

PROCESSOS SEMIÓTICOS E DE INFORMAÇÃO A SEMIÓTICA DA COMPUTAÇÃO

Mihai Nadin¹

(Tradução Priscila Borges)

Resumo

O processo de informação e o processo semiótico são complementares. Enquanto alguns aspectos da realidade física podem ser descritos de forma convincente em termos de informação – entendida como uma expressão de entropia –, aspectos relativos aos seres vivos suscitam descrições que incluem o significado da mudança. Semiótica é o domínio do conhecimento da representação e da interpretação. Em oposição a ideias reducionistas da semiótica discutiremos as tentativas de envolvê-la na análise e no desenho de sistemas de informação de interações humano-computador (IHC) e de linguagem de programação.

Palavras-chave: antecipação, fundamentação, sistemas de informação, representação, semiose

Introdução

O tema deste artigo pode ser apresentado de maneira simples: Semiotistas defendem que o conhecimento da semiótica é relevante para a ciência da computação. Se é assim, então por que os cientistas da computação, com raras exceções, continuam ignorando a semiótica? Podemos reformular a questão: pode a semiótica contribuir para o conhecimento e para a prática da computação?

O fato de a matemática ser relevante para o processo digital é algo que não precisa ser provado. Computadores são máquinas de matemática automatizada. A lógica (pelo menos a lógica booleana) é igualmente relevante. É também indiscutível o fato de a física ser essencial na concepção e construção dos computadores. O mesmo é verdadeiro com relação à química, haja vista os processos pelo qual os *chips* são feitos, os VLSI (Integrações de escala muito larga [*Very Large Scale Integrations*]) são produzidos e os vários componentes (memória, dispositivo de I/O e etc.) são projetados. Além disso, pessoas envolvidas com ciência da computação buscam inspiração em modelos de várias áreas, biológicos, psicológicos, da ciência cognitiva, da ergonomia, dos estudos etnográficos, da sociologia e do design gráfico e de produto. A teoria da comunicação, que alguns identificam com a teoria matemática da comunicação de Shannon e Weaver (1949), é também considerada uma fonte de

1 antÉ – Instituto de Pesquisa em Sistemas Antecipatórios [*Institute for Reserch in Anticipatory Systems*], Universidade do Texas em Dallas. Email: nadin@utdallas.edu
Instituto Hanse de Estudos Avançados [*Hanse Institute for Advanced Studies*], Delmenhorst, Alemanha.

inspiração. Alguns cientistas da computação se interessam por teorias da linguagem (especialmente de linguagem formal) tendo em vista a compreensão do que é necessário para uma “comunicação” bem sucedida com a máquina. Mas e a semiótica? Se em algum momento ela aparecer nesse radar das áreas afins à computação, será como um *bip* e não como fundamento da ciência da computação, ao contrário do que defendem ou gostariam muitos semioticistas.

Há aspectos da computação nos quais a semiótica tem uma relevância relativamente maior, em particular, nas interações humano-computador (IHC). Mas mesmo na IHC, não há consenso real no que diz respeito à relevância prática das considerações semióticas ou à possibilidade de se aplicá-las. No curto artigo no periódico Comunicações de ACM (*Communications of the ACM*), Zemanek (1966) sugere em vão que a análise semiótica é relevante para a análise da linguagem de programação. Apesar de alguns teóricos (como Peter Bøgh Andersen, Berit Holmqvist, Jens F. Jensen, Ronald Stamper, Kecheng Liu) terem eventualmente se aventurado pelos sistemas de informação, eles não conseguiram produzir mais do que algumas considerações sem nenhuma relevância prática usando a terminologia semiótica, que é frequentemente definida com pouca precisão. Andersen (1990) publicou seu primeiro livro sobre o assunto e aprendeu programação para conseguir provar algumas de suas ideias. Em *Mente em Trabalho (Mind at Work)*, ele escreveu, “se um sistema for considerado uma teoria, sua programação textual deve ser interpretável como o tipo de postulado que estrutura a teoria” (Andersen, 2003, p. 9). Ele estava se referindo ao esforço de Nadin (1982) em utilizar a teoria semiótica sob uma perspectiva epistemológica ampliada. Enquanto esteve na Universidade de Aalborg, ele manteve uma bibliografia em semiótica e informática que eu espero que continue assegurada por alguém.

Semioticistas discutem processos simbólicos, enquanto outros, principalmente aqueles da inteligência artificial (IA), os praticam. Se essa sentença soa excessivamente drástica é porque ele descreve um estado de coisas que até agora não mudou, ao contrário de algumas afirmações ilusórias. Apesar de essa revisão destacar livros particulares – *Semiótica em Sistemas de Engenharia de Informação [Semiotics in Information Systems Engineering]* de Kecheng Liu (2005), *A engenharia Semiótica das Interações Homem-Computador [The Semiotic Engineering of Human-Computer Interaction]* de Clarisse Sieckenius de Souza (2005) e *A Semiótica da Programação [The Semiotics of Programming]* de Kumiko Tanaka-Ishii (2010) – estamos interessados numa perspectiva ampliada. A questão formulada no início desse artigo – A semiótica tem alguma utilidade para aqueles que trabalham com computação? – se estende aos autores e livros citados acima, mas não se limita às suas contribuições particulares.

Shannon entendeu semiótica melhor do que nós

A máquina de escrever na qual Shannon (ou sua secretária) escreveu seus pensamentos sobre computação não numérica tinha uma interface bastante simples. Depois de muitos anos de computadores com cartões perfurados, a IBM pegou as máquinas de escrever mecânicas que ela produzia com sucesso e as colocou (literalmente!) em cima de seus computadores. No contexto dado, isso foi uma decisão semiótica. É sempre mais fácil continuar algo (conhecimento e experiência acumulados) do que forçar novos meios e métodos aos seres humanos. (Isso corresponde à fase mimética das novas tecnologias.) Anos depois, Douglas Englebart inventou o mouse, outra decisão semiótica, que traduz coordenadas obtidas no espaço real para coordenadas no espaço representacional do monitor do computador. Dessa vez, o dispositivo introduziu um novo vocabulário de ações. Uma interrupção no processo, semelhante a dos interruptores elétricos em nossas casas, mudou a natureza dos comandos. De baseados em texto para baseados em imagem, de uma linguagem (comandos na língua verbal) para outra (visual). Também começou a mudar nossa condição cognitiva. E tantas coisas aconteceram depois disso. Antes que você soubesse, o mouse ganhou novas funções e tornou-se sem fio. E as mudanças continuam acontecendo nos dias de hoje, gestos e expressões controlam todos os tipos de programas. Um estudante de graduação pediu para fazer parte do meu grupo de pesquisa mostrando interesse e competência adquirida em interfaces afetivas, interações adaptativas e inteligentes das máquinas e navegação em realidade aumentada. A mente humana moldada por essas experiências é diferente daquelas dos seres humanos que usavam papel para escrever seus textos e também daquelas programadas pela linha de montagem (o método Taylorista para alcançar eficiência e consistência no desempenho). Ambientes ricos em informação não podem mais ser evitados.

Shannon não previu os desenvolvimentos técnicos particulares descritos acima. Seu texto (posteriormente intitulado *Computadores e Autômatos [Computers and Automata]*) faz referência à obra *Erewhon* de Samuel Butler (uma sátira social muito engajada), originalmente intitulada "Darwin entre as Máquinas [*Darwin among the Machines*]". Nos termos de Shannon, "na lógica às avessas do texto satírico, Butler vê as máquinas se envolvendo gradualmente com formas mais desenvolvidas" (Shannon, 1953, p. 1234). Em seguida ele faz uma boa previsão: "o potencial mais iminteressante dos computadores está na sua capacidade de processar operações não numéricas" (p. 1234). Quer dizer, "máquinas lógicas, máquinas de jogos e máquinas que aprendem" (p. 1234). Isso foi pensado mais de 60 anos atrás. Ao passo que atualmente os profetas da singularidade (Vernor Vinge e Ray Kurzweil) instigam nossa imaginação

com modelos de máquinas que têm habilidades mais desenvolvidas que as dos seres humanos que as criaram (superinteligência). A análise de Shannon aponta à computação como um fator que aumenta nossas habilidades. (Apesar de ter sido um visionário, ele não previu mudanças em nossas habilidades.) Isso pode soar fora de moda ou sem romantismo na ficção científica. Para sustentar seu argumento, ele tratou dos pormenores, mostrando como a substituição de equipamentos mecânicos por tecnológicos pela qual ele passou, poderia amparar a atividade de jogar damas, o aprendizado e funções autorreprodutoras. Ainda mais importante, este desempenho era uma expressão da complexidade – um termo que os “singularitas” ainda não aprenderam a escrever (quanto mais a entender). Shannon era um entusiasta das máquinas. Ele não excluiu a possibilidade de um robô ser eleito presidente dos Estados Unidos. O fato dele não mencionar um tema como o casamento entre seres humanos e robôs atesta os valores de sua época, não falta de imaginação.

Até agora, nenhuma semiótica evidente. A expectativa implícita é que os vivos (referência que Shannon faz aos seres humanos e animais) poderiam ter “mais capacidades e funções” (Shannon, 1953, p. 1234) que o resto do mundo. Além disso, entre os vivos vários fenômenos não só acontecem, mas ganham significado e o significado faz parte de sua identidade. Até mesmo aqueles que conhecem superficialmente o modelo de comunicação de Shannon podem perceber que a afirmação explícita de que transmissão de informação (que é comprovada pelos Laboratórios Bell) não depende de seu significado, mas sim das propriedades do canal é sintomática da distinção que Shannon faz entre o informacional e a semiótica. Ele dedicou-se à informação. “Uma diferença faz a diferença” (Gregory Bateson, Passos para uma Ecologia da Mente [*Steps to an Ecology of Mind*], 1972). Informação entendida como uma medida da redução de incerteza (entropia). No modelo de Shannon, informação é *bits* por segundo (ou *bytes*, ou *kilobytes* etc. por unidade de tempo), um produto sujeito à logística das redes complexas (rede elétrica, de fibra ótica, sem fio etc.), mas sem relação com o significado. O *bit* descreve o grau de incerteza decrescente, no qual algo com probabilidade de 50% de ocorrer efetivamente ocorre (o clássico jogo de probabilidade de cara ou coroa com uma moeda). Um evento com probabilidade de 25% (um quarto) produz 2 *bits* de informação. É por isso que depois de Shannon ter apresentado para a comunidade científica os métodos de codificação das mensagens em zeros e uns (muito parecido com o que Leibniz havia proposto séculos antes), ele se dedicou à computação simbólica. Ele até chegou a ser um membro contribuidor da “turma” (junto com John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester) que criou a Conferência de Dartmouth, na qual se considerou a inteligência artificial um domínio do conhecimento distinto. Eles foram guiados pela semiótica, isto é, olhavam para o uso da linguagem

para formar novas abstrações e conceitos. A fascinação de Shannon por brinquedos e jogos (ele escreveu precocemente um programa de xadrez, ver Shannon, 1993) se sobrepôs ao árduo trabalho científico e fez dele um *homo ludens* (homem jogador), obviamente uma forma particular do que Feliz Hausdorff (1897, escrevendo como Paul Mongré) chamaria de *zoon semiotikon* (animal semiótico).

A atividade de Shannon mostra claramente uma coisa, os processos de informação, para os quais ele forneceu um fundamento matemático, são complementares ao processo semiótico. Para usar a metáfora da moeda, frequentemente associada à semiologia de Ferdinand Saussure (1968), um lado é da informação, isto é, dados quantificados, o outro, da semiótica, uma distinção qualitativa dada pela interpretação. Juntas elas formam um todo coerente, exemplificado por, entre outras coisas, a chamada computação. (Saussure fez a analogia com uma folha de papel, ver p. 254.) O sistema de luzes verde, amarela e vermelha do semáforo é um bom exemplo para a relação entre informação e significado. Essas cores têm um significado definido na lei de trânsito. Elas também estão sujeitas à alternância, isto é, podemos adicionar valor informacional à troca das luzes (ao dirigir espera-se a mudança de luz verde para vermelha). O número de *bits* correspondentes ao ritmo de alternância não está relacionado ao significado dos três valores. Contudo, semáforos inteligentes são capazes de promover a melhor alternância (para manter o fluxo de carros sem ignorar os pedestres).

Para deixar ainda mais clara a relação entre o processo de informação e o processo semiótico, destacamos o programa de xadrez de Shannon que foi precursor de tudo isso. O jogo codificava tanto a informação (as regras, as ações), quanto o significado (o que significa colocar em perigo um cavaleiro? o que é um empate? o que é um vencedor?). Botvink, o campeão de xadrez da época, venceu Shannon manualmente. Hoje, programas de computadores podem derrotar os melhores jogadores. O resultado, no entanto, é um pouco desapontador, os jogos não são empolgantes, mas sim precisos. Os programas atuam no espaço informacional – vastos recursos computacionais podem ser organizados ao calcular vários movimentos antecipadamente. Essa biblioteca documenta situações reais com as quais um grande número de jogadores se deparou ao longo do tempo. Os dados armazenados podem ser utilizados contra qualquer desafiante. O espaço semiótico é secundário. No entanto, xadrez é mais do que isso, é melhor, pois envolve não só informação, mas também significado e criatividade. O jogo codifica a cultura, uma sociedade organizada hierarquicamente, na qual os conflitos são resolvidos de acordo com regras rígidas. A dimensão cultural, expressa na beleza do jogo é perdida quando o xadrez é reduzido ao processamento de informação. O mesmo aplica-se à criatividade. Independentemente do domínio da expressão – música, multimídia,

teatro, dança, poesia e tantos outros – a criatividade envolve informação, mas também suscita significado. Ela convida à interpretação. Caso contrário, ela faz pouco sentido. Jogar tinta em uma tela não transforma uma pessoa em Jackson Pollock! Há um significado na pintura de ação – as imagens são testemunho de sentimentos e emoções e não de como as coisas se parecem quando as olhamos ou quando tiramos fotos delas. Apesar de algumas obras de arte modernas aparentarem poder ser feitas por qualquer criança, não quer dizer que toda criança possa produzir obras de arte significativas, isto é, expressões da intenção de compartilhar algo. A consciência estética, como a consciência semiótica, qualifica a ação em significante ou insignificante (como frequentemente é o caso).

O que é o domínio de conhecimento da Semiótica?

Liu estudou ciência da computação e gestão de informação. Ele está convicto de que “a palavra semiótica vem da palavra grega para sintoma,” (Liu, 2005, p. 13). Depois de várias outras afirmações duvidosas (ex. “Ferdinand de Saussure (...) fundou a semiologia, uma escola europeia de semiótica”), ele escreve: “A semiótica tem três campos distintos: sintática, semântica e pragmática,” (Liu, p.13). A partir de então, não há mais semiótica, ou semiótica de qualidade no seu livro. Nos últimos dois anos, eu estive em contato com alguns estudantes de Liu. Um deles me explicou que “o interesse dele está na aplicação dos métodos de semiótica organizacional na análise e desenho de sistemas” (conversa pessoal, 21 de abril de 2011).

Sieckenius de Souza e Tanaka-Ishii vêm da linguística. O enfoque delas na semiótica é mais preciso. Sieckenius de Souza escreve sobre “o estudo dos signos, dos processos de significação e de como signos e significação participam do processo de comunicação” (Sieckenius de Souza, 2005, p. 3). Tanaka-Ishii defende que “A questão mais fundamental da semiótica (...) é aquela da unidade básica do signo” (Tanaka-Ishii, 2010, p. 26). Liu dedica-se aos sistemas de informação. Ronald Stamper (Twente, Holanda) iniciou precocemente (em 1973) o que hoje nós chamamos sistemas baseados em TI (tecnologia da informação) e, em 1989, Liu se juntou à sua equipe. Sieckenius de Souza está interessada na interação humano-computador, Tanaka-Ishii na programação de linguagens. Se não fosse pela palavra semiótica – algumas vezes usada de modo mais que aproximativo – estes três livros não teriam nada em comum. (Não significa coisa alguma que dois deles tenham o selo da Editora da Universidade de Cambridge.) O fato dos computadores estarem no centro de suas pesquisas também tem relevância marginal. Nenhum deles estava preocupado em definir computação por uma perspectiva semiótica. Como esse não é o objetivo explícito deles, repreender (o que é diferente de criticar) a ausência de tal assunto não é justificável. Atualmente na computação domina a perspectiva do

processamento de informação. Contudo, cientistas computacionais perceberam que ao aceitar essa redução eles perdem aspectos associados ao que eles chamam de *dimensão simbólica* (ver Conery, 2010). Isto é, interpretação e resultado dada a necessidade de se trabalhar com informação significativa.

Mas será possível indicar aspectos semióticos da computação sem tentar definir uma perspectiva mais ampla da semiótica? E mais, uma vez que a teoria da informação não precisa defender seu domínio de conhecimento (ela é uma ciência exata), podemos assumir que esse também é o caso da semiótica? (Alguns cientistas irão argumentar que a definição de informação não é aceita de modo universal). Os três autores fundamentam-se em concepções completamente diferentes do que semiótica deve ser. Nesse sentido, eles representam toda a disciplina. Contudo, para aqueles que acompanham artigos e livros em vários contextos da semiótica é surpreendente que não exista um entendimento comum do que é a semiótica. A aceitação de que a semiótica trata de signos pode por vezes ser vista como senso comum (ou banalidade). Mas isso também não ajuda, pois não há consenso sobre o que é essa entidade chamada signo. Na maioria das vezes, definições prévias reutilizadas, mas não de maneira precisa como um solista leria um placar. Ao contrário, essas definições tomam a forma de memórias, de um tempo reconstruído a partir de interpretações criadas por musicistas que não sabem como ler um placar ou não se interessam por lê-lo. Com o intuito de compreender a unidade entre informação e semiótica, isto é, entre processar dados e conhecer o significado (como pré-requisito para atividades práticas), os pesquisadores decidiram definir os *relata*, isto é, as entidades postas em relação. Um famoso físico, John Archibald Wheeler, insistiu no significado de informação (ver Davies, 2004, pp. 8-10). Um *bit* deve referir-se a algo e nós precisamos entender essa referência. Um *click* do contador de Geiger está conectado ao conhecimento (ele exemplifica: O átomo se desintegrou).

Aqueles interessados em compreender a semiótica aplicada a atividades práticas se apoiam em uma grande quantidade de conhecimento compartilhado. Por exemplo, a experiência acumulada nas várias formas de interação tanto entre indivíduos, como dentro de comunidades é uma fonte de conhecimento. Interações entre seres humanos e o resto do mundo são também relevantes para definir o domínio de conhecimento da semiótica. A epistemologia reflete o esforço em encontrar rastros de questões fundamentais em atividades práticas. Não temos acesso à mente daqueles que precocemente transcenderam a imediaticidade de suas ações e olharam para além no espaço de sua existência e no tempo de suas vidas. Mas nós temos acesso ao processo pelo qual recém-nascidos e filhotes (humanos e animais) adquirem experiência com representações e como eles as criam conforme suas próprias necessidades ou de acordo com as circunstâncias. Além disso, sabemos (ver Mitchell,

2009) que a mente humana é um testemunho vivo da interação entre mentes: as três regiões ativas mais desenvolvidas do cérebro estão especificamente a serviço de compreender “o que se passa na mente dos outros” (Mitchell, p. 79). Essa compreensão não é sobre a química ou os impulsos elétricos cerebrais, mas sobre o significado das ações humanas e a percepção de futuro. Resumindo, é uma semiótica baseada em quais indivíduos se agregam para alcançar um objetivo, não no que eles buscam. Semiótica é, nesse contexto, definida com foco na representação (não nos signos), mais precisamente, na capacidade de “representar estados mentais nos outros” (Gallese, 2001, p. 33).

Conhecimento, na sua forma mais simples, origina-se na percepção de que existe algo mais do que imediaticidade. Isso se aplica à física, ao questionar como o mundo se comporta, à matemática, à lógica e à semiótica. A geometria se origina em atividades relacionadas ao compartilhamento de espaço. Tais atividades podem ser: reivindicar porções de terra vizinhas, tomar posse, iniciar ou participar de trocas, produção, comércio e assim por diante. A variedade de formas pela qual a geometria participa de tais atividades é prova de que ela é desenvolvida conforme a necessidade. Não existem pontos, linhas ou superfícies no mundo – essas são abstrações das quais a geometria computacional se apropriou. Não existem números no mundo, apesar de existirem matemáticos (Livio [2003] é um deles) convencidos de que números existem assim como existem pedras e plantas. Do mesmo modo, há semiotistas que leem os signos da natureza – ou outros signos, alguns não vale a pena mencionar – ou que acreditam que o que eles chamam de signos existe na realidade, independentemente deles serem interpretados como tais ou não. Medir uma superfície, isto é, introduzir uma escala, é uma atividade relacionada a tarefas práticas. Isso se torna mais criativo conforme criam-se e utilizam-se mais formas de qualificar as características de uma área. Medir é facilitar a substituição do real (aquilo que é medido) pela medida, isto é, a representação do que foi medido. Viajar, orientar-se e navegar são todas atividades derivadas da relação entre geometria e semiótica. Na expansão da imediaticidade de um lugar para sua representação, a geometria e a semiótica se fundem. A experiência de observar as estrelas e padrões repetitivos no ambiente se traduz em construções, que são integradas em padrões de atividade. Rosen (1985, p. 155) observou “pastores que sem motivo traçavam um escorpião nas estrelas” (sendo o assunto de interesse as relações entre os componetes). Ele também levantou a questão da constatação: “Antepassados podiam ver a rotação da Terra a cada manhã simplesmente ao observar o céu” (Rosen, p. 201). Rosen sugere, inspirado na definição de Hausdorff de animal semiótico (ao qual retornaremos), que as constatações que variam de pessoa para pessoa não nos conduzem a inferências uniformes, não são automáticas. Um observador no passado

"não poderia entender o que ele via", assim como "nós não conseguimos entender o que cada organismo nos diz,"(Rosen, p. 201). Isso porque não tínhamos conhecimento para isso. Baseado nesses pensamentos do senso comum, podemos fazer a primeira observação, a "linguagem" na qual os fenômenos (astronômicos, biológicos ou qualquer outro) "falam" conosco é a da semiótica. De modo mais geral, todo o nosso conhecimento, do mais concreto ao mais abstrato, se incorpora nas várias linguagens que definem as ciências. Cada linguagem científica inclui a razão de ser de seu respectivo domínio de conhecimento. A matemática, em sua condição mais compreensível como expressão abstrata do conhecimento, é uma visão do mundo conforme ele muda. A ciência da computação é uma visão do mundo a partir da hipótese de que todas as coisas são redutíveis ao processamento de informação (a própria vida é uma computação, parte da grande computação que compõe o universo). Von Neumann (1963) não foi o único a expressar esse ponto de vista. A semiótica da vida é quase sempre incorporada no processamento de informação. O meta-nível do conhecimento é reabsorvido em cada domínio específico do conhecimento.

Não faz parte do escopo desse artigo reescrever a história da semiótica. Não obstante, aqueles conhecedores da história – os três autores dos livros discutidos não dariam conta nem de uma parte dessa história – sabem que não podemos deixar de definir o domínio de conhecimento da semiótica e, além disso, identificar seus métodos específicos. Sem entender o que e porquê pesquisamos algo e, ainda mais, que métodos utilizamos, não há conhecimento a ser explicado.

A semiótica começou e fracassou muitas vezes. O diálogo *Crátilo* (360 BCE/2010) de Platão apresentou as leis (nomotetas) que a semiótica deve descrever (certamente nomear é a ação, mas em *Crátilo*, nomear corresponde à causa da nomeação). A semiótica não é em si mesma a expressão da lei, mas sim um meio de evidenciá-la. Vemos que o nome está associado à força (dinâmica) e lemos sobre a relação entre coisas e nomes. Na essência está o discurso, essa é a forma como a semiótica se apresentava naquela época. Aristóteles em *Poética* (350 BCE/1961), as contribuições dos Estóicos e de Sextus Empiricus (*Adversus Mathematicos, Commentaries on the Stoics*, VIII) aproximadamente 450 anos depois, todos esses escritos permanecem rascunhos, coleções de pensamentos dignos de nosso esforço intelectual para compreendê-los, mas sem nenhuma consequência para aqueles envolvidos na área da computação. O fato de Brenda Laurel, na época uma aluna de doutorado com quem me encontrei durante minha aventura computacional na Universidade do Estado de Ohio (Ohio State University), usar em sua tese a mimese aristotélica para abordar a questão da interação humano-computador contradiz minha afirmação, pelo menos formalmente. (O popular jogo eletrônico de múltiplos jogadores chamado *Mimesis* não

tem nenhuma relação com esse assunto.) Na realidade, nem o significante (*lekton*), nem Santo Augustinho (397/1958) *De doctrina christiana*, nem Santo Anselmo Monologion (1075-1076, ver Williams, 2007), nem as explorações arábicas (Avicenna em particular) e nem a *Mimesis* de Aristóteles poderiam nos ajudar a compreender melhor o que significa computar. Sim, seus conceitos (nomeei apenas alguns) são marcas de questões levantadas anteriormente, em particular: Como pode algo em um mundo no qual as ações asseguram nosso desempenho (sobrevivência) ser “duplicado” na mente? As questões de Lambert a cerca da conexão entre pensamento e coisas pertence à mesma categoria. Já a percepção de que as mentes questionam infinitamente e de modo recíproco foi levantada relativamente tarde (ver Nadin, 1991, em particular a origem da palavra inglesa *mind*).

A título de esclarecimento, não é a história antiga nem a mais recente que tem relevância para esse domínio, mas sim o empenho em compreender a necessidade da semiótica, se essa necessidade de fato existir. Nenhum dos livros discutidos nesse artigo – sobre esse assunto, muito poucas das contribuições semióticas para a área da computação – atestam tal necessidade. Apesar de termos uma volta da semiótica na Idade Média, (Roscelin, Guillaume de Champeaux, Garland, Abélard), o cenário não mudou. Quem, se é que alguém, encontraria em Jean de Salisbury (*Metalogicon*) argumentos para a relevância da semiótica? Na melhor das hipóteses, encontramos marcas de outras questões nas reflexões de Occam, William de Shyreswood, como aquelas relacionadas à natureza das abstrações. Lambert d'Auxerre e Roger Bacon fazem referência ao que é necessário para alcançar a clareza. Sem dúvida, Hobbes (*Leviatã*, 1650/2010), a *Logique de Port Royal* (Arnaud & Nicole, 1662/1964) e John Locke (formas de raciocínio e, principalmente, A divisão das Ciências [*The division of the Sciences*], 1690/1979) são precursores do moderno renascimento da semiótica associada a Ferdinand Saussure e Charles Sanders Peirce. Mais importante, especialmente dado o nosso foco na computação, é o trabalho hercúleo de Leibniz. Não há semiótica em si em Leibniz, mas há a *língua adâmica* (uma língua universal na qual tudo pode ser traduzido) e o *calculus ratiocinator*, que estava provavelmente muito a frente das máquinas informáticas que ele possuiu (e que alguns acreditam terem sido construídas por ele). Tão diferentes quanto as visões de Leibniz e Peirce são, isso é o mais perto que chegamos de compreender porquê a semiótica pode ser significativa para a compreensão da computação ou para o funcionamento da mente humana.

É importante, mesmo para aqueles que não se interessam pela revisão histórica, a distinção entre linguagem associada a convenção ou lei (*nomoi*) e linguagem associada a natureza (*phusei*). Ninguém espera que os semioticistas atuais se tornem historiadores. Contudo, na ausência de uma compreensão mais ampla dos conceitos,

continuaremos a explorar, de olhos vendados, novos continentes (de pensamentos e ações). Eu não duvido que Saussure e Peirce são referências válidas, mas eu sugiro que a *diacronia* de Hermann Paul conduz muito mais à compreensão da dinâmica específica da linguagem. Esse é apenas um exemplo. Nikolai Sergeyevitch Troubetzkoy pode ser outro, assim como Louis Hjelmslev.

Computadores antes do computador

Se a matemática ou a lógica (ou ambas) são linguagens universais, é possível conceber uma máquina para automatizar a atividade prática que caracteriza a matemática? Antes da máquina, havia, claro, os computadores humanos:

Figura 1²: O que um "computador" deveria saber

A COMPUTER WANTED.

WASHINGTON, May 1.—A civil service examination will be held May 18 in Washington, and, if necessary, in other cities, to secure eligibles for the position of computer in the Nautical Almanac Office, where two vacancies exist—one at \$1,000, the other at \$1,400.

The examination will include the subjects of algebra, geometry, trigonometry, and astronomy. Application blanks may be obtained of the United States Civil Service Commission.

The New York Times

Published: May 2, 1892

Copyright © The New York Times

Nota: O ser humano como computador é anterior à automação da matemática.

Leibniz e Peirce foram, em suas respectivas épocas, bons matemáticos. Desse modo, eles entenderam o que era necessário para ser um bom computador, homem ou máquina. Entre os pré-requisitos estavam:

- compreensão de representação – operar objetos reais é diferente de operar representações;
- compreensão do significado de operar representações;
- a habilidade para avaliar as consequências das ações, isto é, o desempenho.

² Necessita-se de um computador.

Washington, 1 de maio. – No dia 18 de maio em Washington e, se necessário, em outras cidades, ocorrerá um concurso público para o cargo de computador no Escritório do Almanac Náutico para preencher duas vagas, uma com salário de 1000 dólares e a outra de 1500 dólares.

As áreas do concurso incluem álgebra, geometria, trigonometria e astronomia. Formulários para inscrição devem ser retirados no comitê de serviço social dos Estados Unidos.

New York Times

Publicado em 2 de maio de 1892

Peirce contribuiu para o assunto com o texto "Máquinas Lógicas [*Logical Machines*]", que foi publicado no primeiro número do periódico *The American Journal of Psychology* (Novembro 1887, pp. 165-169). Ele fez referência à "Viagem à Laputa" (da Viagem de Gulliver), em especial a uma máquina para desenvolver a ciência automaticamente. A ironia de Jonathan Swift sobre Aristóteles e Bacon se contrasta à lógica das máquinas de Jevons e Marquand (que foi aluno de Peirce) e às máquinas matemáticas de sua época (máquina somadora de Webb e máquina analítica de Babbage). O assunto, no entanto, é a "natureza do processo de raciocínio" (Peirce, p. 165). Aqueles interessados em se aprofundar no assunto irão gostar da apresentação detalhada da lógica em ação nessas máquinas. Para quem não tem muito tempo (e essa é a regra atualmente), seguem observações bastante reveladoras:

- Toda máquina é uma máquina de raciocínio
- Experimentos tornam evidente "a razão objetiva incorporada nas leis da natureza"
- Toda máquina de raciocínio... tem duas incapacidades inerentes:
 1. é destituída de toda originalidade e de toda iniciativa, ela não pode encontrar seus próprios problemas;
 2. ela pode executar somente as tarefas para a qual ela foi concebida (Peirce, 1887, pp. 168-169).

Atenção: Nesse artigo de Peirce, não há nada que sugira que a semiótica possa ter qualquer relevância para compreender o que são as máquinas descritas por ele. Devemos provavelmente entender que o domínio de conhecimento da semiótica não inclui máquina alguma, nem o ábaco nem a mais recente materialização da computação digital ou analógica. Mas ele inclui o que as máquinas podem *processar* e *computar*, uma vez que informação e significado juntos podem se tornar o objeto de operação das máquinas. Além disso, as máquinas teriam que reunir aspectos determinados e indeterminados do processo cognitivo. Reciprocamente, o domínio de conhecimento da computação inclui a semiótica, tanto implicitamente quanto explicitamente, pois não obstante a natureza da computação, ela requer representações e interpretações e assume interações mediadas por representações com seres vivos. De fato, quando as máquinas operam, elas o fazem em entidades reais (polir diamantes, fazer farinha do grão de trigo, produzir *chips* etc.). A computação opera na *re(a)presentação* do real até mesmo quando elas comandam máquinas de processamento. Independentemente do seu grau de sofisticação, o resultado da semiose, isto é, do processo semiótico, é sempre sujeito a um novo

processo de interpretação para uma nova semiose. Por favor, atentem para a distinção entre as variedades de máquinas.

Contudo, Peirce não seria Peirce se ele não revisasse suas ideias desenvolvidas no texto "Máquinas Lógicas". Sobre isso, Lauro Frederico Barbosa da Silveira (1993) aponta as dificuldades que os pesquisadores encontram quando eles se referem a C. S. Peirce (qual deles?) devido às revisões que ele mesmo fez de seu pensamento. Ele discute as máquinas semióticas, um conceito baseado nas máquinas lógicas, e identifica o aprendizado como sendo uma característica de tais máquinas. Há muito para se descobrir e muito para se entender.

Grau de necessidade

Esse é um procedimento lógico bastante simples, imagine que a semiótica desaparecesse. Dada sua relativa incapacidade de tornar possível um conhecimento, que de outro modo não estaria disponível, ela efetivamente morreu várias vezes. Peguei o livro de Liu, ignorei as falhas terminológicas e o reescrevi (o milagre do processamento digital!), deixando de lado a terminologia semiótica. O resultado é que o livro permaneceu basicamente o mesmo. O foco de Liu é na informação. Quando o autor define semiótica organizacional (Liu, p. 19), a expectativa é que os conceitos e métodos serão claramente definidos, mas não é isso que acontece no texto. Ele escreve sobre as divisões da semiótica (confundindo níveis de análise semiótica com ramos da semiótica). E a partir de referências ao trabalho de Stamper (1973), outros ramos da semiótica são introduzidos: físico ("interessado nos aspectos físicos dos signos no nível de sinais e marcas" [*sic*, Liu, 2005, p. 26]), empírico ("o estudo de propriedades estatísticas dos signos quando diferentes mídias físicas e dispositivos são usados" Liu, p. 26) e o mundo social ("onde os efeitos do uso do signo em assuntos humanos é estudado," Liu, p. 27). Bom seria que a navalha de Occam estivesse em ação quando os autores (Liu e Stamper não são exceções) avançam multiplicando os conceitos. Eles não têm consciência do tremendo trabalho que já foi feito para reduzir a variedade de entidades semióticas àquelas que são realmente necessárias para descrever o processo semiótico coerentemente e consistentemente. Mas claro, estamos todos autorizados a conceber nossa própria terminologia e a sugerir novos métodos.

Não há expectativa de um alinhamento dogmático que censure de algum modo o cientista. Mas os cientistas são também responsáveis por seu esforço em elucidar aspectos simples ou complexos da realidade. Além do mais, quando um pesquisador constrói a partir do trabalho de outro, especialmente no que se refere à terminologia, é dever dele para com o autor preservar a integridade. Permita-me sugerir que Kecheng Liu seria mais bem sucedido em seu trabalho se não tivesse usado a

terminologia semiótica. Ele oferece "Um exemplo de Análise Semiótica" (como uma organização trabalha como um sistema de informação). Devo limitar a citação (não, eu não a inventei), mas se vocês quiserem um bom momento de *Erewhon*, procure os chamados "seis aspectos semióticos" por inteiro "No *nível físico*, o telefone deve ser conectado à linha de telefone por meio de uma operadora de serviços telefônicos. No *nível empírico*, os signos de voz serão convertidos em sinais eletrônicos (ou óticos) e transmitidos entre dois telefones" (Liu, 2005, pp. 35-36).

Nesse exemplo não há semiótica. No capítulo chamado "Da análise semiótica ao Desenho de Sistemas" o assunto se transforma na relação entre modelos semânticos e projeto de base de dados. Não há porque continuar discutindo essas questões sem sentido sobre uma (não existente) semiótica (ou um álibi semiótico). Isso não colabora com a nossa investigação mais ampla sobre qual é a relevância da semiótica. É possível que Liu seja competente em sistemas de engenharia e que os pareceristas do texto tenham achado que eles fizeram um favor à semiótica. Mas eles não fizeram!

Sem dúvida alguma, os livros de Sieckenius de Souza e Tanaka-Ishii necessitam da perspectiva semiótica. Pelo menos, elas defendem bem seu ponto de vista. Seus respectivos argumentos, apesar de serem obviamente muito diferentes da perspectiva linguística, são convincentes. O livro *Engenharia Semiótica* é uma contribuição original que nós só podemos esperar que continue a encontrar seu caminho na comunidade IHC. Depois desse primeiro livro, Sieckenius de Souza publicou *Métodos Semióticos para Pesquisa Científica em IHC [Semiotic Methods for Scientific Research in HCI]* junto com Carla Leitão (2009). Seu trabalho resultou em uma metodologia adotada pela comunidade de IHC e foi reconhecido ao vencer a premiação *Rigo Prize* em 2010. O método de inspeção semiótica (MIS) e o método de avaliação comunicativa (MAC) incorporam experiência nos aspectos qualitativos de IHC. Muitos exemplos esclarecem de modo convincente os objetivos e procedimentos de avaliação utilizados para descobrir em que medida os objetivos são alcançados. A autora não contribui em nada com a semiótica, esse não é o propósito de sua pesquisa, mas ela contribui para a engenharia. Imagem após imagem, o leitor torna-se familiarizado com o funcionamento de programas específicos e, indiretamente, com as implicações semióticas do esforço em aprimorar a comunicação entre o usuário e o programa. Sieckenius de Souza compreende que o projeto em si é baseado na semiótica e presta a devida atenção a fatores bastante diversos, como estéticos, psicológicos e sociais. O programa de semiótica de Eco, isto é, a investigação acerca do significado e da comunicação, é adotado e seguido. Do meu ponto de vista, a ideia de semiose infinita (resultante de um fundamento peirceano) que Sieckenius de Souza adota é bastante encorajadora. Na recursividade, como ela corretamente aponta, as máquinas e a semiose se encontram (Sieckenius de Souza, 2005, pp. 26-27). Em um e-mail recente

ela expressou frustrações dignas de serem mencionadas aqui: "Ter estudado semiótica faz toda a diferença (...) Eu tenho a impressão (...) que profissionais de IHC e estudantes norte americanos se perguntam: 'O que há nisso para mim?' (...) Como você sabe, a resposta é 'um mundo completamente novo, mas custará muito pensamento crítico para alcançá-lo.'" (Sieckenius de Souza, comunicação pessoal, 19 de maio de 2010).

Apesar de sua semiótica frequentemente simplificada poder ser frustrante para semioticistas, é evidente que ela é comprometida com a abordagem. Muitos pesquisadores bem intencionados abandonaram a semiótica porque sua linguagem é, por vezes, obscura ou porque ela introduz distinções complexas e geralmente desnecessárias. Engenheiros não são conhecidos por sua predisposição à teoria. Eles inventaram (no século XVII, William Oughtred utilizando o trabalho de Napier sobre logaritmos) a régua de cálculo e mais tarde a calculadora portátil e a planilha. Isto é, a matemática reduzida ao que os engenheiros precisam na sua rotina de trabalho. Um número maior de engenheiros adotaria a engenharia semiótica se fossem fornecidos meios automatizados para a sua aplicação. Algo como uma régua de calcular semiótica. Mas isso também ocorre com os cientistas da computação? Deve-se notar que o trabalho de Sieckenius de Souza se tornou um exemplo para os outros. Seu grupo de engenharia semiótica é produtivo, mais jovens pesquisadores parecem dedicados à aquisição de conhecimento para propósitos particulares na engenharia (por exemplo, programação *web* para melhorar a acessibilidade, desenho de novas interfaces e aplicativos multi-culturais). Ao mesmo tempo, Sieckenius de Souza ganhou o prêmio *RIGO Award* do Grupo de Interesse Especial em *Design* de Comunicação (SIGDOC), que foi também dado a Maria Cecília Calani Barananauskas (Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Brasil). Ela também está envolvida com IHC e é afiliada ao grupo de Liu em Reading, na Inglaterra.

Sieckenius de Souza tenta dedicar-se à conexão entre os desenvolvedores de softwares e seus possíveis usuários. A comunicação, portanto, é o seu foco. Afirmar que o computador é um signo capaz de gerar novos signos é deixar passar a natureza construtivista da semiótica, que é fundamental. O fato de Peter Andersen e, especialmente, Frieder Nake terem tentado conceituar o signo algoritmo é provavelmente um argumento favorável à posição de Sieckenius de Souza. No entanto, Nake e Andersen se referem a quasi-signos e enxergam a interface com o emissor (no sentido de Shannon). Sieckenius de Souza fez uma grande escolha: Peirce! O motivo é claro, o reconhecimento do processo dos interpretantes.

Sobre isso, uma importante questão semiótica precisa ser reconhecida. A linguagem participa da interação humana de muitos modos. Mas qual linguagem realmente resulta em um ser humano capaz de lidar com a mudança? A linguagem

dos cientistas? A linguagem da literatura? A linguagem construída e disseminada pela educação formal? A linguagem reduzida (vocabulário reduzido, gramática rudimentar, uso de estereótipos etc.) de um número crescente da população? A respeito do foco em IHC de Sieckenius de Souza – qual interface ajuda mais: a emburrecedora ou a desafiadora? –, pesquisas importantes (van Nimwegen & van Oostendorp, 2009) sugerem resultados interessantes que podem revelar aspectos de engenharia da semiótica da IHC. De fato, quanto mais a interface substitui o esforço humano, menor é a adaptação dos usuários a novas situações. Certamente, isto também é relevante para os estudos semióticos de programação.

Qui prodest? (A quem interessa?)

A esperança de que a polinização cruzada seja benéfica anima qualquer um que toma a inter- e a transdisciplinaridade seriamente. A ciência da computação se beneficia da semiótica? A semiótica se beneficia da ciência da computação? Ademais, temos um melhor entendimento de nós mesmos facilitado por experiências semióticas de natureza diferente daquelas que os seres humanos tiveram no passado? A semiótica associada à caça e ao extrativismo ou aquela associada à agricultura ou à era industrial é fundamentalmente diferente da semiótica associada à era da informação. (*Fundamental* significa que existe uma descontinuidade que precisa ser conhecida). Ao longo do tempo, muitos autores abordaram tais questões. Ao revisar o livro de Tanaka-Ishii, Kevin McGee (Universidade Nacional de Singapura) questiona “como a semiótica e a análise formal comunicam-se entre si” (McGee, 2011, p. 930). Ele está correto em ressaltar que os autores que contribuíram com aspectos semióticos da comunicação “tendem a ser principalmente semioticistas analisando tecnologia ou pesquisadores de tecnologia utilizando os conceitos semióticos (...) para discutir tecnologia” (McGee, p. 931). Em tempos de especialização, a esperança de que alguém poderá adquirir competência nas duas áreas de conhecimento é na melhor das hipóteses ingênua. Sendo uma linguista, Tanaka-Ishii é uma boa candidata a entender linguagens formais. Além disso, ela não se dedica ao assunto de modo geral, mas define reflexividade como sendo seu enfoque, sabendo que a semiótica pode efetivamente trabalhar essa questão. (“O Objetivo Deste Livro,” subseção 1.1, é uma declaração segura de integridade.) Sem grande alarde, ela apresenta premissas muito claras: “sistemas de máquinas e sistemas humanos podem ser considerados similares até certo ponto” (Tanaka-Ishii, 2010, p. 2); “Teorias Semióticas aplicadas à programação permitem considerar (...) o universal e a natureza específica dos signos em máquinas e sistemas humanos” (Tanaka-Ishii, 2010, p. 3; ver seu diagrama na p. 3); “a diferença entre signos computacionais e

signos humanos está em suas diferentes capacidades de lidar com a reflexividade.” (Tanaka-Ishii, 2010, p. 3)

Há pontos delicados em sua discussão sobre similaridade entre humano e máquina, o que significa “até certo ponto”, “o que são signos em máquinas?” e assim por diante. Mas esse é um livro honesto, dedicado a tal ponto que a autora ignora qualquer coisa que não seja especificamente relevante para o seu trabalho. Na realidade, ela acredita, adequadamente ou não, que quase não houve contribuição para a área antes de ela começar o trabalho. Prefiro essa atitude parcimoniosa à de autores que utilizam o Google e a Wikipedia como suas fontes de pesquisa. Mas o crédito que devemos a essa autora por manter a simplicidade (inclusive as poucas referências) têm o seu preço. Sob seu ponto de vista, reflexividade em programação funcional está relacionada ao modelo diádico de Saussure, enquanto a estrutura triádica de Peirce corresponde à programação orientada ao objeto. Afirmar é, com certeza, mais fácil do que demonstrar ou justificar. Ela distingue modelos de signos (no que diz respeito ao que são os signos, ver Tanaka-Ishii, 2010, p. 6), tipos de signos e sistemas de signos. Ciente de que competência é uma premissa necessária, ela tenta propor uma definição. A partir de então, as coisas tornam-se escorregadias. “Quando eu comecei a escrever esse livro,” ela nos informa, “a teoria semiótica não estava suficientemente estabelecida para ser aplicada diretamente de modo completo tal que pudesse ser introduzida no início do livro,” (Tanaka-Ishii, p. 7).

Isso não pode ser aceito sem questionamento. Joseph Goguen, cujo impressionante trabalho ainda aguarda reconhecimento, já havia fundado seu grupo na Universidade da Califórnia – São Diego.³ Tampouco podemos tomar seriamente o esforço em introduzir hipóteses por meio da arte (“introdução intuitiva ou metafórica,” Tanaka-Ishii, 2010, p. 8). (Outra vez, Goguen estava à frente, embora trabalhando com exemplos da Música e, por isso, muito mais preparado para discussões sobre programação.) Uma fundamentação semiótica mais ampla teria mostrado a Tanaka-Ishii que reproduções (especialmente em preto e branco) não podem significar o mesmo que o original. Desse modo, referências às gradações de cinza dizem tanto quanto cinza e as reproduções de arte dizem tanto quanto qualquer imagem (pintura, fotografia ou desenho). A autora é bem formada, tem boa leitura, é interessada em arte, mas pouco precisa na análise que ela propõe. Semiótica e semiologia são comparadas sem entendimento profundo de suas respectivas condições. Saussure é o mestre da visão sincrônica. Peirce avança sobre a visão dinâmica. Não se pode escrever, “O significado de Saussure corresponde ao objeto de Peirce,” (Tanaka-Ishii,

³ Tive a oportunidade de conversar com ele (em Stanford, nós temos um interesse comum em teoria das categorias) sobre sua *Semiótica Algébrica* (1999) e nós continuamos nosso diálogo sobre programação até sua morte prematura.

p. 29) sem arriscar uma simplificação que neutraliza o animal semiótico. O objeto imediato e o objeto dinâmico de Peirce é outra distinção que não deve ser ignorada. Além disso, o interpretante requer uma abordagem totalmente diferente da que se manifesta nesse livro. A semiótica de Peirce é parte inseparável de sua filosofia (para o mérito de Tanaka-Ishii, disso ela é consciente, haja vista sua discussão sobre Primeiridade, Secundidade e Terceiridade, pp. 104, 123). Para deixar claro, Peirce tem uma concepção triática-tricotômica de semiótica. Sabendo disso, não se pode escrever sobre a aplicação das tricotomias aos signos computacionais (Tanaka-Ishii, p. 105), assim como não se pode transformar os tipos de representações (icônica, indicial e simbólica) em classes de signos. As classes, na visão de Peirce, são as dez classes que ele definiu. Certamente, trabalhar com essas dez classes pode ser trabalhoso, mas essa é a única maneira de compreender o amplo sistema de Peirce. Reduções podem se tornar simplificações perigosas. A alternativa é expandir seus próprios conceitos.

Assumindo que o livro de Tanaka-Ishii reivindica ser o primeiro a empenhar-se em um fundamento semiótico para a programação, percebemos que esse é um grande desafio. Especialmente considerando que a linguagem natural é expressiva, mas imprecisa (ver Nadin, 1997, pp. 161, 255-256, 264-269, 682) e que se espera que a linguagem de programação seja precisa a ponto de eliminar a ambiguidade (com os quais as máquinas não podem lidar). Mas Tanaka-Ishii sequer expressa esse aspecto definidor do fundamento semiótico para programação.

Seria equivocado se os leitores interpretassem tais observações como indicação de que esse livro não vale a pena. O que estou tentando sugerir é que esse bom livro poderia ter sido melhor. É exatamente isso que precisamos se quisermos defender a importância da semiótica. A competência de Tanaka-Ishii em linguagem formal e linguagem de programação, em particular, a qualifica como uma pesquisadora promissora sobre as implicações semióticas na era da computação. A característica autorreferencial da linguagem humana, na qual representação e interpretação estão entrelaçadas, tem servido bem aos seres humanos. Atividades computacionais contam com uma linguagem pobre em termos de reflexividade. Elas foram concebidas com objetivos diferentes. Esse é um aspecto fundamental: Podemos estender a dinâmica dos vivos, em particular suas características evolutivas, para o domínio das máquinas? Pode a linguagem ser o agente para alcançar esse resultado? A similaridade entre humano e máquina, que é uma de suas premissas, atraiu muitas especulações. O fato da felicidade (ou emoções), um estado do sistema que chamamos de vivo, estar no espaço da ambiguidade e não ser necessariamente um objetivo alcançável pela máquina pode surpreender alguns. Mas não Tanaka-Ishii que tem consciência da reflexividade, no entanto, ela também é uma pesquisadora

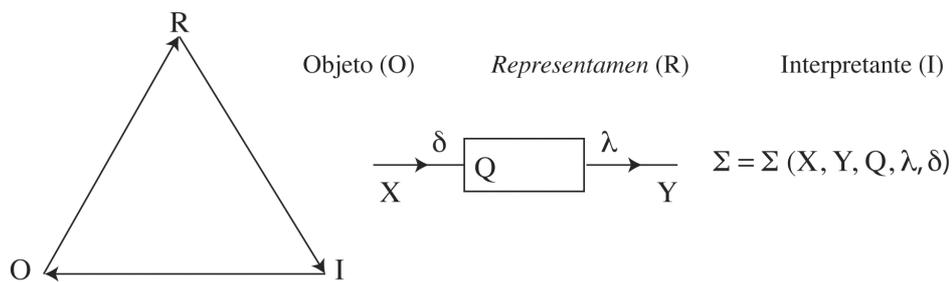
oportunista. O livro, que se dedica seriamente em um aspecto pequeno do problema, não arrisca uma resposta. Mas se nosso objetivo é procurar vestígios, lembrem-se que nós buscamos na história da semiótica marcas de perguntas levantadas em vários momentos, aqui nós temos o traço de uma pergunta importante. Ela foi formulada seriamente e a autora merece se reconhecida por isso, apesar das deficiências mencionadas.

Contudo, o problema colocado é, em última instância, uma extensão do *Entscheidungsproblem* (1928) de Hilbert, a busca por um algoritmo que resolva equações diofantinas generalizadas a todas as equações. Como tal, Gödel e Turing já nos informaram que tal algoritmo não existe. Se Tanaka-Ishii queria desafiar a demonstração apresentada por eles, ela não foi bem sucedida. Durante uma aula (em 22 de março de 1995), Martin Davis tendo analisado o *insight* matemático poderia achar que os argumentos de Tanaka-Ishii validavam sua perspectiva atual. A desejo de Peirce de que sua semiótica fosse uma lógica da vagueza (see Nadin, 1980, 1983) mostra apenas quão difícil é distinguir lógica de semiótica (isso sem mencionar lógica de matemática).

O Motor Semiótico: a discussão que não avança

Por trás de afirmações como "Eu fui o primeiro" há uma ironia que membros respeitáveis da academia não percebem. É que essas afirmações são resultado de uma competição na qual todos correm em diferentes direções. Não há necessidade real de reabrir essa discussão. Ao longo de anos, eu discuti com Kenneth Ketner (em 1988), Gert Döben-Henisch (em 1995), Barbosa da Silveira e indiretamente com Winfried Nöth (2002) sobre assuntos de semiótica e computação. Ainda sobre esse tema, troquei ideias substanciais com o Peter Bøgh Andersen e Frieder Nake (em 1992, 1994 e em andamento) e também com Solomon Marcus (agora no verão de 2009). Inicialmente, o conceito de motor semiótico (termo que escolhi inspirado na terminologia do motor analítico) surgiu nas minhas discussões com Max Bense, um determinista convicto, mas também um simpático interlocutor. Em *Semiosis* (Nadin, 1977), publiquei uma demonstração matemática da equivalência entre a definição peirceana de signo e o autômato finito nebuloso [ref. Lógica *Fuzzy*].

Figura 2: Representação e autômato finito nebuloso: fornecendo a equivalência para definições formais



Nota: A ideia de autômato é uma generalização do funcionamento maquínico. A descrição nebulosa (*fuzzy*) de valores de entrada e saída corresponde à intenção de capturar não somente quantidades, mas também qualidades. As duas funções de transferência δ e λ podem ser definidas de tal maneira que comportamentos pseudo-não-deterministas podem ser simulados por autômatos finitos nebulosos.

Isso inspirou a analogia com uma máquina que incorpora o processo semiótico. Com o tempo deixei para trás minha premissa inicial. Foi só em janeiro de 2010 que me dei conta de que vários autores que defendem o uso da expressão *máquina semiótica* estão expandindo um entendimento de semiótica diferente do meu. De fato, essa expressão é justificada apenas para os que comparam processos informacionais a processos semióticos. Além disso, apenas para aqueles que não veem diferença entre os vivos e o físico é que a redução à máquina (voltando a Descartes) faz sentido. Esse não é o meu caso. A demonstração matemática da equivalência entre a definição dinâmica do signo e o autômato finito nebuloso foi, na melhor das hipóteses, um ponto de partida para elaborações posteriores que me conduziram aos sistemas antecipatórios (antecipação).

A máquina de processamento informacional incorpora nosso entendimento do mundo de ação e reação. Ela não sabe o que é incerteza, apesar de saber muito sobre probabilidade. A máquina semiótica (muito mais uma analogia formal do que uma realização física) é a expressão de questões a respeito da antecipação. Tal máquina é não-determinística, tem pelo menos dois relógios e é altamente adaptativa e focada em resultado (teleológica). Com isso em mente, percebo que a variedade de entendimentos associados àqueles mencionados anteriormente correspondem a posicionamentos fundamentais que são inconciliáveis. Em uma contribuição notável (Hong, 2007), Sumgook Hong abordou o tema da relação entre "Homem e máquina nos anos 1960" sob uma perspectiva bem ampla. Não há necessidade de citar aqui, em detalhes, Norbert Wiener, Heinz von Foerster, Mansfield Clynes, Nathan Kline (a quem devemos o termo ciborgue), Erich Fromm, Jacques Ellul, Lewis Mumford, John

Galbraith e outros. Mas há uma necessidade clara de observar a distinção feita por François Jacob entre o *mundo físico* e o *mundo dos vivos*. Um dos processos informacionais e o outro acrescido da dimensão dos processos semióticos e sua inerente incerteza. *Máquinas simples* (termo de Rosen, 1985, p. 111) “não cometem erros”, máquinas complexas podem se comportar erroneamente (estragar-se é um desses comportamentos). Nos termos das máquinas de von Neumann e Turing, o computador é uma máquina determinística. Diferentes modos de computação são extremamente sedutores, mas ainda indisponíveis. A máquina determinística trabalha abaixo do limiar da complexidade associada aos vivos, nós lidamos com pseudo-signos e não com signos (isso se você ainda quiser focar nos signos e não em representações).

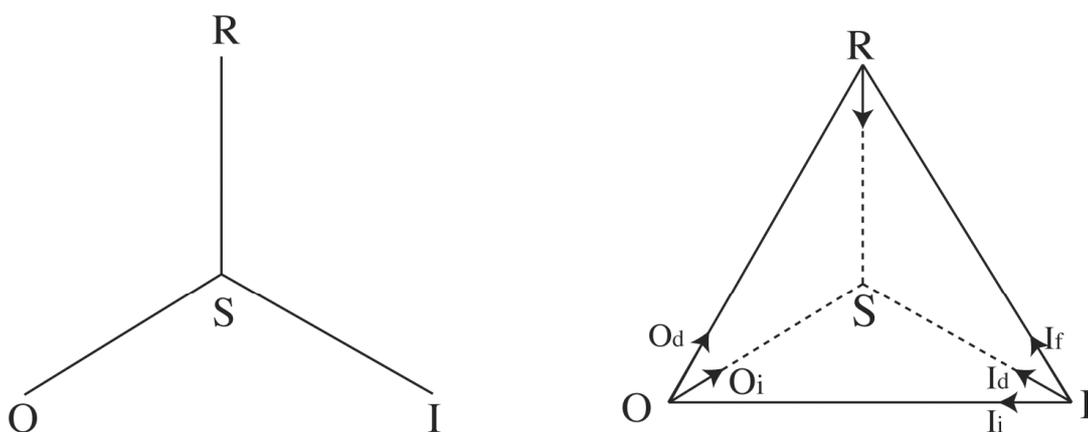
Pesquisadores em computação molecular (Tadashi Nakano da UC-Irving, Miles Pierce da Caltech, John Reif da Duke University, entre outros) mantêm a esperança de sintetizar *máquinas vivas* (ver Kroeker, 2008). Auto-estruturação autônoma de Turing parece apropriada para lidar com *computação viva*. Acoplada ou não a corpos humanos, é uma expressão da conexão entre metabolismo e representação, isto é, informação e processo semiótico incorporado em informação significativa.

Certamente, antes de darmos um passo a frente, precisamos definir nossa terminologia. Nesse sentido, para mim semiótica não se trata do frequentemente equivocado conceito (entidade) chamado de *o signo*. Quando destaca-se o signo, definido de formas variadas (algumas melhor justificadas das que outras), a semiótica torna-se uma disciplina mal definida. A característica da semiótica, como Hausdorff compreendeu e Cassirer defendeu, é *re(a)presentação*. O fato de podermos chamar os meios de representação de *signos*, ou podermos defini-los como signos, é menos relevante do que a função essencial da semiótica. Intimamente relacionado à representação está o papel da interpretação, por meio da interpretação associa-se um significado ao signo. Além disso, representações estão sujeitas a representações adicionais, a operações em representações, a interpretações que se tornam sucessivamente novas representações e assim por diante. Signos são análogos a marcadores de posição decimal na matemática. Mas não mais do que isso. Eles não se referem à interação, que é a característica principal dos vivos. Em especial, interações mentais são decisivas: nós automaticamente lemos mentes todo o tempo, nós sondamos o futuro, nós somos em antecipação (o que é diferente de *nós antecipamos*, um verbo que na verdade não tem sentido).

Mais um detalhe, reflexividade semiótica se traduz como consciência semiótica. Sem consciência do papel que a representação tem na nossa compreensão do mundo e de nós mesmos, não há semiótica. Nenhuma máquina fez surgir, por conta própria e com seus próprios recursos, um símbolo (como Lewis Mumford apontou: “Nenhum

computador pode fazer um novo símbolo a partir de seus próprios recursos" (1967, p. 29)). Mesmo se pudesse, a máquina não saberia o que fazer com isso, como interpretá-lo.

O sistema semiótico que associamos ao Peirce, em particular, o processo dos interpretantes, se aproxima do que eu proponho. A definição peirceana de signo, que é, a unidade entre objeto (imediate e dinâmico), o *representamen* e o interpretante é, na realidade, a descrição de um processo infinito, chamado semiose.

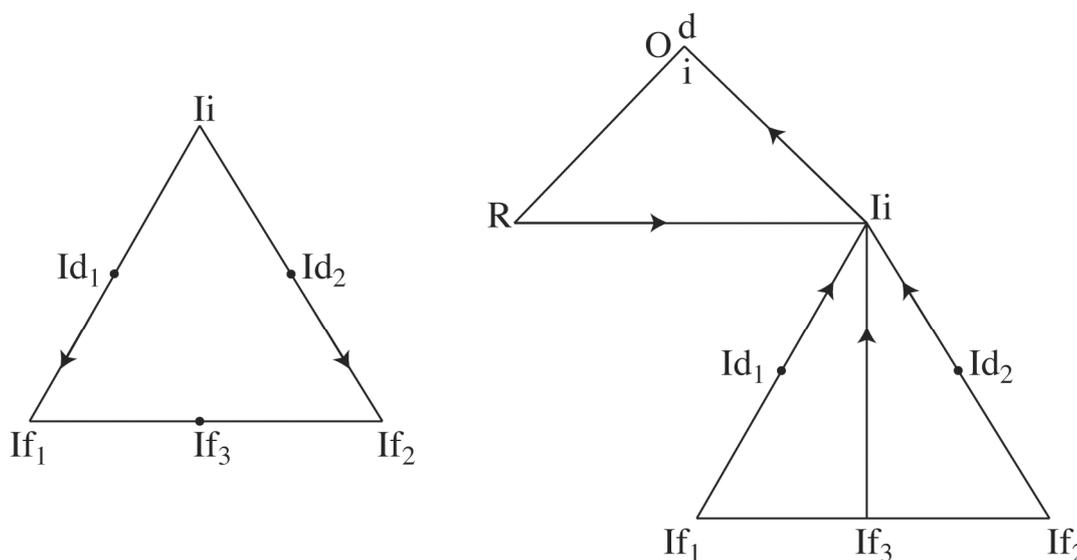


Signo = unidade entre objeto, *representamen* e interpretante

Figura 3: A Dinâmica do processo semiótico é implícita à concepção de semiótica de Peirce.

Nota: Os diagramas correspondem a uma compreensão da representação como a unidade entre o que é representado, o meio (como Peirce chamou o signo) de representação e o processo de representação. O objeto da representação é posteriormente diferenciado entre imediato e dinâmico e o processo de interpretação resulta em interpretantes imediatos, dinâmicos e finais (correspondendo a teorias).

Note-se que uma vez conhecidos os níveis de objetos e interpretantes, o signo deixa de ser uma entidade sincrônica. Ele ganha vida, no sentido de que o processo dos interpretantes injeta dinâmica à sua realidade. Nós nunca lidamos com signos, nós sempre lidamos com representações, agregados de signos cujo significado dinâmico é uma função do contexto, não do alfabeto (ex. repertório do signo).

Figura 4: Domínios do Objeto e do Interpretante

Interpretação dinâmica do objeto e o domínio do interpretante

Nota: Os diagramas tornam explícitos os vários níveis de entendimento do objeto representado e do processo de interpretação.

Contudo, essa não é uma discussão sobre terminologia, mas sim sobre a relevância da disciplina. A máquina semiótica à qual me referi processa representações e instancia semioses. As consequências dessa afirmação podem ser bem acompanhadas nos livros discutidos ao longo desse artigo, assim como na atual perspectiva semiótica de abordagem ampliada. Sendo livros impressos, cada um dos três títulos se justificam, o que não quer dizer que suas razões de ser são necessariamente fáceis de serem identificadas. A pesquisa acadêmica é em alguns casos deplorável, em outras ainda tímida, mas promissora. Como testemunho do que os semioticistas fazem, eles não são animadores. Certamente, não há obrigação em ser fiel a um ou outro autor. Isso não é religião, dogmatismo é uma orientação empobrecedora (não importa em qual direção ele aponta). Mas existe uma obrigação de preservar a integridade científica. Ninguém levará a sério alguém que muda o Teorema de Pitágoras para se ajustar a um propósito duvidoso. Se argumentos científicos contradizem o teorema, que seja. Faça sua proposta de mudança, desde que com os argumentos apropriados. Contudo, primeiro é necessário conhecê-lo e compreendê-lo.

O Alfabeto e a Gramática da Computação

No fundo, há na máquina digital dois elementos controlando e tornando a computação possível, um alfabeto e uma gramática. Juntos os dois formam uma linguagem maquina. O alfabeto consiste de duas letras (0 e 1). A gramática é a lógica Booleana (ligeiramente modificada desde Boole, mas na essência um corpo de regras que fazem sentido na linguagem binária de Sim e Não na qual os programas são escritos). O *Assembler* – com um mínimo de “palavras” e regras usadas na elaboração de “afirmações” significativas – vem logo acima dessa máquina. Em seguida, o nível de atuação da linguagem formal, no qual programas são escritos ou gerados automaticamente. Tais programas precisam ser avaliados, interpretados e executados. Apresento ao leitor detalhes estruturais que todos conhecem (alguns em mais detalhes que outros), mas que apenas raramente nos preocupam. Meu objetivo é muito simples, fundamentar o meu ponto de vista de que para serem significativos, os computadores devem ser máquinas semióticas (uma ideia que eu articulei pela primeira vez há trinta anos). Muitos pesquisadores se apropriaram da minha formulação (com ou sem aspas ou créditos) sem entender que como uma afirmação, ela é quase trivial. Meus colegas – alguns deles autores respeitáveis e ativos em organizações semióticas e da ciência da computação que atestam sua legitimidade – não perceberam que tal descrição só faz sentido se ela colaborar para o nosso conhecimento do que descrevemos. Dizer que o computador é uma máquina semiótica é perceber que o mais importante no funcionamento das máquinas não são elétrons (e no futuro, luz, quanta ou matéria orgânica), mas informação e significado expressos em formas semióticas, em programas e, em particular ou mais recentemente, em aplicativos. Pegamos representações (aquilo que reflete a relação entre o que o signo representa e o modo como algo é representado) e as processamos. Além disso, ao usarmos a computação, tentamos, após o processamento, atribuir um significado à nossa representação. Como não há lugar para a dimensão semântica na máquina em si mesmo ou no programa que é uma máquina, nós construímos ontologias (bases de dados semelhantes a enciclopédias ou dicionários) e efetuamos associações. É desse modo que as máquinas de buscas frequentemente funcionam. Isso é o que está por detrás do novo verbo googlear e das nossas ações quando começamos uma busca identificando fontes de informação na rede mundial de computadores (www).

A linguagem de duas letras (zeros e uns) e a gramática (lógica booleana) permitem obter precisão. Uma vez percebido que não estamos atrás apenas de informação, mas também de significado, as coisas tornam-se mais complicadas. Na realidade, nós queremos manter a precisão, mas também alcançar a expressão. O alfabeto da nossa língua (26 letras no alfabeto romano inglês) junto com a gramática

fez não somente a ciência, mas tornou possível a poesia. Ninguém em seu estado normal lê um poema para obter informação (expressa em *bits* e *bytes*) ou por causa da informação. Significado é o que o leitor constrói na interpretação ou na ação do jogo. O mesmo é verdadeiro para interpretar a computação viva, o significado da mudança de uma condição definida como saudável para uma condição definida como doente. A medicina focada exclusivamente na informação fracassa exatamente porque ignora o significado das mudanças de informação. Um diagnóstico médico computacional precisa integrar tanto a informação quanto o significado.

Lógica Polivalente como uma Alternativa

Como vimos, a extrema precisão alcançada por um alfabeto de duas letras e por uma gramática de lógica claramente definida é obtida em detrimento da expressividade. Quanto maior a precisão, menor a expressividade. Descrições baseadas em séries difusas (*fuzzy*) são mais ricas em detalhes. A lógica ternária é mais produtiva que a lógica binária booleana por muitas ordens de grandeza. A lógica fuzzy é capaz de suportar expressões ainda mais ricas. Em termos de oportunidade – e lançando mão de certo futurismo – isso significa que nós seremos capazes de capturar a conjuntura temporal e fazê-la parte dos programas somente quando a computação transcender completamente não apenas a dimensão sintática, mas também a dimensão semântica dos signos que compõem as linguagens de programação. Certamente, no momento em que a computação for guiada pragmaticamente, isto é, pelo que nós fazemos, ela adquirirá uma dimensão temporal compatível com a nossa própria dimensão (Nadin, 2011), além de refletir a variabilidade do tempo. Curiosamente, isso está acontecendo parcialmente na computação dos MMORPG (jogo de interpretação de personagens online e em massa para múltiplos jogadores).

O último workshop em “Semiótica, Ciência cognitiva e Matemática” [*Semiotics, Cognitive Science, and Mathematics*] (no renomado *Fields Institute*, de 11 a 14 de março de 2011) incitou um dos palestrantes a trazer uma imagem de semiótica que ele poderia facilmente ter refutado. A semiótica é considerada um campo do conhecimento acadêmico anacrônico, assim como a filologia e a egiptologia (Neuman, 2011). Eu não me surpreendo. A incompetência – eu me refiro à alusão aqueles personagens reais ou fictícios – é o que solapa a semiótica. Um peixe começa a apodrecer pela cabeça.

No lugar de uma Conclusão

Enquanto eu terminava esse artigo, um novo periódico foi lançado: A Revista Internacional de Signos e Sistemas Semióticos [*The International Journal of Signs and Semiotic Systems*]. Isso mostra um avanço importante, uma nova geração assume o comando. Nossos estudantes progridem em uma direção que rompe com o passado. Lemos sobre a emergência e o desenvolvimento de processos semióticos, sistemas de interpretação de informação, processos semióticos incorporados e situados, fundamentos do signo e do símbolo, modelos de sistemas semióticos inspirados na biologia, entre outras coisas. Esses assuntos são considerados de alta relevância e os dois editores da revista, Angelo Loula e João Queiroz, se dedicam a um fórum no qual esses temas devem ser abordados. Preciso informar, em primeira mão, que fui convidado para compor o corpo editorial dessa revista e espero contribuir para a ampliação dos assuntos de interesse. Certamente, a compreensão de que informação e significado são de natureza complementar é um tema de suma importância.

Um livro inteiro (Brier, 2008) dedicado à cibersemiótica vai direto ao ponto: *Porquê informação não é suficiente!* De modo mais extenso do que eu pude fazer em um artigo, o livro assinala que compreender os vivos é pré-requisito para formular uma teoria semiótica coerente. Eu poderia, claro, utilizar algumas formulações de Brier, mas, por alguma razão, escolhi exemplificar a tese desse artigo (e meu ponto de vista sobre a relação entre a teoria da informação e a semiótica) com uma citação de Einstein: "Seria possível descrever tudo cientificamente, mas isso não faria o menor sentido, não teria nenhum significado. Seria o mesmo que descrever uma sinfonia de Beethoven como uma variação em uma onda de pressão." Com a aprovação implícita de Einstein, eu acrescentaria que o mesmo se aplica a descrição da sinfonia de Beethoven com zeros e uns.

Agradecimentos

O autor agradece ao Winfried Nöth pelo incentivo para começar a escrever esse artigo. Ao Søren Brier por colaborar com questões que eu espero tenham sido abordadas no texto. À Jeanette Bopry pelo cuidadoso processo de edição. Se alguns erros permaneceram, assumo completa responsabilidade

Referências

- Andersen, P. B. (1990). A theory of computer semiotics. New York: Cambridge University Press.
- Andersen, P. B. (2003). The digital age: Cohesion and coherence in programs. In M. Vilanova & F. Chorda (Eds.), A mind at work. Festschrift Mihai Nadin (pp. 7-20). Heidelberg: Synchron Publishers. (Disponível em: <<http://www.nadin.ws/archives/416>>)
- Aristotle (1961). Poetics. (S. H. Butcher, Trans.). New York: Hill and Wang. Disponível em: <<http://classics.mit.edu/Aristotle/poetics.html>> Acesso em: 31 de março de 2011. (Aristotle's original: 350 BCE)
- Arnaud, A. Nicole, P., & Fouillée, A. (1964). The art of thinking; Port-Royal logic. New York: Bobbs-Merrill. (The 1878 edition, La logique de Port Royal, Disponível em: <<http://www.archive.org/details/alogiquedepor00fouigoog>> Acesso em: 7 de junho de 2011.
- Augustine. (1958). De doctrina cristiana (D.W. Robertson, Trans). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. (Augustine's original: 397 AD)
- Bateson, Gregory (1972). Steps to an ecology of mind: Collected essays in anthropology, psychiatry, evolution, and epistemology. Chicago: University Of Chicago Press.
- Brier, S. (2008). Cybersemiotics: Why information is not enough! Toronto: University of Toronto Press.
- Conery, J. S. (2010). What is computation? Computation is symbol manipulation. Ubiquity, November. Disponível em: <<http://ubiquity.acm.org/article.cfm?id=1889839>> Acesso em: 27

- de abril de 2011. (Ubiquity symposium "What is Computation?")
- Davies, C. W. P. (2004). John Archibald Wheeler and the clash of ideas. In J. D. Barrow, C. W. P. Davies, & C. L. Harper (Eds.), *Science and ultimate reality* (pp. 3-24). London: Cambridge University Press.
- Einstein, A. (n.d.). In a conversation with Segré. Disponível em: <http://thinkexist.com/quotation/it_would_be_possible_to_describe_everything/15520.html> Acesso em: 21 de abril de 2011.
- Gallese, V. (2001). The "shared manifold" hypothesis. From mirror neurons to empathy. *Journal of Consciousness Studies*, 8 (5-7), 33-50.
- Goguen, J. (1999). An introduction to algebraic semiotics, with application to user interface design. In C. Nehaniv (Vol. Ed.), *Lecture notes in computer science: Vol. 1592. Computation for Metaphors, Analogy, and Agents* (pp. 242-291). Heidelberg: Springer.
- Hilbert, D., & Ackermann, W. (1928). *Grundzüge der theoretischen Logik* (Principles of mathematical logic). Berlin: Springer-Verlag.
- Hobbes, T. (2010). *Leviathan: Or the matter, forme, and power of a common-wealth ecclesiasticall and civill*. Shapiro, I. (Ed.). New Haven, CT: Yale University Press. (Leviathan was originally published in 1650)
- Hong, S. (2007). Man and machine in the 1960s. *Techné: Research in Philosophy and Technology*, 11 (1). Disponível em: <<http://scholar.lib.vt.edu/ejournal/s/SPT/v7n3/hong.html>> Acesso em 6 de junho de 2011.

- Jacob, F. (1974). *Logic of living systems: History of heredity* (B. Spillman, Trans.). London: Allen Lane.
- Kroeker, K. L. (2008). *Living machines*. *Communications of the Association for Computing Machinery (CACM)*, 15 (12), 11-13. (Disponível em: <<http://kroeker.net/published/living-machines.htm>> Acesso em: 5 de junho de 2011.)
- Lambert, J. H. (1764). *Neues Organon oder Gedanken über die Erforschung und Bezeichnung des Wahren und dessen Unterscheidung vom Irrtum und Schein*. Leipzig: Johann Wendler.
- Liu, K. (2005). *Semiotics in information systems engineering*. Cambridge: Cambridge University Press. (Essa reimpressão de *Semiotics in information systems engineering*, 2000, Cambridge: Cambridge University Press foi distribuída na China.)
- Livio, M. (2003). *The golden ratio: The story of PHI, the world's most astonishing number*. New York: Random House.
- Locke, J. (1799). *Of the division of the sciences*. In P. H. Nidditch (Ed.), *An Essay Concerning Human Understanding* (chapt. XXI). New York: Oxford University Press. (Publicado originalmente em 1690) Disponível em: <<http://enlightenment.supersaturated.com/johnlocke/BOOKIVChapterXXI.html>> Acesso em: 5 de junho de 2010.
- McGee, K. (2011). K. Tanaka-Ishii: *Semiotics of programming* (Book review). *Artificial Intelligence*, 175 (5-6), 930-931.
- Mitchell, P. J. (2009). *Watching minds interact*. In M. Brockman (Ed.), *What's next: Dispatches on the future of science* (pp. 78-88). New York: Vintage.

- Mongré, P. (1897). Sant' Ilario, Thoughts from Zarathustra's Country (St. Ilario – Gedanken aus der Landschaft Zarathustras). Leipzig: C. G. Nauman. (Esse foi o primeiro livro de Felix Hausdorff publicado com o pseudônimo de Paul Mongré.)
- Mumford, L. (1967). The myth of the machine: Technics and human development. New York: Harcourt, Brace, Jovanovich.
- Nadin, M. (1977). Sign and fuzzy automata. *Semiosis*, 1 (5). Disponível em: <<http://www.nadin.ws/archives/395>>
- Nadin, M. (1980). The logic of vagueness and the category of synechism. *The Monist*, 63 (3), 351-363. (Também disponível em E. Freeman (Ed.), *The relevance of Charles Peirce* (pp. 154-166). La Salle, IL: The Monist Library of Philosophy, 1983.)
- Nadin, M. (1982). Consistency, completeness, and the meaning of sign theories. *The American Journal of Semiotics*, 1 (3), 79-88.
- Nadin, M. (1991). Mind—Anticipation and chaos. (Série: Milestones in Research and Discovery). Stuttgart: Belser. (Consulte também: <<http://www.oikos.org/naminds1.htm>>)
- Nadin, M. (1997). The civilization of illiteracy. Dresden: Dresden University Press.
- Nadin, M. (2011). Computation, information, meaning. Anticipation and games. *International Journal of Applied Research on Information Technology and Computing*, 2 (1), 1-33.
- Neumann, J. von (1963). The general and logical theory of automata. In A. H. Taub (Ed.), *John von Neumann Collected Works*, Vol. 5 (pp.288-

- 326). New York: Pergamon.
(Apresentado originalmente no
1948 Hixson Symposium,
California Institute of Technology,
September 20, 1948)
- Neuman, Y. (2011). Semiotics,
mathematics & information
technology: The future is already
here. Disponível em:
<<http://www.fields.utoronto.ca/programs/scientific/10-11/semiotics/abstracts.html#marcus>> Acesso em 4 de abril de 2011.
- Nimwegen, C. van, & Oostendorp, H. van
(2009). The questionable impact
of an assisting interface on
performance in transfer situations.
*International Journal of Industrial
Ergonomics*, 39 (3), 501-508.
- Nöth, W. (2002). Semiotic machines.
Cybernetics & Human Knowing, 9
(1), 5-21.
- Paul, H. (1880). *Prinzipien der
Sprachgeschichte*. Halle: Max
Niemeyer. (Publicado em inglês
como: *Principles of the history of
language* [H.A. Strong, Trans.].
College Park: McGroth Publishing
Company, 1970.)
- Peirce, C. S. (1887). Logical machines. *The
American Journal of Psychology*, 1
(1), 164-169.
- Plato (2010). *Cratylus* (B. Jowett, Trans.).
Rockville, MD: Wildside Press.
Disponível em:
<<http://classics.mit.edu/Plato/cratylus.html>> Acesso em 10 de abril
de 2011.
- Rosen, R. (1978). *Fundamentals of
measurement and representation
of natural systems*. Amsterdam:
Elsevier Science.
- Rosen, R. (1985). *Organisms as causality
systems which are not machines:
An essay on the nature of
complexity*. In R. Rosen (Ed.),
*Rosen: Theoretical biology and
complexity* (pp. 165-203).
Orlando, FL: Academic Press.

- Saussure, F. de (1968). Cours de linguistique générale, Vol. I. Wiesbaden: Otto Harrassowitz.
- Shannon, C. E. (1953). Computers and automata. Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Oct. 1953, 41 (10), 1234-1241.
- Shannon, C. E. (1993). Programming a computer for playing chess. In N. J. A. Sloane, & A. D. Wyner (Eds.), Claude Elwood Shannon. Collected papers (pp.657-666). Piscataway, NJ: IEEE Press. (Primeiramente apresentado no National IRE Convention, March 9, 1949.)
- Shannon, C. E. & Weaver, W. (1949). The mathematical theory of communication. Urbana, IL: University of Illinois Press.
- Sieckenius de Souza, C. (2005). The semiotic engineering of human-computer interaction. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Sieckenius da Souza, C. & Leitão, C. (2009). Semiotic methods for scientific research in HCI. Princeton, NJ: Morgan & Claypool.
- Silveira, L. F. B. da (1993). Charles Sanders Peirce e a contemporânea filosofia da ciência: uma difícil conversação. Revista Trans/Form/Ação, 16, 63-82. (Consulte também: Some considerations about semiotic machines from the point of view of Charles S. Peirce's Philosophy. Disponível em <http://www.inm.de/kip/semiotic/silveira_article.html> Acesso em 15 de abril de 2011.
- Stamper, R. K. (1973). Information in business and administrative systems. London: B. T. Batsford.
- Tanaka-Ishii, K. (2010). The semiotics of programming. New York: Cambridge University Press.
- Williams, T. (2007). Anselm: Basic writings. Indianapolis: Hackett Publishing Company.

Zemanek, H. (1966). Semiotics and
programming languages.
Communications of the ACM, 9 (3),
139-143.

