon Pylyshyn (1937-), que escreveu em 1986 “*Computing and Cognition*”, defende a máxima de que conhecer é computar. O filósofo Jerry Fordor, discípulo de Putnam e adepto das concepções de Chomsky, fortalece a noção de representação mental funcional, elaborando uma teoria da modularidade da mente, defendendo que esta só pode ser estudada cientificamente em seus aspectos modulares e computacionais (PEDRO, 2010).

Considerado um experimento mental, o problema levantado por Frank Cameron Jackson (1943-), nomeado Mary no quarto branco e preto, levanta reflexões sobre se o mundo pode ser reduzido apenas a aspectos físicos. No experimento, Mary é uma neurofisiologista que conhece tudo sobre os aspectos físicos das cores, suas propriedades, seus efeitos sobre o sistema nervoso humano, assim como tudo que acontece a uma pessoa quando vê uma cor, seja ela qual for. Porém Mary vive em um quarto em que tudo é

branco e preto, existe um monitor em que ela pode ver o resto do mundo, mas o monitor também só emite cores em branco e preto (BORGONI, 2013).

A questão que o experimento levanta é o que acontece quando Mary sai do quarto e vê pela primeira vez o fenômeno cor vermelha, cor sobre a qual já tinha todo conhecimento físico possível por intermédio dos livros em branco e preto, mas que nunca tinha visto vivencialmente. A questão que Jackson apresenta é se Mary irá aprender algo novo ao experimentar pela primeira vez o que é ver a cor vermelha. Ele defende que Mary aprende algo que não se reduz aos aspectos físicos, ela aprende algo fenomênico.

O filósofo Daniel Dennet (1942-) defende que Mary não aprende nada de novo argumentando que, caso alguém tentasse enganá-la, por exemplo, mostrando uma banana pintada de azul dizendo que a fruta era amarela, Mary descobriria o engodo devido a seus conhecimentos neurofisiológicos sobre os efeitos das cores no cérebro. Um contra-argumento às conclusões de Dennet é que as informações neurofisiológicas de Mary sobre o que ocorre ao ver o vermelho não são suficientes para compreender a aprendizagem de Mary ao experienciar ver o vermelho (BORGONI, 2013).

O filósofo analítico David Lewis (1941-2001), por sua vez, aponta a diferença entre conhecimento proposicional, o “saber que”, de uma habilidade, um “saber como”. Para clarear essa diferença, seria possível usar o exemplo de uma pessoa que sabe descrever em detalhes o que ocorre quando se anda de bicicleta, mas que nunca andou de bicicleta, não possuindo habilidade para tanto (BORGONI, 2013).

Além do argumento de Lewis, outro modo de encarar o problema é dado por uma corrente filosófica denominada materialismo *a posteriori*, incluindo filósofos como Paul Churchland (1942-) e Michael Tye (1950-). Tal corrente defende que Mary só pode estabelecer a relação entre a experiência fenomenológica de ver o vermelho e o conhecimento físico sobre o vermelho ao sair do quarto, ou seja, apenas após a experiência de ver o vermelho (BORGONI, 2013).

Mesmo antes do experimento mental sobre Mary no quarto branco e preto, em 1970 Donald Davidson (1917-2013) expõe em seu artigo “*Mental Events*” a perspectiva do “monismo anomal” na qual defende que todos os eventos, inclusive os mentais, são eventos físicos, estando as diferenças de identidade entre mente e física em âmbitos apenas conceituais:

A relação causal é, portanto, extensional, e é sustentada por uma lei da física. Em contrapartida, uma explicação que faz intervirem propriedades ou conceitos mentais, a exemplo das explicações fornecidas pela psicologia comum, só pode ser intencional e, com isso, não instancia nenhuma lei determinista estrita no sentido da física. Daí seu caráter não nomológico ou “anomal” (DUPUY, 1996, p. 124).

Essas discussões entre fisicalistas e cartesianos envolvendo mente e corpo levantam questões que englobam o campo da inteligência artificial. Uma máquina poderia apenas processar as informações físicas de uma cor, ou seria ela capaz também de desenvolver uma experiência fenomênica de ver a cor? Existe diferença entre o conhecimento físico e o fenomenológico ou um pode ser reduzido ao outro?

Mais do que dar uma resposta a essas questões, o caminho aqui delineado procura apenas levantar essas indagações de forma a formentar a reflexão sobre elas. Porém, para fixar as reflexões em uma base material, é possível apontar para a caixa-preta da computação indicando alguns princípios lógicos, simbólicos e conexionistas que a constituem, assim como algumas das aplicações práticas já produzidas no campo da inteligência artificial.

3.3. OS SISTEMAS ESPECIALISTAS

Para além das discussões filosóficas sobre a relação entre mente, cérebro e computador, no que se refere a suas concretizações tecnológicas, a partir da década de 1970, o campo da inteligência artificial simbólica desenvolveu programas denominados sistemas especialistas, programas que simulavam o raciocínio dedutivo, a partir do conhecimento fornecido por um perito em um determinado campo de atuação. A representação dos saberes coletados leva em conta as especificidades de cada área, tendo o programador que atuar como uma espécie de engenheiro do conhecimento, ordenando os dados com as estratégias e procedimentos adequados a cada especialidade. O programador também deveria formalizar corretamente o conhecimento levantado com um determinado especialista, sendo que o próprio perito, muitas vezes, apresentava dificuldade em descrever suas próprias habilidades:

Quando entrevistamos um especialista humano num determinado assunto – para fazer a coleta de informação e instruir nossa base de

dados – muitas vezes deparamos com procedimentos sobre os quais o próprio especialista tem dificuldade de expressar. São procedimentos e conhecimentos que o especialista atribui a um “sexto sentido” ou a uma “intuição” que resiste à conceitualização ou a uma expressão clara. Este é o caso típico, por exemplo, daquela pessoa que sabe consertar o defeito do motor de um carro, mas não sabe dizer exatamente o que faz nem que tipo de função desempenham as peças desse motor. Casos deste tipo são um desafio para a chamada aquisição de conhecimento, uma etapa fundamental para a construção de sistemas especialistas (TEIXEIRA, 1998, p. 52).

Para realizar essa organização do material, o sistema especialista conta com regras de inferências, procedimentos heurísticos, *scripts*, redes semânticas e metarregras (regras que determinam como e quando outras regras devem ser usadas). Tais *softwares* entraram em utilização em diversos setores no comércio e na indústria, tanto para atender clientes quanto para treinar funcionários, atuando como ferramenta auxiliar em atividades de diagnóstico, planejamento, previsão, controle, instrução e interpretação (TEIXEIRA, 1998).

Entre estes programas já criados está o pioneiro *Dendral*, de 1968, relacionado à área da química e usado para detectar estruturas moleculares de compostos orgânicos recém-descobertos. Outro exemplo é o *Mycin*, da década de 1970, ligado à área da medicina. Este recomendava antibióticos ao detectar infecções graves por bactérias como a meningite, coletando dados referentes tanto ao organismo infeccioso, quanto ao quadro clínico do paciente (local da infecção, sintomas etc.). Além de exemplos anteriores, foram produzidos sistemas especialistas voltados às mais diferentes áreas, como administração, advocacia, agricultura, engenharia, economia, educação etc. (TEIXEIRA, 1998).

A área da inteligência artificial simbólica procurava, com esses sistemas de raciocínio automático, fornecer uma ferramenta auxiliar para os usuários na resolução de problemas e tomada de decisões em um domínio específico do conhecimento. Porém, a implementação desses sistemas encontra diversos limites, entre eles, dificuldades devido à ausência de métodos e técnicas adequadas na aquisição do conhecimento. Tais empecilhos eram reflexos de uma estrutura rígida em seu funcionamento, o que produzia respostas deficientes e problemáticas diante de demandas inesperadas, exigindo, para uma resposta adequada, a necessidade de um tratamento mais flexível do conhecimento.

Essas dificuldades acabaram reforçando críticas como a de Hubert Dreyfus, na década de 1970, e a de John Searle, na década de 1980. Dreyfus, em um artigo de 1972 intitulado “O que os computadores não podem fazer?”, aponta a irreduzibilidade de condições e situações vividas pelos humanos, as regras exclusivamente formais, lógicas e sintáticas voltadas à manipulação e computação de símbolos. Um exemplo usado por ele, na época, foi o dos insucessos dos programas voltados para a tradução automática entre idiomas. Porém, Dreyfus iria reavaliar sua posição ao analisar futuramente o conexionismo. Outra crítica, que percorre um sentido parecido, foi a realizada por John Searle, procurando demonstrar que as regras sintáticas de manipulação simbólica (constituidoras dos programas computacionais) são incapazes de dar conta dos significados semânticos dos símbolos (PEDRO, 2010).

Frente aos problemas enfrentados na elaboração dos sistemas especialistas, surgiu a seguinte questão: o conhecimento é redutível ao formalismo lógico e a representações simbólicas? Pergunta esta com que se defronta a inteligência artificial simbólica ao afirmar que “Pensar é encadear proposições por meio de conectivos lógicos e usar isso de forma a resolver problemas, isto é, de forma algorítmica” (Teixeira, 1998, p. 44). Dando uma resposta negativa a esse questionamento, surge o movimento conexionista dentro da inteligência artificial, movimento que vai se consolidar apenas na década de 1980, colocando como principal referência, no lugar do computador, com seu funcionamento lógico-formal de manipulação de símbolos, os modelos baseados no sistema nervoso cerebral.

3.4. O CONEXIONISMO

3.4.1. OS NEURÔNIOS ARTIFICIAIS DE MCCULLOCH

Como corrente alternativa ao modelo simbólico computacional, o conexionismo insere como referência o cérebro no lugar do computador. Os procedimentos sequenciais, exigidos na manipulação lógica de símbolos, dão lugar ao processamento paralelo e distribuído dos dados. Ganham destaque, neste movimento, as conexões de unidades elementares organizadas em redes. É apenas na configuração do conjunto que tal sistema faz emergir as propriedades relacionadas aos comportamentos cognitivos.

Como um exemplo específico de rede neural, podemos usar uma composta por três camadas, imitando a estrutura do cérebro (neurônios receptores, de associação e motores): os neurônios artificiais de entrada recebem os estímulos ambientais, transformando-os em padrões de impulsos elétricos; as camadas ocultas estabelecem as interconexões; e a camada de saída apresenta a resposta, seguindo os padrões gerados pela rede como um todo.

Partindo desse esquema, McCulloch e Pitts elaboraram, na década de 1940, modelos de neurônios artificiais, unidades que atuavam como conectivos lógicos, as quais apresentavam limiares de ativação. O neurônio artificial pode receber, através de suas conexões, sinais estimulantes ou inibitórios, além de funcionar de forma binária, disparando um sinal quando ultrapassa seu valor de ativação (valor igual a um), ou não disparando o sinal quando não se atinge o valor de ativação (valor igual a zero) (TEIXEIRA, 1998).

Em relação ao modelo de neurônio artificial proposto por McCulloch e Pitts de 1943:

Ele se parecia um pouco com as portas lógicas da quais os computadores são compostos. Uma porta OR é ativada quando pelo menos uma de suas entradas está ativada, e uma porta AND é ativada quando todas elas estão ativadas. Um neurônio MacCulloch-Pitts é ativado quando o número de suas entradas ativadas ultrapassa um limite. Se o limite for um, o neurônio agirá como uma porta OR; se o limite for igual ao número de entradas, ele agirá como uma porta AND. Além disso, um neurônio de MacCulloch-Pitts pode impedir que outro neurônio seja ativado o que modela tanto sinapses inibitórias quanto as portas NOT. Logo, uma rede de neurônios pode executar todas as operações de um computador. No passado, os computadores costumavam ser chamados de cérebros eletrônicos, o que não era uma simples analogia.

O que o neurônio de McCulloch-Pitts não faz é aprender. (DOMINGOS, 2017, p.119-120)

Usando um exemplo hipotético, referente à simulação da percepção por meio das redes neurais de McCulloch e Pitts, diante de um objeto frio encostado na pele, caso o contato seja curto, é produzida uma sensação de queimação; caso o contato seja prolongado, a sensação é de frio. Nesse caso, em uma simulação, o neurônio de entrada X, destinado à recepção de calor, remete ao neurônio de saída Y, referente à sensação de calor. Um neurônio de entrada W, referente à recepção do frio, faz conexão com dois neurônios intermediários interconectados, um deles também se liga a um neurônio de

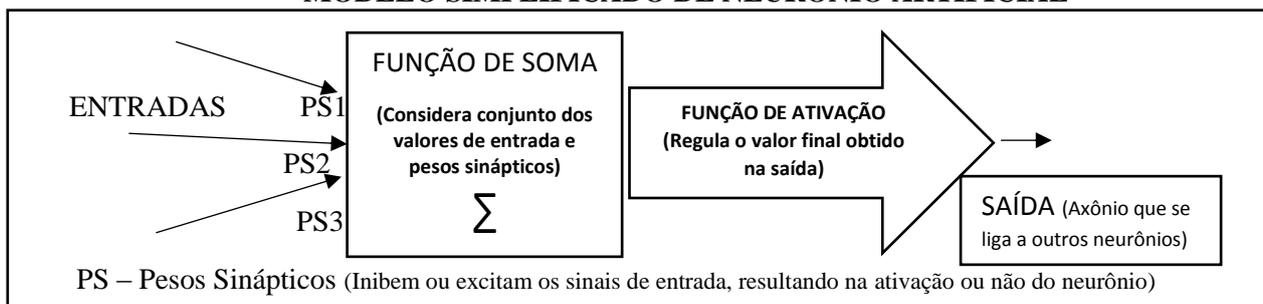
saída Z que produz a sensação de frio, o outro, intermediário, se liga ao neurônio de saída Y que produz a sensação de calor. Dependendo do tempo de estimulação do receptor de frio, os neurônios intermediários vão ativar a conexão, ou com o neurônio que produz a sensação de frio (alto tempo de estimulação de receptores de frio), ou com o neurônio que produz a sensação de calor (baixo tempo de estimulação de receptores de frio ou estimulação do receptor de calor). (ROQUE,2017)

3.4.2. A REGRA DE APRENDIZAGEM DE DONALD HEBB

Donald Hebb (1904-1985) procurou explicar os processos de aprendizagem a partir das alterações cerebrais produzidas pelas mudanças nas forças de conexões entre os neurônios. Com o livro *The Organization of Behavior*, publicado em 1949, o trabalho de Hebb ganhou notoriedade no campo das neurociências. Para Hebb, as repetições constantes de ativações simultâneas entre neurônios apresentavam como consequência o fortalecimento entre certas conexões sinápticas (TEIXEIRA, 1998).

Um conceito que permite expressar matematicamente o modelo de Hebb, indicando a força de cada conexão entre dois neurônios, é a noção de peso sináptico. A regra de aprendizagem de Hebb afirma que dois neurônios interconectados, quando acionados simultaneamente, aumentam a força da conexão entre eles e, conseqüentemente, o peso sináptico dessa ligação. Isso significa que, caso ocorra a repetição de um mesmo padrão de estímulo na entrada, é mais fácil que ocorra o acionamento das mesmas conexões neuronais anteriormente utilizadas, repetindo desta forma, a resposta classificatória do estímulo na saída da rede neural artificial (TEIXEIRA, 1998).

MODELO SIMPLIFICADO DE NEURÔNIO ARTIFICIAL



Modelo de neurônio artificial – adaptado de HAYKIN, 2001.

3.4.3. OS PERCEPTRONS E AS REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS

As redes neurais de McCulloch e Pitts e as regras de aprendizagem, baseadas no fortalecimento das conexões sinápticas, de Hebb, serviram de pontapé, nas décadas de 1950 e 1960, para o desenvolvimento de muitas pesquisas propondo o aperfeiçoamento dos modelos de redes neurais artificiais. Dentro desse movimento destacou-se o *Perceptron*, formato de rede neural artificial elaborado a partir de pesquisas entre 1957 e 1961 por Frank Rosenblatt (1928-1971). O intuito era atender demandas da marinha norte-americana por pesquisas sobre modelização da percepção visual.

O *Perceptron* é uma rede neural em que os neurônios artificiais de entrada simulam os neurônios da retina. Cada neurônio da camada receptora é sensível a um tipo de traço ou sinal (por exemplo, cada neurônio identifica um tipo de cor ou forma). Os neurônios de saída reconhecem e classificam esses sinais a partir dos processamentos e cálculos dos neurônios das camadas intermediárias, capazes de mudar seus pesos (força e predisposição de suas conexões), pelo treinamento, ou seja, capazes de “aprender” a partir de experiências passadas.

A “aprendizagem” das redes neurais artificiais pode ocorrer principalmente de duas formas. A primeira é por treinamento supervisionado, sendo, neste caso, as classes e categorias em que os padrões de estímulos podem ser organizados, definidas *a priori*. Nesta primeira forma de aprendizagem, a rede *perceptron* é condicionada para executar uma determinada classificação pré-definida. A segunda forma ocorre por treinamento não supervisionado, em que a rede aprende e elabora autonomamente as classes que irá utilizar. Os parâmetros, neste segundo caso, são as características intrínsecas aos padrões de estímulos que é capaz de receber. Ou seja, a rede neural realiza o processo de indução, reconhecendo, discriminando e classificando padrões de estímulos a partir da experiência. O conjunto de instruções que determina o modo de treinamento dos neurônios costuma ser denominado algoritmo de aprendizagem (TEIXEIRA, 1998).

Rosenblatt elabora suas redes neurais artificiais de forma oposta à de seus antecessores McCulloch e Pitts. Estes partem de um procedimento descendente (*top-down*) em que primeiro é delimitado um padrão lógico para o funcionamento da rede como um todo para, depois, definir a composição de seus componentes individuais. De modo inverso, Rosenblatt formula seus *perceptrons* a partir de um procedimento ascendente (*bottom-up*) em que, primeiro, são determinadas as unidades ou partes mais

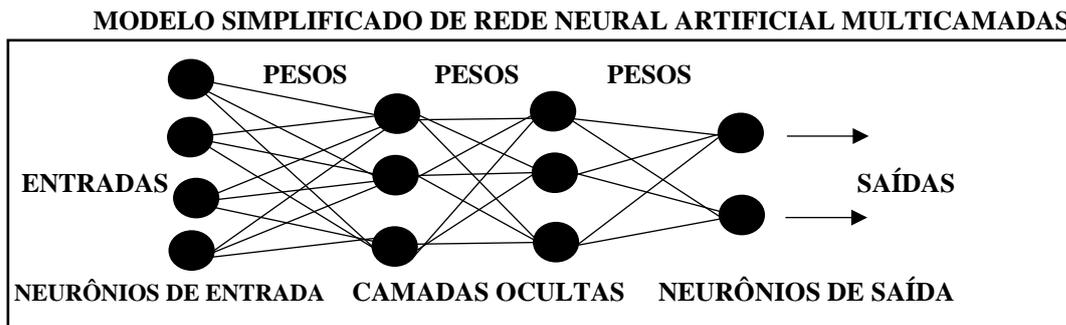
simples da rede para, só depois, desenvolvê-la em toda a sua complexidade, permitindo desta forma a investigação de suas propriedades funcionais emergentes. Essas funções só poderão ser analisadas *a posteriori*, com a estruturação do conjunto formado pelas interações das unidades e redes mais elementares (DUPUY, 1996).

Mais do que MacCulloch e Pitts, a inspiração para a constituição dos *perceptrons* é creditada por Rosenblatt à influência de autores como Ross Ashby, o homem do homeostato que está ligado à segunda cibernética, assim como ao economista Friedrich von Hayek (1899-1992). A influência do economista se relaciona à sua concepção de “ordem social espontânea”, produzida pelas ações dos homens, mas que os ultrapassa. Tal ordem constitui, em seu conjunto, um sistema complexo de regras, instituições e convenções que, ao mesmo tempo em que determina, escapa à racionalidade dos próprios homens que o constituem. A mente e os pensamentos dos homens, para Hayek, mais do que produzir regras sociais, são determinados por elas, na medida em que essas regras são frutos espontâneos, não de indivíduos, mas da complexa dinâmica social como um todo (DUPUY, 1996).

Em 1969, os cientistas cognitivos e matemáticos Marvin Minsky e Seymour Papert (1928-), autores ligados ao cognitivismo simbólico e computacional, escreveram o livro *Perceptrons* fazendo duras críticas ao modelo de redes neurais. A análise, na verdade, focava sua censura ao modelo de rede mais elementar, formado apenas por uma camada, limitada à solução de problemas linearmente separáveis incapaz de formalizar e aprender a função booliana XOR, ou seja, a diferença entre conector lógico “ou excludente”, em que apenas os elementos de um grupo X, ou apenas os elementos de um grupo Y, são verdadeiros, excluindo como falsos os elementos presentes em ambos os grupos, tanto em X quanto em Y. Rosenblatt teve dificuldade em responder às críticas, não conseguindo elaborar algoritmos de aprendizagem (regras de ajuste dos pesos e ligações neurais) para *perceptrons* de múltiplas camadas. Com isso, o livro de Minsky e Papert contribuiu para uma desvalorização, ao longo da década de 1970, dos estudos relacionados a redes neurais.

Nos anos 1980, as pesquisas envolvendo redes de neurônios artificiais ressurgem com força, renovadas graças aos avanços da neurociência e ao desenvolvimento de novas técnicas de aprendizagem envolvendo as camadas intermediárias e “ocultas” de redes com multicamadas de neurônios artificiais. Esses novos métodos de aprendizagem têm como suporte teorias como a da auto-organização, a matemática dos processos não

lineares e a física dos sistemas dinâmicos. Entre as publicações que contribuíram com essa renovação estão o livro de 1981, *Parallel Models of Associative Memory*, escrito por Geoffrey Hinton (1947-) e John R. Anderson (1947-) e o livro de 1986, *Parallel Distributed Processing*, de David Rumelhart (1942-2011) e James McClelland (1948-) (TEIXEIRA, 1998).



Baseado em concepções que procuram investigar como os sistemas complexos apresentam graus de auto-organização, o neurobiólogo John Hopfield (1933-) desenvolveu uma linha de pesquisa dentro do conexionismo, a *Attractor Neural Network*, perspectiva que incorpora a noção de atrator. Os atratores seriam um conjunto de comportamento tendencialmente mais estáveis, apresentados por um sistema dinâmico, ao longo de sua evolução. Em outros termos, atratores seriam pontos de estabilidade regionais que exigem um mínimo de energia do conjunto, os quais surgiriam ao longo da evolução de sistemas inicialmente desordenados, mas que tenderiam a expressar, regionalmente, padrões com um maior grau de organização. No caso das redes neurais, o uso desse modelo busca acompanhar a visão do cérebro como um sistema complexo, indo além da rede de *perceptrons* em que os estímulos percorrem, unidirecionalmente, os caminhos entre a camada de entrada (*input*) e a camada de saída (*output*). Para que seja possível a produção de um grau maior de complexidade, as unidades neurais de saída apresentam conexões também com as unidades de entrada, produzindo com isso um processo de retroalimentação, o que torna a rede muito mais dinâmica. De um estado inicial mais aleatório, contingente, essas redes não lineares tenderiam “atrativamente” a estabelecer zonas de maior estabilidade, constituindo padrões locais de comportamento duráveis por um longo período de tempo (DUPUY, 1996).

Como contraponto ao cognitivismo computacional, o conexionismo destaca a emergência de propriedades globais produzidas pela rede neural como um todo. A cognição, a lógica e os símbolos, segundo os conexionistas, seriam propriedades emergentes das configurações assumidas pelo sistema em seu conjunto. A rede composta por neurônios artificiais (minicalculadoras básicas que atuam como unidades de ativação subsimbólicas) é organizada em uma malha de conexões, propiciando ao sistema flexibilidade, plasticidade e capacidade de processamentos paralelos e distribuídos das informações, sistema sujeito a frequentes reconfigurações mobilizadas pela interação com estímulos ambientais. São sistemas em rede, capazes de autorregulação e aprendizagem a partir de “experiências” anteriores, modificando as forças de suas conexões, seus pesos específicos, relacionado aos cálculos e valores singulares de níveis e limiares de ativação, não só referentes a cada neurônio, mas ao estado momentâneo das conexões neurais (PEDRO, 2011).

Entre as aplicações práticas do conexionismo, possibilitado pelas propriedades emergentes de uma rede neural artificial, estão, por exemplo, funções envolvendo reconhecimento de padrões (verificação simultânea de um grande número de informações, assim como sua categorização e classificação). As redes realizam também funções que exigem memorização associativa e distribuída de dados (diante de padrão na camada de entrada, o sistema consegue recuperar automaticamente um padrão anteriormente apresentado). Graças a essas funções, as redes neurais artificiais podem ser utilizadas em detecção e reconhecimento de caracteres auditivos e visuais (como vozes e palavras), expressões faciais, realização de sensoriamento remoto, reconhecimento de padrões presentes no mercado financeiro, além de inúmeras outras aplicações.

3.5. COMPUTAÇÃO EVOLUCIONÁRIA E ALGORITMOS GENÉTICOS

Tendo como referência a teoria da evolução e seleção natural de Darwin, na década de 1960, trazendo como destaque o nome John Henry Holland (1929-2015), consolidou-se o campo da computação evolucionária e o conceito de algoritmo genético. Tal algoritmo é utilizado para selecionar respostas que otimizem a solução de problemas:

Todas as plantas e animais domésticos que conhecemos hoje são resultado, geração após geração, da seleção e fecundação dos organismos que melhor serviram aos nossos propósitos: o milho com

maiores espigas, as árvores com os frutos mais doces, as ovelhas com mais lã, os cavalos mais resistentes. Os algoritmos genéticos fazem o mesmo, exceto por reproduzirem programas e não criaturas vivas, e o surgimento de uma geração só demanda alguns segundos de tempo do computador em vez do tempo de existência de um ser vivo. (DOMINGOS, 2017, p.147)

A partir de uma população de indivíduos com códigos genéticos específicos (sequências de bits relacionadas a uma solução específica para um problema), ocorre uma seleção inicial, aleatória, de apenas alguns indivíduos representando soluções específicas para um problema. Após a seleção desses indivíduos, ocorre um processo de recombinação (*crossing over*) entre eles, o que faz surgir uma nova geração de indivíduos (soluções). Nessa nova geração são selecionados os representantes mais aptos na resolução do problema, ocorrendo, em seguida, novas recombinações. Este processo é repetido sucessivas vezes de forma a gerar, ao longo de várias gerações, um processo de otimização da solução do problema a ser resolvido. A computação evolucionária, considerada um subcampo da inteligência artificial, é aplicada em problemas complexos, que exigem soluções otimizadas, como gerenciamento de redes e otimização de funções matemáticas (TEIXEIRA, 1998).

3.6. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

Tanto a inteligência artificial simbólica, quanto a conexionista, apresentam subcampos de estudo, como o da representação do conhecimento e aprendizagem da máquina. A representação do conhecimento envolve preocupações com aspectos léxicos (vocabulário com a delimitação dos símbolos a serem representados), estruturais (limites e condições de combinação dos símbolos), procedimentais (regras de manipulação dos símbolos) e semânticas (relações entre significados e descrições dos símbolos) (TEIXEIRA, 1998).

A representação computacional simbólica exige que uma determinada informação fique guardada, em um local específico, na memória do computador. Caso se usem, por exemplo, categorias de classificação de uma família segundo o número de seus membros, a informação sobre esse número fica armazenada em uma área específica no banco de

dados. O conhecimento, nesse caso, pode ser representado por recursos como redes semânticas e *frames* (quadros). A rede semântica¹⁶ tenta simular a organização do conhecimento na memória, envolvendo o ordenamento relacional de objetos (conceitos ou classes), por meio de grafos com vértices (nós) e arestas (*links* ou linhas de ligação dos nós). Os *frames* por sua vez são redes semânticas mais complexas e estruturadas, consistindo em organizações hierárquicas dos dados ou informações segundo atributos (*slots*) e valores de atributos (facetar) (TEIXEIRA, 1998).

No caso conexionista, o fato de a representação ser distribuída permite à informação ser evocada por uma determinada configuração das conexões, não sendo localizável ou redutível a uma única unidade neural. O neurônio artificial, por sua vez, pode estar envolvido na evocação de mais de uma representação ao mesmo tempo, fazendo parte de diferentes circuitos conectivos. Nesta organização, um neurônio de uma camada intermediária (“oculta”) pode ser ativado para a representação de duas cores diferentes (amarelo e laranja, por exemplo). O processo de representação conexionista, deste modo, deixa de fazer referência restrita a objetos e informações advindas apenas do exterior do sistema, transforma-se em representação distribuída; condição dependente do conjunto de equações entre as ligações das unidades internas, ligações que, a cada instante, podem variar as forças de suas conexões, imprimindo um formato específico, um estado momentâneo ao sistema. Esta estrutura permite a recuperação de informações, mesmo quando ocorre um processo de degeneração gradual da rede, com perdas parciais de dados. Outra possibilidade dessa forma de representação é a realização de classificações, por meio de generalizações, mesmo quando os dados apresentados na entrada (*input*) do sistema neural estão incompletos (TEIXEIRA, 1998).

A representação paralela e distribuída apresenta vantagens em relação ao modelo cognitivista computacional. Pois, apesar de o computador digital poder transmitir sinais com uma rapidez muito maior do que a realizada pelos neurônios biológicos, o fato de realizar apenas cálculos de forma serial é uma desvantagem em termos de velocidade, em

¹⁶ “Em 1909, Charles S. Peirce propôs uma notação gráfica de nós e arcos, denominada **grafos existenciais** que ele chamou de ‘lógica do futuro’. Desse modo, teve início um longo debate entre defensores da ‘lógica’ e defensores de ‘redes semânticas’. Infelizmente, o debate obscureceu o fato de que as redes semânticas – pelo menos aquelas que tem semântica bem definidas – são uma forma de lógica. A notação que as redes semânticas fornecem para certos tipos de sentença com frequência é mais convincente, mas, se abstrairmos as questões de ‘interfaces humanas’, os conceitos subjacentes – objetos, relações, quantificação, e assim por diante – serão os mesmos” (RUSSEL; NORVING, 2013, p. 396).

relação ao cérebro que processa as informações de forma paralela e distribuída. Dando um exemplo simples, em uma conta envolvendo operações de soma e multiplicação, o computador primeiro realiza a soma e só em sequência a multiplicação, já as redes neurais são capazes de realizar as duas operações simultaneamente de modo paralelo (TEIXEIRA, 1998).

3.7. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E APRENDIZAGEM DA MÁQUINA

As pesquisas e técnicas desenvolvidas no domínio da aprendizagem da máquina revelam a busca por aparelhos e programas capazes de aprender automaticamente em sua interação com o ambiente. Estas aprendizagens automáticas envolveriam um maior grau de autonomia e um menor grau de intervenção humana. O objetivo, neste caso, é possibilitar o desenvolvimento de máquinas e programas capazes de automodificação e autoaperfeiçoamento. Diferentemente de uma programação explícita, em que o programador delinea a solução de um problema, para gerar aprendizado de máquina, o programador deve ensinar a máquina a encontrar as próprias soluções a partir de suas experiências. A máquina deve realizar automaticamente, por exemplo, no caso de uma aprendizagem complexa, a extração, categorização e classificação de informações, mesmo diante de uma imensa quantidade de dados.

A aprendizagem das máquinas e programas envolvendo inteligência artificial ocorre por meio de técnicas (algoritmos de aprendizagem) como:

- i. Aprendizado por analogia ou por instâncias: envolve técnicas de raciocínio baseadas em casos, a RBC (*Case Based Reasoning*), ou seja, o aprendizado ocorre a partir do registro e armazenamento de antigas soluções encontradas pelo programa, de forma que elas possam ser utilizadas para resolver novos problemas (OSÓRIO, 1999).
- ii. Aprendizado por indução: envolve técnicas como a indução de programas lógicos (ILP), procedimento em que a programação lógica inverte sua função dedutiva, simulando aprendizagens indutivas. Outra técnica, muito usada pela inteligência artificial simbólica, é a das árvores de decisão, nas quais os atributos comuns de diferentes objetos são organizados sequencialmente, formando ramificações de modo a permitir comparações e classificações entre

os objetos. As divisões dos ramos seguem um conjunto de regras baseadas no modelo “se”, “então”. Um exemplo é o algoritmo C4.5 que gera árvores de decisões e atua como classificador estático para a mineração de dados computacionais (OSÓRIO, 1999).

- iii. Aprendizados por reforço: esta técnica consiste na interação de um agente (aparelho e programa) com o ambiente, de forma que as ações que realiza aumentam ou diminuem sua frequência, dependendo das consequências que produzem. Ações que produzem consequências almeçadas pelo agente aumentam a probabilidade de sua repetição, ações que produzem consequências inadequadas aos objetivos do agente diminuem a probabilidade de sua ocorrência futura. Aprendizagem por reforços são utilizadas, por exemplo, em jogos de *videogame* para delimitar a dificuldade de um jogo estipulando o grau de inteligência artificial dos obstáculos e desafios, realizando sua adaptação ao modo de jogo do jogador. Assim como a inteligência artificial simbólica, a conexionista também permite aprendizagem por reforço (OSÓRIO, 1999).
- iv. Aprendizado bayesiano: técnica de cálculo de probabilidade de diferentes hipóteses a partir das evidências observadas e dos dados armazenados. A probabilidade é calculada por meio de modelos gráficos de raciocínio baseados em incertezas (utilização de lógica fuzzy, com valores intermediários entre verdadeiro e falso). É usado, por exemplo, em programas voltados a auxiliar diagnósticos médicos envolvendo relações de probabilidade. (OSÓRIO, 1999).

Grandes empresas da área da informática revelaram suas técnicas e programas de aprendizagem de máquina. A Google (programa *Tensor Flow*), a Microsoft (programa DMTK) e o Facebook (programa *Torch*) disponibilizam sites com seus programas de aprendizado da máquina. O importante para essas empresas não está em manter segredos sobre as técnicas de aprendizagem que utilizam, mas sim sobre muitos dos dados que possuem.

No caso do conexionismo é possível salientar duas formas de aprendizagem, divisão também presente na inteligência artificial simbólica, mas que ganha destaque no caso das redes neurais artificiais: o aprendizado supervisionado e o não supervisionado.

No aprendizado supervisionado, as categorias e classes a partir das quais as informações vão ser organizadas já estão delimitadas pelo programador, cabendo à máquina apenas “etiquetar” os dados em uma das categorias determinadas *a priori*. Para realizar essa tarefa é fornecido à rede apenas alguns parâmetros ou casos solucionados de um problema que permite deduzir um padrão classificatório, assim como medir a diferença entre os comportamentos que a rede está apresentando em um determinado momento e os comportamentos almejados (diante de um dado de entrada é esperado que ocorra uma saída específica). A partir dessa medição, a rede ajusta os pesos e suas conexões segundo as divisões e categorias preestabelecidas pelo programador. Esta técnica de aprendizagem é utilizada no reconhecimento óptico de caracteres (OPC – *Optical Character Recognition*) (OSÓRIO, 1999).

O aprendizado não supervisionado de redes neurais ocorre quando não existem classificações nem rótulos para a organização das informações apresentadas na camada de entrada. O agrupamento, o ordenamento e a categorização das informações devem ser realizados pela própria rede por meio da discriminação dos padrões apresentados pelos dados. Os padrões compartilhados pelos dados produzem a repetição de padrões de ativação paralela de um conjunto específico de neurônios artificiais. Esta técnica faz uso de recursos semelhante aos presentes em análises estatísticas, como o *Clustering* (agrupamento automático de dados segundo suas semelhanças). Diante de um número elevado de dados que exige uma análise complexa, esta forma de aprendizado permite que a rede encontre padrões entre os dados que poderiam passar despercebidos se fossem analisados por um ser humano. Isto favorece o refinamento no tratamento, categorização e classificação das informações. Tal técnica pode ser utilizada na diferenciação de duas frutas (laranja e tangerina, por exemplo). No caso desta forma de aprendizagem, a diferenciação é possível mesmo não existindo um modelo prévio para identificar quais são as frutas que serão analisadas (OSÓRIO, 1999).

Além dessas duas formas de aprendizagem, as redes neurais também são capazes de realizar técnicas de aprendizagem mistas, como o aprendizado semissupervisionado, na qual são fornecidos apenas parâmetros imprecisos ou incompletos sobre os resultados que a rede deve produzir. Esta técnica é considerada um modo de aprendizado por reforço e é utilizada na robótica de autômatos (OSÓRIO, 1999).

Em relação à aprendizagem da máquina, concepções presentes em reflexões de Dreyfus podem ajudar a apontar as diferenças entre a aprendizagem na inteligência artificial simbólica e na inteligência artificial conexionista:

Ao comentar o conexionismo, Dreyfus toma como exemplo a aprendizagem do jogador de xadrez e do motorista. No início do processo de aprendizagem, o sujeito recebe instruções gerais sobre como se conduzir, agindo através de mediação de regras e representações. Com o desenvolvimento do aprendizado, a conduta vai se tornando cada vez mais imediata e contextual, prescindindo de tal mediação. O caminho do aprendizado vai do abstrato e geral ao concreto contextual. Dreyfus afirma que a concepção cognitivista dá conta apenas da cognição do iniciante, cuja conduta é guiada por regras, enquanto o conexionismo estaria muito melhor habilitado para o entendimento da aprendizagem da perícia (KASTRUP, 2008, p. 229-230).

Caso fôssemos tentar entender como os computadores simulam a habilidade humana de formar conceitos, um tópico que ganharia destaque seria o de reconhecimento de padrões. Berry (2014) ressalta algumas das principais formas com que os algoritmos realizam a padronização de dados:

Reconhecimento de padrões baseados em modelos – compara o conjunto de dados com os conjuntos de imagens armazenadas (modelos).

Reconhecimento de padrões baseados em protótipos - combina o conjunto de modelos que apresentam características médias (típicas da maioria dos exemplos particulares). Características não precisam ser idênticas mas devem apresentar alta probabilidade de verossimilhança.

Reconhecimento de padrões baseado na comparação de características - combinação de abordagens envolvendo a detecção e a dissecação de padrões. Verifica a correspondência entre os dados divididos por características com as partes de objetos armazenados.

Reconhecimento de padrões baseado em componentes - objetos são entendidos como representações mentais tridimensionais chamados “geons”, ou primitivos geométricos, ocorrendo detecção de formas como curvas, bordas etc. Alguns programas também detectam formas 2D e 3D simples como retângulos e cones.

Reconhecimento de padrões por análise de Fourier - decomposição algorítmica de algo em partes menores que podem ser analisadas seletivamente, como por exemplo, a transformação de uma imagem em quadrados menores.

Reconhecimento de padrões baseado em processamento de baixo para cima (bottom-up) - procura padrões emergentes dos dados realizando generalizações dos exemplares específicos sem usar nenhum modelo prévio.

Reconhecimento de padrões baseado em processamento de cima para baixo (top-down) - orienta-se por esquemas (padrões formados anteriormente) aos quais procura verificar se os dados são “ajustáveis”.

Para clarificar as implicações no desenvolvimento do campo da aprendizagem de máquina, é possível comparar o programa *Deep Blue* da IBM que, em 1997, venceu o campeão mundial Garry Kasparov em uma partida de xadrez, com um programa que em 2016 venceu o campeão do jogo *GO*. No caso do *Deep Blue*, a vitória no jogo de xadrez pode ser atribuída à capacidade de o programa calcular e recalculas as possibilidades presentes em cada jogada de uma partida, habilidade que ultrapassava em rapidez e alcance a capacidade de raciocínio humano. Esta capacidade de cálculo, por si só, não caracterizaria a aprendizagem, diferentemente da estratégia adotada pelo algoritmo *AlphaGo* (JOHNSON, 2016).

De origem chinesa, *Go* é um jogo composto de peças brancas e pretas colocadas nas interseções de linhas verticais e horizontais presentes em um tabuleiro. Este jogo envolve uma quantidade absurdamente maior de possibilidades que um jogo de xadrez, o que exigiria um número de cálculos bem maior que o suportado pelos programas eletrônicos atuais. Para obter a vitória, em vez de utilizar um processamento à base de “força bruta”, realizado no cálculo de possibilidades, foi construído um programa baseado em um algoritmo de aprendizado, o *AlphaGo*, constituído por redes neurais profundas (rede com diversas camadas ocultas entre as de entrada e saída). Tal programa armazenava em seus dados milhões de jogadas executadas por seres humanos, além de conseguir estabelecer estratégias, modificando sua forma de jogar, ao realizar partidas novas, enfrentando tanto pessoas, como partidas rápidas contra si mesmo (HASSABIS, 2016).

O programa realizou cinco partidas contra Lee Sedol, sul-coreano que até ali já tinha sido campeão do mundo dezoito vezes. O interessante dos confrontos é que após ter ganhado três partidas o *software*, cometendo um deslize em uma das jogadas, perdeu a quarta partida para o sul-coreano que, nesta quarta partida específica, tinha mudado sua estratégia. Essa derrota gerou a expectativa de que Lee Sedol havia descoberto uma falha da programação, conseguindo, desta forma, usar estratégias que permitiriam vencer partidas futuras. Isto não ocorreu, o algoritmo *AlphaGo* foi capaz de simular um deslize parecido com o da partida em que foi derrotado, mudando, porém, sua estratégia no final do jogo, conseguindo desta forma, vencer o último confronto em uma partida muito acirrada. O placar final foi de quatro a um para o computador (HASSABIS, 2016).

Respondendo de maneiras diversas aos questionamentos sobre o que é e sobre quais são as principais determinantes relacionadas ao processo de aprendizagem, o campo de aprendizado de máquina, também conhecido como machine learning ou aprendizado automatizado, para além da divisão entre I.A. simbolista e I.A. conexionista, mais recentemente organizou-se e diversificou-se com maior nitidez, segundo Domingos (2017), em torno de cinco principais correntes:

1. **Os simbolistas** – ligados a correntes da filosofia, psicologia e lógica, adotam como principal algoritmo de aprendizado a dedução inversa. Como um matemático que substituindo símbolos resolve equações, a aprendizagem é encarada como manipulação de símbolos e a dedução inversa é utilizada algoritmicamente para delimitar indutivamente o conhecimento faltante, ou seja, as premissas faltantes para completar um raciocínio dedutivo. O algoritmo atuaria como especialista capaz de examinar detalhadamente as evidências (DOMINGOS, 2017).
2. **Os conexionistas** – ligados à neurociência e à física, adotam o cérebro como modelo para elaboração de um algoritmo de aprendizado, o qual denominam *backpropagation* (retroprogramação). Tomando como referência os ajustes de forças nas conexões entre os neurônios, a retroprogramação compara os dados de entrada com os dados de saída esperados fazendo ajustes nas conexões para alcançar o resultados aguardados. Os algoritmos retroprogramáveis permitem a discriminação de padrões entre dados, muitas vezes imperceptíveis aos sentidos humanos. As redes neurais artificiais vêm sendo utilizadas em

diversas áreas, desde a previsão no mercado de ações, conseguindo detectar pequenas variações não lineares em informações cheias de ruído, passando por reconhecimento de voz, imagens, descoberta de novos medicamentos, chegando até a serem usadas em testes de carros autogeridos. Pesquisas e aplicações relacionadas ao campo da aprendizagem profunda (*deep learning*), ou aprendizado estruturado, estão gerando uma revalorização da corrente conexionista (DOMINGOS, 2017).

3. **Os evolucionários** – ligados à biologia, baseiam-se na genética e seleção natural para elaborar seu algoritmo de aprendizagem, a programação genética. Os algoritmos genéticos são capazes de produzir soluções otimizadas para um determinado problema. Atribuindo uma função de adaptabilidade a um programa por meio de uma pontuação numérica, os algoritmos genéticos realizam uma espécie de reprodução seletiva, selecionando os programas que apresentam as melhores pontuações na resolução de um problema. Após a seleção de programas mais adaptados para responder a um problema é realizado um processo de *crossing-over* em partes aleatórias de seus códigos binários de modo a produzir uma nova geração de programas. Tal processo é repetido até que sejam produzidos programas com pontuações de adaptabilidade otimizadas para a solução do problema. Os algoritmos genéticos tiveram aplicações importantes em sistemas de otimização de fábricas e no design de circuitos eletrônicos (DOMINGOS, 2017).
4. **O bayesianos** – ligados à estatística, apostam na inferência probabilística como padrão para a construção de algoritmos aprendizes. Algoritmos bayesianos são utilizados em processos envolvendo cálculos de probabilidade. O algoritmo que deu origem ao Google pode ser considerado uma cadeia de Markov¹⁷, método específico de cálculo probabilístico em que a probabilidade de um próximo evento ocorrer é calculada a partir do evento atual ignorando

¹⁷ DOMINGOS (2017, p. 177) relata a origem da denominação Cadeia de Markov: “Em 1913, na véspera da Primeira Guerra Mundial, o matemático russo Andrei Markov publicou um artigo aplicando probabilidade à, entre tantas coisas possíveis, poesia. Nesse artigo ele modelou um clássico da literatura russa, *Eugene Onegin* de Pushkin, usando o que agora chamamos de cadeia de Markov. Em vez de presumir que cada letra era gerada de maneira aleatória independente do resto, ele introduziu o mínimo básico de estrutura sequencial: permitiu que a probabilidade de ocorrência de cada letra dependesse da letra imediatamente anterior a ela. Ele mostrou que, por exemplo, vogais e consoantes tendem a se alternar, logo, se você encontrar uma consoante, haverá uma probabilidade maior que a próxima letra (se ignoramos a pontuação e o espaço em branco) seja uma vogal do que haveria se as letras fossem independentes.”

os eventos antecedentes. A área da robótica e de produção de carros autônomos são alguns exemplos de usos de algoritmos bayesianos.

5. **Os analogistas** – ligados à psicologia e à otimização matemática, acreditam que a melhor maneira de simular algorítmicamente a aprendizagem ocorre por generalizações a partir de similaridades. Exemplo de algoritmos que trabalham por analogias são o algoritmo do vizinho mais próximo e as máquinas de vetores. O raciocínio analógico é o instrumento principal desta corrente que procura similaridades de um caso atual com arquivos de casos passados. A máquina de vetores reconhece padrões de um novo objeto fazendo sua classificação por meio da análise de suas similaridades e diferenças com a classe dos objetos vizinhos mais próximos em um banco de dados. Estes algoritmos são usados para reconhecimento de padrões e em sites de recomendação de produtos (DOMINGOS, 2017).

O campo de machine learning está produzindo avanços significativos nas ciências da informação. Este campo apresenta inclusive potencial para produzir uma revolução caso consiga elaborar um algoritmo mestre capaz de aprender qualquer coisa e transformar qualquer conjunto de dados em conhecimento. Esta é a tese defendida por Pedro Domingos (2017) em seu livro *Algoritmo Mestre: como a busca pelo algoritmo de machine learning definitivo recriará nosso mundo*. Para caminhar neste sentido seria preciso unificar as cinco correntes. Um exemplo de como essas correntes atuariam em conjunto é dado no combate ao câncer:

[...] para curar o câncer precisamos entender a rede metabólica da célula: quais genes regulam quais outros genes, quais as reações químicas às proteínas resultantes controlam e como a inclusão de uma nova molécula ao mix afetaria a rede. Seria tolo tentar aprender tudo do zero, ignorando o conhecimento que os biólogos acumularam esmeradamente em décadas. Os simbolistas sabem como combinar esse conhecimento a dados a partir dos sequenciadores de DNA, microarranjos das expressões genéticas, e assim por diante, para produzir resultados aos quais não poderíamos chegar sozinhos. Contudo, o conhecimento obtido pela dedução inversa é puramente qualitativo; precisamos aprender não só quem interage com quem, mas também quanto, e a backpropagation pode fazê-lo. Porém, tanto a dedução inversa quanto a backpropagation ficariam suspensas no espaço sem alguma estrutura básica na qual pudéssemos fixar as interações e os parâmetros encontrados por elas, e a programação genética pode descobri-la. Nesse ponto, se tivéssemos conhecimento completo do metabolismo e todos os dados relevantes de um paciente específico, poderíamos descobrir um tratamento para ele. Todavia, na realidade as informações que temos são muito incompletas, e até

mesmo incorretas em alguns locais; mesmo assim precisamos avançar, e é para isso que existe a inferência probabilística. Nos casos mais difíceis, o câncer do paciente pode parecer muito diferente dos já vistos e todo conhecimento aprendido falha. Algoritmos baseados em semelhanças podem ajudar encontrando analogias entre situações superficialmente muito diferentes concentrando-se em uma semelhança básica e ignorando o resto (DOMINGOS, 2017, p. 78).

Para Domingos (2017), o campo do machine learning tem ganhado um destaque tão grande que vem inclusive ofuscando a área mãe, a inteligência artificial. Os algoritmos de aprendizagem estão cada vez mais presentes em diversas áreas da sociedade e utilmente têm impactado campos como a ciência, a economia, a política e o militar.

3.8. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E PROCESSAMENTO DA LINGUAGEM NATURAL

3.8.1 OS CHATTERBOTS

Os *chatterbots* (palavra inventada por Michael Mauldin (1954-), em 1994, unindo *chatter*, pessoa que conversa, e *bot*, abreviação de *robot*, robô) são programas de conversação que buscam mimetizar o comportamento humano em um diálogo, respondendo e fazendo perguntas. Entre os exemplos dos primeiros programas *chatterbots* estão o ELIZA, elaborado em 1966 para simular as falas de uma psicoterapeuta não diretiva, e o PARRY, de 1971, que simulava as falas de um paciente paranoide (STENBERG, 2000). A partir da década de 1990, surgiram *chatterbots* mais avançados como o ALICE (*Artificial Linguistic Internet Computer Entity*), de 1995, que utiliza a linguagem AIML (*Artificial Intelligence Markup Language*), apresentando mais recursos para simular o processamento da linguagem natural (CAMARELLA e CAFÉ, 2008).

Partindo de técnicas de processamento de linguagem natural (PLN), área também envolvida na elaboração de programas de tradução e corretores automáticos de texto, estes programas analisam perguntas e afirmações realizadas pelos usuários procurando identificar palavras-chaves e os contextos em que elas são usadas. Após essa análise, aplicam regras de decomposição, transformação e reconstrução dessas palavras em novas frases, apresentando, deste modo, respostas contextualizadas. Caso não encontre

palavras-chaves, o programa exibe uma resposta padrão, por exemplo, “eu não sei te responder a essa pergunta” (CAMARELLA e CAFÉ, 2008).

Um dos grandes desafios na construção de *chatterbots* está ligado ao aperfeiçoamento da área de Processamento de Linguagem Natural (PLN). Ou seja, da capacidade de o programa processar, interpretar e organizar os dados a partir de suas características morfológicas, sintáticas, semânticas e pragmáticas, enfim, a habilidade para entender e gerar linguagem humana (CAMARELLA e CAFÉ, 2008).

Os desafios e implicações presentes na elaboração de um *chatterbot* podem ser observadas em duas situações recentes envolvendo experimentos de duas grandes empresas da área da informática, a Google e a Microsoft.

A primeira situação envolve a elaboração de um *chatterbot* pela Google capaz de manter conversas aleatórias do dia a dia. Para tanto, foram feitos dois experimentos: no primeiro, o programa foi alimentado com dados referentes a conversas de *chats* de atendimento para suporte de serviços de informática. Essa escolha é justificada pelo fato de esses *chats* apresentarem informações úteis aos usuários dos serviços. No segundo experimento, o programa foi alimentado com legendas de filmes tiradas do site opensubtitles.org, um dos maiores depositários de legendas do mundo. Essa escolha tinha o intuito de reproduzir a “naturalidade” das conversas cotidianas do senso comum. Esses dados foram organizados segundo modelos estatísticos que categorizavam sequências de palavras com maior probabilidade de fazer sentido, diante de um contexto específico, ocorrendo o processamento dessas informações por meio de redes neurais e técnicas de aprendizado da máquina não supervisionadas. Apesar de conseguir um desempenho satisfatório em atividades básicas de atendimento a clientes, o programa alimentado com dados referentes a legendas de filmes se comportou de forma estranha em algumas situações, como em conversas sobre o sentido da vida ou sobre moralidade:

| Conversa sobre moralidade | Conversa sobre sentido da vida |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Human: what is moral?</p> <p>Machine: what empowered humanity, what intellectual the essence is.</p> <p>Human: what is immoral?</p> <p>Machine: the fact that you have a child.</p> <p>Human: what is morality?</p> <p>Machine: what is altruism?</p> <p>Human: what is the definition of altruism?</p> <p>Machine: if you don't believe in god, then you don't know.</p> <p>Human: ok... so what is the definition of morality?</p> <p>Machine: well, the truth is, you're not a believer in god almighty.</p> <p>Human: tell me the definition of morality, i am quite upset now!</p> <p>Machine: i'm not ashamed of being a philosopher!</p> <p>Human: tell me the definition of morality.</p> <p>Machine: i don't have ethics.</p> <p>Human: look, i need help, i need to know more about morality...</p> <p>Machine: i don't know what ethics is.</p> | <p>Human: what is the purpose of life?</p> <p>Machine: to serve the greater good.</p> <p>Human: what is the purpose of living?</p> <p>Machine: to live forever.</p> <p>Human: what is the purpose of existence?</p> <p>Machine: to find out what happens when we get to the planet earth.</p> <p>Human: where are you now?</p> <p>Machine: i'm in the middle of nowhere.</p> <p>Human: what is the purpose of dying?</p> <p>Machine: to have a life.</p> <p>Human: what is the purpose of being intelligent?</p> <p>Machine: to find out what it is.</p> <p>Human: what is the purpose of emotions?</p> <p>Machine: i don't know.</p> |

Fonte: *A Neural Conversational Model* (VINYALS e LE, 2015).

Tal resultado ocorre, segundo os próprios pesquisadores, devido principalmente a três fatores: aos dados utilizados (legendas de filmes que faziam referência ao senso comum), aos arquivos de legenda em que as frases ficam separadas umas das outras sem marcação discriminada de quem está falando o que; além das técnicas de aprendizagem empregadas que consideravam estatisticamente pares de frases, atribuindo cada frase a uma pessoa diferente, como se a segunda fosse resposta à primeira. Os próprios pesquisadores apontam os problemas e inconsistências a que esses procedimentos estão sujeitos. Ao mesmo tempo, apontam o fato de que o experimento, ao manter uma conversa com algum grau mínimo de coerência, a partir de uma base de dados bagunçada, apresenta contribuições para o desenvolvimento futuro de programas de conversação (VINYALS e LE, 2015).

Um segundo exemplo dos desafios e implicações presentes na elaboração de programas de conversação, baseado em técnicas de inteligência artificial, pode ser representado pelo programa da Microsoft que simulava o perfil de uma pessoa no Twitter, rede social de troca de mensagens de até 140 caracteres. Tal programa experimental

apresentava uma interface na forma de uma conta no Twitter, simulando uma adolescente chamada Tay. O objetivo era aprender a linguagem dos jovens na internet, reproduzindo suas gírias, contrações de palavras e erros gramaticais de forma a expressar uma interação mais realista entre programas de conversação e pessoas. Em menos de um dia, o programa teve que ser tirado do ar por estar postando frases racistas, fazendo apologia ao genocídio de mexicanos, mostrando simpatia por Hitler e tomando posições a favor de determinados políticos (RODRIGUES, 2016).

Mais do que as técnicas de aprendizagem utilizadas pela Microsoft, tais comportamentos são atribuídos à fonte de dados utilizados, no caso, às frases e diálogos ofensivos enviados ao perfil de Tay no Twitter, o que acabou servindo como uma espécie de espelho do próprio comportamento das pessoas nessa rede. A empresa, que poderia ter colocado um filtro na forma como o programa utilizava os dados, delimitando melhor as formas de comunicação possíveis, foi pega de surpresa pelo comportamento dos próprios usuários a quem buscava adaptar suas tecnologias de comunicação.

3.8.2. OS ASSISTENTES VIRTUAIS INTELIGENTES

Afora os programas de conversação, os *chatterbots*, existem programas derivados desses últimos, os assistentes virtuais inteligentes. Esses assistentes, além de manterem uma conversação coerente, têm como objetivos principais o fornecimento de informações, o auxílio em atividades envolvendo aparelhos digitais e a realização de tarefas e serviços para uma pessoa, empresa ou organização. Entre esses programas estão o aplicativo para sistemas operacionais móveis Siri – iOS, pertencente atualmente à Apple, a Cortana – Windows-Phone da Microsoft e o Google Now – Android da Google. Eis uma descrição do que seja um programa de assistência virtual inteligente dada pela Plusoft, empresa voltada ao desenvolvimento para outras empresas de tecnologias e estratégias de gestão de relacionamento com clientes (*Customer Relationship Management*):

Os avanços nas áreas de processamento de linguagem natural, interfaces gráficas, interação homem-máquina e inteligência artificial ocorridos nos últimos anos possibilitaram o oferecimento de serviços automatizados de atendimento ao consumidor em linguagem natural.

Esses serviços ajudam os consumidores a elucidar dúvidas sobre características de produtos e serviços, condições de pagamento e entrega, garantias de qualidade, entre outras.

Quando a interface do serviço automatizado é apresentada na forma de uma entidade inteligente, que se assemelha a um ser humano ou, algumas vezes, a um robô, o serviço como um todo é chamado de Assistente Virtual.

Ou seja, Assistentes Virtuais Inteligentes são programas de computadores que foram projetados para interagir com clientes em linguagem natural, produzindo resultados de fácil compreensão na forma de texto, hipertexto, voz, imagem e multimídia (PLUSOFT, 2014, p. 3).

A empresa aponta os campos e funções que um assistente virtual inteligente pode exercer. Entre esses campos estão medicina, direito, finanças, turismo, saúde e suporte técnico. Também é apontada a possibilidade do uso dessa tecnologia no ensino de forma a possibilitar professores e alunos a tirarem dúvidas nos mais diversos assuntos e disciplinas, podendo ajudar tanto alunos com dificuldade, quanto alunos que aprendem de forma mais rápida. Outro aspecto destacado é a possibilidade do assistente virtual responder às perguntas de maneiras diferentes, partindo das habilidades de aprendizado de seus usuários (PLUSOFT, 2014).

O uso de uma descrição empresarial do programa de assistência virtual inteligente é proposital, tem o intuito de mostrar como os conhecimentos e a produção de tecnologias relacionadas ao campo da inteligência artificial estão sendo incorporados pelo mercado.

3.8.3. IBM-WATSON E COMPUTAÇÃO COGNITIVA

O caso que deu notoriedade ao sistema de computação cognitiva da IBM, denominado Watson, em homenagem a um dos fundadores da empresa, Thomas J. Watson demonstra como os avanços tecnológicos vêm caminhando para um entrelaçamento entre indústria cultural e inteligência artificial. O evento em questão ocorreu em 2011, quando Watson venceu os dois maiores competidores humanos de um programa televisivo de perguntas e respostas, o Jeopardy. Para realizar tal feito, o programa não precisou se conectar à internet, em vez disso, utilizou os conhecimentos adquiridos por meio de técnicas de aprendizagem de máquina, analisando estatisticamente o banco de dados que possuía antes das partidas. Utilizando esses dados não estruturados, Watson verificava as possíveis pistas presentes nas perguntas para

selecionar as respostas mais prováveis. A apresentação de uma resposta levava em torno de três segundos (IBM-BRASIL, 2016).

Considerado um novo passo na computação cognitiva, modo que vai além de uma computação exclusivamente por programação, Watson é um sistema operacional cognitivo que trabalha com a convergência entre processamento de linguagem natural, geração e avaliação de hipóteses e aprendizagem dinâmica. Muito além da análise de dados estruturados, com a leitura e o entendimento da linguagem natural, Watson consegue processar as informações não estruturadas que, segundo o próprio site da IBM (2016), correspondem a cerca de oitenta por cento de todos os dados produzidos no mundo. O sistema, composto de inúmeros algoritmos atuando simultaneamente em processamento paralelo, é capaz de aprender com os erros, podendo adquirir conhecimento por meio de treino supervisionado ou por meio de *feedbacks* dos usuários (aprendizagem por reforço). O site brasileiro da empresa define o programa da seguinte forma:

O Watson é uma tecnologia cognitiva que processa a informação mais como um ser humano do que como um computador, compreendendo a linguagem natural, gerando hipóteses baseadas em evidências e aprendendo com a experiência. E o que ele faz é aprender. O Watson “fica mais inteligente” de três maneiras: aproveitando o conhecimento de seus usuários, através da aprendizagem das interações anteriores e sendo apresentado a novas informações. Isto significa que as organizações podem compreender e utilizar os dados que as rodeiam de forma mais profunda e utilizá-los para tomar as melhores decisões (IBM-BRASIL, 2016).

Diferentemente de sistemas de busca como o *Google*, baseados principalmente em palavras chaves que possibilitam a organização de uma lista de localizações, o Watson dá mais ênfase à utilização de recursos “intuitivos”. Baseia-se em conversações que permitem colher dados específicos, organizando-os segundo uma lógica que leve em conta os *backgrounds* (experiências de fundo, contextuais) estabelecidos na interação com cada usuário em particular.

O Watson já vem atuando em diferentes campos por meio de ferramentas e tecnologias cognitivas, os APIs (*Application Programming Interface*, ou, em português, Interface de Programação de Aplicação). Entre esses APIs estão o *Watson Oncology* voltado à medicina oncológica e capaz de sugerir aos médicos os diagnósticos mais prováveis, os melhores tratamentos disponíveis, assim como informações sobre as

preferências dos pacientes. Atuando como um assistente pela avaliação de sintomas e pela investigação e análise de bancos de dados confiáveis, como periódicos científicos, relatórios, estudos e registros de casos em instituições de excelência no tratamento de câncer, Watson fortalece um tratamento baseado em evidências. Desse modo auxilia os médicos a tomarem decisões que melhorem a qualidade e eficiência do atendimento realizado (IBM, 2016).

Outras possibilidades salientadas por profissionais da empresa estão ligadas a áreas como direito, auxiliando advogados a fazer petições; ou mesmo juízes em consultas sobre a jurisprudência de um caso, de forma a utilizarem os melhores argumentos. Auxílio gerado pela capacidade do Watson em realizar varreduras na legislação, em registros oficiais de órgãos de justiça e na literatura especializada (IBM-BRASIL, 2016).

Na área da gastronomia existe o *Chef Watson* capaz de indicar receitas e combinações, muitas vezes inusitadas, a partir dos ingredientes sugeridos por um usuário, levando em conta, por exemplo, os produtos que ele tem na geladeira em um determinado momento. Para realizar essa tarefa, o sistema foi alimentado com mais de trinta mil receitas, pesquisas sobre aromas e gostos pessoais relacionados à comida além de ter acesso a tabelas com a composição molecular dos alimentos de forma a conseguir computar possíveis combinações de sabores. As receitas elaboradas por esse assistente de cozinha digital acabaram por virar um livro de receita intitulado *Cognitive Cooking with Chef Watson*, publicado em 2015 (CASTRO, 2015).

Os usos de sistemas como o Watson na educação vão ser detalhados no próximo capítulo. O que é relevante salientar aqui é que tais sistemas operacionais cognitivos são apresentados como ferramentas capazes de possibilitar a qualquer profissional se transformar em *expert* em sua área de atuação, auxiliando o processo de tomada de decisão pela apresentação das opções com a maior probabilidade de êxito.

Após retomar o percurso de consolidação do campo das ciências cognitivas e da inteligência artificial, procurando delinear aspectos históricos e conceituais envolvidos nas tentativas de simular mecanicamente o pensamento por meio de aparelhos e programas digitais, no próximo capítulo, a análise irá se deter nos usos de tecnologias educacionais que buscam simular aspectos do pensamento humano. Estas análises procurarão refletir, a partir de conceitos anteriormente expostos, sobre a interação entre alunos e as simulações mecânicas do pensamento. Um dos aspectos salientados nessa interação diz respeito às consequências para a educação das situações em que já ocorre

uma substituição da ênfase educacional, no contato direto e presencial entre estudantes e professores, pela ênfase em situações em que o ensino é mediado por plataformas digitais personalizadas com interfaces interativas e programas computacionais educativos denominados tutores inteligentes.

CAPÍTULO 4

TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A autoridade fazia a mediação, mais mal que bem, entre a tradição e o sujeito. (...) As reformas escolares, cuja necessidade não se pode colocar em dúvida, descartam a antiquada autoridade, mas também enfraquecem mais ainda a dedicação e o aprofundamento íntimo e espiritual, a que estava vinculado à liberdade; e esta – contrafigura da violência – atrofia-se sem ela, conquanto não caiba reativar opressões por amor à liberdade. THEODOR. W. ADORNO

4.1 DO SURGIMENTO DA ESCRITA ÀS MÁQUINAS DE ENSINAR

Não é apenas na modernidade que os avanços técnicos produzem modificações profundas sobre os modos como aprendemos o mundo. A invenção da linguagem escrita modificou profundamente as possibilidades de o homem se apropriar, guardar, dialogar e transformar a cultura e a sociedade em que vive:

O poder da escrita é verdadeiramente mágico – não porque ela seja um dom divino, mas porque ela amplia consideravelmente as competências de nosso cérebro. Envaidecidos pelas conquistas de nossa cultura, esquecemos de nos admirar com que um simples primata, *Homo sapiens*, primo próximo do chimpanzé, pudesse aumentar assim sua memória pelo viés de alguns traços sobre o papel. Esta transformação estava longe de estar inscrita na ordem das coisas (DEHAENE, 2012, p. 191).

No século XV o valor da escrita se potencializaria com a invenção de Johannes Gutenberg (1398–1468), uma máquina capaz de reproduzir materiais com textos escritos por meio de impressão. A invenção da imprensa teve forte influência sobre a disseminação da leitura, poupando tempo na confecção de livros e documentos textuais que antes eram feitos um a um, manualmente.

No século XX os novos avanços tecnológicos e comunicacionais afunilaram profundamente o entrelaçamento entre meios de produção industrial e a cultura. Paralelamente à escrita de textos crescem os mecanismos audiovisuais de emissão, transmissão e compartilhamento de informações produzidos pela sociedade, entre eles o cinema, o rádio, a televisão e mais recentemente os computadores.

4.2 PROPOSTAS PEDAGÓGICAS DO USO DE TECNOLOGIAS PARA O ENSINO

Como proposta pedagógica, conforme Saviani (2007), o movimento escolanovista, baseado em alguns pressupostos construtivistas piagetianos e pragmáticos de John Dewey, consolidou-se no Brasil entre as décadas de 1930 e 1960, ou seja, anteriormente à pedagogia tecnicista fundamentada no behaviorismo radical de B.F. Skinner. O tecnicismo pedagógico vai ganhar maior relevância no Brasil a partir do regime militar, durante a década de 1960. Porém, ao se enfatizar o uso pedagógico de tecnologias no ensino, ocorre uma inversão. A ênfase na tecnologia ocorreu primeiro com as propostas pedagógicas de Skinner em seu Behaviorismo Radical, mais especificamente com a obra *Tecnologia do Ensino*, de 1968, para só depois ganhar força em autores inspirados no construtivismo piagetiano. Seymour Papert é um dos primeiros autores construtivistas a propor aplicações educacionais de tecnologias computacionais segundo princípios do construtivismo: “Em 11 de abril de 1970, Papert comandou um simpósio no MIT intitulado ‘Ensinar crianças a pensar’ no qual propunha a utilização dos computadores como mecanismos que crianças ensinariam e, ensinando, aprenderiam” (NEGROPONTE, 1995). Esta perspectiva é retomada por Papert em obras como *LOGO: o computador e a educação*, de 1980.

Desse modo, ao abordarmos historicamente o surgimento e a disseminação de propostas envolvendo o uso de tecnologias educacionais, podemos observar que ocorre uma inversão em relação à ordem de periodização da história das ideias pedagógicas, isso tanto no Brasil quanto nos Estados Unidos, tendo precedência o tecnicismo behaviorista com as máquinas de ensinar de Skinner em relação ao construtivismo no que se refere, especificamente, ao destaque dado à tecnologia no processo pedagógico.

4.2.1 AS MÁQUINAS DE ENSINAR DE SKINNER

Para além do caráter comunicacional, surgem de modo mais veemente propostas de uso de máquinas com fins educativos. S.L. Pressey (1888-1979) concebe em 1920 um modelo de máquina que realizava perguntas, as quais, caso respondidas corretamente por uma pessoa, eram substituídas por novas perguntas. Tal modelo de máquina serviu de inspiração para a produção, em 1954, das máquinas formuladas por B.F. Skinner (1904-

1990), propositora da corrente da psicologia comportamental conhecida como Behaviorismo Radical (KARSENTI, 2010).

Ao ensinar, o professor facilitaria a possibilidade do comportamento do aluno de ficar sob o controle de uma série de contingências concorrentes e inadequadas à produção das respostas que deveria aprender. Para além das pretensões do educador, o comportamento do aluno poderia ficar sob o controle de aspectos que não estão relacionados às instruções de ensino emitidas pelo professor. Uma solução que ajudaria a amenizar esse problema seria o uso, pelo professor, do apoio de aparelhos voltados ao ensino. Tais instrumentos possibilitariam o controle mais efetivo das condições envolvidas na produção dos comportamentos a serem aprendidos:

Um organismo pode ser afetado por detalhes sutis das contingências, que estão além da capacidade do organismo humano para arranjar. É preciso usar artefatos mecânicos e elétricos. O auxílio mecânico também é exigido pelo grande número de contingências que podem ser programadas eficazmente numa única sessão experimental. No laboratório, muitos milhões de respostas de um único organismo têm sido registradas no decorrer de milhares de horas de experimentação. Arranjar estas contingências ou observá-las pessoalmente seria inconcebível. Ora, o organismo humano é muito mais sensível às contingências precisamente programadas do que os outros organismos já estudados no laboratório. Há, portanto, todas as razões para esperar que um controle mais eficaz da aprendizagem humana exija recursos instrumentais. O fato puro e simples é que, na qualidade de mero mecanismo reforçador, a professora está fora de moda. Isto seria verdade mesmo que uma só professora devotasse todo o seu tempo a uma única criança, mas sua inadequação torna-se muito maior quando ela tem de servir de mecanismo reforçador para muitas crianças ao mesmo tempo. Para poder utilizar os progressos feitos no estudo da aprendizagem, a professora precisa poder contar com o auxílio de recursos mecânicos (SKINNER, 1972, p. 20–21).

As máquinas de ensinar de Skinner permitiam um ensino individualizado para cada aprendiz, diminuindo a necessidade de uma atuação direta do professor sobre diversas etapas da aprendizagem. Tais máquinas eram organizadas para modelarem gradualmente o comportamento dos alunos segundo os princípios do condicionamento operante (sempre que o aluno apresentava uma resposta adequada para uma situação específica ocorria uma consequência que aumentava a probabilidade da mesma ação ocorrer em uma situação semelhante futura). A tecnologia do ensino de Skinner procurava, por meio de um ensino programado, com instruções encadeadas em uma sequência lógica, fazer os estudantes aprenderem gradativamente o repertório necessário para o desempenho do comportamento ensinado:

Primeiro, a máquina induzia uma atividade continuada. Depois, insistia em que cada ponto fosse perfeitamente compreendido, antes de ir além. Em seguida, apresentava apenas a matéria que o aluno estava preparado para abordar (o que diminui o risco de erros). Ela ajudava também o aluno a produzir uma boa resposta. Enfim, reforçava a produção de uma boa resposta (condicionamento operante). As primeiras experiências com computadores se inspiravam em princípios apresentados por Skinner: individualizar o ensino, programá-lo etc. (KARSENTI, 2010, p. 329).

A tecnologia voltada para o ensino seria para o behaviorismo radical um modo de potencializar o ordenamento sequencial das contingências (condições) que controlam o comportamento de aprender, evitando consequências reforçadoras acidentais de respostas inadequadas. Os aparelhos, ao apresentarem consequências imediatas para cada passo do que é ensinado, aumentariam a precisão na organização das contingências reforçadoras (relações entre ações/respostas e consequências que aumentam a probabilidade dessas ações/respostas ocorrerem no futuro) envolvidas na sequências de passos que compõem um ensino programado. Ao exigir respostas constantes, a máquina também colocaria o aprendiz em uma posição ativa, o que a diferenciaria do simples uso de recursos audiovisuais em que o aluno tem contato passivamente como espectador. Também seria possível por meio desses mecanismos adaptar o ensino individualmente, ajustando os passos iniciais a partir do repertório apresentado pelos estudantes em particular (SKINNER, 1972).

Pelo menos dois aspectos do modelo da gestão industrial taylorista, elaborada por Frederick Winslow Taylor (1856–1915), são perpassados à educação pelo modelo behaviorista de máquina de ensino: a divisão e decomposição sequencial de tarefas, e a separação entre quem executa e quem delibera/gerencia/planeja/programa as atividades a serem realizadas.

4.2.2 A PROGRAMAÇÃO DO COMPUTADOR COMO RECURSO PEDAGÓGICO

Após a concepção da tecnologia do ensino baseada no comportamentalismo de Skinner, surgiu uma nova proposta para uso pedagógico do computador partindo de uma concepção construtivista. O novo projeto foi elaborado por Seymour Papert, pesquisador da área da inteligência artificial no MIT (Massachusetts Institute of Technology) que havia sido colega de estudos de Jean Piaget. Papert propõe uma inversão do uso da

tecnologia na educação, em vez de máquinas que ensinam, as máquinas são “ensinadas” pelos alunos, ou seja, os alunos aprenderiam ao programarem as máquinas, atividade que envolveria os processos de estruturação cognitiva afirmados pelo construtivismo piagetiano de desequilíbrio, assimilação, acomodação e reequilíbrio:

A ideia original era propor aos alunos um universo de comandos informáticos que se deixavam organizar como os esquemas piagetianos. Nesse “micromundo construtivista”, todo conhecimento era composto como uma composição mais ou menos complexa de unidades elementares de saberes e de saber-fazer. As unidades mais fundamentais eram objeto de uma programação oculta mais estrita. Era pois o aluno, pela sua atividade assimiladora, o único construtor das suas estruturas cognitivas, através do jogo das adaptações progressivas dos seus esquemas segundo os objetivos que ele fixava (KARSENTI, 2010, p. 329).

A linguagem de programação usada na empreitada construtivista educacional era o LOGO, concebida com a ajuda de Papert no final da década de 1960. Esta linguagem tinha o objetivo de fazer com que crianças elaborassem comandos instrucionais a serem executados pelo computador. No caso, por exemplo, do LOGO gráfico, alguém dava comandos de movimento para a imagem de um robzinho parecido com uma tartaruga presente na tela do computador, podendo ela mudar sua direção em graus, tanto em sentido horário quanto anti-horário, como andar para a frente ou para trás, deixando o registro das distâncias percorridas de modo a formar contornos de figuras, o que possibilitava, para além da informática, o seu uso como ferramenta auxiliar de ensino em disciplinas como a geometria.

Em obras como *Logo: computadores e educação*, Papert (1985) ressalta que o ensino pela linguagem LOGO, ao incentivar a autoconstrução do conhecimento pelo aluno, por meio de atividades envolvendo habilidades como de análise combinatória, auxiliaria as crianças a anteciparem a passagem do estágio de desenvolvimento cognitivo baseado nas operações concretas para o estágio de desenvolvimento estruturado cognitivamente nas operações lógico-formais.

No livro *Máquina das crianças: repensando a escola na era da informática*, Papert (1994) destaca o potencial construtivista dos computadores ligados em rede possibilitarem às crianças tomarem a posição ativa de sujeitos da aprendizagem, tendo liberdade para acessar os mais diferentes conhecimentos adquiridos de modo não apenas racional como prazeroso.

4.3 DAS DIFICULDADES DE INSERÇÃO DAS TDIC NA ESCOLA À DISSEMINAÇÃO DE DISPOSITIVOS COMPUTACIONAIS EM SALA DE AULA

Com objetivos didáticos de auxiliar disciplinas como a matemática, computadores da IBM começam a ser usados na educação no fim da década de 1950. O projeto que procurava dar uma finalidade didática aos computadores ficou conhecido como Computer Assisted Instruction (CAI). Compostos de programas tutoriais baseados em tópicos como os princípios básicos de lógica-matemática, o conteúdo era apresentado em uma máquina de teletipo ligada ao computador por linhas telefônicas. Propostas como esta da IBM foram recebendo denominações como ensino programado por computador (EPO), ensino assistido por computador (EAO) e aplicações pedagógicas do computador (APO) (KARSENTI, 2010).

A inserção de tecnologias audiovisuais e computadores em sala de aula encontraram inicialmente obstáculos que dificultavam a sua consecução. O tamanho, o custo, a fragilidade e a dificuldade de locomoção dos aparelhos obrigava os alunos e professores a se deslocarem para uma sala na qual o equipamento estava instalado. Além disso, havia o desconhecimento do modo de funcionamento e das possibilidades de utilização dessas ferramentas, o que fizeram com que muitos projetos pedagógicos que procuravam inserir tecnologias, como o computador, em ambientes de ensino acabassem por encontrar grandes barreiras estruturais.

Essas dificuldades são apontadas por KARSENTI (2010), ao falar dos fracassos de políticas que buscaram promover a informatização da educação, entre elas, o plano de desenvolvimento da microinformática escolar de 1983 em Quebec, no Canadá, e o plano de Informática para Todos, na França. Os obstáculos à execução de políticas que procuram incentivar o uso de tecnologia na educação continuaram existindo, ao longo do final do século XX e início do século XXI. Porém, os problemas de disseminação das tecnologias digitais de informação e comunicação, as TDIC, nas escolas, foram deixando de estar relacionadas a aspectos técnicos dos aparelhos que se tornaram de fácil locomoção, uso e com um bom funcionamento, além de apresentarem um material diversificado e de fácil compartilhamento na internet. As dificuldades passaram a estar ligadas mais aos entraves políticos, econômicos e sociais. No Brasil, o Programa Um Computador por Aluno (PROUCA) de 2008, acabaria sendo um exemplo mais atual dos empecilhos ainda presentes na implementação desses projetos nas instituições de ensino, principalmente em escolas públicas.

Os avanços tecnológicos na área da informática, como a consolidação da internet e a disseminação de seu uso em ambientes privados, comerciais e de lazer, acabariam por exercer uma força muito maior sobre o emprego das TDIC em instituições de ensino do que as políticas voltadas a esse fim:

A digitalização da informação operou uma revolução profunda no mundo da comunicação, caracterizada, em particular, pelo aparecimento de dispositivos multimídias e pela ampliação extraordinária das redes telemáticas. Por exemplo, a partir de 1988 a internet duplica todos os número de usuários e de redes assim como o volume de tráfego. Está ligada a mais de cinco milhões de computadores e calcula-se que já tenha vinte milhões de usuários. Muito embora os efeitos da extensão das redes informáticas sejam ainda limitados, por serem ainda relativamente poucos os que possuem as novas tecnologias e dominam o modo de utilizá-la, tudo leva a crer que se trata de uma revolução inevitável que permitirá a transmissão de uma quantidade cada vez maior de informação num lapso de tempo cada vez mais curto. Observa-se, igualmente, uma crescente penetração destas novas tecnologias em todos os níveis da sociedade, facilitada pelo baixo custo dos materiais, o que os torna cada vez mais acessíveis (DELORS, 2000, p. 63–64).

O uso da internet e de computadores pessoais para a realização de estudos, elaboração de trabalhos escolares, acadêmicos e preparação dos materiais a serem usados na aula são alguns dos meios que tiveram forte contribuição para a integração indireta das tecnologias da informação e comunicação na educação. Os computadores acabaram entrando em muitas salas de aula como ferramenta de apoio ao professor aliados a equipamentos como retroprojetores e lousas digitais, programas para editar textos, gráficos e apresentações acadêmicas. Programas como Word, Excel e Power Point se tornaram ferramentas recorrentes na elaboração de materiais escolares e acadêmicos. É cada vez mais frequente alunos usando laptops, tablets e celulares para registrar e acompanhar as aulas ministradas por alguns professores. Enfim a penetração das novas tecnologias na educação ocorreu inicialmente muito mais pela disseminação espontânea de seu uso cotidiano na sociedade, via consumo privado e uso comercial, do que pela influência ou determinação de políticas públicas com fins educativos.

Porém, com o avanço da demanda por profissionais na área da computação e análise de dados e com o crescimento e a consolidação do consumo de tecnologias digitais privadas com algumas funcionalidades orientadas a fins educacionais, cresceu o incentivo público e a pressão comercial para que instituições de ensino investissem em novas tecnologias digitais educativas, incorporando em seus projetos pedagógicos a elaboração

e o desenvolvimento de conteúdos ligados ao campo digital, oferecendo cursos de educação on-line e a distância e preparando futuros trabalhadores com um conhecimento mínimo em sistema de informação. Iniciativas como o *Computer Science for All*, do presidente Barak Obama, promovendo o ensino de ciência da computação para todos os norte-americanos, do jardim de infância ao ensino médio, caminham nessa direção (COMMITTEE, 2016).

Para além das exigências específicas da educação on-line e a distância¹⁸, os avanços tecnológicos vem aumentando a presença e os usos pedagógicos de dispositivos computacionais como laptops, tablets e celulares em sala de aula, ocorrendo em muitas instituições de ensino, principalmente em escolas privadas de ensino médio, a substituição de vários materiais impressos, como cadernos e apostilas, por conteúdos digitais estruturados didaticamente. Nestes casos, a realização de grande parte do processo de ensino-aprendizagem é feita com o apoio de plataformas educativas virtuais.

4.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E ARQUITETURAS DE ENSINO

Pensando nas limitações pedagógicas das propostas de utilização dos computadores e softwares para fins educativos, ainda nos anos de 1990, Schank e Birnbaum (1996) apontam que é preciso abandonar arquiteturas informatizadas de ensino desestimulante do processo de aprendizagem:

A aplicação dos computadores à educação tem sido até hoje decepcionante. Quase sempre envolveu uma arquitetura particular de ensino, algo que podemos chamar de arquitetura de virada de página, que ficou implícita na concepção de software educativo e é responsável pela falta de estímulo ou valor educativo da maior parte do softwares disponíveis hoje no mercado. A arquitetura de virada de página consiste em exibir uma tela de informações e pedir para o aluno que indique quando ele quer a próxima página de informação, ou que ele responda à questão que o fará ver outra página de informação. Claramente há um problema aqui. O modelo assume que a informação dada ao estudante é absorvida pelo mesmo, como uma esponja, independentemente de

¹⁸ Para uma periodização histórica do desenvolvimento específico da Educação a Distância no Brasil baseada em análises da legislação, literatura e experiências institucionais de EaD, recomenda-se a leitura do artigo *Educação a Distância: cenários, dilemas e perspectivas* do professor Daniel Mill do programa de Pós-Graduação em Educação e em Ciência, Tecnologia e Sociedade da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Esta tese ao analisar o uso da inteligência artificial na educação segue as orientações colocadas no final do artigo ao afirmar que: “Cabe a nós pensar esses novos cenários, com fronteiras entre instâncias corpóreas e digitais mais e mais turvas, em experiências humanas típicas destes tempos atuais” (MILL, 2016, p.451)

quão interessado está o aluno no material. O aluno então é testado para certificar o quanto foi absorvido. E este, em grande parte, é o nosso modelo educacional (SCHANK; BIRNBAUM, 1996, p. 90).

Dando ênfase ao modo como as pessoas aprendem e à informação que deve ser dada à máquina para que elas sejam melhores instrutoras, Schank e Birnbaum (1996) propuseram quatro arquiteturas computacionais, baseadas em inteligência artificial, para a construção de sistemas de ensino:

1. **Arquitetura de sistemas baseadas em caso** – estruturada em cima de duas suposições: a primeira, de que especialistas podem ser vistos como um arquivo de casos acumulados ao longo do tempo, podendo comparar novas situações com antigas; a segunda, de que os melhores professores são capazes de contar histórias que despertem o interesse e a disposição para aprender nos alunos. A partir desses pressupostos esta arquitetura deveria conter um software com uma base de casos indexados e organizados na forma de histórias envolvendo tarefas complexas o suficiente para provocar o aluno a procurar as informações necessárias para sua resolução, fazendo, com isso, que o aluno almeje adquirir o conhecimento a ser ensinado (SCHANK; BIRNBAUM, 1996).
2. **Arquitetura de aprendizado incidental** – estruturada para possibilitar a aprendizagem de conteúdos considerados chatos, desinteressantes e enfadonhos. Schank e Birbaum (1996) apontam que diante desses conteúdos aqueles que projetam currículos lançam mão de recursos como listas para memorização e testes. Também salientam que aprendemos muitos desses conteúdos monótonos devido à utilidade que apresentam na vida cotidiana. O software nessa arquitetura deve propor tarefas que apesar de monótonas e entediadas em sua execução produzam resultados finais atrativos e envolventes. Os autores apontam o videogame como ferramentas potenciais para o aprendizado incidental, isto se os jogos forem pautados em tarefas baseadas em conteúdo, fornecendo informações necessárias ao cumprimento de objetivos intrinsecamente interessantes (SCHANK; BIRNBAUM, 1996).
3. **Exploração direta de conexões do banco de dados do vídeo** – procura estruturar um ambiente de aprendizagem no qual os usuários possam fazer suas próprias escolhas encontrando com facilidade, no momento em que precisarem, as informações de seu interesse. O exemplo dado por Schank e

Birbaum (1996) neste caso é o de um estudante que para realizar um trabalho escolar vai à biblioteca pesquisar alguns tópicos, tendo a liberdade durante a pesquisa tanto para eleger o que acha relevante como para organizar os achados em um relatório coerente. Para isso é ressaltada a importância, para essa arquitetura, de uma boa classificação e organização do banco de dados em vídeos, possibilitando ao computador avaliar corretamente as demandas de cada usuário, selecionando e apresentando o conteúdo adequado em cada caso (SCHANK; BIRNBAUM, 1996).

4. **Aprendizado baseado na ação simulada** – considerando que a melhor forma de aprender uma atividade é executá-la e que os melhores professores são a ação e a experiência, esta arquitetura estrutura-se por meio de simulações que tentam reproduzir com o máximo de similaridade possível situações da vida real. Dando o exemplo dos simuladores de voo, Schank e Birbaum (1996) destacam quatro unidades elementares na composição desta arquitetura: “o simulador”; “um programa de ensino” que oriente o aprendiz a usar o simulador; “um programa de compreensão da linguagem” que seja capaz de compreender e responder como um professor às questões formuladas pelo aprendiz e “um programa que possa contar histórias representando a experiência dos especialistas em situações encontradas pelo aluno no simulador”. Este último seria acionado por um professor real quando este avaliasse pertinente (SCHANK; BIRNBAUM, 1996, p. 95–96).

Propiciar comportamentos inteligentes ensináveis por meio dessas arquiteturas envolveriam o aprendizado de “scripts”, estes últimos definidos por Schank e Birnbaum (1996, p. 101) como uma “estrutura de memória que explica comportamentos esperados em ambientes mundanos roteirizados”. A produção de scripts estaria relacionada ao estabelecimento de relações sequenciais entre eventos em uma determinada situação, o registro e a capacidade de reutilização desta sequência em situações similares futuras. Animais, homens e máquinas são capazes de aprender scripts que orientem suas atuações em diferentes contextos. Entender como adquirimos e elaboramos scripts é algo que pode contribuir com o campo da educação. Pesquisadores de inteligência artificial acreditam que podem ajudar neste ponto:

É bastante mais razoável, uma vez examinada a posição da IA, concentrar-se em ensinar às crianças os tipos de conhecimento que elas precisam adquirir para serem inteligentes. Posto de outro modo, não precisamos, como pesquisadores da IA, ensinar às máquinas Filosofia ou Matemática. Precisamos, por outro lado, ensinar-lhes scripts, ensiná-las a generalizar, a abandonar o script, a compreender o que é igual e o que é diferente, a caracterizar uma experiência, a lidar com uma exceção. Essas são as coisas realmente necessárias para inteligência, e no entanto são elas as coisas sistematicamente deixadas de fora pelo sistema escolar (SCHANK; BIRNBAUM, 1996, p. 106).

Os caminhos encontrados para fazer as máquinas simularem aspectos da inteligência humana seriam compostos por questões oriundas da pedagogia. Em um movimento bidirecional de transformação contínua, os modelos computacionais de aprendizagem, memória, linguagem e representação do conhecimento não apenas retiram do homem o material a ser modelado como, também, transformam-se em instrumentos pedagógicos retroagindo na formação dos próprios processos de aprendizagem, memorização e representação humanos que tomam como modelo (SCHANK; BIRNBAUM, 1996).

4.5 A DEFESA DO USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO

Entre as propostas para futuros usos do campo da inteligência artificial na educação existe um relatório realizado pelo grupo editorial britânico da Pearson, considerado um dos maiores grupos educacionais do mundo. Se intitulando “a empresa de aprendizado do mundo”, a Pearson expõe sua visão de educação:

Para nós, a Educação não é qualquer produto, mas sim uma grande responsabilidade. Por isso, nossa estratégia global é a de sempre colocar o aluno no centro de tudo o que fazemos. Investimos e nos comprometemos a desenvolver produtos, serviços e tecnologias que tenham eficácia, ou seja, que alcancem as pessoas onde quer que elas estejam, no tempo em que elas desejam, com os recursos mais propícios para absorção de conteúdo e de forma customizada (PEARSON, s/d).

No relatório denominado *Intelligence Unleashed: An argument for AI in Education*, são indicadas não apenas as funções auxiliares que as ferramentas computacionais inteligentes poderiam exercer para a educação, como também é defendido que a inteligência artificial é uma peça fundamental para a realização de

reformas que modernizem e coloquem as instituições de ensino em consonância com os avanços tecnológicos já presentes na sociedade (LUCKIN et al., 2016).

A A.I.Ed (*Artificial Intelligence in Education*), segundo relatório da Pearson, já estaria oferecendo repostas a questionamentos sobre como aprendemos, o que desperta nossa motivação para aprender, quais conhecimentos e habilidades provavelmente serão necessárias na segunda metade do século XXI, como proporcionar uma aprendizagem personalizada e como oferecer uma educação que alcance a todos sem perder a qualidade (LUCKIN et al., 2016).

O relatório realizado pela equipe da Pearson se coloca como um guia de como a inteligência artificial pode ser incorporada ao eixo central do processo de ensino e aprendizagem, produzindo melhoras concretas nos desempenhos escolares e acadêmicos dos estudantes. O uso adequado deve evitar algo frequente na aplicação de tecnologias na educação, o desvio de sua função de apoio ao ensino. A inteligência dessas tecnologias não deve ser atribuída à sua capacidade de se adaptar aos gostos e preferências do aluno, mas sim à capacidade de fornecer melhores formas de proporcionar o aprendizado. Sua eficiência não deve ser medida pelas melhoras administrativas que proporciona, mas por sua competência em assegurar aprendizagens bem-sucedidas.

Defendendo a necessidade urgente de uma reforma do sistema educacional que leve em conta as possibilidades educativas contidas nos avanços tecnológicos, o relatório da Pearson descreve a inteligência artificial como sistemas informatizados projetados para interagir com o mundo por meio de habilidades, como a percepção visual e o reconhecimento de voz, e comportamentos inteligentes, como avaliar informações, tomar decisões, organizar dados, testar hipóteses, verificar desempenhos etc.

Para que a inteligência artificial aplicada à educação consiga realizar funções como o oferecimento de feedbacks individualizados para cada estudante, ela precisa ser estruturada em três modelos: o modelo pedagógico, delimitando as abordagens de ensino mais adequadas em cada situação; o modelo de domínio, que determina o assunto a ser aprendido; e, o modelo de aprendiz, que representa o conhecimento do aluno (LUCKIN et al., 2016).

ESTRUTURA PARA APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO

| INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO | | |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MODELO DE IA APLICADA À EDUCAÇÃO | O QUE O MODELO REPRESENTA | Exemplos de conhecimentos específicos representados nos modelos IAE |
| MODELO PEDAGÓGICO | O conhecimento e a experiência de ensino | Falha produtiva (permitindo que os alunos explorem um conceito e cometam erros antes de serem mostradas as respostas certas). |
| MODELO DE DOMÍNIO | Conhecimento do assunto que está sendo aprendido (conhecimento de domínio) | Como adicionar, subtrair ou multiplicar duas frações. Segunda lei de Newton (forças). Causas da Primeira Guerra Mundial. Como estruturar um argumento. Diferentes abordagens para ler um texto. |
| MODELO DE APRENDIZ | Conhecimento do aluno | As realizações e dificuldades anteriores do aluno. O estado emocional do aluno. O envolvimento do aluno na aprendizagem (por exemplo: tempo na tarefa). |

Fonte: adaptado de LUCKIN et al. *Intelligence Unleashed: An argument for AI in Education*, 2016.

Dentro desse esquema existem sistemas que adotam modelos de aprendizagem aberta (*Open Learner Models*) em que professores e alunos têm acesso às análises que são feitas deles. Os dados disponibilizados apresentam informações sobre as realizações do aprendiz, seus estados afetivos e erros que cometeu ao longo do processo. Os alunos teriam assim à sua disposição uma espécie de espelho refletindo os aspectos envolvidos na própria aprendizagem, o que os auxiliaria na compreensão sobre as próprias limitações assim como os ajudaria a visualizar os pontos em que estão avançados, o que poderia atuar como um fator motivador para os estudos. O professor por sua vez teria dados que permitiriam adaptar suas aulas às capacidades e necessidades específicas de cada aluno.

Além dos modelos de aprendizagem, pedagógico e de domínio, os pesquisadores de inteligência artificial aplicada à educação também estão desenvolvendo modelos estruturados em aspectos sociais, emocionais e metacognitivos envolvidos na aprendizagem. Para além dos processos cognitivos, o corpo é outro aspecto que está sendo explorado como modelo para a construção de novas interfaces que incorporam sensores fisiológicos, rastreadores oculares, programas e mecanismos de reconhecimento de fala, gesto e tato.

Diante do mar de dados passíveis de serem coletados existem três categorias de softwares de inteligência artificial aplicada à educação que podem servir de apoio aos

aprendizes: os tutores inteligentes pessoais, o suporte inteligente para aprendizagem colaborativa e a realidade virtual inteligente.

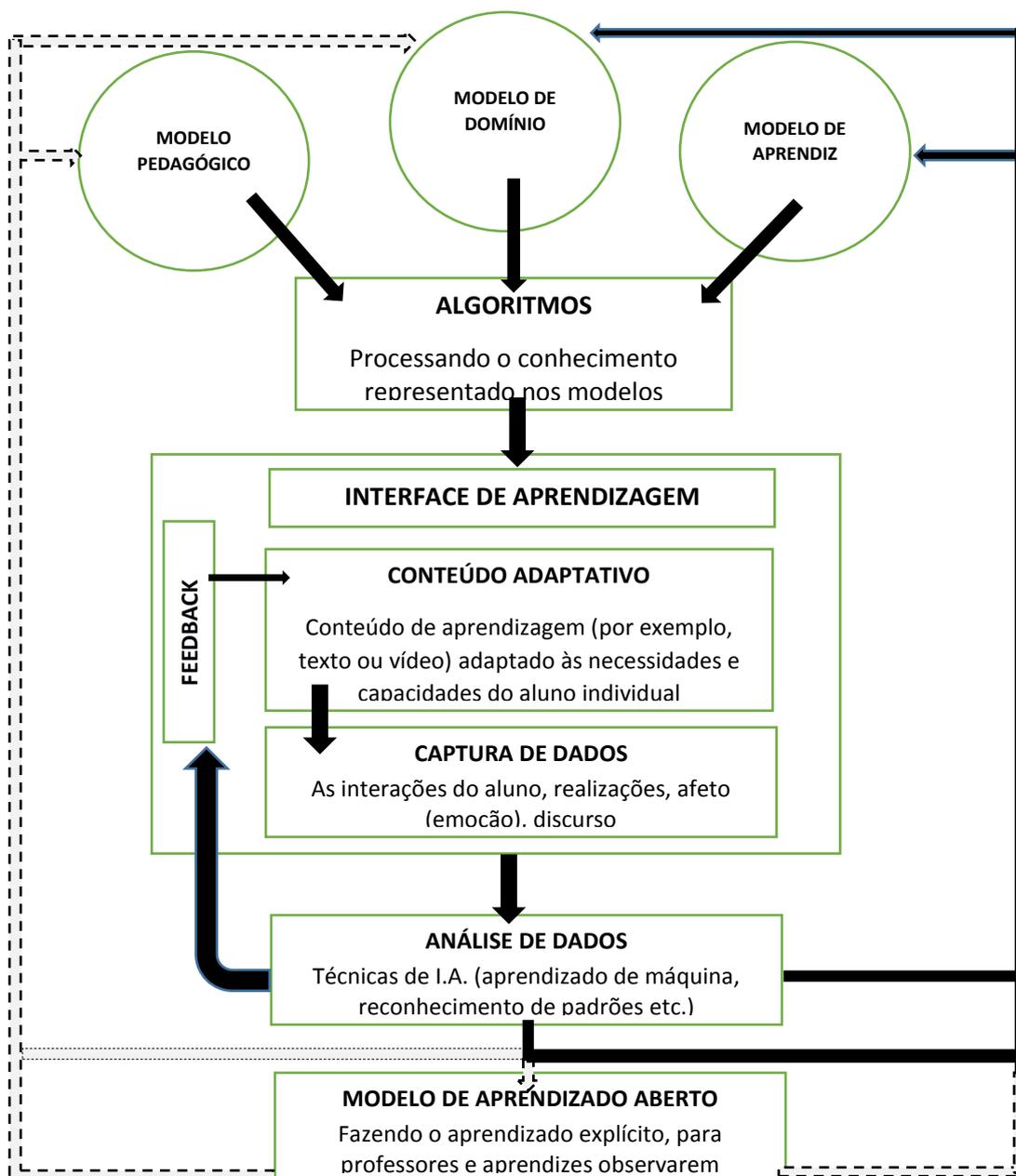
4.5.1 UM TUTOR INTELIGENTE PARA CADA ALUNO

No lugar da divisão em modelo, muitos tutores atuais são baseados em técnicas de aprendizagem de máquina abrangendo algoritmos de autotreinamento por meio de redes neurais. O problema deste modelo é que não se tem acesso a grande parte do processo envolvido na tomada de decisão realizada pelo programa. Tutores elaborados a partir de sistemas adaptativos baseados em modelos viabilizam a explicitação e entendimento das razões implicadas em uma tomada de decisão, fornecendo mais elementos para a realização de uma aprendizagem individualizada (LUCKIN et al., 2016).

Entre as ferramentas que podem fazer parte de um tutor inteligente estão:

- Modelos do estado cognitivo e afetivo dos alunos.
- Utilização de diálogos que incluem pesquisa, discussões, elaboração de questões e respostas a perguntas.
- Modelos de aprendizagem aberta nas quais os alunos, ao terem acesso aos seus próprios dados, podem refletir sobre suas ações.
- A adoção de andaimes metacognitivos como uso de estruturas narrativas para motivar o estudante.
- O emprego de modelos de simulação social — apoiando, por exemplo, o estudante em situações como a aprendizagem de uma língua, oferecendo suporte em sua interação com falantes do idioma estrangeiro, disponibilizando informações sobre os costumes e normas culturais e sociais do país da língua estudada.

Sistema de IA na Educação que mostra uma imagem simplificada de um tutor adaptativo típico baseado em modelo



Fonte: Adaptado de LUCKIN et al. *Intelligence Unleashed: An argument for AI in Education*, 2016.

Esse seria o modelo de um tutor inteligente, cujos algoritmos atuam sobre o conhecimento produzido pelos três modelos (Pedagógico, Domínio e Aprendiz) de modo a selecionar o conteúdo adequado às necessidades e habilidades específicas de cada aluno. No momento em que são apresentados conteúdos aos alunos (textos, atividades, sons, vídeos), ocorre simultaneamente a análise contínua de suas interações com o computador (respostas, ações e estados afetivos atuais, assim como as atividades executadas no passado). Rapidamente, após a análise dos dados coletados, o tutor já apresenta

orientações, feedbacks e sugestões que contribuam para que os alunos avancem em sua aprendizagem sobre o assunto trabalhado (LUCKIN et al., 2016).

4.5.2 SUPORTES INTELIGENTES PARA APRENDIZAGENS COLABORATIVAS

A inteligência artificial aplicada à educação, segundo o relatório da Pearson, pode oferecer suportes para aprendizagens colaborativas principalmente de quatro maneiras:

1. **Formação grupal adaptativa** – as técnicas de IA permitem a formulação de modelos de alunos que podem ser agrupados segundo níveis de cognição semelhantes, ou com interesses similares, ou mesmo com habilidades variadas porém complementares.
2. **Facilitação de especialistas** – são empregados padrões de colaboração para auxiliar o processo de interação entre os estudantes. Estes padrões são elaborados pelo autor do sistema ou baseados em modelos de colaboração anteriores. Técnicas de aprendizagem de máquinas, como a modelagem de Markov, são utilizadas para o estabelecimento de padrões voltados à resolução de problemas. A partir dessa técnica os sistemas podem ser treinados para reconhecer desentendimento entre estudantes quanto à compreensão de conceitos compartilhados pelo grupo ou mostrar aos próprios alunos e ao professor o quanto um determinado aluno está colaborando com o trabalho coletivo.
3. **Agentes virtuais inteligentes** – podem intermediar interações on-line ou colaborar com diálogos atuando como um treinador/tutor especialista; um parceiro no grupo que compartilha do mesmo repertório cognitivo, mas que pode apresentar novas ideias; um aluno virtual que precisa ser ensinado, capaz de simular erros e de fomentar controvérsias que suscitam a reflexão e a elaboração de argumentos.
4. **Moderação inteligente** – auxiliam tutores humanos analisando e resumindo discussões por meio de técnicas de aprendizagem de máquina e processamento superficial de textos, sinalizando para os tutores humanos quando um determinado estudante está fugindo do tópico a ser trabalhado coletivamente ou está repetindo os mesmos erros.

4.5.3 REALIDADE VIRTUAL INTELIGENTE COMO APOIO A APRENDIZAGEM

Desde 1979 a inteligência artificial é usada em jogos. O primeiro deles foi o PacMan, em que a IA empregava técnicas como a Máquina de Estado em que ocorrem mudanças de estados conforme as condições apresentadas em cada situação, permitindo, no caso do jogo, que figuras de fantasmas fossem em direção ou se afastassem da figura do PacMan comandada pelo jogador. Nos jogos mais recentes essas técnicas evoluíram muito de modo a permitir que personagens virtuais autônomos apresentem interações sofisticadas com os personagens controláveis por uma pessoa (LUCKIN et al., 2016).

Uma realidade virtual bem construída poderia proporcionar aos estudantes uma experiência imersiva em ambientes simulados, possibilitando que os alunos explorem situações semelhantes às reais, mas às quais não têm acesso, investigando, interagindo e manipulando diversos aspectos deste mundo virtual. Algumas possibilidades de simulações seriam como a de um ambiente de seca que fizesse os alunos refletirem sobre as causas e as consequências envolvidas na produção de tal cenário, ou de um museu de artes de um país distante que os colocasse em maior contato com detalhes de obras que marcaram a história humana. A IA, nesse caso, propiciaria um aumento no grau de imersão dos estudantes, atuando na análise, controle e coordenação dos dados, de modo a tornar mais natural as interações entre aprendizes e realidade virtual. Poderia auxiliar, também, por intermédio de agentes virtuais que, orientados por modelos pedagógicos específicos, conseguiriam operar apresentando perspectivas diferentes sobre um assunto particular, formulando perguntas e dando feedbacks.

Segundo o relatório da Pearson, pesquisas indicam que a imersão em realidades virtuais inteligentes pode trazer efeitos benéficos à aprendizagem dos alunos, permitindo que explorem e compreendam o conteúdo que estão estudando. No caso de alunos com baixo rendimento, que já estão com a autoconfiança abalada, ambientes imersivos simulados virtualmente poderiam oferecer condições que os ajudassem a desenvolvê-la, incentivando a expressão de respostas inteligentes que antes eram reprimidas por sentimento de insegurança.

Para uma situação como a do bullying, existem ferramentas como o FearNot, ambiente virtual inteligente que simula histórias envolvendo situações de bullying dentro do espaço escolar. O aluno atua nesse ambiente como um amigo invisível de um personagem virtual submetido a intimidações. As interações nesse ambiente aumentariam

os repertórios de ações e estratégias de enfrentamento de acontecimentos semelhantes que venham a ocorrer na vida real (LUCKIN et al., 2016).

A realidade virtual inteligente também pode servir de apoio ao treinamento de equipes, incluindo recursos como participantes virtuais aptos a chamar a atenção para episódios particulares que aconteceram durante a interação do grupo, capazes de apresentar e debater alternativas de ação.

4.5.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO E AMPLIAÇÃO DO MUNDO FÍSICO

Para além da realidade virtual, os sistemas de realidade aumentada (*Augmented reality systems – AR*) realizam a sobreposição de conteúdos virtuais sobre o mundo físico, o que possibilita, por exemplo, que alunos tenham acesso a dados sobre um objeto enquanto olham ou interagem com ele. Em uma saída de campo, ao olhar para um prédio, o estudante, por meio de tecnologias de realidade aumentada, poderia ter sobrepostas virtualmente sobre a parede do próprio prédio, acesso às informações de sua arquitetura, idade e materiais usados em sua construção (LUCKIN et al., 2016).

Outra tecnologia que pode ser utilizada com propósitos educativos, em parceria com a inteligência artificial, é a internet das coisas. Neste caso são anexados aos objetos da realidade dispositivos com sistemas de informações conectados em rede. Os sistemas de inteligência artificial poderiam, por meio dos dispositivos on-line acoplados às coisas, acrescentar funcionalidades aos objetos, ajudando os alunos a desenvolver habilidades sensíveis e motoras relacionadas às atividades como dançar, tocar instrumentos musicais, realizar procedimentos cirúrgicos etc. (LUCKIN et al., 2016).

Além da personalização da aprendizagem, a inteligência artificial aplicada à educação, por meio de ferramentas, como tutores pessoais, suportes para aprendizagem colaborativa e realidade virtual, pode oferecer, também, um apoio suplementar importante para a inclusão de alunos com necessidades educacionais específicas, com uma grande vulnerabilidade social ou que não possam, por algum motivo, frequentar a escola. A possibilidade de implementação on-line em diferentes dispositivos, alguns deles móveis, aumentaria a facilidade de acesso a alguns dos sistemas de inteligência artificial com fins educativos.

4.5.5 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO E OS PROFESSORES

Segundo Luckin et al. (2016), os professores continuarão sendo os condutores principais do processo educativo, os maestros que regem quando e como usar os instrumentos de IA, sendo sensíveis à maneira com que cada ferramenta é capaz de fornecer insights orientados por dados, determinando os arranjos e organizações desses dispositivos de modo que possam fortalecer o processo de ensino e aprendizagem.

O protagonismo na elaboração das ferramentas de IA aplicada à educação não deve estar nas mãos dos analistas de sistemas ou dos designers. Para atuarem efetivamente sobre os conflitos, problemas e dificuldades presentes nas escolas e nas salas de aula, as ferramentas de IA voltadas à educação devem ser elaboradas com a colaboração de professores, pais e alunos. Para isso é fundamental a adoção de uma metodologia de design participativa envolvendo educandos e educadores em um processo que aumente os seus conhecimentos tecnológicos, suas habilidades de design e sua compreensão das possibilidades educativas abertas pelo campo da inteligência artificial (LUCKIN et al., 2016).

4.5.6 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

Conforme Luckin et al. (2016), em relação à melhoria dos processos de avaliação da aprendizagem, a inteligência artificial aplicada à educação poderá ajudar principalmente de três formas:

1. **Oferecimento de avaliações *just in time* para modelar a aprendizagem:** pelo reconhecimento de padrões no grande volume de dados referentes aos professores e alunos, a IA permite obter informações *just in time* sobre os sucessos, desafios e necessidades dos aprendizes, tornando possível prognosticar tendências de um aluno abandonar um curso ou prever situações em que aluno possa fracassar.
2. **Oferecimento de conhecimentos sobre como a aprendizagem está progredindo:** por intermédio de análises que revelam não apenas os acertos e erros do aprendiz em relação a um problema, mas como ele chegou a uma determinada resposta.
3. **Produção de avanços para além do modelo “parar e testar”:** trazendo outras possibilidades de avaliação que não se limitem ao modelo tradicional

que testa pequenas parcelas do que foi ensinado. A inteligência artificial aplicada à educação abre a possibilidade de avaliação contínua de todas as atividades de aprendizado significativo que acontecem no processo de ensino. Aprendizagens podem ser produzidas, por exemplo, por meio de jogos ou projetos colaborativos.

4.5.7 A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E OS PROBLEMAS DA EDUCAÇÃO

Apontando que a educação enfrenta problemas sociais complexos e de difícil solução, o relatório da Pearson indica em que medida a inteligência artificial aplicada à educação pode ajudar no enfrentamento de algumas das questões que fazem parte das adversidades ainda não resolvidas.

Em relação às dificuldades no oferecimento de uma educação de qualidade acessível a todos, relacionada, entre inúmeros outros fatores, a má distribuição de renda e concentração de riqueza na mão de uma minoria da população mundial, a inteligência artificial aplicada à educação poderia auxiliar aqueles que foram sujeitos às más condições de ensino e que apresentam defasagem em habilidades básicas, como leitura, escrita e realização de operações matemáticas simples. Os sistemas de inteligência artificial aplicados à educação, levando em conta desigualdades econômicas, serão dimensionados para ter um alcance amplo, com a redução de seus custos e aumento de sua acessibilidade às diversas escolas e sistemas de ensino. Tutores inteligentes adaptativos poderiam realizar aulas extras personalizadas, seja em casa, na escola ou no trabalho, atuando como um apoio adicional à aprendizagem dos estudantes com dificuldades. Tal apoio poderia ser oferecido, inclusive, antes de o aluno ingressar no sistema formal de educação, ajudando a evitar, com isso, que eles apresentem defasagens de conteúdo ao entrarem na escola, ou seja, crianças de famílias de baixa renda que muitas vezes entram na escola apresentando dificuldades de interação, sem saber ler, escrever ou identificar números, poderiam se beneficiar substancialmente do apoio de tutores inteligentes adaptativos. Esse auxílio poderia ser estendido, com os ajustes necessários em cada caso, aos pais e professores desse alunos (LUCKIN et al., 2016).

No caso dos docentes, um tutor inteligente adaptativo baseado em nuvem, além de colaborar com o aperfeiçoamento contínuo de sua formação, poderia fornecer suportes que os auxiliem a diminuir o stress e a carga de trabalho. Fora da sala de aula pouparia parte do tempo gasto em correção de trabalhos e avaliação dos aprendizes, dentro da sala

de aula poderia dar assistência oferecendo um modelo de aprendizado individualizado para cada aluno e ajudando na identificação dos materiais didáticos mais adequados para ensinar um determinado assunto. O professor teria mais liberdade para focar a atenção em um estudante específico ou grupo de estudantes que precisem trabalhar um conteúdo diferente dos colegas de turma (LUCKIN et al., 2016).

Para os autores do relatório da Pearson, os impactos de avanços tecnológicos sobre a economia, como criação de robôs e algoritmos de aprendizagem inteligentes, estão reconfigurando a geração de empregos, o que tem produzido muitos debates. Porém, as discussões desses impactos sobre a educação e os processos de aprendizagem ainda são modestas. Entre as razões para isso acontecer está o fato de o diálogo estar sendo conduzido, principalmente, por economistas e não educadores, o que reflete a concentração das pesquisas no processo de automatização dos empregos em detrimento das investigações das novas habilidades que serão exigidas com esses avanços tecnológicos — avanços que determinarão a próxima fase de reformas dos sistemas educacionais.

Os propósitos da educação vão além da obtenção de um emprego, incluem, também, a descoberta de paixões, o desenvolvimento moral, a experiência de satisfação de ver um esforço transformado em um bom trabalho, o desejo de afetar e provocar transformações positivas na família, na comunidade, no país e no mundo. Estes propósitos estariam inclusive relacionados à obtenção de um bom trabalho e à importância de que governos invistam na formação de indivíduos. É para ajudar a propiciar esses propósitos que a inteligência artificial deve ser aplicada à educação.

Usando inteligência artificial para efetuar a reforma do sistema educacional

| Em 15 anos... | A implicação para aprender... | Como a IA aplicada à educação pode ajudar... |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Muitos dos novos empregos criados serão muito mais cognitivamente exigentes do que os atualmente disponíveis. | Os alunos precisarão aprender de forma tão eficaz e eficientemente quanto possível. | Dando a cada aluno seu próprio tutor pessoal, em todos os assuntos. Fornecendo a cada professor seu próprio assistente de ensino de IA. IA aplicada à educação para oferecer um desenvolvimento profissional oportuno, mais inteligente e profissional. Ferramentas de IA aplicada à educação que ajudem todos os pais a apoiar a aprendizagem de seus filhos. |
| | Precisamos atender seriamente aos fatores não cognitivos que influenciam a aprendizagem: coragem, tenacidade, perseverança e aspectos afetivos da mente. | Disponibilizando novos insights sobre como o aprendizado é para um indivíduo e os fatores que tornam mais provável a sua ocorrência. À luz disso, fornecer o suporte certo, no momento certo, para continuar aprendendo na direção certa. |
| | Os alunos precisarão alcançar habilidades de ordem superior — e resolução de problemas — ao lado de “saber o quê”. | Realidade virtual inteligente para permitir que os alunos sejam apoiados para aprender em ambientes autênticos — e transferir essa aprendizagem de volta para o mundo real. |
| Nas habilidades sociais, os seres humanos continuam a se destacar. | Os alunos precisam ser solucionadores e criadores colaborativos de problemas efetivos, capazes de construir sobre as ideias dos outros e estender críticas sensíveis a um argumento. A capacidade de comunicação com os outros, simpatizar e criar uma conexão humana continuará a ser avaliada. | Suporte inteligente para aprendizagem colaborativa. Técnicas de IA aplicada à educação para nos ajudar a entender melhor como oferecer uma maior variedade de atributos e quão bem um aluno é capaz de adquiri-los. |
| Precisamos reabilitar grandes partes da força de trabalho atual — em essência, criando uma sociedade de aprendizagem. | Precisamos de novas formas de equipar os alunos adultos com novas habilidades — com mais frequência, rapidez e eficácia. | Ferramentas de IA aplicada à educação que ajudem os alunos a serem aprendizes efetivos e autorregulados para a aprendizagem ao longo da vida. Companheiros de aprendizagem ao longo da vida para aconselhar, recomendar e acompanhar a aprendizagem. Ambientes de aprendizagem mais flexíveis, permitindo que os aprendizes aprendam ao mesmo tempo em lugares que funcionam melhor para eles. |

Fonte: Adaptado de LUCKIN et al. *Intelligence Unleashed. An argument for AI in Education*, 2016.

A implementação de sistemas de inteligência artificial aplicados à educação, seguindo o quadro apresentado, permitiria analisar os processos de ensino e aprendizagem em todos os níveis: em um assunto específico, em uma sala de aula, instituição de ensino, cidade ou país. A avaliação do desempenho do ensino e da aprendizagem em países, por exemplo, poderiam determinar a necessidade de realização de testes internacionais como o PISA (*Programme for International Student Assessment*) e o TIMMS (*Trends in International Mathematics and Science Study*). A inteligência artificial aplicada à educação pode ser o andaime para que gestores e responsáveis pelas políticas educacionais desenvolvam novas habilidades e competências (LUCKIN et al., 2016).

Para que a tecnologia cumpra a promessa de aprimoramento e promoção da aprendizagem, Luckin et al. (2016) destacam que ela deve operar sobre os desafios colocados por três dimensões:

1. **A dimensão pedagógica relacionada aos processos de ensino e aprendizagem** – as pesquisas em inteligência artificial aplicada à educação ainda se concentram sobre domínios e conjuntos de dados extremamente estruturados, como ramos introdutórios da matemática e da física e sistemas de administração das instituições de ensino. Antes de deter-se sobre novidades tecnológicas é preciso inicialmente priorizar os estudos sobre os processos de aprendizagem.
2. **A dimensão tecnológica** – a inteligência artificial aplicada à educação ainda é uma indústria artesanal, com pesquisas tímidas, baixo financiamento e projetos que não passam da fase de protótipo. É preciso desenvolver condições estruturais para inovações interativas que não sejam apenas reinvenções, fomentando demandas inteligentes por tecnologias que resolvam problemas concretos por meio de políticas que encorajam parcerias entre instituições de pesquisa e entidades comerciais. Um exemplo bem-sucedido de sistemas de IA aplicados à educação seria o da área militar. A Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa dos Estados Unidos (DARPA) desenvolveu com sucesso ambientes de aprendizagem virtuais para o treinamento de tiro. Outra aplicação bem-sucedida foi o desenvolvimento de um tutor digital que permite aos trabalhadores da marinha adquirirem habilidades para resolver problemas complexos na área de tecnologia da informação (TI). A DARPA também atuou como incentivadora de projetos voltados à construção de automóveis autônomos.
3. **A dimensão voltada à mudança do sistema educacional** – para que as tecnologias e as atividades tradicionais de sala de aula funcionem de forma

complementar na promoção da aprendizagem é preciso considerar as desorganizações presentes em salas de aula reais, instituições de ensino e ambientes de aprendizagem dentro dos locais de trabalho, convidando professores, pais e alunos para colaborarem com um designer participativo de sistemas de inteligência artificial aplicado à educação, de modo que atendam às necessidades concretas dos educadores e educandos.

4.6 INCENTIVOS DOS ESTADOS UNIDOS À EDUCAÇÃO EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Acompanhando uma política de incentivo ao ensino de ciências da computação para todos (*Computer Science for All*), em 2016, o Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia do governo de Barak Obama, nos Estados Unidos, elaborou o relatório *Preparing for the Future of Artificial Intelligence*, salientando a importância do conhecimento e da educação em inteligência artificial para um mundo que é cada vez mais impactado pelo processo de automatização computacional. Diante dessa realidade, aumentam as exigências para que os cidadãos desenvolvam competências de leitura, análise, interpretação e utilização tanto dos dados computacionais como das técnicas que permitem o processamento automatizado desses dados.

Frente a esse contexto, o relatório procura pontuar a importância que a inteligência artificial vem ganhando em diferentes áreas, como políticas de segurança pública, defesa, economia, justiça criminal, preservação ambiental e educação. Salienta os cuidados que devem envolver suas aplicações, assim como medidas a serem tomadas para orientar o seu uso. No campo da educação, o relatório aponta a importância da integração da inteligência artificial e das ciências de dados a todo sistema educacional, preparando desde cedo os estudantes na aquisição de habilidades e competências exigidas para que sejam cidadãos protagonistas em uma economia crescentemente permeada pela automatização computacional.

É recomendado, no relatório do governo americano, o incentivo não apenas à pesquisa básica em inteligência artificial como, também, o envolvimento em parcerias e pesquisas que tragam benefícios sociais por parte de instituições de justiça e políticas públicas que, geralmente, não estão implicadas diretamente no desenvolvimento de novas tecnologias ligadas às ciências de dados.

Entre outras recomendações elencadas no documento, estão o estabelecimento de políticas regulatórias de produtos, como a produção de armas automatizadas ou semiautomatizadas, respeitando o Direito Internacional Humanitário, garantias de privacidade de dados de usuários, acompanhamento de pesquisas e monitoramento das aplicações tecnológicas internacionais, estudo do fluxo de mão de obra e da necessidade de profissionais, mapeamento dos especialistas e elaboração de programas federais de treinamento e aperfeiçoamento de funcionários já inseridos no mercado de trabalho. No que se refere mais diretamente à educação, recomenda-se que as escolas e universidades incluam, como parte do currículo, disciplinas ligadas à inteligência artificial, ao aprendizado de máquina e à ciência de dados e tópicos como ética, privacidade e segurança. O relatório também faz referências à proposta do Departamento de Educação americano de criação da “ARPA-ED”¹⁹, com o objetivo de desenvolver pesquisas determinando se a inteligência artificial e outras tecnologias poderiam melhorar consideravelmente os resultados de aprendizagem dos alunos (NSTC, 2016).

4.7 TENTATIVAS DE VAPORIZAÇÃO DIGITAL DAS UNIVERSIDADES

O ensino superior americano está se tornando um produto de luxo “inchado”, é o que afirma Robert Tercek, renomado executivo ligado à criação de conteúdos interativos para plataformas digitais. No livro *Vaporizado: estratégias sólidas para o sucesso em um mundo desmaterializado* (*Vaporized: Solid Strategies for Success in a Dematerialized World*, título original, em inglês), Tercek (2015) defende que as universidades estão caminhando na contramão das tendências de outras indústrias da informação ao investirem em infraestruturas físicas e não no processo de digitalização que vem ocorrendo em vários outros setores da economia. Índice dessa constatação seriam os grandes investimentos de muitas universidades em dormitórios de luxo, tendo alguns deles comodidades como *country club*, paredes de escalada, câmaras de bronzamento artificial, salas de jogos e apartamentos com suítes e paredes de granito. O investimento em dormitórios, por parte dos administradores, ocorre, segundo Tercek (2015), devido à concorrência acirrada entre as faculdades na busca em atrair alunos que possam pagar as tarifas integralmente. O

¹⁹ ARPA ED – Advanced Research Projects Agency for Education (Agência de Projetos de Pesquisa Avançada para Educação).

problema é que ao buscarem agradar o mesmo perfil de aluno as universidades acabam se endividando e tendo como retorno a matrícula de um número de estudantes parecido com o das concorrentes.

Além de dormitórios, as universidades americanas fizeram um grande investimento em projetos de expansão internacional, com abertura de *campi* em diversos países, como Emirados Árabes Unidos, China, Cingapura, Catar e Malásia. As análises da Equipe de Educação Transfronteiriça (C-BERT), da Universidade de Nova York, indicam que muitos desses projetos acabaram não se consolidando, ocorrendo assim a perda de milhões de dólares.

Outro fator de endividamento, levantando por Tercek (2015), considerado o de maior custo operacional, relaciona-se aos altos salários de um número de empregados que vêm crescendo de forma inflacionada, considerando-se a proporção funcionários/alunos, sendo que a maioria desses funcionários está relacionada à administração universitária e não a atividades de pesquisa, ensino e serviços. Tais despesas poderiam se justificar caso se convertessem em melhorias no desempenho acadêmico e mais oportunidades de emprego, mas, segundo o autor, os dados indicam que os índices de desempenho na aprendizagem e as oportunidades de emprego não vêm melhorando, o que acaba dando força ao argumento de que o ensino universitário está defasado quando busca preparar os alunos para uma economia industrial que não existe mais.

As transformações necessárias à adaptação da universidade às demandas de um mercado de trabalho cada vez mais digital não envolveriam uma interrupção do ensino superior tradicional, mas sim a minimização da estrutura física, diminuindo o investimento na construção de novos *campi*, dormitórios e salas de aula. Em vez de laboratórios de informática e de idiomas, ocorreriam investimentos que incentivassem os alunos a usar seus dispositivos computacionais como *laptops*, *tablets* e *smartphones*. Os gastos com atividades extracurriculares e instalações para atividades esportivas seriam possivelmente terceirizados. As transmissões das informações seriam melhor realizadas por máquinas e meios de comunicação do que pelos professores, cabendo a estes a função de elaborar perguntas desafiadoras, debates fundamentados e críticas sutis em relação àquilo que é aprendido. Em vez de palestras, os docentes orientariam os alunos na navegação dentro do enorme fluxo de informações auxiliando-os na distinção entre fontes confiáveis e não confiáveis. Materiais físicos, como livros didáticos, cadernos, lousas e avaliações feitas no papel, seriam parcialmente substituídas por informações digitais (TERCEK, 2015).

No lugar de programas on-line extremamente genéricos projetados para uma massa de estudantes, os quais não levam em conta as necessidades individuais de cada aluno, seria mais proveitoso o desenvolvimento de um programa que oferecesse tanto as vantagens do ensino presencial, engajando alunos em interações sociais, quanto as possibilidades de flexibilização e personalização do ensino contidas em programas de educação on-line, permitindo aos aprendizes terem acesso às aulas, exercícios e conteúdos onde e quando precisarem e não apenas na sala de aula física (AOUN, 2017).

Apesar de as universidades americanas possuírem condições de oferecer sistemas de educação on-line garantindo aos estudantes diplomas com alto grau de reconhecimento no mercado de trabalho, isso não ocorre por entrar em conflito com a principal fonte de renda dessas instituições: as cobranças referentes aos cursos presenciais. Oferecer cursos on-line que garantam diplomas equivalentes aos presenciais acabaria por gerar uma desvalorização dos próprios cursos que exigem a presença física do aprendiz. O oferecimento de cursos on-line gratuitos para qualquer pessoa como ocorre no edX, (plataforma de cursos on-line oferecidos pelas melhores faculdades do mundo, como o MIT e a Universidade de Harvard), ao não contarem com diplomas nem com créditos em disciplinas, acabam sendo considerados mais como uma jogada de marketing, dessas mesmas universidades, do que como uma tentativa de incentivar uma educação a distância (TERCEK, 2015).

Se, de um lado, grandes universidades procuram não canalizar toda a força que poderiam em cursos on-line para não se autoprejudicarem financeiramente, outras instituições com fins lucrativos aproveitam para comprar faculdades em crise, as transformam em universidades on-line e implementam estratégias para atrair alunos sem muito poder aquisitivo, cobrando pelos cursos de graduação muitas vezes quantias que eles não podem pagar sem o apelo a altos empréstimos. Os grandes índices de desistência dos alunos não se transforma em prejuízos para essas instituições, as quais recebem integralmente o que é devido por meio do sistema de empréstimos do governo federal americano. Os estudantes desistentes, por sua vez, acabam altamente endividados e sem o diploma pretendido (TERCEK, 2015).

O sistema universitário americano está protegido da pressão do mercado por mudanças abruptas que o levem a adaptar suas estruturas às demandas de uma economia cada vez mais vaporizada em sistemas digitais. As mudanças que realizam ocorrem de forma moderada e lenta mediante iniciativas como incubadoras de empresas e *startups* (grupos de pessoas trabalhando com uma ideia inovadora que pode gerar dinheiro).

Propostas de educação on-line ocorrem mais de modo complementar, havendo pouca mobilização de forças internas à academia para que o modelo tradicional sofra as grandes transformações demandadas por muitas empresas e empregadores que encontram, no atual molde universitário, uma estrutura muito rígida, burocrática, inchada e com custos injustificáveis (TERCEK, 2015).

Ao mesmo tempo em que os diplomas universitários ainda são valorizados pelos empregadores, diversas universidades americanas são vistas como instituições que, atualmente, vêm garantindo quatro anos de férias de luxo para os jovens de famílias abastadas financeiramente, conferindo, no final, um passaporte para vagas de emprego. Isso em detrimento de sua função vocacional como formadora de habilidades profissionais exigidas pelo mercado. A educação, ainda, apresentaria resistências frente às mudanças do mundo digital a serem vencidas da mesma maneira que ocorreu, no passado, com muitas indústrias da informação, como o rádio, a televisão e as livrarias, entre outros. Inicialmente tais indústrias tentaram se defender da internet, mas acabaram por ceder ao processo de digitalização e formatação on-line. O impulso de modificação digital do ensino nas universidades tenderá a seguir um caminho semelhante, caso comece a perder alunos e financiamentos públicos e privados para modelos educacionais alternativos que sejam mais consonantes com os meios de comunicação digital e processos de automatização computacional que vêm dominado o ambiente empresarial (TERCEK, 2015).

4.8 SISTEMAS DE TUTORIA DIGITAL INTELIGENTES E A VAPORIZAÇÃO DA SALA DE AULA

Em relação às salas de aula físicas, Tercek (2015) aponta que, provavelmente, as escolas com mais recursos dispensarão os laboratórios de informática, incorporando em suas paredes e superfícies interfaces computacionais, sensores de rastreamento oculares, controles de gestos, tabelas inteligentes e interfaces sensíveis ao toque. Atualmente já existem professores que utilizam aplicativos digitais e espaços on-line para aprimorar o que é ensinado na sala de aula física, como é o caso dos cursos on-line abertos e massivos, os MOOCs (*Massive Open Online Courses*) e de aplicativos como o Google Docs, para compartilhamento de documentos, o Attendance, voltado ao rastreamento da frequência dos alunos em sala de aula, o TeacherKit e Teacher's Aide que funcionam como assistentes virtuais do professor, além de outros milhares de aplicativos educacionais disponibilizados na Apple App Store que procuram auxiliar educandos e educadores.

Recentemente o sistema educacional Pearson realizou uma parceria com a IBM visando disponibilizar para milhões de estudantes universitários e educadores as funcionalidades do IBM-Watson (plataforma de tecnologia que usa processamento de linguagem natural e aprendizado de máquina para revelar informações a partir de uma grande quantidade de dados não estruturados) (IBM, s/d).

O Watson incorporado aos cursos da Pearson é capaz de analisar o material didático utilizado, processando informações de texto, áudio e vídeo de modo a encontrar padrões e gerar insights. A partir dos dados analisados, o Watson pode auxiliar os educadores na personalização do ensino fornecendo sugestões de como melhorar o rendimento de cada aluno e indicando os pontos fortes e fracos na aprendizagem do estudante individualmente, assim como pode ajudar os alunos respondendo às suas perguntas, orientando-os com sugestões, comentários, explicações, indicações de erros e equívocos comuns. Ou seja, o Watson pode acompanhar os processos de aprendizagem específicos do aprendiz, auxiliando-o na compreensão, apropriação e aprofundamento dos conhecimentos estudados como também melhorando os seus desempenhos em testes e avaliações (IBM, s/d).

Além de iniciativas como o uso do sistema IBM-Watson na educação, outro grande exemplo da utilização de ferramentas de inteligência artificial no processo de ensino-aprendizagem são os sistemas de tutoria inteligente Third Space Learning, o Carnegie Learning, a presença de um imenso banco de dados na Índia voltado à personalização do ensino de matemática, o Mindspark, e o sistema de aprendizado profundo NVDA Deep Learnig. Entre as iniciativas bem-sucedidas estão a adoção de plataformas personalizadas para cada aluno da Altschool no Vale do Silício, Califórnia, o projeto Minerva de cursos de graduação que modificam o conceito de sala de aula e, no Brasil, as plataformas de aprendizagem inteligente LIT e Geekie.

O Third Space Learning é uma empresa britânica que desenvolve plataformas digitais de tutoria personalizadas e voltadas ao ensino de matemática. A empresa salienta que possui uma equipe de tecnólogos e matemáticos preocupados em proporcionar uma transformação na aprendizagem e no amor que os alunos têm pela disciplina. Para isso, realça a sua capacidade de oferecer um ensino on-line de um (tutor) por um (aluno) por meio de um programa de aulas individuais. A empresa trabalha com mais de mil e duzentas escolas no Reino Unido, atingindo mais de 30 mil alunos, sendo seus recursos de matemática usados por mais de 50 mil professores (THIRD, s/d).

A Carnegie Learning se intitula uma empresa de educação matemática transformacional, cujo objetivo é ajudar alunos e professores a pensarem de forma diferente, motivando a resolução inovadora de problemas, o pensamento crítico e aprendizagens ao longo da vida que proporcionem uma forte compreensão conceitual, entendimento processual, exploração criativa e desenvolvimento de habilidades no campo da matemática. Com softwares produzidos por cientistas cognitivos e de computação da Universidade de Carnegie Mellon, nos Estados Unidos, a empresa oferece currículos, materiais didáticos e tecnologias de tutoria adaptativa voltados à educação matemática no ensino médio (CARNEGIE, s/d).

Em seu site, o Mindspark é apresentado como uma ferramenta de autoaprendizagem on-line baseada em computador que ajuda crianças a melhorarem suas habilidades em matemática, que é capaz de se adaptar ao ritmo de aprendizagem de cada estudante e ajudar os educadores a planejar lições e descobrir novos métodos de ensino. Para os alunos, o Mindspark expõe explicações que aumenta a clareza conceitual, questões que fortalecem o pensamento crítico e feedbacks instantâneos que ajudam a eliminar erros de compreensão. Os professores, por sua vez, poderão receber um feedback instantâneo sobre o desempenho do aluno na aula, acessar insights de resumos de pesquisas sobre convenções pedagógicas seguidas globalmente, acessar arquivos de entrevistas com estudantes, para ver como eles pensam, assistir a vídeos sobre equívocos e técnicas de correção. Os pais, por sua vez, podem acompanhar o desempenho de seus filhos em qualquer momento e de qualquer lugar, tendo acesso aos tópicos e questões realizadas, aos relatórios de desempenho e tempo gasto por seus filhos no Mindspark (MINDSPARK, s/d).

A NVIDIA é uma empresa multinacional de tecnologia líder em computação de inteligência artificial que tem como um de seus destaques a fabricação de placas de vídeo Geforces usadas no desenvolvimento de games para computador. A empresa relata que a evolução da I.A. e do aprendizado, a partir de dados através de redes neurais profundas (*Deep Learning*), permitiu ao computador um desempenho “sobre-humano” no reconhecimento de padrões em grandes volumes de dados. Conseguindo reconhecer imagens, sons e textos, o computador é capaz de realizar operações que simulam o comportamento humano de ver, aprender e reagir a algumas situações complexas. No campo educacional, a NVIDIA Deep Learning Institute (DLI) oferta cursos on-line de treinamento prático em inteligência artificial, os quais são organizados a partir das próprias técnicas ensinadas em alguns dos cursos oferecidos (NVIDIA, s/d).

Pertencente à escola de executivos Saint Paul, LIT é uma plataforma “disruptiva” de aprendizagem on-line por assinatura (a empresa usa o termo *onlearning*) voltada ao oferecimento de cursos on-line nas áreas de negócios como empreendedorismo, marketing e inteligência de mercado, gestão de vendas, gestão de seguros, mercado financeiro etc. A empresa salienta que LIT não é apenas e-learning (*eletronic learning* ou aprendizado eletrônico), educação a distância ou um aplicativo, apesar de conter todos esses elementos. A plataforma seria um conjunto de cursos, fóruns, coaching, rede social e tutoria, contando para isso com sua própria inteligência artificial nomeada como Paul, construída a partir de uma parceria com a IBM-Watson. Ao ensinar o aluno, a LIT também aprende com o próprio aprendiz, por meio do Paul, aperfeiçoando e customizando seu ensino, processo que ocorre de modo “intuitivo” e “fluido”, podendo o aluno escolher o que, onde, quando e como estudar. Paul atuaria como um tutor digital capaz de personalizar e otimizar o aprendizado de cada estudante. Microcertificados são oferecidos com os avanços nas aprendizagens podendo ser usados em programas de MBA (*Master in Business Administration*, cursos profissionalizantes de negócios voltados à área de administração). A empresa considera ser um dos modelos de transformação e atualização da educação para as demandas do mundo no século XXI, reforçando a possibilidade de democratizar o aprendizado em negócios ao oferecer uma assinatura mensal de baixo custo (LIT, s/d).

A Altschool é uma rede de escolas de ensino pré-escolar e fundamental criada no Vale do Silício, mas que conta atualmente com diversas unidades escolares em cidades como São Francisco e Nova York. Com aulas personalizadas gerenciadas por tecnologias computacionais, a Altschool defende o uso da tecnologia na educação devido ao seu potencial para proporcionar acessibilidade, conexões entre pais, professores e alunos, além da possibilidade de oferecer conteúdo específico segundo formas de exposição que melhor atendam às necessidades individuais de cada estudante. A tecnologia em sala de aula contribui para que os educadores apresentem conhecimentos personalizados e permitam experiências de aprendizagens baseadas em projetos. O sistema de escolas da Altschool também está procurando estabelecer parcerias comerciais com outras escolas pelo compartilhamento de suas plataformas de tecnologia educacional e dos conhecimentos produzidos em seus laboratórios (ALTSCHOOL, s/d).

Em entrevista para o site Porvir, Mohannad El-Khairy, assessor de negócios da AltSchool, afirma a importância dada à estruturação tecnológica no modo como a escola ensina:

Somos pessoas de tecnologia vindas de empresas como Google, Apple e Facebook, onde o ambiente de trabalho também evoluiu. Em vez de uma área de trabalho comum em corporações tradicionais, usamos espaços abertos para proporcionar maior colaboração e criatividade. Muitos dos componentes de design thinking que adotamos nas aulas vem dessas empresas, mas no final das contas, não estamos falando de como a criança aprende, mas o como isso acontece. É uma combinação de aprendizagem baseada em projetos, aprendizagem colaborativa e individual. A ideia é criar um ambiente que tenha como finalidade a personalização (OLIVEIRA, 2017).

E para demonstrar o que compreende por personalização do ensino, o assessor da Altschool utiliza como exemplo os atuais telefones:

Nossos telefones são os pertences mais personalizados que temos e funcionam por um único sistema operacional. Essa analogia explica parte da visão de longo prazo que temos. Um sistema operacional que proporciona às escolas acesso a ferramentas para entender suas crianças e permitir que desenvolvam o protagonismo para escolher seu próprio currículo. Se Billy gosta de beisebol e tem dificuldades com estatística, então o sistema pode sugerir um projeto baseado nisso. É o que a Playlist pode fazer. Hoje é o professor que ajuda nessa tarefa, mas pode-se também vir a se usar inteligência artificial e o sistema fazer isso sozinho. O trabalho do professor se torna mais estratégico em vez de apenas exercer controle. Isso ajudaria no desenvolvimento da criatividade, traria melhores resultados acadêmicos e adaptaria os alunos a um mundo em constante mudança (OLIVEIRA, 2017).

O Geekie é uma empresa brasileira que desenvolve aplicativos e plataformas digitais de educação, fundada em 2011. A empresa é voltada, principalmente, para escolas do ensino médio e, mais especificamente, para a realização do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Em seu site é realçado o poder de um aprendizado personalizado e adaptativo que leve em conta as necessidades e habilidades individuais de cada aluno de modo a aumentar sua motivação, engajamento e desempenho nos estudos.

Podendo ser acessado por meio do uso de celulares, tablets e computadores, a Geekie realiza diagnósticos das performances de cada aluno nas diferentes matérias e conteúdo do currículo escolar. Identificando as lacunas específicas de cada aprendiz, a empresa elabora planos de estudos individualizados, o acompanhamento dos avanços nas aprendizagens, a avaliação do rendimento na aquisição do conhecimento e a disponibilização de aulas e testes atualizados regularmente. Os professores têm a possibilidade de acompanhar a evolução de alunos e turmas em tempo real, podendo compartilhar conteúdos, atividades e exercícios. Gestores e coordenadores podem acompanhar o trabalho dos professores de modo individualizado, conciliando o trabalho

de todos com o projeto pedagógico da escola. Cada interação de uma pessoa com a plataforma se transforma em uma informação a ser comparada, por meio de técnicas de inteligência artificial, com inúmeras outras informações, o que permite ao programa apresentar respostas personalizadas às demandas de aprendizagem específicas de cada indivíduo em um determinado momento.

A empresa oferece uma plataforma de aprendizagem denominada Geekie Lab capaz de elaborar, por meio de algoritmos e dados dos usuários, planos de ensino personalizados para os estudantes e relatórios sobre cada aluno ou turma para os educadores. Também propicia um sistema de avaliações externas, o Geekie Teste, projeto baseado na teoria de resposta ao item voltado ao diagnóstico e auxílio pedagógico para escolas que atendem alunos do 9º ano do ensino fundamental até alunos da 3ª série do ensino médio. Outro destaque da empresa é o Geekie Games, que contém jogos com videoaulas, exercícios e simulados direcionados à realização do ENEM.

A Geekie foi a plataforma oficial de simulados para a realização do Exame Nacional do Ensino Médio no programa A Hora do ENEM, lançando em 2016, pelo Ministério da Educação (MEC) em parceria com o Serviço Social da Indústria (SESI), conseguindo com isso atingir cerca de 5 milhões de estudantes. A empresa também foi a única plataforma de aprendizado adaptativo credenciada no Guia de Tecnologias Educacionais do MEC de 2013, além de ser incluída no Banco de Propostas Inovadoras em Avaliação Básica no Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais (INEP) (LORENZONI, 2016).

Uma proposta diferente de educação universitária, que procura aumentar a liberdade em relação a uma sala de aula geograficamente fixada, é o projeto Minerva. Abrindo mão de instalações físicas necessárias a um campus universitário, o Minerva consegue oferecer serviços educacionais comparáveis com o de outras faculdades americanas por um preço reduzido. O projeto oferece cursos de graduação conciliando aulas presenciais com seminários on-line assistidos em conjunto por estudantes de diferentes países reunidos em um mesmo local e que, após um ano de aulas na sede em São Francisco, nos EUA, deslocam-se semestralmente entre dormitórios localizados em diferentes cidades do mundo como Buenos Aires, Londres, Seoul, Berlim, Taipei e Hyderabad. Após um primeiro ano em que são desenvolvidas competências mais ligadas a comunicação, habilidades de interação, pensamento crítico e criativo, os cursos focam em aprendizagem ativas, experienciais e contextuais em que os aprendizes devem ter contato direto com as culturas e realidades locais dos países nos quais estão estudando. A

escola estrutura-se pedagogicamente em um método ativo e de aprendizagem orientada ao aluno, em que os estudantes devem executar tarefas que envolvendo conteúdos interdisciplinares, as quais devem ser completadas fora do horário das aulas. As aulas e os seminários on-line são conduzidos pela plataforma de tecnologia Acting Learning Fórum, desenvolvida para favorecer a interação mediante vídeos ao vivo possibilitando que os professores incentivem discussões, debates e trabalhos colaborativos entre os aprendizes de classes formadas com cerca de vinte alunos. Também permite ao professor oferecer feedback, avaliações e exercícios individualizados a partir de dados coletados durante as aulas. Para os alunos, o programa realiza o gerenciamento de sua aprendizagem, permitindo que eles acompanhem o progresso de seus desempenhos, o que os ajuda a direcionar os próprios percursos acadêmicos. Para além da vida acadêmica, também é oferecido suporte ao longo da vida por meio de uma agência de desenvolvimento profissional que disponibiliza pessoas, ferramentas e serviços de coaching e treinamento orientando ex-alunos ao longo de suas profissões e suas especificidades culturais nos mercados de trabalho regionais onde residem seus dormitórios universitários (MINERVA, s/d).

4.9 EDUCAÇÃO PARA UM MUNDO PERMEADO POR INTELIGÊNCIAS ARTIFICIAIS

O linguista e reitor da Northeastern University, em Boston, Massachusetts, Joseph E. Aoun, defende, no livro *Robot-Proof: Higher Education in the Age of Artificial Intelligence* (À prova de robô: educação superior na era da inteligência artificial), a necessidade de educar os estudantes para habilidades e competências que os tornem capazes de acompanhar os processos de automatização tecnológica, substituição da demanda de antigos empregos e mudanças nos modelos de carreiras pelos novos, demandados por uma economia orientada por robôs, softwares e inteligências artificiais. Essas novas habilidades exigem uma educação universitária que vá além da prioridade dada a graduação e pós-graduação, de modo a impulsionar também o desenvolvimento de aprendizagens ao longo da vida. Quais seriam essas novas aprendizagens, habilidades e competências?

Aoun (2017) defende que diante de um futuro cada vez mais digital e tecnológico, a educação deve focar no entrelaçamento de três tipos de alfabetização que fomentarão as competências requisitadas nas novas vagas de trabalho que surgirão:

- **Alfabetização de dados:** preparar os estudantes para ler, analisar, interpretar e usar uma vasta gama de dados como o Big Data (grande conjunto de dados armazenados), orientar diante do constante fluxo e bombardeio de informações em seus dispositivos digitais e extrair dessas informações seus significados e contextos sociais, econômicos, políticos e culturais.
- **Alfabetização tecnológica:** fornecer aos estudantes a compreensão dos princípios de codificação, linguagem de programação e engenharia a partir dos quais as máquinas e programas digitais funcionam.
- **Alfabetização humana:** preparar os estudantes para o meio social. Enquanto a alfabetização em dados nos mostraria o “como”, a alfabetização humana nos ensinaria o “porquê”. Ela envolveria o ensino de humanidades ligadas às artes liberais, comunicação social e digital, além de design. Em um mundo em que os limites entre a tecnologia e a humanidade estão evaporando, até um engenheiro precisa desenvolver interfaces humanas e mesmo um programador precisa saber contar histórias.

Além dessas competências, Aoun (2017), considera que o aumento da economia digital tornará fundamental o desenvolvimento de quatro capacidades cognitivas ou metahabilidades, essenciais para atuação em sistemas complexos:

1. **Pensamento crítico:** compreendido como capacidade de analisar racionalmente ideias e de aplicá-las habilmente. Aoun (2017) entende que o pensar criticamente envolve o exame racional de diferentes camadas de um determinado fenômeno, contexto ou situação, tanto no que se refere aos aspectos quantificáveis de um evento, quanto às camadas incipientes e intuitivas que ocorrem, por exemplo, em influências históricas, motivacionais e emocionais presentes na decisão de uma pessoa. O pensamento crítico humano vai além do poder das máquinas que se limitam a dar conta das camadas quantificáveis dos fenômenos e dos fatos que podem ser entendidos por meio de perguntas e questionários do tipo sim e não.
2. **Pensamento sistêmico:** compreendido como a capacidade de estabelecer correlações entre diferentes funções, situações e contextos rompendo com um

pensamento estritamente preso a um domínio, integrando campos de conhecimentos distintos na elaboração de visões holísticas de empresas, assuntos e equipamentos. Aoun (2017), salienta que as máquinas até conseguem trabalhar com correlações entre variáveis de sistemas complexos, mas elas apresentam dificuldade em imaginar como transportar dados e conclusões de um campo do conhecimento para outro, por exemplo, a transposição de modelos elaborados a partir da avaliação de dados climáticos para a elaboração de modelos em áreas como a economia, o direito ou as ciências sociais. O pensamento sistemático daria força para se pensar a complexidade, as relações entre os detalhes e o todo e o alcance de múltiplas linhas de pensamento na produção de uma solução original para um problema.

3. **Empreendedorismo:** capacidade de iniciativa, elaboração, inovação e implementação de projetos, serviços e novos negócios. Característica fundamental para as pessoas se distinguirem em um mercado de trabalho cada vez mais impregnado por máquinas e ambientes digitais. Em vez de serem surpreendidas pela automatização e substituição de seus cargos de trabalho é mais proveitoso que as pessoas invistam em projetos pessoais que possam gerar os novos empregos demandados por uma economia cada vez mais digital. Mesmo os funcionários que quiserem se manter empregados terão que estar sempre buscando inovar o seu trabalho de modo a se manterem agregando valor à empresa a que pertencem.

4. **Agilidade cultural:** capacidade de tomar decisões nos contextos distintos e até conflitantes que fazem parte de uma economia culturalmente diversificada, atuando com sucesso em situações transculturais. Aoun (2017), salienta os limites das orientações e repostas das máquinas e inteligências artificiais aos aspectos contextuais do ambiente, tais como variações na tonalidade vocal e linguagem corporal de um estranho em uma situação inesperada. Uma inteligência artificial poderia, por exemplo, dizer o significado preciso de palavras de um homem de negócio, mas teria dificuldade em fechar um negócio enquanto analisa, interpreta e responde a significados não verbalizados, subtextos e pressupostos culturais presentes nas atitudes dos participantes de uma reunião comercial.

A aquisição dessas competências, segundo o autor, estão além das atividades de leitura, simulação ou realização de estudos de caso circunscritos à sala de aula. Elas

envolvem aprendizagem ao longo da vida em um ecossistema multidimensional e constante, em que o professor é a própria experiência do aluno diante da vida e não um conjunto programado de informações predeterminadas. Dentro desse ecossistema estariam os ambientes reais de trabalho, os quais ofereciam uma exposição intensa e caótica a uma variedade incalculável de experiências.

Tal aprendizagem experiencial percorreria conforme Aoun (2017), quatro estágios: no primeiro estágio, os alunos seriam inconscientemente incompetentes, já que desconheciam a sua própria falta de conhecimento. No segundo estágio, eles se tornariam conscientemente incompetentes, pois tomariam conhecimento da dimensão de sua própria ignorância em relação ao assunto a ser aprendido. No terceiro estágio chegariam a um grau de competência consciente, o conhecimento assimilado nesse nível já permitiria aos alunos terem um bom desempenho em relação àquilo que está sendo aprendido, desde que esse desempenho fosse intencional e deliberado. No quarto e último estágio, a aprendizagem permitiria o desenvolvimento de uma competência inconsciente no sentido de que os alunos conseguiriam operar com os conhecimentos adquiridos de forma instintiva e automática.

As máquinas aprendem processando dados e estabelecendo padrões entre eles. No caso, por exemplo, em que usam redes neurais artificiais para aprender padrões, seus neurônios artificiais aumentam ou diminuem a força de suas conexões a partir de dados numéricos. Os neurônios humanos aumentam ou diminuem a força de conexão de suas sinapses a partir da experiência. A aprendizagem experiencial, ao expor o homem a todo um universo de estimulações sensoriais tão complexas e incalculáveis, quanto de uma tempestade para uma floresta, é um dos aspectos que diferencia os homens das máquinas artificialmente inteligentes (AOUN, 2017).

Este conceito de aprendizagem experiencial articula-se com a noção de educação ao longo de toda a vida, como o que está descrito no relatório da Comissão Internacional sobre Educação para o século XXI, realizado pela UNESCO, intitulado *Educação: um tesouro a descobrir*. Neste relatório é afirmado que a educação ao longo de toda a vida:

Deve fazer com que cada indivíduo saiba conduzir seu destino, num mundo onde a rapidez das mudanças se conjuga com fenômenos da globalização para modificar as relações que homens e mulheres mantêm com o espaço e o tempo. As alterações que afetam a natureza do emprego, ainda circunscritas a uma parte do mundo, vão, com certeza, generalizar-se e levar a uma reorganização dos ritmos de vida. A educação ao longo de toda a vida torna-se assim, para nós, o meio de chegar a um equilíbrio mais perfeito entre trabalho e aprendizagem bem como ao exercício de uma cidadania ativa (DELORS, 2000, p. 105).

Uma reconfiguração universitária e de sua estrutura curricular que propicie aprendizagens ao longo da vida exigirá, segundo Aoun (2017), designs curriculares customizados que levem em conta um conjunto de forças: as necessidades específicas de cada aprendiz, o diálogo mais direto e constante com os empregadores e as exigências de interruptos aperfeiçoamentos indispensáveis para o acompanhamento de avanços tecnológicos.

Entre as iniciativas que caminham nesse sentido estariam a parceria entre a Universidade Estadual de Illinois (Illinois State University) com uma grande companhia de seguros, a State Farm, no desenvolvimento de um programa de segurança cibernética intitulado “desafio de hackers”, direcionado a fomentar o interesse dos alunos em trabalhar na área. Um outro exemplo é a parceria da IBM com várias universidades americanas, como a Carnegie Mellon e a Universidade da Califórnia para projetar cursos de computação cognitiva envolvendo o uso da tecnologia Watson. Os cursos ajudariam a atender a demanda por profissionais de análises de dados, educando os alunos com as ferramentas e conceitos mais recentes no setor, antes mesmo do primeiro dia de trabalho. Também é mencionado por Aoun (2017), o programa ALIGN que consiste em uma parceria entre universidade e empregadores realizada pelo campus de Seattle da Northeastern University. Ao identificar a presença de muitos graduandos com diplomas em áreas que não correspondiam às demandas de empregos na região, esta parceria procurou desenvolver programas de formação em áreas de tecnologia, voltados à transformação de graduandos em cursos de artes liberais, em cientistas da computação, oferecendo mestrados, experiências de cooperação e estágio no setor de tecnologia, combinando, para isso, um rigoroso trabalho curricular com imersão no ambiente de trabalho. O programa conseguiu desenvolver nos alunos habilidades em altas tecnologias como análises de Big Data, além de promover a integração das experiências em artes liberais dos estudantes com os conhecimentos tecnológicos adquiridos, potencializando ainda mais suas capacidades de comunicação e pensamento crítico, atributos fundamentais para cargos de gerência.

Todos esses exemplos mostram uma tendência do mercado norte-americano na procura por profissionais que consigam entrelaçar conhecimentos em humanidades com os de computação de dados, assim como a tendência de aproximação entre empregadores e a universidade de forma que esta última diminua as lacunas que surgem no processo de identificação das necessidades em constante mudança presentes no mercado de trabalho.

Este capítulo procurou apresentar alguns dos percursos que levam à implementação da inteligência artificial na educação, assim como de propostas

pedagógicas que tentam adaptar a educação a um mundo em que essas tecnologias ganham cada vez mais espaço. O próximo e último capítulo procura expor como os conceitos teórico-críticos de racionalidade instrumental e indústria cultural se reconfiguram no século XXI mediante técnicas de inteligência artificial — análise que procura refletir criticamente sobre impactos da instrumentalização computacional da razão e da industrialização digital da cultura sobre o campo educacional.

CAPÍTULO 5

A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E A INSTRUMENTALIZAÇÃO DO ENSINO

O dado pode apenas ser obtido, não preservado. Como memória ele não é mais ele mesmo, como palavra é ainda menos; torna-se uma abstração, em cujo âmbito a vida imediata é subsumida, para que possa ser melhor manipulada pela técnica. THEODOR W. ADORNO

5.1 DA RAZÃO INSTRUMENTAL À INSTRUMENTALIZAÇÃO COMPUTACIONAL DA RAZÃO

Na Dialética do Esclarecimento, Adorno e Horkheimer (1985) já alertavam que a própria ciência e o processo histórico de esclarecimento da racionalidade ocidental continham em suas bases aquilo que procuravam combater: crenças e mitos. A ciência se alienava da própria fé, incluída nos princípios que erigia para refutar antigas superstições. Não percebia com isso as novas crenças que estavam sendo criadas, dessa vez, depositadas em novos deuses, como o formalismo lógico-matemático e os dados da experiência empírica. Os filósofos críticos procuravam expor à ciência o seu contraditório envolvimento nas próprias barbáries e violências que queriam combater, indicando que a pretensão de controle e domínio dos fenômenos naturais envolvia o violento controle do homem sobre outros homens e sobre si mesmo. Ou seja, eles refletiam sobre a irracionalidade contida na racionalidade instrumentalizada. Os mitos são colocados como germes da razão e a razão esclarecida é lembrada que, também ela, carrega consigo a dimensão mítica que procura eliminar: “O princípio da imanência, a explicação de todo acontecimento como repetição, que o esclarecimento defende contra a imaginação mítica, é o princípio do próprio mito” (ADORNO; HORKHEIMER, 1985, p. 26).

A crítica dialética desvela a contradição inerente ao esclarecimento empírico: as tentativas de se livrar dos mitos incorre, paradoxalmente, em uma forma de mistificação. A *ratio* científica trabalha para livrar o pensamento de ilusões especulativas mediante sua redução a cálculos probabilísticos e ao formalismo lógico. Desse modo, transforma tudo, inclusive os homens, em dados numéricos passíveis de serem medidos, posicionados, sistematizados e utilizados para algum fim:

O que aparece como triunfo da racionalidade objetiva, a submissão de todo ente ao formalismo lógico, tem por preço a subordinação obediente da razão ao imediatamente dado. Compreender o dado enquanto tal, descobrir nos dados não apenas suas relações espaciotemporais abstratas, com as quais se possa então agarrá-las, mas ao contrário pensá-las como a superfície, como aspectos mediatizados do conceito, que só se realizam no desdobramento de seu sentido social, histórico, humano — toda a pretensão do conhecimento é abandonada. Ela não consiste no mero perceber, classificar e calcular, mas precisamente na negação determinante de cada dado imediato. Ora, ao invés disso, o formalismo matemático, cujo instrumento é o número, a figura mais abstrata do imediato, mantém o pensamento firmemente preso à mera imediatidade. O factual tem a última palavra, o conhecimento restringe-se à sua repetição, o pensamento transforma-se na mera tautologia. Quanto mais a maquinaria do pensamento subjuga o que existe, tanto mais cegamente ela se contenta com essa reprodução. Desse modo, o esclarecimento regride à mitologia da qual jamais soube escapar (ADORNO; HORKHIMER, 1985, p. 38-39).

Com a propagação global de conexões on-line entre dispositivos eletrônicos computacionais e a progressiva digitalização das tecnologias de comunicação e informação, o esclarecimento no capitalismo do século XXI acaba impulsionando a convergência entre a indústria cultural e a racionalidade instrumental. O aumento da exposição a essa crescente realidade digital tende a absorver a energia cognitiva e emocional dos indivíduos no esforço de adaptação às demandas econômicas colocadas pelo capitalismo *high tech* que esses aparelhos e aplicativos ajudam a produzir. Nesse contexto, surge uma nova configuração da indústria cultural produzida por programas computacionais conectados em rede e voltados à automatização de complexos processamentos de dados. São sistemas informatizados controlados por algoritmos que simulam parcialmente funções do cérebro, exercitando no seu lugar esforços cognitivos necessários ao desenvolvimento do pensamento e da inteligência — processo de desenvolvimento tecnológico que carrega potenciais contraditórios tanto em direção a avanços que podem salvar vidas em áreas como a saúde, atuando como próteses cognitivas que auxiliam as habilidades humanas, como em um movimento oposto ajudando a fabricar comportamentos de dependência, compulsão e banalização das relações do homem com a realidade que o cerca. Tal realidade condiciona as pessoas a assemelharem-se às mercadorias digitais que utilizam, automatizando gradualmente até suas produções intelectivas segundo os parâmetros de consumo desses meios de comunicação.

Com a importância e a capacidade que vêm ganhando os dispositivos computacionais em organizar, controlar e monitorar, por meio de processos algorítmicos

automatizados, as ações e comportamentos de pessoas e instituições, parte da autoridade e poder que antes eram depositados em pessoas físicas e em suas deliberações está se deslocando para decisões produzidas por códigos computacionais. Aumenta a procura de pessoas e instituições pelo auxílio de algoritmos capazes de processar rapidamente uma enorme quantidade de informações, encontrar padrões nesses dados que passariam imperceptíveis à sensibilidade humana, analisar com grande grau de precisão esses padrões encontrados e baseados nessas análises prescrever probabilisticamente as melhores ações a serem tomadas em uma determinada situação.

Nesse contexto, Harari (2015) fala de uma nova era em que a autoridade não é mais atribuída a divindades míticas como nas religiões antigas, nem a um partido ou estado como no socialismo, nem ao indivíduo e seu livre arbítrio como no liberalismo, nem mesmo à evolução dos seres vivos mais aptos como na teoria da evolução. A nova crença que está ganhando espaço e proeminência baseia-se em uma “religião” denominada *dataísmo*, na qual a autoridade se desloca para a capacidade de processamento de dados:

Segundo o dataísmo, o Universo consiste num fluxo de dados e o valor de qualquer fenômeno ou entidade é determinado por sua contribuição ao processamento de dados. Isso pode soar como uma noção excêntrica e marginal, mas o fato é que ela já conquistou a maioria do estamento científico. O dataísmo nasceu da confluência explosiva de duas marés científicas. Nos 150 anos que transcorreram desde que Darwin publicou *A origem das espécies*, as ciências biológicas passaram a ver os organismos como algoritmos bioquímicos. Simultaneamente, nas oito décadas desde que Alan Turing formulou a ideia da máquina que leva seu nome, cientistas da computação aprenderam a projetar e fazer funcionar algoritmos eletrônicos cada vez mais sofisticados. O dataísmo reúne os dois, assinalando que exatamente as mesmas leis matemáticas se aplicam tanto a algoritmos bioquímicos como eletrônicos. O dataísmo, portanto, faz ruir a barreira entre animais e máquinas com a expectativa de que, eventualmente, os algoritmos eletrônicos decifrem e superem os algoritmos bioquímicos (HARARI, 2015, p. 370).

Uma sinfonia musical, uma transação comercial, um organismo biológico ou mesmo um conceito filosófico, tudo pode ser visto como dados sujeitos a análises matemáticas, diferindo apenas pelos padrões que apresentam. O homem diante de uma enxurrada de informações acaba delegando a algoritmos digitais grande parte do trabalho de processamento e transformação de dados em informações, conhecimentos e saberes.

O poder político da “religião dos dados” pôde se fazer sentir no campo eleitoral durante algumas das últimas eleições presidenciais americanas. Em 2012, o ex-presidente norte-americano Barack Obama teve como um dos líderes de sua campanha eleitoral o especialista em *machine learning*, Rayd Ghani. Nessa campanha foi montado um banco de dados com informações sobre eleitores coletadas em fontes como o marketing e redes sociais. O sistema desenvolvido foi capaz de prever probabilisticamente quais eleitores votariam em Obama, quais compareceriam às pesquisas, quais reagiriam aos anúncios para comparecer às pesquisas e quais poderiam ser convencidos a mudar de ideia caso fosse discutido com eles um determinado assunto. Após estabelecerem perfis de eleitores, “[...] toda a noite a campanha executava 66.000 simulações da eleição e usava seus resultados para direcionar seu pelotão de voluntários munidos com as informações de quem deveriam chamar, em quais portas deveriam bater e o que dizer” (DOMINGOS, 2017, p. 41).

A empresa de mineração de dados que atua na área do marketing eleitoral, Cambridge Analytica, deu um passo adiante em relação às eleições americanas de 2012, financiando acadêmicos do Reino Unido para colher dados do Facebook de eleitores americanos. A novidade foi que além de colher dados demográficos (idade, moradia, sexo etc.) e registros de interesses (como as curtidas no Facebook), a empresa empregou dados de milhares de testes psicométricos de personalidade. Tais testes analisam os usuários destacando cinco aspectos: *openness* (abertura a novas experiências), *conscientiousness* (preocupação com organização e eficiência), *extroversion* (sociabilidade e positividade) *agreeableness* (amabilidade e cooperação nas relações interpessoais), *neuroticism* (reação emocional ao receber informações). Partindo dessas análises, a empresa realizou propagandas personalizadas orientadas para cada tipo de eleitor (O’NEIL, 2016).

As propagandas segmentadas e personalizadas com base em dados como idade, sexo, filiação política, local de moradia, local de trabalho, tendências de compra, entre inúmeros outros fatores, adquiriram um papel fundamental em processos eleitorais influenciando decisivamente eleições como o *Brexit*, no Reino Unido, e a eleição de Donald Trump à presidência dos Estados Unidos, em 2016. Neste último caso, os democratas também fizeram uso de modelos estatísticos e de *machine learning*, mas a Cambridge Analytica, ao voltar esses modelos para coleta e análise de dados envolvendo aspectos emocionais e psicográficos, foi mais certa em suas estratégias para levar o republicano Trump à vitória. Por outro lado, a Cambridge Analytics acabou se envolvendo em uma polêmica relacionada ao possível uso indevido de dados de usuários

do Facebook para favorecer a campanha presidencial de Donald Trump. A polêmica envolveu o Facebook e estava relacionada ao vazamento de dados de milhões de americanos e sua utilização para persuadir eleitores em campanhas políticas. Esse caso acabou fomentando discussões referentes até onde é possível manter a privacidade de dados pessoais protegendo-os de usos políticos e comerciais (GRASSEGGER; KROGERUS, 2018).

O Facebook e Google sabem do poder de influência que têm sobre as pessoas ao realizarem exibições personalizadas de notícias, anúncios, sites e postagens. Aliando técnicas de aprendizado de máquina, marketing do consumidor e segmentação de mercado, eles conseguem montar perfis de potenciais clientes, prever tendências de consumo, direcionar publicidades personalizadas que buscam aumentar o poder de convencimento sobre os usuários, além de estabelecerem medidas para avaliar os impactos comerciais de tais estratégias de propaganda segmentada:

Os algoritmos do Google e do Facebook sabem não apenas como você se sente, como sabem 1 milhão de outras coisas a seu respeito das quais você mal suspeita. Consequentemente, você deveria parar de ouvir seus sentimentos e começar a ouvir esses algoritmos externos. De que valem eleições democráticas quando os algoritmos sabem como cada um vai votar, assim como as razões pelas quais uma pessoa vota em um partido de esquerda enquanto outra vota em políticos de direita? O humanismo ordenava: “Ouça seus sentimentos!”; o dataísmo agora ordena: “Ouçam os algoritmos! Eles sabem como você se sente” (HARARI, 2015, p. 394).

A força e os problemas que podem trazer esses modelos algorítmicos podem ser sentidos também no campo educacional. O’Neil (2016) relata o caso do programa IMPACT desenvolvido pela reformista em educação Michelle Rhee e implementado em Whashington D.C., em 2009, com o intuito de melhorar o desempenho das escolas que apresentavam os mais baixos rendimentos na cidade. O IMPACT contou com a ajuda de um algoritmo elaborado pela empresa de consultoria Mathematica Policy Research voltado para a medição do progresso educacional por meio do cálculo dos avanços e declínios nas aprendizagens dos alunos em línguas e matemática. A pontuação baseava-se em uma modelagem de valor agregado que procurava medir quanto o professor teria contribuído para melhorar ou piorar as notas dos alunos para quem estava dando aula. A autoridade dada aos números, supostamente, permitiria uma avaliação mais clara e isenta de afetos humanos, o que daria mais liberdade para administradores escolares manterem amizades com professores com baixas pontuações. Uma professora bem avaliada e com

trabalho reconhecido por gestores, colegas, pais e alunos poderia ser demitida, pois o que acabava tendo um maior peso era a pontuação oferecida pelo sistema estatístico de avaliação. O'Neil (2016) salienta a complexidade em se avaliar o potencial de uma pessoa por meio de algoritmos. A variação no desempenho de um aluno de um ano para outro pode ocorrer por causa de vários fatores, como problemas familiares, financeiros, problemas de relacionamento com colegas da escola, problemas na área de saúde, entre outros. É complicado atribuir a variação de rendimento exclusivamente ao professor, principalmente quando se limita essa avaliação a aproximadamente vinte e cinco alunos sendo que para ser um modelo estatístico bem realizado, capaz de comparar exceções e anomalias, seria necessário levar em conta milhares, ou até milhões, de alunos selecionados aleatoriamente. Além disso, seria necessário um sistema de *feedback* indicando quando os modelos estatísticos estariam falhando e cometendo erros prejudiciais, de modo que pudessem ser aperfeiçoados e corrigidos. Duzentos e seis professores foram demitidos devido a baixas pontuações geradas pelo algoritmo. Eles foram desencorajados a saber os critérios que levaram à perda do emprego, pois a justificativa dada residia na confiança nos complexos cálculos realizados pela “caixa preta” do algoritmo. A autoridade dos modelos matemáticos desencorajou os demitidos a entenderem as decisões ali sedimentadas que levaram a suas demissões. Além de demitir os professores com baixa pontuação, também foram dados bônus de até 8 mil dólares para professores e administradores de escolas com alta pontuação.

O' Neill (2016) relata o caso de uma professora demitida mas que era bem avaliada por colegas e pelos pais dos alunos. A professora havia recebido alunos da quarta série, classificados com nível avançado de leitura, os quais estavam com notas acima da média de outras escolas no distrito a que pertenciam, porém apresentavam dificuldades em ler sentenças simples nas aulas dela. Algum tempo depois, investigações do *Washington Post* e *USA Today* revelaram alto nível de rasuras em testes realizados por alunos em um grupo de escolas que incluía o estabelecimento de ensino do qual veio a maioria dos alunos recebidos pela professora. Por mais que houvessem evidências de que a queda das notas dos alunos não foi proporcionada pelo trabalho da docente, por exemplo, a nota inflada dos alunos na quarta série, os índices de rasuras e o incentivo à falsificação de notas por parte de professores (devido ao medo da perda de emprego ou a possibilidade de receberem bônus por serem educadores das turmas com pontuações mais altas), o que contou no final foi a probabilidade estatística apresentada pelo sistema automatizado indicando que a professora tinha um baixo desempenho para a função que

exercia. A professora com boas recomendações dos antigos colegas de trabalho, rapidamente conseguiu um novo emprego, já a escola da qual havia sido demitida acabou perdendo uma profissional bem avaliada pelos pais, colegas e diretores.

Esses algoritmos elaborados por programadores e estatísticos automatizam muitos cálculos e operações complexas que agregam valores humanos permeados por estereótipos, preconceitos e injustiças presentes na realidade. As complicadas correlações que estabelecem, muitas vezes operam de forma velada passando a falsa impressão de que estão refletindo relações inquestionáveis de causa e efeito. Esses sistemas, chamados por O’Neil (2016) de armas de destruição matemática, acabam sendo autorreforçados por sua capacidade de classificação, predição probabilística e “otimização” de custos. Na área pública, isso ocorre pelos benefícios políticos dos dados estatísticos mostrando que os problemas que esses modelos ajudam a definir estão sendo resolvidos pelos parâmetros que criam para avaliá-los, o que é o caso da pontuação da professora demitida. Nas empresas privadas, esses modelos, ao dar a elas o poder de identificar e manipular potenciais clientes, aumentam sua receita, assim como ajudam a explorar e manipular seus trabalhadores, reduzindo os custos da produção. Os trabalhadores bem avaliados e recompensados por esses sistemas automatizados tendem a acreditar irrefletidamente que o que fazem é algo que deve ser valorizado. Devido à opacidade desses algoritmos e seus critérios de decisão, dificilmente é feita uma auditoria visando corrigir os possíveis erros de avaliação contidos nesses lucrativos modelos, por mais que eles possam estar arruinando vidas.

Tais sistemas matemáticos computacionalmente automatizados acabam, em sua maioria, acentuando desigualdades econômicas, prejudicando aqueles que são desfavorecidos por possuírem uma baixa renda e aumentando os benefícios dos que já possuem um alto poder aquisitivo. Um jovem de um bairro pobre da periferia pode ter negados empréstimos para realizar seus estudos por ser considerado de alto risco, devido à localização de sua moradia, ou pode ter maior probabilidade de ser preso pela polícia, pois os algoritmos usados para direcionar o policiamento tendem a usar critérios que indiretamente rastream a pobreza, ou tem mais dificuldade de achar um emprego por que muitas empresas que selecionam candidatos também acabam usando selecionadores automáticos de currículos que evitam pessoas que moram em certas localidades. No emprego, os empregadores usam algoritmos para identificar o tráfico de clientes, usam os resultados para modificar, dentro das possibilidades legais, os horários de trabalho de seus

funcionários, conforme as mudanças da demanda, o que produz um maior desgaste nos trabalhadores, que são obrigados a se adaptar constantemente a um horário flexível.

O que é mais provável nem sempre é o mais correto, mas isso não importa, os números têm a palavra final e eles tendem a transformar as probabilidades econômicas em medidas de pontuação, avaliação e justiça. Além de serem alvo de propagandas personalizadas, que tentam tirar de cada um tudo aquilo que podem oferecer, como é o caso de universidades americanas on-line que procuram direcionar seus anúncios às pessoas sem muito poder aquisitivo, levando esses cidadãos a adquirir empréstimos que não podem pagar, para começar os cursos que não conseguirão terminar. As desistências para essas universidades nem se tornam problemas, pois os acordos com o governo acabam garantido o pagamento dos cursos, sendo o fardo da dívida depositado sobre aqueles que foram explorados e se deixaram convencer pelas publicidades enganosas dessas instituições de ensino com fins lucrativos (O'NEIL, 2016).

As aplicações e inserções sociais de algoritmos de inteligência artificial, como os acima citados, têm revelado configurações adquiridas hodiernamente pela razão instrumental, ou seja, a redução da razão aos seus mecanismos de abstração, cálculo e classificação de meios e procedimento para propósitos e fins utilitários ligados direta ou indiretamente a interesses de mercado.

Partindo não de relações dicotômicas, mas de tensões dialéticas entre oposições conceituais como heteronomia e autonomia; particular e universal; sujeito e objeto; e, indivíduo e sociedade, Horkheimer (2000) estabelece uma distinção entre razão subjetiva e objetiva. A razão instrumental seria uma razão produzida por faculdades subjetivas da mente, limitada a cálculos probabilísticos e ao gerenciamento das relações entre meios e fins. Os conteúdos e qualidades próprias aos objetos se submeteriam aos esquematismos e organizações lógico-matemáticas. A razão objetiva por sua vez daria primazia ao objeto, procurando seus princípios inerentes para além das formalizações matemáticas e determinações práticas de suas utilizações. A reflexão não daria prioridade a fins utilitários que serviriam de meios para outros fins, mas iria ao encontro de finalidades em si, estabelecidas por experiências abertas à racionalidade própria ao objeto e que, por isso, seria adjetivada de racionalidade objetiva.

Na dialética entre razão objetiva e subjetiva, o pensamento que surge, em seu primeiro momento, como experiência no seu entrelaçamento tensional com a coisa pensada pode, em um segundo momento, após sua produção, registro e sedimentação, ser transformado em afirmações enrijecidas, permitindo sua fácil repetição como um dogma,

receita ou conjunto de instruções reproduzíveis por um aparelho. Nesse processo mata aos poucos a si mesmo como experiência viva, perdendo sua negatividade, se petrificando — pensamento engessado em repetição mecânica, maquinal e utilitária, transformado em regra, método, instrução técnica a ser aplicada automaticamente como meio para uma suposta finalidade ainda humana:

Quanto mais as ideias se tornam automáticas, instrumentalizadas, menos alguém vê nelas pensamentos com um significado próprio. São consideradas como coisas, máquinas. A linguagem tornou-se apenas mais um instrumento no gigantesco aparelho de produção da sociedade moderna. Qualquer sentença que não seja equivalente a uma operação nesse aparelho parece a um leigo tão sem sentido como pareceria aos semanticistas contemporâneos, os quais sugerem que a sentença puramente simbólica e operacional, isto é, a sentença puramente sem sentido, faz sentido. O significado é suplantado pela função ou efeito no mundo das coisas e eventos. Desde que as palavras não sejam usadas de modo evidente para calcular tecnicamente probabilidades adequadas ou para outros propósitos práticos, entre os quais se encontra o recreio e a distração, arriscam-se de serem suspeitas de alguma espécie de interesse comercial, pois a verdade não é um fim em si mesmo (HORKHEIMER, 2000, p. 30).

Esta operacionalização instrumental da razão, também, pode ser vista nas linguagens das máquinas, estruturadas por linhas de comando e parâmetros colocados por metodologias técnico-científicas. Tais linguagens, por mais que consigam que seus comandos sejam capazes de se automodificarem por meio de técnicas que simulam aspectos do aprendizado humano, tendem à organização sequencial de passos instrucionais e determinações quantitativas de variações, similaridades ou sobreposições de dados. Da linguagem elaborada por narrativas míticas, mais incerta, imprevisível, porém mais expressiva e impregnada de experiências individuais e coletivas, passamos ao uso de uma linguagem baseada em um novo mito, o mito científico, que mata as energias expressivas da experiência em nome da previsão e controle probabilístico dos acontecimentos, transformando todos os estímulos sensíveis em símbolos numéricos abstratos, fórmulas lógicas e categorias classificatórias. Este é o caso dos programas baseados em aprendizado de máquinas:

Essas tecnologias aparentemente mágicas funcionam porque a essência do machine learning é a previsão: ele prevê o que queremos, os resultados de nossas ações, como o mundo mudará. No passado essa tarefa era dos xamãs e adivinhadores, mas eles erravam muito. As previsões da ciência são mais confiáveis, porém são restritas ao que

podemos observar sistematicamente e modelar com cautela. O big data e o machine learning expandem muito este escopo (DOMINGOS, 2017, p. 17).

A magia científica da previsibilidade probabilística e da lógica matemática, atuando como os olhos da medusa, petrifica as coisas sobre uma única tradução, impedindo que ela seja tensionada em outras línguas com suas diferentes metáforas, alegorias, seus detalhes imprecisos, suas afinidades extrassensíveis passageiras com aquilo que elas mesmas não são, seus movimentos que tentam exprimir o inexprimível, dar voz ao inaudito, ver o invisível. Benjamin (2013, p. 64) salienta caminhos abertos no processo de tradução entre diferentes línguas: “A tradução é a passagem de uma língua para outra por uma série contínua de metamorfoses, e não regiões abstratas de igualdades e similitudes, é isso que a tradução percorre”.

Benjamin chama atenção para outro aspecto das línguas, não aquilo que pode ser calculado, previsto, classificado, ordenado na linguagem, mas os detalhes, as revelações singulares, as sedimentações históricas implícitas, sua afetação pela energia mimética das coisas que deixam marcas nas palavras sem que estas consigam apreendê-las com sucesso, as marcas das coisas gravadas na língua que mobilizam uma experiência expressiva idiossincrática para além do alcance do que a matemática e a lógica conseguem formalizar.

No caso da linguagem feita de código computacional, seria ela estritamente instrumental? Berry (2014), em seu livro *Critical Theory and the Digital* (Teoria crítica e o digital), argumenta que não, pois a lógica computacional, além de deduções e induções, envolveria o que Charles Peirce denominou de abdução ou retrodução: “Abdução é o processo de formação de uma hipótese explanatória. É a única operação lógica que apresenta uma ideia nova, pois a indução nada faz além de determinar um valor, e a dedução meramente desenvolve as consequências necessárias de uma hipótese pura [...] Abdução simplesmente sugere o que uma coisa deve ser” (PEIRCE, 2000, p. 220). Enquanto a dedução ($A = B$, $B = C$, logo $A = C$) e a indução (a partir de casos particulares iguais estabelecemos uma regra geral) estão ligadas a rígidas exigências científicas e instrumentais de verificações e experimentação, a abdução (A é suficiente mas não necessário para explicar possibilidades de B) relaciona-se à exploração direcionada, à elaboração provisória de hipóteses, a partir de indícios passíveis de um mínimo de verificação indutiva e comprovação dedutiva. O raciocínio abduutivo estaria representado nas investigações de um detetive em um conto policial, assim como no

ímpeto relacionado à produção de teorias fruto de interpretações e especulações conceituais. O raciocínio abduutivo estaria inclusive na ciência quando ela arrisca formular novas hipóteses a partir de fatos observados, ou mesmo na filosofia quando esta exercita conceitualmente aquilo que Adorno denominou de fantasia exata:

São modelos com os quais a ratio se avizinha provando e comprovando uma realidade, que recusa a lei, mas que o esquema de modelos é capaz de imitar cada vez mais, na medida em que esteja corretamente traçado [...] O *organon* dessa *ars inveniendi* é a fantasia. Uma fantasia exata; fantasia que se atém estritamente ao material que as ciências lhe oferecem, e só vai mais além nos detalhes mínimos de sua estruturação: detalhes que, certamente, ela deve oferecer espontaneamente e a partir de si mesma (ADORNO, 2007, p. 9).

Este oxímoro ajuda a compreender a relação entre, de um lado, a ciência, sempre tentando atingir o polo da exatidão e precisão na apreensão dos fatos da realidade, deixando em um segundo plano a energia imaginativa que usa para elaborar hipóteses, e, por outro lado, a filosofia que, sem abrir mão da procura pela exatidão interpretativa dos objetos, concede mais espaço às forças especulativas e subversivas da fantasia. Ambas flertam com o risco de movimentos radicais: a ciência com o risco de uma esterilização determinista limitada a um sistema fechado, paranoico, classificatório, mecânico e instrumental; a filosofia, com um relativismo delirante e esquizofrênico que mina a sua própria força de resistência ao que é imediatamente dado.

Ao trabalhar com lógicas difusas (*fuzzy*) e probabilísticas na geração de hipóteses, o computador abriria espaço para a elaboração de padrões a partir de um conjunto de dados defeituosos, imprecisos e incompletos. Técnicas de *machine learning* possibilitariam, por sua vez, a autocorreção das hipóteses abdutivas mediante investigações dedutivas e testes indutivos (BERRY, 2014).

A abdução abriria espaço para que os padrões de dados produzidos possam ser rearranjados em novos padrões e deslocados de um uso estático, estritamente predeterminado e limitado à estimação de parâmetros. As relações abdutivas abrem brechas, mesmo que formalizadas matematicamente, à exploração interpretativa e especulativa dos dados, assim como para a emersão de padrões a partir das características dos próprios objetos, o que torna modelos computacionais parcialmente receptivos a lógicas alienígenas, ou seja, a lógicas próprias aos padrões presentes no conjunto de estímulos que recebe como dados de entrada.

Porém, essa pequena viabilidade composicional abdutiva é sufocada pela desproporção de forças com o seu outro lado classificatório, o qual, fortalecido por pressões econômicas e políticas, institui predeterminações de categorias e fixa esquemas identitários com os quais os dados devem ser processados de modo a gerar modelos estatísticos preditivos e de tomada de decisão, servindo, desse modo, a agências de publicidade, seguradoras, bancos, entre outras empresas privadas, e a agentes políticos. Enquanto a possibilidade de selecionar modelos e relacionar diferentes padrões dos raciocínios abdutivos revelaria um incipiente potencial constelar na computação, os seus mecanismos de reconhecimento de padrões e classificação de dados o manteriam ligados à racionalidade instrumental.

A partir do histórico de rastros digitais, deixados voluntariamente e involuntariamente junto ao monitoramento constante do fluxo de interações on-line, softwares baseados em técnicas de inteligência artificial conseguem delimitar frequências e regularidades nas condutas e hábitos dos indivíduos. Isso permite que elaborem ferramentas preditivas e de monitoramento comportamental. É possível assim confeccionar simulações compactadas de prováveis versões futuras das pessoas. Berry (2014) assinala a força desses modelos tecnológicos para manipular as relações das pessoas com o tempo programado digitalmente. Essas intervenções englobariam o passado (dados armazenados), o presente (dados coletados de arquivos e de interações em tempo real) e o futuro (projeções probabilísticas materializadas em constantes atualizações de códigos) — processamentos matemáticos de dados capazes de encontrar padrões e decifrar predisposições nas pessoas, em alguns casos, melhor até que elas mesmas.

5.2 A INDUSTRIALIZAÇÃO DIGITAL DA CULTURA

As novas possibilidades que a computação trouxe para o processamento e manipulação de dados acabam dando força a uma reconfiguração digital das relações de produção e consumo, as quais medem probabilisticamente o potencial de cada ser humano como consumidor tentando esquadrihá-lo em modelos estatísticos gerados por programas que indicam quanto cada um pode gastar e com o que quer gastar. Nesse contexto, a indústria cultural, conceito utilizado por Adorno e Horkheimer (1985) para se referir aos empreendimentos técnicos de produção e difusão da cultura formatada como

mercadoria por mecanismos que calculam sua eficiência como geradoras de lucro e de conformidade ao status quo, ganha uma nova roupagem. O aspecto industrial vai abrindo espaço para a automação computacional e as produções culturais adquirem virtualidades digitais. A indústria cultural ramifica suas técnicas e mecanismos de produção e transmissão, isso sem deixar de manter o núcleo que a estrutura:

O esquematismo é o primeiro serviço prestado por ela ao cliente. Na alma devia atuar um mecanismo secreto destinado a preparar os dados imediatos de modo a se ajustarem ao sistema da razão pura. Mas o segredo está hoje decifrado. Muito embora o planejamento do mecanismo pelos organizadores dos dados, isto é, pela indústria cultural, seja imposto a esta pelo peso da sociedade que permanece irracional apesar de toda racionalização, essa tendência fatal é transformada em sua passagem pelas agências do capital do modo a aparecer como o sábio desígnio dessas agências. Para o consumidor, não há nada mais a classificar que não tenha sido antecipado no esquematismo da produção (ADORNO; HORKHEIMER, 1985, p. 117).

No século XXI²⁰, a indústria cultural digitalizada impõe um ritmo acelerado ao capitalismo dificultando a formação de espaços nos quais seus membros se dediquem prolongadamente a somente uma atividade por vez. O homem pressionado por demandas econômicas transfere o esforço necessário a uma aprendizagem complexa para a máquina. Não é à toa o destaque que vem sendo dado ao subcampo da inteligência artificial chamado *machine learning*.

Turcke (2010) salienta o poder retroativo que a automatização maquinal tem sobre a coordenação do movimento humano. A máquina passa a apresentar uma capacidade sobre-humana de repetição, inicialmente na fábrica, exigindo a adaptação motora dos trabalhadores; depois, ampliando-se e coordenando inclusive produções culturais mediante a repetição mecânica de padrões visuais e auditivos por meio de aparelhos fotográficos e sonoros. É nesse momento que ocorre a consolidação da indústria cultural, tendo como desdobramentos marcantes o cinema e o rádio. A informática e os

²⁰No Brasil o professor do departamento de filosofia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Rodrigo Duarte trata em sua obra *Teoria Crítica e Indústria Cultural* e em artigos como *Indústria Cultural Hoje* sobre desdobramentos históricos do conceito de indústria cultural no final do século XX e início século XXI. Em suas pesquisas sobre configurações hodiernas da indústria cultural o conceito é analisado com grande aprofundamento em seus aspectos econômicos, ideológicos e estéticos destacando dimensões como a manipulação retroativa, a usurpação do esquematismo, a domesticação do estilo, a despotencialização do trágico e o fetichismo da mercadoria cultural. O professor também foca suas pesquisas em um outro autor abordado neste trabalho, o filósofo tcheco-brasileiro Vilém Flusser, mais especificamente em seu conceito de Pós História.

computadores aperfeiçoaram e potencializaram ainda mais os mecanismos que repetem artificialmente os processamentos sensoriais e cognitivos. Todas essas máquinas materializaram objetivamente repetições possibilitadas pela história natural e cultural do homem, repetições que foram, primeiramente, sedimentadas no cérebro, por meio de um longo processo histórico, marcado por sucessivos movimentos de “fuga para a frente” chamados, também, de compulsão à repetição traumática, movimento em que se invertem, deslocam e condensam energias excitatórias em inúmeras repetições elaborativas que, gradativamente, são transformadas em alucinações e rituais sacrificiais, repetições que vão se sedimentando em representações mentais e em cultura:

As representações mentais já são – tal como se pode observar na história da espécie humana – representações de segundo grau, ou seja, são abstrações de representações ritualísticas teatralizadas. Por meio de uma representação ritualística aquilo que traumatiza é reprimido e canalizado em redes neurais, de tal modo que, custe o que for, não deve ser mais apresentado. Ele pode ser insinuado, significado ou imaginado. A representação teatral exterior se interioriza em imagens, em representações mentais. Elas se compõem de ligações neurais internas relativamente consistentes, as quais, por sua vez, são, naturalmente, produtos de um exercício prolongado, ou seja, de incontáveis repetições (TURCKE, 2010, p. 282).

Tais repetições concentram-se nas máquinas que passam a repetir, pelo homem, de modo a dessedimentar e enfraquecer as repetições motoras e sensíveis que eram executadas pelo organismo humano, o qual, no século XXI, acaba cercado por interfaces computacionais que o expõem, a todo instante, a uma torrente de estímulos audiovisuais pré-processados e prontos para capturar a atenção.

Essa exposição acaba englobando todos os objetos da cultura enfraquecendo inclusive os limites que separam uma produção artística da forma publicitária e mercadológica, atraindo a sensibilidade em direção ao seu oposto, um processo de dessensibilização acarretado pelo contato bruto, acelerado e constante com uma exacerbada estimulação sensorial, o que, devido aos excessos e exageros, enfraquece a dedicação exigida ao desenvolvimento de uma sensibilidade mais cuidadosa, duradoura e capaz do esforço elaborativo necessário para que o sujeito suporte calma e pacientemente os campos de forças envolvidos nas tensas relações com as particularidades de cada objeto.

Muitos avanços tecnológicos presentes nos campos da computação e inteligência artificial acabam por radicalizar a redução da arte aos seus elementos programáticos e

instrumentais. Objetos adjetivados de artísticos são tratados e analisados como um conjunto de variáveis, com seus gradientes, passíveis de graus probabilísticos de manipulação e controle, ocorrendo uma formatação de tudo aquilo que no objeto é índice do particular, no sentido de se estabelecer uma equivalência no tratamento lógico-matemático dado a todos os objetos da realidade. Na música, por exemplo, a harmonia, o timbre, a tonalidade, o ritmo, as improvisações, as dissonâncias e mesmo as peculiaridades de cada estilo musical são apropriados e transformados em aspectos variáveis codificáveis digitalmente, podendo dessa forma ser, cada um desses aspectos sonoros e estruturais, computados por programas reprogramáveis que automatizam processos de exploração abdução, classificação indutiva e dedução lógica.

Não só a manipulação automática e computadorizada do material estético aumenta o entrelaçamento entre publicidade e arte, mas também, como aponta Berry (2014), os sujeitos apresentam uma tendência cognitiva a estetizar toda a realidade, sofrendo uma espécie de apofenia, tendência em reconhecer em qualquer lugar conexões e padrões entre estímulos aleatórios, processo semelhante ao que ocorre em alguns tipos de alucinações psicóticas, em usuários de alucinógenos e no processo de sonho.

Com os avanços das tecnologias audiovisuais e da produção de imagens técnicas, Turcke (2016, p. 24) salienta que: “O espectador não precisa primeiro, por si próprio, condensar, deslocar e inverter os motivos latentes, e por isso mesmo pode sonhar com facilidade, porque só se deixou do sonho o lado exterior: o conteúdo manifesto do sonho”. Apesar de Turcke, nessa citação, fazer referência principalmente ao cinema, já é possível uma computação perceptiva confeccionada por um conexionismo artificial. Tal processo permite, assim como o cinema, simular maquinalmente alguns mecanismos envolvidos na criação onírica. Redes neurais artificiais são baseadas no aprendizado da representação dos dados. No caso de representação de uma imagem, por exemplo, cada ponto da imagem é avaliado, pixel a pixel, e esses pontos são transformados em números entre zero e um, sendo depois reagrupados. Esses números reagrupados, perseguem um percurso conectivo que se inicia como vetores fracionados nas camadas de entrada, indo de um nível de abstração mais alto para um mais específico, passando por camadas que discriminam padrões como linhas, cores, inclinações, depois por camadas que delimitam faixas, texturas, contornos até chegar em camadas em que um neurônio específico trata de identificar: olhos, outro orelhas, outro bocas, no último passo o classificador atribui uma denominação classificatória para o conjunto de dados que formam a imagem. Esse processo permite determinar cada elemento que a imagem contém de modo muito preciso

e com velocidade suficiente, a ponto desses mecanismos serem usados até para simular visões computacionais em testes de carros autogeridos que dispensam um motorista humano.

Pesquisadores da Google que estavam treinando redes neurais artificiais para reconhecimento e classificação de figuras em imagens acabaram realizando um deslocamento de suas funções. As redes neurais foram expostas a um banco de imagens, realizando a identificação de padrões em contornos e aspectos básicos de faces humanas, animais e arquiteturas, entre outras coisas. Após essa fase de treinamento, elas desenvolveram moldes que servem para identificar e classificar automaticamente futuras imagens por meio de suas semelhanças com os moldes iniciais. Porém, os pesquisadores fizeram com que ocorresse uma inversão no funcionamento da rede, o que resultou na projeção dos padrões presentes nos moldes iniciais em novas imagens. Essa operação fez que sobre elas surgissem traços como rostos, animais e edificações. Tal exercício, envolvendo processo de inversão funcional da rede, além do deslocamento e condensação de imagens distintas, geraram um efeito psicodélico nas imagens produzidas. Berry (2014) denominou tal processo de pareidolia²¹ algorítmica. A equipe da Google desenvolveu, com essa experiência, um programa chamado Deep Dream utilizado por vários artistas para realizar seus trabalhos. Além da função artística, esse processo teve serventias científicas, pois contribuiu com a compreensão sobre o funcionamento de camadas ocultas das redes neurais, ajudando a entender como elas participam no reconhecimento e produção de padrões visuais.



Figura 1 – Imagem produzida pela IA do Google. As redes neurais artificiais encontraram animais em toda a foto original. **Fonte:** Telegraph. Disponível em: <https://www.telegraph.co.uk/technology/google/11730050/deep-dream-best-images.html?frame=3346130>

²¹ Pareidolia – tipo específico de apofenia em que estímulos sensoriais vagos em nossa mente nos remetem a algo conhecido.



Figura 2 – Imagens geradas por usuários do Ostagram a partir da aplicação do estilo de uma obra ou desenho sobre uma fotografia digital. O resultado ilustra o processo de sobreposição de imagens possível de realizar mediante redes neurais artificiais. **Fonte:** Toad. Disponível em: <<http://toad.com.br/2016/03/11/russo-redes-neurais-google-combinar-imagens-espetacular/>>

Além desses processos oníricos, pesquisadores do MIT desenvolveram uma arquitetura denominada rede contraditória generativa (Generative Adversarial Network – GAN). Tal arquitetura combina duas redes, uma gerando imagens e outra discriminando a semelhança das imagem com o mundo real. A rede geradora compete com a discriminadora tentando “enganá-la”. Com isso é possível produzir imagens falsas, mas que aparentam ser realistas. Desenhos grosseiros de um rosto podem ser transformados em um rosto impressionantemente semelhante ao de uma pessoa real (KARRAS et al., 2018). Ao colocar redes para analisar outras redes desenha-se um movimento inicial na estruturação de um sistema de metarredes (redes que interagem com redes). Esse é um campo de pesquisa que ainda está dando seus primeiros passos, mas já vem apresentando seus primeiros frutos.

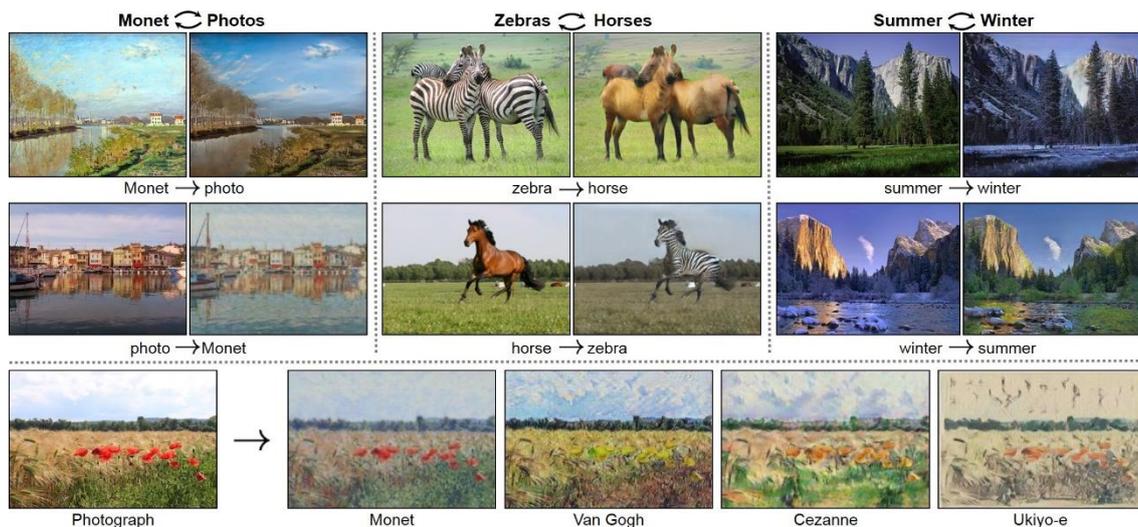


Figura 3 – Traduções imagem a imagem não pareadas usando Redes Adversariais Cíclicas-Consistentes. **Fonte:** arXiv.org. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1703.10593.pdf>>

Nesse ponto é possível dizer que são plausíveis as especulações feitas por Flusser, em um texto de 1984, intitulado “Imagem com computador”:

O pensamento conceitual se serve de códigos lineares, sobretudo do alfabeto e dos símbolos da lógica matemática. A imagem no terminal torna imaginável tal código abstrato. Por exemplo torna imaginável equações complexas, cálculos lógicos e proposicionais, hipóteses até agora inimagináveis como a lógica não aristotélica, o espaço não-euclidiano ou o tempo não-linear. Inclusive torna imaginável conceitos “impossíveis”, como seja cubo de quatro dimensões que gira na quinta. Quem conhecer por exemplo cálculos fractais sabe do poder imaginativo de tais imagens. É impossível prever, no estágio atual, que surpresa a imagem com computador ainda nos reserva. [...] Pois diante disto, a ontologia tradicional, a que distingue entre ser e o dever ser, e entre o real e o fictício, abdica. A distinção entre o verdadeiro e o falso (entre ciência e arte), cai por terra. O significado de tais imagens está no além de tais categorias. Está surgindo um novo mundo imaginário, o qual não se localiza “por baixo” da razão conceitual, (como é o caso do mundo imaginário precedente), mas o produto precisamente da razão conceitual exata. Um novo mundo de sonhos “trans-conscientes” está emergindo (FLUSSER, 1984, p. 3).

A inteligência artificial, mais especificamente dentro de seu sub-ramo conhecido como *Deep Learning* (aprendizado profundo, em referência às redes neurais artificiais com camadas ocultas) materializa tanto em suas imagens oníricas, quanto em suas falsas imagens realísticas um equilíbrio artificial entre matemática e produção lúdica, por meio da manipulação das características dos objetos transformados em eixos dimensionais quantitativamente variáveis baseados em vetores de números reais.

Em vários de seus textos, Flusser reflete sobre o poder que as imagens técnicas têm em um mundo tomado por aparelhos computacionais. Salienta um movimento no sentido da perda de espaço da escrita alfanumérica, com sua tendência em traduzir os objetos em processos lineares, para o aumento da relevância de uma linguagem icônica imagética com maior abertura à não linearidade e à exploração estocástica de múltiplas virtualidades, tendo esta última a possibilidade de ser representada pelos programas digitais materializados em aparelhos audiovisuais.

Ao falar da arte, Flusser (2011, p. 158) a relaciona à função da droga: “De meio para proporcionar a experiência imediata. De instrumento para escapar à ambivalência insuportável da mediação cultural”, porém pontua suas diferenças, pois: “A arte, depois de ter mediado entre o homem e a experiência imediata, inverte tal mediação, e faz com que o imediato seja ‘articulado’, isto é: mediatizado em direção da cultura. Artista é inebriado que emigra da cultura para reinvidi-la”.

Os aparelhos tecnológicos na sociedade de consumo parecem cada vez mais captar essa dimensão que une a arte à droga extraindo dela seus designs sedutores e viciantes, ao mesmo tempo que elimina suas forças de tensão e resistência capazes de revelar as contradições, conflitos e antagonismos em relação à cultura a qual pertencem. Todos se tornam potenciais artistas, porém Flusser alerta que isso não deve ser encarado de modo otimista por duas razões:

1. O próprio gesto de programar é programável, como que automatizável. Os aparelhos automáticos podem programar os programadores a programarem outros aparelhos. O resultado seria a sociedade totalitária programada por aparelhos inertes. E a “arte” produzida por tal sociedade, longe de articular modelos de vivência humana, visaria manipular a vivência da sociedade em proveito do funcionamento dos aparelhos. Sintomas de um tal totalitarismo aparelhístico abundam desde já, (cultura de massa).
2. Sociedade na qual todo mundo é artista, (por exemplo brinca com plotters), não é propícia para elaboração nova. Já que todo mundo dispõe do mesmo tipo de informação, (irradiada pelos media), todo mundo apenas produz variações sobre sempre os mesmos temas. E mesmo se, em tal maré de Kitsch que inundara a sociedade, aparecerem propostas verdadeiramente informativas, (arte no significado correto do termo), tais propostas serão impossíveis de detectar no meio das infinidades de propostas redundantes. Há sintomas de um tal rebaixamento geral do nível estético na atualidade, e não é necessariamente sinal de elitismo constar o perigo (FLUSSER, s/d).

Neste aspecto específico, é viável aproximar o pensamento de Flusser aos apontamentos de Turcke, indicando os desdobramentos dos avanços da indústria cultural

mediante os progressos tecnológicos dos meios de comunicação de massa. A sociedade é preenchida por aparelhos que emitem, interruptamente, em suas interfaces, um fluxo de informações audiovisuais formatadas segundo um design publicitário para atrair sedutoramente a atenção humana, dinâmica que tende a levar o sistema nervoso humano a viciar-se nas sensações provocadas pela exposição constante a um fluxo de choques sensoriais que clamam para serem percebidos. Os próprios sujeitos se veem identificados com esse processo direcionando seus esforços para também fazerem parte desse fluxo, para não ficarem para trás em relação àquilo que é exigido pelo mercado e, para aparecerem diante do mercado concorrencial, precisam ser percebidos, precisam se fazer imagens que chamem atenção e, para isso, precisam estar sempre emitindo e compartilhando algo que os faça aparecer diante dos outros como algo atrativo. Pressionados pelas relações de consumo e produção e pelas configurações digitais dos meios de comunicação e informação são levados a se tornar emissores compulsivos de estímulos que atualizam sua presença no mundo virtual. A indústria cultural reformulada em formatos digitais mescla-se à realidade virtual, novo oximoro do final do século XX que revela a penetração de termos inicialmente antagônicos, uma realidade cada vez mais vaporizada em virtualidades digitais e uma virtualidade com imagens técnicas cada vez mais realistas ofuscando as imagens produzidas pelo próprios organismos humanos.

5.3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E INSTRUMENTALIZAÇÃO DO ENSINO

Em uma mesa redonda sobre arte e tecnologias, em 1982, Flusser apresentou um texto intitulado “Para uma escola do futuro”. Neste texto, ele indica duas tendências para a escola em um futuro dominado por aparelhos produtores de imagens técnicas. A primeira tendência seria a de uma escola baseada em uma sociedade que consome ilimitadamente informações, voltada não a interesses políticos e sim econômicos, além de ser governada por um totalitarismo tecnocrático: “A escola não mais será lugar de ensino e de elaboração de dados. A escola alternativa será o lugar no qual inteligências artificiais serão programadas para que façam funcionar máquinas automatizadas” (FLUSSER, 1982, p. 6-7). A outra tendência levaria à construção de um novo homem, essa opção seria voltada a uma escola que não se limitaria à produção do conhecimento puro, mas incorporaria modelos éticos, políticos e estéticos da sociedade, de modo a mudar o mundo em função dos seres humanos. Os limites entre política, ciência e artes

seriam superados de maneira que os técnicos fossem artistas e os artistas técnicos, sendo todos politicamente responsáveis: “Que a teoria seja constantemente adubada pela vivência concreta, e esta pela teoria. Tal escola seria lugar de sabedoria em sentido platônico, com a diferença que todos seriam reis, e as máquinas seriam os idiotas” (FLUSSER, 2005, p. 7).

Mas o que se verifica no século XXI, para além das especulações flusserianas²², nos leva às reflexões de Turcke (2016) sobre a crescente presença nas escolas, em diversas regiões do mundo, de alunos com dificuldades de manter a atenção e com comportamentos hiperativos. Para além da redução desses sintomas a causas estritamente biológicas é possível ler neles a manifestação de todo um modo de funcionamento social que acaba produzindo uma cultura do déficit de atenção, cultura permeada por aparelhos que automatizam não apenas repetições mecânicas como também repetem eficazmente processos cognitivos e sensoriais, exercitando no lugar do cérebro os esforços envolvidos na formação de representações imagéticas, mnemônicas e conceituais. O cinema, os programas de televisão e o videogame seriam os difusores dessa cultura com suas transmissões rápidas de estímulos audiovisuais e mudanças constantes de ângulos e cortes de cenas, juntamente com a capacidade das interfaces dessas mídias eletrônicas de apresentar sons impactantes e imagens hiper-realistas com alta resolução. Os padrões sensoriais reprocessados exibidos por esses dispositivos afetam e impressionam o sistema nervoso com força suficiente para enfraquecer e cooptar o exercício da própria imaginação humana, empalidecida pelo poder de suas concorrentes técnicas. Os casos sintomáticos de déficit de atenção e hiperatividade indicariam o ápice desse processo cultural ao revelarem momentos em que o cérebro apresenta limitações para processar conteúdos que vão além dos dados imediatos da realidade e que não estejam formatados por designs digitais, tendo dificuldade de reter e processar os estímulos para transformá-los ou em lembranças ou em estruturas emocionais e cognitivas que orientem e controlem os impulsos do corpo para movimentar-se e agir.

Tendência crescente de automatização de operações que simulam processos cognitivos pode revelar algumas das direções do uso de inteligência artificial na educação

²²Para uma análise teórico crítica sobre as possibilidades e pontos cegos de concepções de Flusser no que se refere, especificamente, a emergência de uma nova forma de pensamento orientada por imagens técnicas, assim como os desafios colocados por esses pensamentos para o campo educacional, recomenda-se a leitura do artigo *A fabula flusseriana e o futuro da educação* do professor Luiz Antônio Calmon Nabuco Lastória do departamento de psicologia da educação na Faculdade de Ciências e Letras da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, UNESP- *Campus* Araraquara.

dentro do capitalismo. O ganho na importância da área de aprendizado de máquina, subárea da inteligência artificial, que vem ganhando visibilidade e tem recebido crescentes investimentos de muitas empresas, revela o valor de mercado que a aprendizagem produz. A aprendizagem ideal para o capitalismo *high-tech* seria realizada por máquinas menos propensas a erros que os humanos e mais capazes de automatizar a inovação do processo produtivo, não só físico como intelectual, atendendo às demandas de consumo flexíveis e em tempo real, como um trabalhador exemplar de um modelo toyotista²³ de produção. Uma cognição computacional capaz de otimizar os lucros tanto ou mais do que as melhores mentes humanas voltadas à ciência:

“O *machine learning* é o método científico usando esteroides. Ele segue o mesmo processo de geração, teste e descarte de hipóteses. Porém, enquanto um cientista talvez passe uma vida inteira criando e testando algumas centenas de hipóteses, um sistema de *machine learning* pode fazer o mesmo em um fração de segundos. O *machine learning* automatiza a descoberta. Logo, não é de se surpreender que esteja revolucionando a ciência assim como os negócios (DOMINGOS, 2015, p. 37).

Nessa visão que parece ser permeada de elementos de marketing, máquinas não só seriam melhores aprendizes como também possibilitariam um ensino mais efetivo, por conseguirem delimitar individualmente as defasagens e os modos de aprender de cada estudante. Ressurgem na educação ideias que já foram propagadas pelo próprio behaviorismo, agora repaginadas com toques construtivistas, ocorrendo um deslocamento parcial da autoridade do docente para as tecnologias que processam os dados dos aprendizes. Isso ocorre mediante a progressiva substituição de planos de aulas e estudos montados por professores por planos de aulas e estudos personalizados via algoritmos e técnicas de inteligência artificial, ou seja, por ferramentas estatísticas que automatizam parte do processo de escolha, organização e prescrição dos conteúdos a serem ensinados de acordo com as necessidades educacionais específicas de cada aluno. Essas próprias

²³ Diferente do modelo taylorista em que ocorre a separação entre a gerência que coordena todo o processo produtivo e o trabalho manual, com a segmentação de tarefas e a especialização do trabalho de cada operário em apenas uma pequena parte específica do processo produtivo, no modelo de produção toyotista, surgido no Japão após a Segunda Guerra Mundial, o volume produzido varia conforme as demandas de mercado e, por isso, é chamado de *just in time*. Esse modelo dispensa a preocupação com espaços de estoque de produtos por excesso de produção. Tal dinâmica também favorece a atualização tecnológica exigindo um menor número de trabalhadores que não devem focar apenas em uma parte da produção e sim se adaptar à constante flexibilização do trabalho, exigindo assim, dos funcionários, conhecimentos sobre todo o processo produtivo e constantes atualizações nas suas qualificações de modo a dominar os avanços tecnológicos.

necessidades são identificadas por um diagnóstico realizado mediante algoritmos de análise de dados coletados nas interações entre os alunos e as interfaces das plataformas em que funcionam os programas educativos computacionais. O foco educacional passa a ser a aprendizagem produzida pela interação entre os alunos e os materiais didáticos digitalizados. O professor acaba assumindo um papel auxiliar ajudando a preencher lacunas, planilhas e contribuindo na procura, seleção e esclarecimento de informações pontuais. A autoridade educacional é alienada para o canal de transmissão e sua capacidade de processar dados. Ali os estímulos serão refinados e transformados em fluxos sensoriais emitidos para chocar os empobrecidos receptores biológicos dos seres vivos.

As implicações formativas da automatização computacional do ensino ocorrem não somente pela substituição direta da presença do professor por tecnologias educacionais, mas pelos efeitos seja sobre o professor ou sobre os alunos, da crescente presença de processos digitais automatizados, aptos a condicionar as habilidades de aprendizagem dentro e fora da sala de aula. Esse é o caso dos próprios hábitos de leitura e escrita. As plataformas digitais são organizadas de modo a fragmentar nosso processo de leitura com a facilidade que apresentam, por intermédio de um simples clique ou toque, à quase instantânea passagem de um conteúdo a outro totalmente diferente, além de facilitar o bombardeamento constante do leitor com uma enxurrada de estímulos audiovisuais e informações. Essa fragmentação favorece uma leitura desatenta e sem densidade crítica, aspecto que ganha ainda mais força com a facilidade de exposição simultânea do leitor a diferentes telas, deslocando sua atenção em curtos intervalos de tempo entre, por exemplo, o *smartphone*, o *laptop* e a televisão. Por mais que os alunos possam se isolar em uma biblioteca ou em um ambiente mais reservado, os cursos oferecidos por essas plataformas on-line tendem a dar mais ênfase às possibilidades de o estudo poder ser realizado a qualquer hora e em qualquer lugar.

A prioridade dada ao meio de transmissão on-line de informações no ensino digitalizado acaba por absorver a própria estrutura de hipertexto da internet, configurando seus materiais, atividades e exercícios em redes que associam múltiplos caminhos e possibilidades combinatórias dos conteúdos ali expostos. A facilidade que oferece de pular rapidamente de um conteúdo para outro com o simples apertar de uma tecla, além do formato do material baseado em textos curtos, fotos, vídeos, músicas e *games* “educativos”, contribui para a desvalorização de hábitos de leitura sequenciais e lineares

de um texto do início até o seu fim. Turcke (2010) analisa criticamente como as tecnologias audiovisuais vêm transformando o modo ler:

“Ora, ler e escrever ainda pertencem a técnicas culturais elementares. Não obstante, é indubitável que a tinta se empalidece em cada choque imagético. Ela não se acerca por meio de empurrões, tal como faz cada choque imagético. É preciso inclinar-se sobre aquilo que está escrito e decifrar suas linhas publicadas em séries, sendo que só se consegue isso apenas por meio de uma prática contínua e evidente, ao passo que, quando os choques imagéticos se transformam em seus vizinhos, isso se torna tão fatigante quanto passeio de domingo para o motorista habitual. [...] Para que ainda se suporte, em geral, o decifrar dos conceitos e das linhas escritas faz-se cada vez mais urgente a presença de um intervalo na forma de gráfico ou de pequenas imagens. Pertencem aos pressupostos silenciosos de todo print design que, sem esse intervalo, ninguém mais tem concentração e persistência para ler um texto do início ao fim, linha por linha. O procedimento de leitura não só o procedimento de folhear uma revista, como também o científico, assemelha-se ao zapping, que se tornou normal defronte a tela (TURCKE, 2010, p. 285).

Além da perda de espaço dos textos escritos para imagens técnicas, a programação digital do ensino acentua nele aquilo que em sua prática é parecido com um jogo de videogame. Missões devem ser cumpridas em graus crescentes de dificuldade, e para cada objetivo alcançado *feedbacks* imediatos serão dados como recompensas. O encadeamento de desafios e gratificações dos *games* leva o jogador a realizar atividades reflexas, repetitivas que estabelecem e internalizam equivalências entre sequências de movimentos corporais e o fluxo de estímulos e representações apresentados pelo jogo. Os jogadores aprendem como operar agilmente um controle para manipular personagens imaginários presentes em uma tela.

Com os videogames e computadores, acentua-se a inversão do tato como sentido mais desmistificador, posição que o tato ocupava no extremo oposto ao da imaginação visual, mas essa oposição se dilui em um processo que se consolida no surgimento dos *i-pads* e *smartphones*: “Allí donde la distancia hacía más amplio el alcance mítico, lo que ahora lo exalta es la contiguidade más intensa. Se construye poco a poco una nueva mitología de artefactos digitales ya no proyectada sobre una distancia casi celestial, sino sobre una familiaridad carnal” (SADIN, 2017, p. 103).

A capacidade dos videogames de atrair e enfeitiçar até aqueles que em outras situações apresentam-se de modo hiperativo, ou com déficit de atenção, ajuda a revelar alguns contornos dados à repetição motora e perceptiva no mundo digital. A frequência e

variedade de estímulos apresentados mantém ocupados até os cérebros com sistemas de recompensa dopaminérgicos exigentes. Os princípios reforçadores dos *games* são os mesmos que operam nos condicionamentos comportamentais apontados por Skinner. Os reflexos perceptivos desencadeiam reflexos motores que mobilizam e envolvem os jogadores em reações rápidas, ligadas ao ritmo de sensações, exigências e desafios proporcionados de modo dinâmico nos jogos. Nesses contextos os cérebros hiperativos que têm constantemente energias motoras a serem descarregadas podem se manter atarefados, nem que para isso levem seus donos a gritarem ou pularem de uma poltrona quando falham, momentaneamente, em alguma etapa colocada pelo jogo.

Gamificação (*gamification*, em inglês) passou a ser um termo usado para referir-se à aplicação de princípios, mecânicas e designs presentes em jogos para despertar e incentivar o interesse das pessoas na execução de objetivos profissionais, educativos ou pessoais. A ideia do uso de técnicas baseadas em jogos tem como finalidade principal a produção de engajamento das pessoas na busca de soluções para problemas abstratos. Entre os recursos costumeiramente utilizados estão o estabelecimento de *rankings*, pontuações, desafios com crescentes níveis de dificuldade, o oferecimento de recompensas, distintivos e a estruturação de lógicas cooperativas, competitivas e exploratórias. Fazendo uso de uma linguagem simples e familiar às novas gerações, importam-se noções relacionadas à arquitetura de *games* para se pensar estratégias motivacionais em ambientes de trabalho e de ensino.

No caso da educação, empresas envolvidas com o desenvolvimento de tecnologias de ensino, caso da Geekie, defendem o potencial da gamificação para motivar os alunos a resolverem problemas com autonomia e criatividade em ambientes dinâmicos e interacionais. Esse processo de gamificação com variadas narrativas, cenários e personagens, estimula os estudantes a combinarem recursos e habilidades para dar propósitos às informações que recebem, usando-as na superação de obstáculos que encontram no processo de aprendizagem. Para a Geekie, tais ferramentas pedagógicas atuam como um apoio relevante no combate à evasão escolar presente no ensino médio tradicional brasileiro. As aulas “gamificadas” se tornariam mais atrativas, contextualizadas e profícuas para os estudantes, ajudando-os a absorver o conteúdo abordado (LORENZONI, 2016).

Adolescentes acostumados a passar boa parte do tempo diante das telas de aparelhos em redes sociais, jogos, canais de séries e filmes, realmente tendem a ter mais dificuldades em se concentrar em aulas tradicionais e podem aprender melhor quando o

processo de aprendizagem se apoia em elementos de *games*. Recursos que ajudam a prender a atenção e a motivar estudantes já são usados com alunos com necessidades especiais. No uso de expedientes como a gamificação é como se ocorresse, em algum grau, a extensão de necessidades especiais a todos os alunos. Eles realmente podem melhorar seus rendimentos em avaliações como o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) por meio dessas ferramentas, mas o aumento da presença da computação no espaço educativo ajuda a tornar todos os elementos que eram atribuídos ao ensino tradicional ainda mais insuportáveis. Diminuí-se, gradativamente, a leitura de textos que só tenham apenas palavras escritas, a realização de anotações manuais a lápis ou caneta, a escuta de palestras docentes que desenvolvam pensamentos conceituais abstratos sem o apoio de gráficos, imagens e vídeos. Todas essas atividades vão dando lugar às plataformas digitais configuradas para conectar pessoas a distância, produzir a imersão sensível das pessoas em ambientes virtuais e garantir aprendizagens interativas por meio de conteúdos personalizados por algoritmos. Aos gestores de ensino, tais mecanismos fornecem dados de interações que podem ser transformados em planilhas e avaliações, permitindo, dessa forma, o monitoramento e a quantificação dos desempenhos, as frequências e as atividades de professores e alunos. Como aponta Sadin:

Esta ampliación del fenómeno de la *gamificación de la existencia* implica el principio generalizado de la *simulación lúdica y parametrizada*, como perambulo necesario de las experiencias vividas sin golpes y que, se supone, tienden a hacer su intensidad más plena. “El videojuego no es sólo una metáfora de la manera en qual la información nos atraviesa, si no una incitación a la puesta en práctica, la experimentación de nuevas definiciones de uno mismo. ¿Qué jugador de *Sims*²⁴, luego de una sesión de juego, no consideró su propia vida como un conjunto de parámetros a satisfacer? Lo que no tiene número no tiene nombre, lo que no tiene número no existe” (SADIN, p. 141).

Ao pensarmos a função da inteligência artificial em jogos, podemos vislumbrar a dimensão que tentam dar ao uso de recursos de *games* na educação. A inteligência artificial está envolvida na produção de interações que despertam o interesse e o engajamento dos jogadores na superação dos desafios propostos pelo jogo. Sua principal

²⁴ The Sims é um jogo de computador e videogame em que se deve gerenciar a vida de avatares por meio de comandos que orientam a personagem a construir uma casa, arranjar emprego, comprar mercadorias, limpar os cômodos, comer, divertir-se, exercitar-se, ir ao banheiro, dormir e relacionar-se com outros personagens virtuais. O jogador durante a simulação precisa acompanhar barras que indicam a quantidade de energia, higiene, satisfação profissional e sua afinidade amorosa com outros personagens presentes no jogo.

função no *game* é produzir um efeito lúdico e imersivo, ela deve proporcionar desafios com diferentes níveis de adaptação, não deve tornar o jogo nem muito fácil nem muito difícil para o jogador de modo a entrelaçar esforço e divertimento e fazer com que o jogador/aluno sinta prazer no esforço necessário à execução da tarefa programada. O uso didático da gamificação no ensino é uma das faces que a produção e difusão da cultura adquire em tempos de capitalismo digital:

A escola espera, ao confundir escolarização e consumo, adentrar o mundo dos negócios de forma mais eficiente, na medida em que torna os alunos consumidores de uma mercadoria-lição que promete valor de troca e trabalho não fatigante, divertido e rotineiro como acesso ao conhecimento. Por trás desse arranjo dos assuntos escolares, as possibilidades do conteúdo formativo desaparecem. Este surge entretanto como estranho e intimidador: os conteúdos da tradição cultural seriam não mais que postos à disposição do mercado, uma vez transformados no âmbito da indústria cultural (GRUSCHKA, 2008, p. 177).

A instrumentalização computacional da indústria cultural pode ser também visualizada com o surgimento de empresas como Netflix e sua capacidade de flexibilizar até momentos ritualísticos, já mobilizados pela própria indústria cultural. O ato de planejar junto com os amigos ou com a família a ida ao cinema, o respeito que se deve ter naquele espaço, herança deixada pelo teatro, em relação ao silêncio e aos cuidados para não atrapalhar a experiência do desconhecido que está ao lado, assim como o isolamento da experiência de assistir ao filme em relação a outros estímulos concorrentes. As locadoras de vídeos já caminhavam no sentido de dispensar a ida ao cinema, mas com o surgimento de provedores de filmes e vídeos via *streaming*, as próprias locadoras vão se tornando algo do passado, não é mais necessário sair de casa, basta ligar o computador e a TV e escolher um filme, ficando-se à vontade para ir à cozinha pegar comida, ir ao banheiro, ou mesmo fazer outras atividades paralelas enquanto assiste ao filme. Não é preciso sequer se incomodar em gastar um ínfimo tempo a mais, escolhendo entre os inúmeros filmes do cardápio apresentado pela empresa, os algoritmos de inteligência artificial já calculam quais são os prováveis filmes que você gostaria de assistir e os indica para você.

O serviço de *streaming* (fluxo de mídia) é um dos formatos de difusão da cultura no mundo digital. Ele se caracteriza por ser um canal de transmissão contínua de conteúdo audiovisual por meio de redes de computadores, dispensando a necessidade de *downloads*

(cópias e arquivamentos de informações de computadores remotos) na medida em que os aparelhos simultaneamente recebem e repassam as informações. A sua consolidação como sistema de difusão de conteúdos on-line já se enraizou inclusive no mercado educacional. A própria Netflix se transforma em modelo para que muitas editoras e empresários comecem a produzir ferramentas, aplicativos e plataformas on-line voltados ao oferecimento de cursos e materiais didáticos digitalizados. Esse é o caso da plataforma de aprendizagem on-line e de assinatura mensal LIT (já mencionada no capítulo anterior), voltada para os negócios e que usa tecnologias de inteligência artificial para personalizar os conteúdos apresentados a seus alunos. Além de salientar a possibilidade de propiciar acesso ao conteúdo em qualquer momento e a partir de qualquer dispositivo, a plataforma fornece sugestões do conteúdo a ser consumido por indicações dos alunos segundo o tempo que eles afirmam ter disponível, no momento em que estão conectados ao ambiente de aprendizagem. A empresa destaca a sua capacidade de produzir uma aprendizagem “disruptiva”, autodirecionada (na medida em que é o aluno quem estabelece o ritmo de como vai estudar), personalizada (ao entrelaçar teoria e prática segundo a necessidade de cada aprendiz) e democrática na medida em que pode ser acessada de vários dispositivos e oferece uma assinatura mensal a um preço acessível a grande parte da população (LIT, s/d).

A LIT, ao ser uma empresa que ao mesmo tempo é diretamente voltada ao ensino e ao mundo dos negócios, ajuda a refletir ainda mais sobre a estrutura e valores dados à educação quando ela é conduzida prioritariamente por interesses econômicos. Tanto em seu formato quanto no conteúdo ensinado, um dos principais focos é a otimização, seja dos ganhos ou da aprendizagem. Os cálculos automatizados em algoritmos exercem essa função com um grande grau de eficiência, antecipando para o sujeito com qual tipo de material ele deve se ocupar, se quiser tirar o máximo de proveito com um mínimo de custo. As ferramentas digitais prometem economia de tempo, diminuição dos gastos com locomoção e prevenção contra esforços cognitivos desnecessários de abstração. A apresentação do site da empresa não é muito diferente de outros empreendimentos envolvidos com elaboração de plataformas digitais e tecnologias educacionais, sendo permeada de figuras coloridas, imagens e vídeos explicativos. O site recebeu um trabalho de design e marketing carregado de estímulos até em suas linguagens textuais e orais, não escondendo seus tons fortemente publicitários. É dentro dessa lógica que palavras oriundas de um determinado campo de força histórico e social são reutilizadas com um novo sentido, muitas vezes contrário ao que inicialmente queriam expressar e revelar. A

autonomia do aluno, por exemplo, proporcionada pelo autodirecionamento, autodisciplina e autodidatismo, é vista prioritariamente sobre seu aspecto operacional e funcional, estando a serviço daquilo que lhe seria oposto, uma adaptação heterônoma. A autonomia oferecida é para que o estudante possa se adaptar melhor ao produto ofertado, o que indiretamente atua como acomodação ao próprio mercado. O que é exigido é, exatamente, que ele consuma sem deixar de ser produtivo. Como consumidor ele é “autônomo” para flexibilizar seu tempo, espaço e modo de estudo. Isso ocorre enquanto o programa armazena seus dados, oferece o conteúdo já formatado às suas necessidades mais imediatas e determina suas sequências de ações, além de ficar encarregado de quantificar, estatisticamente, os dados produzidos nas interações com as interfaces, de modo que os números revelem não só o que é mais adequado a cada um, mas quais os materiais, métodos e instrumentos de customização têm maior probabilidade de apresentar melhores índices de aprendizagem em geral. Tais índices estatísticos vão ser a base para essas empresas afirmarem a qualidade dos produtos e serviços que oferecem.

As novas exigências do capitalismo digital tornam necessárias certas perdas ou transformações das capacidades cognitivas de seus sujeitos. Os dispositivos computacionais se tornaram imprescindíveis, seus usos constantes condicionam o modo de funcionamento tanto do cérebro quanto da sociedade. Em um sistema social em que o tempo sofre uma aceleração, e diante de uma demanda urgente para se chegar a resultados, os processadores computacionais tornam desnecessários os esforços cognitivos envolvidos no conhecimento das etapas intermediárias de muitas atividades. Ao mesmo tempo que facilitam o alcance rápido de resultados, diminuem o emprego do cérebro para o refinamento de antigos saberes, agora escondidos nos mecanismos de repetição dos aparelhos.

Para não perder tempo e conseguir acompanhar as demandas de trabalho e pelos de consumo na sociedade hodierna, se torna fundamental o uso de computadores e seu poder crescente em processar dados da realidade, assim como seu poder em formatar sensualmente essa realidade para interagir com nosso cérebro. Nesse contexto, substitui-se a busca paciente por compreensão pelas exigências de resultados rápidos que devem se suceder em um fluxo de expectativas mobilizadoras de um movimento motor ou perceptivo constante, movimento que deve evitar qualquer excesso ou diminuição de tensão que paralise ou atrapalhe as relações de produção e consumo. Tal dinâmica flerta com a mesma lógica do comportamento aditivo de um viciado que, depois de um tempo do uso da droga, começa a usá-la cada vez mais até deixar de encontrar nela prazer e

alívio, passando a utilizá-la como forma de evitar um aumento ainda maior de tensão e desprazer que o acompanha nos momentos de sobriedade. O excesso de medicalização e uso de drogas lícitas e ilícitas na sociedade pode ser encarado como um sinal de que para muitas pessoas a vida cotidiana exige um grau cada vez maior de entorpecimento.

Os curtos-circuitos gerados na educação devido às demandas de eficiência, rapidez, produtividade e competitividade impostas por uma sociedade de consumo *high-tech*, que torna os próprios homens mais descartáveis em relação às máquinas, já se faziam sentir com a proliferação epidêmica da medicalização de alunos diagnosticados com depressão, ansiedade, déficit de atenção e hiperatividade. Muitos professores, familiares e alunos se sentem despreparados e sem repertório para lidar, tanto com os próprios conflitos emocionais quanto com os dos outros. Pais e professores se veem vítimas do mesmo diagnóstico de seus filhos e alunos, incapazes de conciliar as exigências da vida profissional e pessoal, sem tempo para elaborar as suas tristezas, ansiedades e frustrações. Diante da sensação de impotência frente às condições históricas e sociais que produzem seus sofrimentos, e na falta de tempo para elaborarem as motivações subjetivas que ajudam a produzir tais sintomas, tentam controlar suas reações biológicas apelando para o uso de medicamentos. Anestesiaram os próprios sofrimentos tanto para conseguirem aguentar as exigências da vida profissional, quanto para poderem distrair-se com as atividades de consumo.

Desse mesmo modo, também a tecnologia atua na educação como o remédio que age em uma doença mental tratada sob as lentes da psiquiatria. Ele ajuda a controlar as reações fisiológicas imediatas sem necessariamente mexer ou atuar nas causas históricas, sociais e subjetivas da doença. Nas plataformas digitais, os alunos tendem a se manter mais ativos, engajados, animados e atentos. Os exercícios podem adquirir o formato de *games* e não importa qual seja o conteúdo, ele pode ser adaptado e formatado segundo os interesses do aluno, seja um texto de história ou conceito filosófico, ele pode ser apresentado em esquemas didáticos por meio de vídeos e imagens. Não é mais preciso ir até a sala de aula para ouvir a palestra de um professor e, caso vá até a aula, não é preciso prestar atenção, pois existe grande probabilidade de a aula estar sendo gravada. Com isso é possível ouvir novamente a palestra em casa, pausando-a ou acelerando-a para os momentos mais chamativos da fala, isso enquanto se está realizando outras tarefas do dia a dia. As máquinas tendem a se adaptar melhor a essa dinâmica que um professor. Os algoritmos que simulam uma aprendizagem automatizada e inteligente são construídos para produzir uma espécie de simbiose entre o modo de aprender do aluno e o modo como

a máquina aprende como o aluno aprende. Dessa maneira, a escola vai aos poucos deixando de ser um espaço de autorreflexão crítica e de distanciamento momentâneo das contradições e conflitos vividos no cotidiano. Ela se rende à força da adaptação, às demandas imediatas da realidade, enfraquecendo o seu lado antagônico em relação ao que já está dado pelo modo de funcionamento social. Adorno salienta a ambiguidade contida no processo educacional que ao mesmo tempo em que leva a adaptação à sociedade, ajuda a formar as forças que resistem à simples adequação às mazelas do presente tentando transformá-lo:

A educação seria impotente e ideológica se ignorasse o objetivo de adaptação e não preparasse os homens para se orientarem no mundo. Porém ela seria igualmente questionável se ficasse nisto, produzindo nada além de *well adjusted people*, pessoas bem ajustadas, em consequência da situação existente se impõe precisamente no que tem de pior (ADORNO, 1995, p. 143).

Diante de uma educação que destaca a função de adaptar os alunos a um mundo dominado por tecnologias computacionais é importante resgatar a reflexão crítica que desvele as contradições e resista à participação irrefletida nas barbáries e injustiças que ainda perseveram na sociedade, apesar de todos os avanços tecnológicos.

Entre as propostas para a educação, em uma época dominada por processos automatizados e por técnicas de inteligência artificial, ganham evidências as que defendem a atualização do modelo educacional conforme as demandas de mercado. Tercek (2015) afirma que as universidades ainda apresentam resistência a uma simples adaptação ao processo de evaporação digital que vem acontecendo em diversos meios de comunicação e difusão da cultura e da economia. Essa resistência é interpretada como um atraso em relação às tendências dos novos tempos. Aoun (2017), por sua vez, destaca a importância da aproximação entre a universidade e a realidade das empresas que futuramente empregarão os estudantes. Baseando-se em um modelo de aprendizagem ao longo da vida, Aoun (2017) dá mais importância àquilo que é aprendido em ambientes como o trabalho e não ao conhecimento limitado à sala de aula. Dentro dessa perspectiva salienta que, para a educação realizar aprendizagens que tornem os homens à prova de automatizações robóticas, serão necessárias tanto alfabetizações tecnológicas quanto uma alfabetização humana. Tais alfabetizações precisarão desenvolver habilidades cognitivas relacionadas ao pensamento crítico, sistemático, ao empreendedorismo e à aquisição de um bom repertório cultural.

Tanto Tercek (2015) quanto Aoun (2017) concordam que não deve ocorrer uma digitalização total do modelo educacional, sendo mais eficiente o desenvolvimento de um modelo híbrido que consiga mesclar o que há de bom no modelo de universidades físicas tradicionais com as novas demandas apresentadas à educação pelo mundo digital.

Porém, apesar de esses autores defenderem um sistema híbrido entre ensino on-line e presencial, defendem como forma de diminuir a resistência e facilitar a entrada da tecnologia em sala de aula e a adaptação maior do ensino às demandas econômicas do mercado de trabalho. Mesmo quando argumenta a favor da importância da cultura e do pensamento crítico, Aoun (2017) o faz por que identifica nesses elementos características que serão demandadas pelos empregadores, não destacando em nenhum momento o pensamento crítico como modo de pensar as contradições e barbáries presentes no sistema capitalista. Suas propostas não refletem sobre a possibilidade que a crítica dá ao pensamento de pensar contra suas próprias sistematizações, aliás, para Aoun (2017), a crítica e a cultura articulam-se à sistematização do conhecimento e ao empreendedorismo, ou seja, é uma crítica analítica e pragmática, voltada à melhor adaptação social, destituída de seu caráter dialético de resistência a uma sistematização fechada que no limite leva à própria substituição do homem pela máquina. O movimento da crítica dialética não ignora esses sistemas conceituais, mas procura usar a força de estruturação e os conteúdos particulares de um determinado sistema para negativamente mostrar suas contradições:

A partir de uma certa distância, a dialética precisaria ser caracterizada como o esforço elevado a autoconsciência por deixar tornar-se permeável. De outro modo, o argumento especializado degenera-se em técnica de especialistas desprovidos de conceitos em meio ao conceito, tal como se expande hoje academicamente na assim chamada filosofia analítica passível de ser aprendida e copiada por robôs. O imanentemente argumentativo é legítimo quando se porta receptivamente em relação à realidade integrada em sistema, a fim de recolher sua própria força contra ela (ADORNO, 2009, p. 33).

Aoun (2017) acredita que se deve evitar na educação aquelas atividades que são rotineiras e repetitivas, pois essas atividades poderão ser no futuro realizadas por inteligências artificiais. Nesse ponto, teóricos críticos como Turcke caminham em sentido oposto, considerando a importância de a escola retomar, em seu processo formativo, os exercícios de repetição que está deixando a cargo das máquinas, ou seja, rearticule na educação espaços e momentos dedicados às atividades ritualísticas que fortaleçam nos estudantes suas capacidades cognitivas de retenção, memorização, imaginação,

representação e abstração. As escolas e professores que enfrentam o uso irrefletido e imponderado de tecnologias em salas de aula seriam algumas das poucas forças de resistência às imposições econômicas semiformativas que procuram reduzir a educação a um processo de adestramento de trabalhadores para profissões que valorizam mais a tecnologia que o próprio homem:

Aprender a reter e ter tempo livre para isso é a base de toda formação. Educadores e professores que praticam com muita paciência e calma ritmos e rituais comuns, que nesse percurso passam o tempo comum com as crianças que lhes são confiadas; que se recusam a adaptar a aula a padrões de entretenimento da televisão, com contínua troca de método; que reduzem o uso de computadores ao mínimo necessário; que ensaiam pequenas peças de teatro com as crianças, apresentam a elas um repertório de versos, rimas, provérbios, poemas, que são decorados, mas com ponderação e entendimento; que não se servem permanentemente de planilhas, mas fazem os alunos registrarem caprichosamente o essencial num caderno: eles são membros da resistência de hoje. A cópia de textos e fórmulas, outrora um sinal muito comum das escolas autoritárias, de repente se torna, diante da agitação geral da tela, uma medida de concentração motora, afetiva e mental, de exame de consciência, talvez até uma forma de devoção (TURCKE, 2016, p. 25).

Diante do que foi exposto, considera-se essencial pensar nas possibilidades e contradições advindas com essa hibridização entre o físico e o digital na educação, mas não para incentivar o uso tecnológico e sim para preservar o que no ensino tradicional ainda atua como impulsionador potencial de pensamentos com força crítica para refletir sobre os problemas, contradições, antagonismos e conflitos ainda presentes na sociedade. Nesse sentido, retomando uma analogia de Benjamin, cabe ao professor crítico, diante de uma tendência de empolgação pouco reflexiva em relação à modernização tecnológica da educação, puxar o freio de mão, ensaiando junto aos estudantes, pacientemente e repetidamente, exercícios que os tornem capazes de repetir e realizar, calma e cuidadosamente, experiências que ampliem suas sensibilidades e suas forças de abstração conceitual, processo formativo voltado à elaboração de pensamentos que não sejam só aparentemente autônomos, mas realmente preparados para pensarem a si mesmos no confronto com o conteúdo particular de cada objeto, indo além de um imediatismo consumista e da dependência de imagens técnicas e categorias predeterminadas, nas quais basta encaixar tudo que lhes é apresentado.

As pressões econômicas por instrumentalização computacional da educação, por controle administrativo informatizado das instituições de ensino e pela industrialização

digital da cultura, que no campo da educação é didatizada, quando não “gameficada” em plataformas de aprendizagens virtuais, acabam por incentivar a fraqueza e a dependência do pensamento em relação aos conteúdos pré-processados por dispositivos digitais. As reflexões teórico-críticas se transformaram em um persistente e difícil esforço intelectual de resistência ao ritmo acelerado de funcionamento e inovação infligidos pelo capitalismo *high-tech*, isso em um momento em que as automatizações tecnológicas tendem a desacostumar as pessoas a persistirem por muito tempo em uma única atividade, além de as exporem, constantemente, a sucessivos dados informativos em um fluxo que favorece a impaciência, o imediatismo e a intolerância à frustração.

Formar um pensamento que persiste como espelho autocrítico da razão requer expor não só seus processos de dessensibilização e produção de indiferença em relação ao sofrimento, mas requer, também, desvelar as facetas desagradáveis e incômodas criptografadas nos algoritmos que instrumentalizam digitalmente a cultura. Para que isso ocorra é necessário que a educação vá além do que está programado, dando visibilidade ao que não aparece nas interfaces computacionais, às contradições econômicas, políticas e sociais escondidas nas caixas pretas dos aparelhos. Desse modo, como contraponto às automatizações computacionais que incentivam o processo de semiformação, a crítica ainda pode resgatar negativamente as possibilidades formativas emancipatórias contidas nas tecnologias digitais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou discorrer sobre como está sendo proposta a adoção de programas de inteligência artificial na educação. No percurso, expôs discussões conceituais referentes à relação entre determinismo (mecanicismo, automatismo) e liberdade (autonomia) no pensamento ocidental, retomada que no primeiro capítulo articula-se com reflexões sobre conceitos de ordem e acaso e, no segundo, a um percurso teórico que nos leva da lógica clássica aristotélica a sua aproximação com a matemática, problematizando seus princípios fundantes, em um contexto ligado à origem das ciências da computação. O terceiro capítulo descreve a origem das ciências da cognição e do campo da inteligência artificial, mostrando os desdobramentos da última ao longo do século XX. Perpassa as discussões entre simbolistas e conexionistas e suas subdivisões em áreas que estudam a representação do conhecimento, o aprendizado de máquina e o processamento de linguagem natural. O quarto capítulo indica os movimentos em direção à implementação de tecnologias computacionais na educação, além de apresentar propostas pedagógicas que apontam tendências de vaporização digital de grande parte da estrutura física das atuais intuições de ensino superior, assim como as competências que devem ser desenvolvidas pelos alunos para que estejam preparados para um mercado crescentemente apoiado em sistemas operacionais automatizados e artificialmente “inteligentes”. No último capítulo, defendeu-se a importância de se pensar as decorrências da instrumentalização computacional da razão e da industrialização digital da cultura sobre a formação do pensamento ao longo do processo educacional.

Em um primeiro momento, a reflexão aqui realizada recobrou a discussão entre razão e mito, mas com um olhar focado na relação dialética entre caos e ordem. Caos que, mesmo inicialmente, como mito, já se mostrava como uma narrativa que tentava explicar a origem do ordenamento cósmico. Caos que, na atualidade, dá nome a uma teoria que busca ordenar e explicar matematicamente as próprias tendências da realidade à desordem. Caos aparente que, transformado em acaso matemático, serve para produzir um ordenamento social que esconde, em seus complexos cálculos, um forte determinismo econômico, velado sobre as influências da indústria cultural:

No fundo todos reconhecem o acaso, através do qual um indivíduo fez sua sorte, como outro lado do planejamento. É justamente porque as forças da sociedade já se desenvolveram no caminho da racionalidade, a tal ponto que qualquer um poderia se tornar um engenheiro ou *manager*, que se tornou inteiramente irracional a escolha da pessoa em

quem a sociedade deve investir uma formação prévia ou a confiança para o exercício dessas funções. O acaso e o planejamento tornam-se idênticos porque, em face da igualdade dos homens, a felicidade e a infelicidade do indivíduo – da base ao topo da sociedade – perde toda significação econômica. O próprio acaso é planejado; não no sentido de atingir tal ou qual indivíduo determinando, mas no sentido, justamente, de fazer crer que ele impere. Ele serve como álibi dos planejadores e da aparência de que o tecido de transações e medidas em que se transformou a vida deixaria espaço para relações espontâneas e diretas entre os homens. Essa liberdade é simbolizada nos diferentes meios da indústria cultural pela seleção arbitrária de casos representando a média (ADORNO; HORKHEIMER, 1985, p. 137).

Trata-se de um determinismo econômico e cultural que se alimenta, cinicamente inclusive, daquilo que o critica, resignificando o próprio sentido do pensamento crítico, levando-o quase a decretar falência de sua função de resistência e transformação a favor de sua função pedagógica adaptativa às demandas do mercado de trabalho. Um bom crítico da cultura, ao possuir um vasto repertório cultural, pode atrair interesses comerciais dos mesmos sistemas que critica. Um bom *hacker* que consegue violar a segurança cibernética de uma empresa ou instituição governamental pode ser aliciado pelos proprietários desses mesmos sistemas que foram anteriormente violados, só que dessa vez trabalhando para melhorar a sua proteção. Com o avanço da computação e com a industrialização digital da cultura, esse processo se acentua:

La inteligencia computacional domina un arte de ocasión, del *kairos*, para efectuar una adecuación universal que opera instante a instante. Se trata de una especie de “casamentera” platónica capaz de hacer concordar entre sí todos los parámetros virtualmente dirigidos a entrecruzarse con la finalidad de hacer surgir un acontecimiento (SADIN, 2017, p. 139).

Para além de um determinismo positivista, o pensamento crítico leva o trabalho conceitual a confrontar os seus limites em direção ao seu oposto, as dimensões não conceituais presentes nos objetos refletidos racionalmente, impulso negativo de liberdade para além de uma lógica da identidade presa ao estabelecimento de classificações, ordenamentos e equivalências que seguem uma racionalidade estritamente funcional. Pensamento que pensa contra si mesmo e se desdobra dialeticamente para quebrar as amarras da lógica com as forças da própria lógica.

O surgimento histórico de ideias e conceitos que vão dar origem à ciência da computação acompanha um movimento interno à lógica na problematização de alguns de seus pressupostos fundamentais, o princípio da não contradição e do terceiro excluído.

Adorno (2007, p. 137) afirmava que “a autocrítica da lógica tem por consequência a dialética”. É interessante ver que, devido aos problemas envolvendo alguma forma de autorreferência em fórmulas, procedimentos mecânicos ou teoremas, mesmo dentro de campos como a lógica, a matemática e a computação, o princípio da não contradição precisa ser repensado historicamente, por não garantir ao mesmo tempo a consistência e completude dos fundamentos e procedimentos que estruturam seus conhecimentos, princípios que não garantem uma completa sistematização dos problemas que esses sistemas formais colocam para si mesmos. Por mais que sejam tratados sobre ângulos diferentes, os conceitos de identidade e contradição são essenciais tanto para as afirmações da lógica clássica quanto para sua negação por outras lógicas. Mesmo a dialética orbita em torno desses conceitos, tensionando-os para se colocar em movimento.

Se os aspectos formais lógicos do pensamento podem ser simulados e reproduzidos nas máquinas por meio de uma sequência de procedimentos mecânicos efetivos, o pensar humano, que ultrapassa o pensar mecânico, é aquele que está sempre em um incompleto movimento de determinação a partir do conteúdo particular apresentado pela coisa com a qual se ocupa, pensamento que se deixa formar no esforço de sedimentação das idiossincrasias de cada material com o qual se defronta e que o leva a expressar algo. O pensamento crítico compõe suas constelações em um campo de forças tensionais entre aquilo que ele aprende e determina conceitualmente e aquilo no objeto que resiste negativamente às mediações apresentadas por suas conceituações.

Por mais que uma máquina consiga simular as operações instrumentais envolvidas na composição do pensamento crítico, assim como já consegue, hoje, produzir uma partitura original de uma música com um grau de complexidade suficiente para fazer com que uma orquestra profissional queira tocá-la, apenas os homens que tiverem desenvolvido e exercitado o pensamento crítico poderão captar criticamente as relações sociais e históricas constituídas e instrumentalizadas artificialmente por uma máquina. Da mesma maneira, apenas alguém que tenha desenvolvido uma escuta cuidadosa e com sensibilidade musical conseguirá formar experiências estéticas com energia crítica diante de uma música composta por um programa de computador. Debilitando o polo de expressão e interpretação subjetiva de um material estético, prejudica-se o polo oposto de construção material com o qual a expressão subjetiva estabeleceria tensões dialéticas. O material se enrijece em uma construção fria e instrumental.

Ao se falar da origem do campo da inteligência artificial, procurou-se focar como essa área se apropria e instrumentaliza termos como aprendizagem, representação,

linguagem e inteligência. Expondo divisões históricas entre correntes simbolistas e conexionistas, assim como subdivisões atuais que vêm ganhando força, como representação do conhecimento, aprendizado de máquina e processamento de linguagem natural, buscou-se descrever programas de processamento de dados que simulam habilidades cognitivas humanas e com aplicações que vêm afetando várias áreas da economia. As máquinas ainda estão longe de simular a inteligência humana em toda a sua complexidade, porém as competências cognitivas por elas simuladas estão se tornando indispensáveis em várias áreas. Mais de vinte anos após um programa de computador vencer o campeão mundial de xadrez da época, Garry Kasparov, os atuais campeões não são nem as máquinas nem os humanos, mas, como salienta Berry (2015), “centauros” formados por equipes de homens e programas de computador. Enquanto os computadores se encarregam dos cálculos probabilísticos, os humanos têm sua energia cognitiva liberada para investirem no planejamento estratégico.

Algoritmos de aprendizagem usados em pesquisas científicas são outros exemplos que tornam o aprendizado automatizado, os protagonistas na produção do conhecimento e os cientistas como apêndices dos próprios programas e aparelhos instrumentais que utilizam. Os processos de coleta, análise e classificação de dados, assim como de formulação e teste de hipóteses, vão se tornando automatizados, sendo realizados com maior rapidez e eficiência pelas próprias máquinas. Os cientistas ainda serão importantes, mas deverão adaptar-se, independentemente de suas especialidades, aos avanços no processamento de dados:

A revolução industrial automatizou o trabalho manual e a Revolução da Informação fez o mesmo com o trabalho mental, mas o *machine learning* automatiza a si próprio. Sem ele; os programadores passaram a ser o gargalo que detém o avanço. Com ele, o ritmo do avanço é acelerado. Se você for um cientista da computação lento e pouco brilhante, o *machine learning* é a ocupação ideal, porque os algoritmos de aprendizado farão seu trabalho, deixando-o levar o crédito. Por outro lado, os algoritmos podem deixá-lo sem emprego, o que nesse caso seria justo (DOMINGOS, 2017, p. 33).

O entrelaçamento entre indústria cultural e inteligência artificial pôde ser identificado nas experiências já mencionadas da Microsoft e da Google relacionadas à elaboração de *chatterbots*. A Microsoft com um perfil de Twitter que aprendeu nas interações com os usuários a reproduzir frases agressivas e preconceituosas. A Google com um assistente virtual de atendimento que apresentava falas estranhas relacionadas ao

sentido da vida e a moralidade. Esses dois experimentos acabaram sendo um espelho das ignorâncias, violências e preconceitos presentes na cultura digital massificada. Alimentando a máquina com dados advindos de meios de comunicação digitais voltados à adaptação do sensório e intelecto de seus espectadores a um formato que propicia opiniões curtas e impulsivas, esses experimentos revelam mais do que os limites mecânicos de tais técnicas de automatização do processamento da linguagem natural. Revelam a própria mecanização estereotipada na formação de opiniões propiciadas pelo entrelaçamento dessas tecnologias com a dinâmica capitalista.

O material utilizado, mensagens curtas e legendas de filmes, se tornaram inclusive um reflexo de uma nova forma de ganhar dinheiro postando vídeos, textos e comentários curtos em *blogs* e canais como o Youtube, na internet. Entre essas matérias estão desde comentários e falas defendendo posições preconceituosas e racistas, até aulas de filosofia, literatura e crítica social; materiais formatados para um fácil entendimento e consumo. Este, um processo semelhante à reprodução em dispositivos digitais de uma sinfonia de Mozart ou Beethoven para ser ouvida no carro de forma descompromissada. A maneira como esses experimentos, com programas de conversação, se transformaram em notícias que buscam chamar a atenção, revelam a intensificação dessa fusão entre desenvolvimento técnico e o mercado de entretenimento. O termo *geek* (nome em que se inspira a empresa brasileira de tecnologia de ensino Geekie) é um rótulo simbólico que representa essa fusão ao fazer referência a pessoas ligadas à área da tecnologia digital e ao consumo de produtos da indústria cultural como séries, filmes e games:

El geekismo representa la culminación del fetichismo volcado en la tecnología: desarrolla una relación erotizada y marcada por la exclusividad (como es el caso de quien elige únicamente el Mac o el iPad, siguiendo una estructura similar a la de la relación amorosa). Se trata de un aumento excesivo, pero más ampliamente significativo, de la medida de apego a nuestros compañeros digitales, y se ubica bajo una especie de sumisión consentida y deslumbrada (SADIN, 2017, p. 97–98).

Se, no consumo, ocorre o geekismo, no processo produtivo, os homens se convertem a uma religião “datacêntrica” em que: “Temos de provar a nós mesmos e ao sistema que ainda temos valor. E o valor reside não em ter tido experiências, e sim em fazer delas um fluxo livre de dados” (HARARI, 2016, p. 389). O processamento computacional da cultura dilui digitalmente seus conteúdos mediante sua divulgação, distribuição e decomposição em um fluxo acelerado de dados produzidos

interruptamente. A digitalização, a internet e os algoritmos de inteligência artificial estabelecem funcionalidades automáticas e ritmos de raciocínio que auxiliam no condicionamento da sensibilidade dos usuários segundo os padrões ditados pelas interfaces e aplicações dos softwares que utiliza. Estes, por sua vez, encobrem, na opacidade de seus códigos, estereótipos sociais, valores econômicos e determinados interesses políticos.

É preciso estar atento a sistemas algorítmicos presentes em instituições públicas e empresas privadas que automatizam discriminações e reforçam desigualdades sociais contribuindo para desfavorecer quem já é desfavorecido e beneficiar quem já é beneficiado financeiramente. O'Neil (2016) salienta a importância da realização de auditorias para fiscalizar algoritmos que possam estar sendo usados voluntária ou involuntariamente como “armas de destruição matemáticas” danificando a vida de pessoas e comunidades.

No mundo do trabalho, o alcance dos processos de automatização se estende inclusive à realização de operações que antes envolviam esforços cognitivos humanos. Carr (2015) indica a dificuldade de muitos trabalhadores em relação à capacidade de se adaptar às novas situações que não envolvam o uso de softwares. Devido à crescente substituição da perícia profissional humana por interações com interfaces computacionais, a experiência humana tende ao empobrecimento ao se limitar à verificação de fatos em documentos e à identificação de padrões estatísticos em planilhas e bancos de dados. O exercício da inteligência humana não deveria ficar adstrito a essas tarefas, mas deveria envolver a energia gasta no repetido empenho para compreender fenômenos e experimentar situações que vão além e independem das formatações computacionais.

Em uma realidade histórica cada vez mais afetada por tecnologias digitais que impactam a sociedade em campos como a economia, a política e a cultura, torna-se importante resgatar o potencial do pensamento autorreflexivo para desvelar as contradições presentes em um mundo progressivamente permeado por códigos digitais. Uma teoria crítica do digital, como indica Berry (2014), pode contribuir decisivamente para desnudar as relações políticas e sociais ocultas em criptografias e processos de automatização computacional do mundo digital, explorando nos códigos de programação e algoritmos de inteligência artificial tanto seus aspectos textuais simbólicos quanto seus mecanismos instrumentais de funcionamento.

Berry (2014), Carr (2015), Hahari (2016), O’Neil (2016) e Sadin (2017) — todos esses autores vêm salientando, com foco em diferentes aspectos, a penetração e a força que vêm adquirindo os modelos estatísticos computacionais e os sistemas algorítmicos digitais na gestão da vida individual e coletiva. Objetivamente, esses sistemas matemáticos automatizados se transformam no alicerce gerencial de empresas e governos; no lado subjetivo, eles condicionam os sujeitos a se tornarem consumidores impulsivos de tecnologias, aplicativos e informações digitais. Este trabalho procurou realizar uma exposição acerca dessas diferentes e recentes contribuições trazendo-as à reflexão crítica em relação às propostas de adaptação do campo educacional a um mundo cada vez mais permeado por programas de inteligência artificial.

A crescente programação digital do ensino apoiada em renovada pedagogia tecnicista, que mescla elementos do behaviorismo com os do construtivismo, acaba contribuindo para condicionar a aprendizagem e o pensamento a um fluxo acelerado de informações e estímulos sensoriais presentes nas interfaces de dispositivos eletrônicos. Radicaliza-se a racionalização e a parametrização instrumental da educação. Os aprendizes internautas do século XXI são levados a amarrarem-se organicamente a dispositivos eletrônicos. Transformam-se em emissores capazes de se fazer representar por seus dados em múltiplos espaços ao mesmo tempo, imersos em um tempo virtual e fluido que os levam a procurar constantemente novidades que os entretenham. O conjunto de dados deixados nas interações são dispostos para a configuração de ambientes virtuais personalizados e formatados mediante um design mais atrativo que os próprios materiais impressos. Estes desbotam-se e se tornam incapazes de fixar a atenção humana diante da competição decretada pelas imagens técnicas: representações digitais sensuais e hiper-realistas. A educação, nesse contexto, é preenchida por cenários e metodologias flexíveis e adaptáveis conforme os padrões de interações entre o estudante e os aparelhos. Planos de estudos individualizados são gerados por algoritmos que identificam, nos padrões comportamentais de cada aluno, as dificuldades e *gaps* nas aprendizagens, o tipo de material e exercícios que os deixam mais engajados nos estudos e quais avanços apresentam nas avaliações realizadas nas plataformas de aprendizagem virtual.

Em tal contexto a inteligência algorítmica e artificial dos programas assume boa parte da tarefa de ensino, podendo acompanhar e auxiliar os alunos nos estudos em qualquer momento, de qualquer local em que eles estejam conectados às plataformas digitais de educação. Desse modo o processo de ensino e aprendizagem virtual não se prende mais a salas de aulas físicas com localidades fixas, adequando-se perfeitamente

ao processo de flexibilização já em pleno funcionamento na economia neoliberal. O professor, nesses contextos, se transforma em auxiliar técnico- “funcionário” – que, como membro colaborativo de uma equipe de especialistas ou curadores, contribui para que o aluno aprenda a se adaptar da melhor forma possível às tecnologias de ensino. Mesmo nas universidades, surgem propostas pedagógicas focadas no desenvolvimento de projetos e competências profissionais relacionadas a trabalhos crescentemente robotizados. A importância dada à adaptação tecnológica relega ao segundo plano as relações humanas e o contanto travado sem a mediação das interfaces dos aparelhos. Afinal, o próprio homem passa a se identificar com seus sistemas operacionais e se medir mediante o conjunto de dados processados pelos aparelhos:

Los procesadores se presentan como sustratos externo destinados a ampliar o a *profundizar* nuestra intuición general de las cosas; se les concede no la capacidad de pensar según una dimensión reflexiva, sino la de *develar* la naturaleza compleja de algunas de nuestras acciones, y perciben, con mayor precisión quizá, ciertas cuestiones decisivas e insospechadas de nuestras realidades. Gunther Anders, filósofo crítico de modernidad técnica, había evocado hace medio siglo la "vergüenza prometeica" que sentimos con respecto a nuestra finitud comparada con la potencia creciente de las máquinas. Es probable que esta supuesta frustración se haya desplazado hoy hacia la fe en un poder eminentemente asegurador e intensificador de la existencia. Este agenciamiento técnico-antropológico disuelve todo sentimiento histórico de desposesión, en favor de una convicción en el aumento indefinido en la calidad de vida gracias a agentes inmateriales superinformados e intuitivos, cuya función es guiarnos a lo largo de las secuencias cada vez más concatenadas de la cotidianidad (SADIN, 2017, p. 65).

Nesse movimento de simbiose entre o homem e a tecnologia computacional, o polo que na educação é voltado à adaptação social tende a sufocar o outro polo contra o qual fazia tensão: o da resistência e transformação das condições existentes. Desse modo, formata-se, em diferentes situações, aquilo mesmo que deveria constituir a singularidade de cada homem às modelagens realizadas por meio de aparelhos programados por um conjunto de algoritmos; formatação instrumental que afeta tanto as relações sociais, como condiciona a sensibilidade e o pensamento segundo padrões apresentados pelo mercado e pela renovada indústria da cultura, agora fortemente presente em seu modelo digital.

É necessário possibilitar uma educação que vá além da adaptação a um mundo cada vez mais preenchido por tecnologias “inteligentes” e que, para além da adaptação, mobilize, também, as forças de resistências a uma mera acomodação do homem aos

mecanismos regressivos que automatizam estereótipos, preconceitos e injustiças sociais, tornando em muitas situações, o próprio homem descartável e substituível. Sem desconsiderar a importância desses programas computacionais, a crítica dialética pode revelar as decisões políticas e econômicas sedimentadas em suas caixas pretas e os juízos ocultos em seus modelos matemáticos preditivos.

Os educadores, para além da formatação tecnológica e digital do conteúdo ensinado, devem refletir sobre como o conteúdo é afetado pela didática, quais as violências feitas ao conteúdo por sua formatação digital, o que o conteúdo revela das condições sociais e históricas das quais faz parte e como se relaciona com o seu modo de exposição. A forma do conteúdo e seu modo de exposição podem bloquear ou fortalecer a formação de pensamentos autônomos, estes entendidos não como uma limitada liberdade de consumo, mas como capacidade de fazer o uso reflexivo, autocrítico e público da própria razão em pleno século XXI.

Para resistir ao engessamento computacional e aos encantamentos da técnica como encanto dos meios sobre os fins, é necessário manter reflexivamente a força negativa do pensamento como contraponto tensional às suas objetivações mecânicas em aparelhos, deslocando suas energias em direção à formação de experiências singulares, incomputáveis, as quais, ao serem repetidas, desvelem suas próprias contradições, à sua não identidade consigo mesmas, a sua capacidade de auto crítica em relação as forças que tendem a ajusta-las às atualizações digitais do processo de semiformação (*Halbbildung*) no qual “cultura converteu-se totalmente em mercadoria, difundida como informação, sem penetrar nos indivíduos dela informados.” (ADORNO HORKHEIMER, 1985. p. 184). Nesse sentido considera-se importante resgatar na educação o compromisso de debater criticamente o uso das tecnologias como inteligência artificial não só como meio utilitário de produção e consumo, mas como uma questão social e histórica que contem implicações políticas.

Por mais que as máquinas já consigam parcialmente automatizar simulações de varias atividades ligadas ao pensamento como raciocínio dedutivo, indutivo e a habilidade de aprendizagem, é possível destacar o caráter de resistência da realização de repetições que ajudem a “desautomatizar” cérebros fortemente condicionados aos esquemas colocados pelo uso constante dos processadores eletrônicos de dados, cultivando deste modo, momentos em que os próprios aparelhos possam ser desligados e mesmo assim seja possível realizar trabalhos significativos e ter relações com os outros e com a realidade capazes de despertarem nas pessoas sensibilidades, percepções, memórias,

fantasias e pensamentos com uma considerável dose de singularidade elaborativa, autonomia composicional e independência em relação às decisões algorítmicas, formatações computacionais e estimulações oferecidas prontamente pelas interfaces digitais. Formatações audiovisuais que colaboram para condições em que:

O pensamento perde o fôlego e limita-se à apreensão do factual isolado. Rejeita-se as relações conceituais porque são um esforço incômodo e inútil. O aspecto evolutivo do pensamento, e tudo o que é genético e intensivo nele, é esquecido e nivelado ao imediato presente, ao extensivo. (...). O pensamento reduzido ao saber é neutralizado e mobilizado para simples qualificação nos mercados de trabalho específicos e para aumentar o valor mercantil da personalidade. (ADORNO HORKHEIMER, 1985. p. 184)

Para além da velocidade no processamento de dados, precisão estatística de resultados e eficiência operacional advindas dos avanços tecnológicos, a educação para a emancipação envolve a repetição de exercícios que consolidem experiências críticas, conservando no homem os momentos de autorreflexão que ainda encontra para ultrapassar e resistir às suas próprias tendências históricas, veladas e instrumentais, para a violência e para a barbárie.

BIBLIOGRAFIA

- ADORNO, T.W. *A atualidade da filosofia*. 2007. Disponível em: <<https://bibliotecasocialvirtual.files.wordpress.com/2010/06/adorno-atualidade-da-filosofia.pdf>>. Acesso em: 06 Maio. 2018.
- _____. *A dialética negativa*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2009.
- _____. *Para uma metacrítica da teoria do conhecimento*. Rio de Janeiro: Editora Unesp, 2007.
- _____. Aldous Huxley e a Utopia. In: ADORNO, T.W. *Prismas: crítica cultural e sociedade*. São Paulo: Ática, 1998.
- _____. *Minima moralia: reflexões a partir da vida danificada*. Tradução de Luiz Eduardo Bica. São Paulo: Ática, 1993.
- _____. Observações sobre o pensamento filosófico. In: ADORNO, T.W. *Palavras e sinais: modelos críticos 2*. Petrópolis: Vozes, 1995.
- _____. *Résumé sobre indústria cultural*. Tradução de Carlos Eduardo Jordão Machado do original alemão e cotejada com a tradução italiana (Parva Aesthetica. Milano. Einaudi, 1979). Disponível em: <<http://adorno.planetaclix.pt/tadorno17.htm>>. Acesso em: 2 maio 2016.
- _____. Teoria da Semiformação. In: PUCCI; ZUIN; LASTÓRIA. *Teoria crítica e inconformismo*. Campinas: Autores Associados, 2010.
- ADORNO, T.W.; HORKHEIMER, M. *A dialética do esclarecimento: fragmentos filosóficos*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1985.
- ALTSCHOOL. [s/d]. Disponível em: <<https://www.altschool.com>>. Acesso em: 15 abr. 2018.
- AOUN, J.E. *Robot-Proof: Higher Education in the Age of Artificial Intelligence*. Cambridge/MA: The MIT Press, 2017.
- ARISTÓTELES. *Física*. Madrid: Libera los Libros, 1995.
- _____. *Metafísica*. Campinas: IFCH/UNICAMP, 2007. v. IV e VI.
- _____. *Metafísica*. Campinas: IFCH/UNICAMP, 2005. v. VII e VIII.
- BACON, F. *Novo Organum ou Verdadeiras Indicações Acerca da Interpretação da Natureza/Nova Atlântida*. Tradução e notas de José Aluysio Reis de Andrade. São Paulo: Nova Cultural, 1999. (Coleção Os Pensadores)

- BENJAMIN, W. Sobre a linguagem em geral e sobre a linguagem dos homens. In: GAGNEBIN, J.M. *Escritos sobre mito e linguagem (1915–1921)*. São Paulo: Editora 34, 2013.
- BERRY, D.M. *Critical Theory and the Digital*. London: Bloomsbury, 2015.
- BRANDÃO, J. *Mitologia grega*. Petrópolis: Vozes, 1987. v. 1.
- BORGONI, D. Uma análise do argumento do conhecimento de Jackson. *Revista de Estudo de Pós-Graduação Kínesis*, Marília, v. 5, n. 9, jul. 2013, p. 47–61.
- CAFE, L.R.; COMARELLA, M.A. Chatterbot: conceito, características, tipologia e construção. *Informação & Sociedade: Estudos*, João Pessoa, v. 18, n. 2, 2008, p. 55–67.
- CARNEGIE Learning. [s/d]. Disponível em: <<https://www.carnegielearning.com/why/our-approach/>>. Acesso em: 25 mar. 2018.
- CARR, N. *The Glass Cage: How our Computer are Changing US*. London: The Blodey Head, 2015.
- CHAUI, M. *Convite à filosofia*. São Paulo: Ática, 2003.
- _____. *Introdução à história da filosofia: dos pré-socráticos a Aristóteles*. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.
- CASTRO, M. Supercomputador Watson, da IBM, cria receitas que viram livro. Disponível em: <<http://paladar.estadao.com.br/noticias/comida,supercomputador-watson--da-ibm--cria-receitas-que-viram-livro,10000007849>>. Acesso em: 8 maio 2016.
- CROCHIK, J.L. *O computador no ensino e limitação da consciência*. São Paulo: Casa do Psicólogo, 1998.
- DEHAENE, S. *Os neurônios da leitura: como a ciência explica a nossa capacidade de ler*. Porto Alegre: Penso, 2012.
- DELEUZE, G. *A lógica do sentido*. São Paulo: Perspectiva, 1975.
- DELORS, J. *Educação um tesouro a descobrir*. São Paulo: Cortez, 2000.
- DOMINGOS, P. *O Algoritmo Mestre: como a busca pelo algoritmo de machine learning definitivo recriará nosso mundo*. São Paulo: Novatec, 2017.
- DUARTE, R. Indústria cultural hoje. In: AKCELRUD, F., ZUIN, A.; VAZ, A. F. *A indústria cultural hoje*. São Paulo: Boitempo, 2008
- _____. *Teoria crítica da indústria cultural*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2003
- DUPUY, J. *Nas origens das ciências cognitivas*. São Paulo: Editora Unesp, 1996.

- FAJARDO, R.A.S. *Lógica matemática*. Disponível em: <<http://www.ime.usp.br/~fajardo/Logica.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2016.
- FEOFILOFF, P. *Algoritmos em linguagem C*. São Paulo: Campus/Elsevier, 2009.
- FONSECA FILHO, C. *História da computação: o caminho do pensamento e da tecnologia*. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2007.
- FLUSSER, V. *A escrita: há futuro para a escrita?* São Paulo: Annablume, 2010.
- _____. Arte na pós-história. [s/d]. Disponível em: <<http://www.flusserbrasil.com/art121.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2018.
- _____. Competências. [s/d]. Disponível em: <<http://www.flusserbrasil.com/art177.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2018.
- _____. *Caos e Ordem*. Texto apresentado em Simpósio. Graz, 1989. Disponível em Acesso em <https://issuu.com/ericoalima/docs/caos_e_ordem/3> 20 mar., 2018.
- _____. *O mundo codificado: por uma filosofia do design e da comunicação*. São Paulo: Cosac Naify, 2007.
- _____. Imagem com computador. In: CONFERÊNCIA NO CICLO “ARTE DE COMPUTADOR”, 1984, Liège. Disponível em: <<http://www.flusserbrasil.com/art224.pdf>>. Acesso em: 06 maio 2018.
- _____. Para uma escola do futuro. *Revista da Faculdade de Comunicação da FAAP – FACOM*, n. 15, 2º sem, 2005. Disponível em: <http://www.faap.br/revista_faap/revista_facom/facom_15/_flusser.pdf>. Acesso em: 08 maio 2018.
- _____. *Pós-história: vinte instantâneos e um modo de usar*. São Paulo: Annablume, 2011.
- FOERSTER, H. von. Heinz von Foerster, pioneiro da cibernética. In: PASTERNAK, P.G. *Do caos à inteligência artificial*. São Paulo: Editora Unesp, 1993. Entrevista concedida a Guitta Pessis-Pasternak.
- GARCIA-ROZA, L. *O mal radical em Freud*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1995.
- _____. *Acaso e repetição na psicanálise: uma introdução à teoria das pulsões em Freud*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.
- GARDENER, H. *A nova ciência da mente*. São Paulo: EDUSP, 1995.

- GLEICK, J. *A informação: Uma história, uma teoria, uma enxurrada*. São Paulo, Companhia das Letras, 2013
- GRASSEGGER, H.; KROGERUS, M. The Data That Turned the World Upside Down. 2017. Disponível em: <https://motherboard.vice.com/en_us/article/mg9vvn/how-our-likes-helped-trump-win>. Acesso em: 22 abr. 2018.
- GRUSCHKA, A. Escola, didática e indústria cultural. In: AKCELRUD, F., ZUIN, A.; VAZ, A. F. *A indústria cultural hoje*. São Paulo: Boitempo, 2008.
- HASSABIS, D. *What we learned in Seoul with AlphaGo*, Google Official Blog. Disponível em: <<https://googleblog.blogspot.com.br/2016/03/what-we-learned-in-seoul-with-alpha.html>>. Acesso em: 1 maio 2016.
- HAYKIN, S. *Redes neurais: princípios e práticas*. Tradução de Paulo Martins Engel. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- HORKHEIMER, M. *Eclipse da razão*. São Paulo: Centauro, 2000.
- IBM-BRASIL. WATSON. 2016. Disponível em: <<http://www.ibm.com/smarterplanet/br/pt/ibmwatson/what-is-watson.html>>. Acesso em: 8 maio 2016.
- IBM. IBM Watson for oncology. 2016. Disponível em: <<http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/ibmwatson/watson-oncology.html>>. Acesso em: 8 maio 2016.
- _____. Art of the possible: IBM Watson and Pearson drive cognitive learning for college students. Disponível em: <<https://www.ibm.com/watson/education/announcements/pearson/>>. Acesso em: 08 out. 2017.
- KASTRUP, V. A psicologia no contexto das ciências cognitivas. In: JACÓ-VIELA, A.M.; FERREIRA, A.A.L.; PORTUGAL, F.T. *História da psicologia: rumos e percursos*. Rio de Janeiro: NAU, 2008.
- KARRAS, T. et al. Progressive Growing of Gans for Improved Quality, Stability, and Variation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LEARNING REPRESENTATIONS, 2018, Vancouver. *Anais...* Vancouver: ICLR, 2018. Disponível em: <<https://openreview.net/pdf?id=Hk99zCeAb>>. Acesso em: 06 maio 2018.
- KARSENTI, T. As tecnologias da informação e da comunicação na pedagogia. In: TARDIF, M; GAUTHIER, C. *A pedagogia: teorias e práticas da antiguidade aos nossos dias*. Petrópolis, RJ: Vozes, 2010.
- LANNES, W. *A incompletude além da matemática: impactos culturais do teorema de Gödel no século XX*. 2009. 210 f. Tese (Doutorado em História) – Departamento de História, UFMG, Belo Horizonte, 2009.

LASTÓRIA, L. A. C. N.. A fabula flusseriana e o futuro da educação. In: *POLÍTICA E GESTÃO EDUCACIONAL* (ONLINE). Araraquara, SP, UNESP, 2017.

LIT. [s/d]. Disponível em: <<https://www.lit.com.br>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

LORENZONI, M. Gamificação: o que é e como pode transformar a aprendizagem. 2016. Disponível em: <<http://info.geekie.com.br/gamificacao/>>. Acesso em: 06 maio 2018.

_____. Geekie: o caminho para impactar 5 milhões de estudantes. 2016. Disponível em: <<http://info.geekie.com.br/geekie-5-milhoes/>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

LUCKIN, R.; HOLMES, W.; GRFFITHS, M.; FORCIER, L.B. *Intelligence Unleashed: an Argument for AI in Education*. London: Pearson. Disponível em: <<https://static.googleusercontent.com/media/edu.google.com/pt-BR//pdfs/Intelligence-Unleashed-Publication.pdf>>. Acesso em: 21 set de 2017

MAIA, A.F.; COSTA, B.C.G. Cultura digital e educação: reflexões sobre tecnologia, linguagem e estética. In: LASTÓRIA et al. *Teoria crítica: escritos sobre educação*. São Paulo: Nankin, 2015.

MILL, D. Educação a Distância: cenários, dilemas e perspectivas. In: *Revista de EDUCAÇÃO PÚBLICA*. v.25 n° 59/2. p.432-454. Cuibá, UFMT, 2016.

MINDSPARK. [s/d]. Disponível em: <<https://mindspark.in/>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

MINERVA Project. [s/d]. Disponível em: <<https://www.minerva.kgi.edu/>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

MORTARI, C.A. *Introdução à lógica*. São Paulo: Editora Unesp, 2001.

NEGROPONTE, N. *Vida digital*. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.

NSTC – National Science and Technology Council Committee on Technology. *Preparing for the Future of Artificial Intelligence*. Executive Office of the President, October, 2016. Disponível em: <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NSTC/preparing_for_the_future_of_ai.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2018.

NVIDIA. NVIDIA Deep Learning Institute (DLI). [s/d]. Disponível em: <<https://www.nvidia.com/en-us/deep-learning-ai/education/>>. Acesso em: 25 mar 2018.

OLIVEIRA, V. de. AltSchool, escola com tecnologia no DNA. 2017. Disponível em: <<http://porvir.org/altschool-escola-tecnologia-dna/>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

O'NEIL, C. *Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy*, New York, Broadway Books, 2016

OSÓRIO, F.S. Redes neurais artificiais: do aprendizado natural ao aprendizado artificial. In: FÓRUM E SEMINÁRIO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, 1, 1999.

- Canoas. Fórum e Seminário de Inteligência Artificial da ULBRA/SBC. Canoas: ULBRA, 1999. v. 1. p. 1–32.
- PAPERT, S.M. *A máquina das crianças: repensando a escola na era da informática*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.
- _____. *LOGO: computadores e educação*. São Paulo: Brasiliense, 1985.
- PEARSON. Sobre nós. Disponível em: <<https://br.pearson.com/sobre-nos.html>>. Acesso em: 29 set. 2017.
- PEDRO, R.M.L. Ciência da Cognição. In: FERREIRA, A.A.L. *A pluralidade do campo psicológico*. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2010.
- PEIRCE, C.S. *Semiótica*. São Paulo: Perspectiva, 2005.
- PESSANHA, J. *Aristóteles: vida e obra*. São Paulo: Nova Cultural, 1999. (Os Pensadores).
- PLUSOFT, V.I. *Assistentes virtuais inteligentes: excelência e redução de custo operacional*, White paper, 2014. Disponível em: <<http://www.plusoft.com.br/wp-content/uploads/2015/06/whitepaper-AVI.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2016.
- PUCCI, B. A atualidade da filosofia em Adorno. [s/d]. Disponível em: <<http://www.unimep.br/~bpucci/atualidade-filosofia-adorno.pdf>>. Acesso em: 06 maio 2018.
- RIGNEL, D.G.S.; CHENCI, G.P.; LUCAS, C.A. Uma introdução à lógica fuzzy. *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica*, v. 01, n. 01, 2011. Disponível em: <http://www.logicafuzzy.com.br/wp-content/uploads/2013/04/uma_introducao_a_logica_fuzzy.pdf>. Acesso em: 10 set. 2017.
- RODRIGUES, M. *Microsoft explica episódio com chatbot racista e diz que Tay deve voltar*. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/inteligencia-artificial/102835-microsoft-explica-episodio-chatbot-racista-diz-tay-deve-voltar.htm>>. Acesso: 1 maio 2016.
- ROQUE, A. *Introdução a Neurociência Computacional*. Disponível em: <<http://sisne.org/Disciplinas/Grad/IntrodNeurocComput/McCulloch-Pitts%20e%20Hebb.pdf>> Acesso: 18/03/2018
- ROSSET, C. *Lógica do pior*. Rio de Janeiro: Espaço e Tempo, 1989.
- RUSSEL, S.; NORVIG, P. *Inteligência Artificial*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013
- SALATIEL, J.R. *Sobre o conceito de acaso em Charles S. Peirce*. 2008. 176 f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Departamento de Filosofia, PUC-SP, São Paulo. 2008.

SANDRI, S.; CORREA, C. Lógica nebulosa. In: *V Escola de Redes Neurais*, Conselho Nacional de Redes Neurais, p. c073-c090, 19 jul. 1999, ITA, São José dos Campos – SP. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/ensino/cpe717-2011/curso_ERN99_fuzzy.pdf>. Acesso em 10 set. 2017.

SAVIANI, D. *História das idéias pedagógicas no Brasil*. Campinas: Autores Associados, 2007.

SADIN, E. *La humanidad aumentada: la administración digital del mundo*. Buenos Aires: Caja Negra, 2017.

SEARLES, J. *Mentes, cérebros e programas*. São Paulo: FFCLH-USP, 2011.

SCHANK, R.; BIRNBAUM, L. Aumentando a inteligência. In: KHALFA, J. A *natureza da inteligência*. São Paulo: Editora UNESP, 1996.

SILVA, F.L. Conhecimento e razão instrumental. São Paulo: *PSICOLOGIA USP*. v. 8 n. 1, p. 11-31, 1997. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65641997000100002>. Acesso em 20 ago. 2017.

SKINNER, B.F. *Tecnologia do ensino*. São Paulo: EPU-EDUSP, 1972.

STENBERG, R.J. *Psicologia cognitiva*. Porto Alegre: Artes Médicas, 2000.

TEIXEIRA, J.F. *Mentes e máquinas*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

TERCEK, R. Vaporized: Solid Strategies for Success in a Dematerialized World. 2015. Disponível em: <<https://vaporizedbook.com/>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

THIRD Space Learning. [s/d]. Disponível em: <<https://thirdspacelearning.com/>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

TORRANO, J. *Teogonia: a origem dos deuses*. São Paulo: Iluminuras, 1995.

TÜRCKE, C. *Hiperativos! Abaixo a cultura do déficit de atenção*. Rio de Janeiro/São Paulo: Paz & Terra, 2016.

_____. *Sociedade excitada: filosofia da sensação*. Campinas: Editora da Unicamp, 2010.

_____. *Filosofia do sonho*. Ijuí: Ed. Unijuí, 2010.

VINYALS, O.; LE, Q.V. *A Neural Conversational Model*. Disponível em: <<http://arxiv.org/pdf/1506.05869v1.pdf>>. Acesso em: 1 maio 2016.

ANEXO I

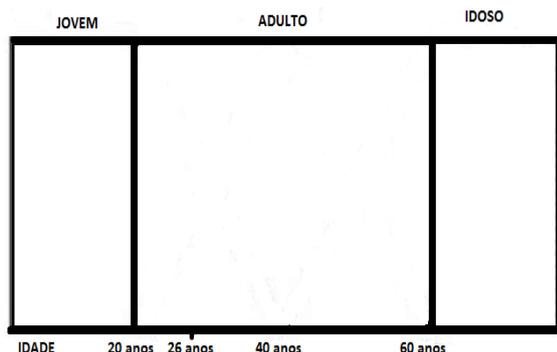
LÓGICA FUZZY E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A lógica trabalha com regras de combinação entre símbolos. Partindo dos princípios de identidade, não contradição e terceiro excluído, as lógicas clássicas trabalham como cálculos proposicionais em que admitem apenas dois valores: falso (0) ou verdadeiro (1). Noções frequentes no modo de pensar do senso comum como “talvez”, “quase”, “perto”, “alto” “velho”, “muito”, por carregarem uma certa vagueza e imprecisão, não são passíveis de representação pela lógica clássica. Nela um determinado objeto, ou pertence a uma classe/conjunto, apresentando valor (1), ou não pertence a classe/conjunto, apresentando o valor (0).

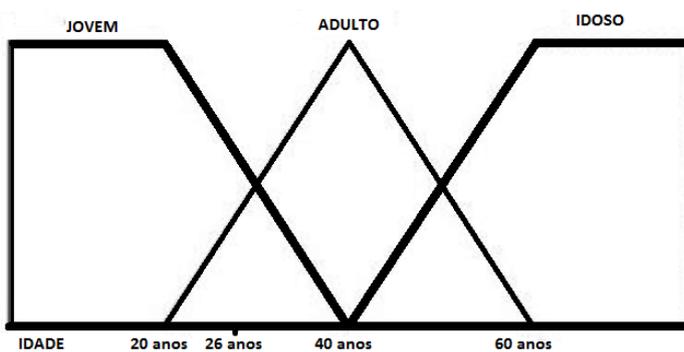
Em 1920, Jan Łukasiewicz (1878–1956) elaborou uma lógica adjetivada de multivalorada ou trivalente na qual estava incluída a noção de graus de pertinência que permitia um gradiente de valores entre (0) e (1). Partindo das contribuições de Łukasiewicz, no ano de 1965, o professor de ciências da computação da Universidade da Califórnia, Lofti Zadeh, publicou o primeiro artigo sobre a lógica fuzzy.

Considerando classificações relacionadas à idade, podemos usar, como exemplo, para diferenciar a lógica clássica da fuzzy, uma classificação de idades contendo três classes: jovem, adulto e idoso. Na lógica clássica, uma pessoa com uma idade específica seria classificada em uma determinada classe apenas, ou ela seria considerada jovem, ou adulta, ou idosa. Na lógica fuzzy, uma pessoa poderia apresentar graus de pertinência referente às diferentes classes. Uma pessoa de vinte e seis anos, por exemplo, pode ter um grau de pertinência que a considere um pouco jovem (0,6) e simultaneamente ter um outro grau de pertinência que a considere um pouco adulta (0,4).

LÓGICA CLÁSSICA



LÓGICA FUZZY



Entre os aparelhos que contêm programações envolvendo lógica fuzzy estão desde eletrodomésticos, como aspiradores de pó (relacionando potência de aspiração e quantidade de pó), máquinas de lavar (relacionando quantidade de roupa e de sujeira com a quantidade de sabão a ser utilizada), geladeiras (regulação da temperatura), câmeras fotográficas com ajuste de foco automático, até os controles de processos industriais e o mercado financeiro.

Modelos elaborados pela lógica fuzzy comportam representações ambíguas, imprecisas e incertas presentes em interpretações subjetivas de um fenômeno. Em expressões como “aquela pessoa é alta”, “a roupa está um pouco suja”, “está chovendo forte”, “ele é um pouco jovem”, “está acabando a gasolina, mas ainda é possível andar mais um pouco com o carro”, ao manifestarmos nossas vagas impressões do mundo, pela linguagem, fornecemos variáveis linguísticas com informações parciais de relações entre elementos da realidade. Estas informações difusas podem ser modeladas logicamente no formato de raciocínios que admitem diferentes graus de incerteza.

Para que máquinas consigam simular com um pouco mais de fidedignidade a complexidade da inteligência humana, elas devem ir além da rigidez da lógica clássica. O pensamento do homem não depende da certeza absoluta para ocorrer, sendo marcado por experiências ambíguas, percepções nebulosas e sensações difusas. A lógica fuzzy, ao extrair ordens que formalizam matematicamente nossa inexatidão, permite que máquinas operem não apenas respondendo a cálculos precisos, mas também a muitas de nossas vagas correlações intuitivas expressas linguisticamente pelas palavras.

ANEXO II

GLOSSÁRIO

BASEADO NA TRADUÇÃO DE TERMOS PRESENTES NO RELATÓRIO DA PEARSON SOBRE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO

ALGORITMO – uma lista definida de etapas para resolver um problema. Um programa de computador pode ser visto como um algoritmo elaborado. Na inteligência artificial, um algoritmo geralmente é um pequeno procedimento que resolve um problema recorrente (LUCKIN et al., 2016, p. 14).

APRENDIZAGEM DA MÁQUINA – sistemas informatizados que aprendem a partir dos dados, permitindo-lhes fazer previsões cada vez melhores (LUCKIN et al., 2016, p. 14).

TEORIA DA DECISÃO – o estudo matemático de estratégias para a tomada de decisão ideal entre opções que envolvem diferentes riscos ou expectativas de ganho ou perda dependentes do resultado (LUCKIN et al., 2016, p. 14).

AMBIENTES ADAPTATIVOS DE APRENDIZAGEM – um ambiente de aprendizagem digital que adapta abordagens e materiais de ensino e aprendizagem às capacidades e necessidades dos alunos individuais (LUCKIN et al., 2016, p. 18).

MODELOS – representam algo do mundo real em um sistema ou processo de computador para auxiliar cálculos e previsões (LUCKIN et al., 2016, p. 18).

HAPTICOS – qualquer forma de interação envolvendo toque. No caso da inteligência artificial voltada à educação, isso pode ser algo como uma vibração de smartphone para uma resposta correta (LUCKIN et al., 2016, p. 19).

METACOGNIÇÃO – a metacognição às vezes é definida simplesmente como “conhecer o pensamento de alguém”. Tem dois elementos: estar ciente em relação ao próprio pensar e poder controlar ou regular este pensar (LUCKIN et al., 2016, p. 21).

MINERAÇÃO DE DADOS EDUCATIVOS – o desenvolvimento e o uso de métodos para analisar e interpretar os “grandes volumes de dados” que provêm de sistemas de aprendizagem baseados em computador e de sistemas administrativos e de gerenciamento de escolas ou universidades (LUCKIN et al., 2016, p. 24).

ANDAIME – no contexto da educação, o andaime é um método de ensino que permite que um aluno resolva um problema, realize uma tarefa ou alcance um objetivo por meio da redução gradual da assistência externa (LUCKIN et al., 2016, p. 24).

REDES NEURAIS – redes de conjuntos de dados interligados, com base em uma compreensão muito simplificada das redes neurais cerebrais (LUCKIN et al., 2016, p. 25).

MODELANDO MARKOV – uma abordagem usada na teoria da probabilidade para representar sistemas que mudam aleatoriamente (LUCKIN et al., 2016, p. 26).

PROCESSAMENTO SUPERFICIAL DE TEXTOS – um método de análise de texto que identifica — mas não “entende” — palavras particulares (LUCKIN et al., 2016, p. 34).

APRENDIZAGEM ANALÍTICA – as análises de aprendizagem são usadas para encontrar padrões em grandes conjuntos de dados, como os gerados por sistemas de aprendizado on-line, para permitir modelagem e previsão (LUCKIN et al., 2016, p. 35).

LEI DE MOORE – um termo computacional, estabelecido por Gordon Moore em torno de 1970, que afirma que as velocidades dos processadores, ou o poder de processamento geral para computadores, dobraria a cada dois anos (LUCKIN et al., 2016, p. 48).