

A CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO¹

Paulo F. W. Keglevich de Buzin, PMP
*Keglevich@acm.org, an Association
For Computer Machinery and
PMI (Project Manager Institute) member
(See at www.acm.org and // www.pmir.org)
Mestre em Ciência da Computação,
Engenheiro Químico, Bel. Química e
Bel. Física (todos UFRGS).*



Neste trabalho é apresentada a epistemologia da Ciência da Computação e comparada com a epistemologia das Ciências Naturais (Física, Química, Engenharia, etc.), e é apresentado o perfil do profissional de Ciência da Computação. A partir deste estudo fica evidente que a Ciência da Computação difere tão profundamente de outras ciências conhecidas que precisa ser vista como uma nova espécie entre as ciências! Ao final é discutida a pedagogia na Ciência da Computação e é abordada a aplicação do construtivismo e a certificação no ensino da Ciência da Computação.

Palavras Chave: Epistemologia da Ciência da Computação, paradigma e metodologia de pesquisa em Ciência da Computação, tecnologia e Ciência da Computação, pedagogia da Ciência da Computação, construtivismo em Ciência da Computação.

In this paper is introduced the epistemology of Computer Science and it is compared with the epistemology of the Natural Sciences (Physics, Chemistry, Engineering, etc.), and it is introduced the profile of the Computer Science practitioner. From this study it became evident that Computer Science differs so deeply from the other sciences that it has to be viewed as a new species among the sciences! At the end it is discussed the pedagogy in the Computer Science and the applicability of the constructivism and also it is covered the need of the certification in the teaching of this Science.

Key words: Epistemology, research methodology, technology, pedagogy and constructivism in the Computer Science.

1 INTRODUÇÃO

A presente reflexão se propõe a apresentar de forma mais clara possível a epistemologia da Ciência da Computação e a correspondente peculiaridade sobre a abordagem do ensino desta ciência. Procurou-se fazer algumas analogias e comparações com outros campos do conhecimento, mais tradicionais, para facilitar a compreensão por parte daqueles cuja área de proficiência maior não seja a da Computação. A partir deste estudo fica evidente que a Ciência da Computação difere tão profundamente de outras ciências conhecidas que precisa ser vista como uma nova espécie entre as ciências! O propósito é viabilizar o debate interdisciplinar da pedagogia da Ciência da Computação, propiciando alguns conceitos básicos desta Ciência para os profissionais de outras áreas do conhecimento, assim como para os profissionais de Ciência da Computação são apresentados os conceitos e a visão sobre epistemologia, filosofia, metodologia científica, e pedagogia, que talvez não lhes sejam muito claros. É particularmente *importante entender a metodologia e o paradigma de pesquisa da Ciência da Computação, pois é possível citar muitas situações onde a falta de entendimento da natureza da Ciência da Computação tem levado a expectativas errôneas, a uma falta de percepção das conquistas desta ciência e a uma política de tomada de decisão totalmente incorreta, principalmente na área de educação!* No contexto do ensino superior a Ciência da Computação não pode se isolar das outras áreas, até

¹ Publicado sob o título “A EPISTEMOLOGIA DA CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO E DESAFIO DO ENSINO DESTA CIÊNCIA” na edição de primavera 2001 da revista La Salle: Revista de Educação, Ciência & Cultura/Centro Universitário La Salle. V. 6, n. 2 (edição XII), pp. 7-33.

porque o bom desempenho das suas disciplinas introdutórias depende bastante do trabalho de base desenvolvido em outras áreas de conhecimento.

Após discorrer sobre a epistemologia e metodologia da ciência, são apresentadas as características do profissional desta área. A seguir são discutidas as falácias, oriundas da percepção distorcida da sociedade a respeito da computação e da tecnologia, que estão causando uma enorme confusão quanto a forma de introduzir os iniciantes nesta ciência. Finalmente é discutida a pedagogia na Ciência da Computação e é abordada a aplicação do construtivismo e a certificação no ensino da Ciência da Computação.

2 O PROCESSO PRODUTIVO DO CONHECIMENTO DA CIÊNCIA MODERNA

Antes de abordar as características da Ciência da Computação, cabe um brevíssimo resumo do paradigma da Ciência Contemporânea, para que se possa evidenciar as gritantes diferenças de abordagem, e para que se esclareça a diferença entre Ciência e tecnologia.

Com o advento da ciência moderna, no século XVI, mediante principalmente a obra de Bacon e Galileu, a metodologia experimental foi tomada como paradigma do processo de produção do conhecimento. Na etapa seguinte, associada principalmente aos nomes de Newton e Laplace, a demonstração experimental foi complementada com a formalização matemática, inicialmente com modelos deterministas e em seguida com abordagens de probabilidade [GRANGER 94]. Assim, o positivismo encontra um campo fértil na ciência contemporânea, que considera que a realidade é que determina o conhecimento, sendo possível uma abordagem imediata e evidente do mundo, das coisas e dos homens, garantindo uma eficácia simbólica do conhecimento, que resulta, também, em efeitos concretos sob a forma de tecnologia. O processo produtivo do conhecimento partiria assim da "observação", que designa o processo de identificação, seleção, coleção e registro sistemático de signos referentes a propriedades ou atributos relevantes de objetos naturais, culturais ou sociais. Uma observação, ou constatação de "evidência", pode ser produzida diretamente, por meio de qualquer um dos sentidos, ou indiretamente, via algum tipo de instrumento, dispositivo ou aparelho destinado a ampliar ou substituir a percepção humana. Os atributos dimensionais normalmente são mensuráveis e atributos discretos são computáveis, enquanto situações, traços, processos, opiniões, narrativas e eventos ou fenômenos de natureza similar não são mensuráveis nem computáveis, mas sim descritíveis.

As observações são feitas por referência a casos ou situações singulares e não se referem, nos termos dos tipos lógicos de Russel [RUSSEL 72], a outras esferas de generalização. Para que isto ocorra, é necessário que uma observação seja submetida a um processo complexo de transformação em outras categorias cognitivas superiores. A primeira transformação da cadeia produtiva do conhecimento científico e tecnológico opera da observação para o dado. Um dado é um signo. Mais especificamente, trata-se de um signo observado a partir de um atributo qualquer que recebe um significado. Portanto os dados podem ser definidos como observações com significado.

Os dados podem ser classificados, de acordo com o seu nível de estruturação, como estruturados, semi-estruturados e não-estruturados. Dados estruturados são aqueles para os quais o sistema de codificação fixa que já se encontra pré-codificado. Dados semi-estruturados não seguem um padrão de código prévio, porém da própria produção de observações deverá resultar um sistema de codificação. Dados não-estruturados são o produto de estratégias de pesquisa que não se baseiam em qualquer tipo de codificação.

Em termos estritos da sistematização científica, os dados são expressos como indicadores no sentido de que indicam parâmetros ou propriedades. Um parâmetro compreende um valor ideal de uma dada dimensão (ou propriedade quantificável) do objeto concreto sob investigação. No processo de transformação da medida em indicador, estimativas e parâmetros merecem atenção enquanto produtos de etapas intermediárias. A partir das medidas produzem-se estimativas, expandindo-se o âmbito de generalização de um conjunto de medidas por meio de extrapolação justificada, na maior parte das vezes, por meio de regras referenciais. Quando se faz uso de amostragem probabilística, a validade da conexão entre uma estimativa e um parâmetro é justificada estatisticamente. A validade de um indicador *vis a vis* como um parâmetro somente pode ser estabelecida no contexto de uma teoria científica.

Entretanto, os dados não fazem sentido sozinhos. Para que eles tenham algum valor científico e possibilitem apoiar processos de tomada de decisão, os dados precisam ser transformados em informação². Essa passagem do dado para a informação é determinada por processos de transformação analítica. Os dados tornam-se informação depois de analisados de modo adequado, no sentido de que os dados devem ser processados com o objetivo de resolver um problema, responder a uma questão ou testar uma hipótese.

Neste sentido, a análise implica em um processo de organização, indexação, classificação, condensação e interpretação de dados, com o objetivo de identificar comunalidades de dimensões, atributos, predicados e propriedades entre casos individuais. Dessa maneira, buscam-se, em cada caso, os elementos indicativos de universalidade; por isso o potencial de generalização torna-se aí o foco do processo de produção de conhecimento. Nesse nível, distinções, singularidades e idiosincrasias dos casos individuais não são importantes. O atributo ou propriedade individual, essencial para se estabelecer a validade operacional concreta dos dados, deixa de ser relevante depois da transformação do dado em informação, sendo substituído pela categoria "variável" enquanto "definidor-chave" no âmbito metodológico. Informação, portanto, refere-se sempre a variáveis (resultantes do processamento de dados produzido com as observações dos atributos ou propriedades de um dado objeto, que varia para cada caso).

A informação, por sua vez, tem valor limitado além do escopo de um certo problema prático ou tecnológico. A fim de transcender a mera generalização e para alcançar um grau útil de universalismo, a informação deve ascender ao nível de conhecimento. A informação torna-se conhecimento científico e tecnológico somente após ser articulada em algum marco de referência conceitual hierarquizado. Isso implica que as informações científicas devem necessariamente ser processadas para subsidiar a construção de um objeto conceitual, ou seja, para elaborar uma teoria científica ou enquadrar um modelo de aplicação tecnológica. Dessa maneira, não se pode falar em "informação tecnológica" no mesmo sentido em que se diz "conhecimento científico e tecnológico". Em suma, a tecnologia resulta do conhecimento (mas não apenas dele) e não diretamente da informação científica (ou da "evidência").

A transformação de informação em conhecimento científico e tecnológico é regulada por processos sintéticos. Nesse sentido, a síntese se constitui em um processo heurístico de interpretação de informações, conduzido para colocar a informação em um contexto supra-contextual. Conhecimento, portanto, implica em informação posta fora de seu próprio contexto e situada em um contexto mais geral, pronta para auxiliar pesquisadores, profissionais técnicos e tomadores de decisão, a compreender outros contextos ou novas situações. Abordagens analógicas são fundamentais para o sucesso na aplicação generalizada do conhecimento. Em comparação com aplicações baseadas em informação, abordagens baseadas no conhecimento são mais versáteis e flexíveis e, por conseguinte, mais úteis para lidar com novos problemas, tanto no campo da ciência quanto no âmbito da técnica.

O "definidor-chave" nessa etapa do processo de produção de conhecimento é a categoria do conceito. Unidade elementar do modelo teórico, base do conhecimento científico e tecnológico, o conceito situa-se também como produto final de uma cadeia própria de produção cognitiva. Especificamente em relação aos dados estruturados e semi-estruturados, pode-se identificar uma cadeia metodológica paralela à cadeia produtiva do conhecimento: medida-estimativa-parâmetro-indicador-variável-conceito. No que se refere a dados não-estruturados, essa cadeia terá somente dois elos: indicador-conceito.

O conhecimento é hierarquicamente superior aos dados e às informações para os processos de tomada de decisão em todos os níveis - científico, tecnológico e pragmático. O uso de dispositivos hermenêuticos (conceitos, modelos, teorias, protocolos), característicos da esfera do conhecimento, mostra-se mais eficiente para lidar com a complexidade e a emergência dos novos objetos científicos e tecnológicos,

² O vocábulo "informação" origina-se diretamente do latim *informatio*, que significa "justificativa ou explicação de uma palavra, concepção ou idéia". Objeto da ação *informare*, composição resultante do prefixo *in-* (dentro, sob, etc...) e da raiz *formare* (dar forma), "informar" originalmente equivalia a "imaginar" ou "dar uma forma (imagem) na mente". Na Segunda metade do século XV, a forma moderna *information* já era empregada na França no sentido de "ação de obtenção de dados ou relatos" e "relatório, documento de registro de dados", conotação com que se difunde para outros idiomas, inclusive o português. Vale registrar que o termo "informática", tradução direta do termo *informatique*, é vocábulo criado por Philippe Dreyfus a partir do modelo *mathématique* especialmente para designar a ciência e a prática de organização e tratamento da informação.

porque as sínteses do conhecimento não são limitadas pelos laços estreitos que fazem a informação depender de contextos, populações, aplicações ou situações de referência.

Descartes formulou os principais elementos da forma acima referida de produção de saberes, que merecidamente veio a ser designada com o adjetivo cartesiano. Na perspectiva cartesiana, o processo do conhecimento racional implicava em uma série de operações de decomposição da coisa a conhecer, buscando reduzi-la às suas partes mais simples. O modelo prototípico do objeto do conhecimento que se pretendia hegemônico nesse modo de produção de saber era sem dúvida o "mecanismo autômato", justificando assim o reconhecimento do mundo como essencialmente mecanicista³. Nesse sentido, conhecer implicava necessariamente em uma etapa inicial de fragmentação (para ser mais claro, de destruição) da coisa a ser transformada em objeto de conhecimento. Esse seria o preço mínimo que se deveria pagar para ascender ao conhecimento racional. Então, o princípio da parcimônia, no sentido da simplificação reducionista, validaria os modelos explicativos do novo modo de produção do conhecimento, pois o conhecer reduzia o objeto de estudo aos seus componentes elementares. Conhecer, entretanto, não é apenas expor o mecanismo do objeto nas suas peças fundamentais, mas sim ser capaz de reencontrar a posição de cada peça, reconstruir o mecanismo e pô-lo em funcionamento. No sentido cartesiano original, o processo do conhecimento opera, em última instância, na direção da síntese, da remontagem do objeto reduzido, resultando em uma técnica de restauração (e posteriormente de produção) da função do objeto ou organismo. Assim, nesse sentido do referencial cartesiano, conhecimento praticamente equivale diretamente a tecnologia.

À interpretação cartesiana inicial segue-se uma proposição de que tais regras de função e, por extensão, o próprio funcionamento do mecanismo do objeto em questão, seriam vulneráveis a um tratamento redutivo por meio da mensuração. Então aparece, não apenas a possibilidade de fragmentar o mecanismo em suas peças, conhecê-las todas e montá-las com sucesso, mas de descrever a essência do objeto-mecanismo mediante uma linguagem formal universal - a matemática. Pode-se dizer que a matemática se impõe neste paradigma como uma nova validade do conhecimento, terminando por substituir a constatação simples e direta de que o mecanismo pode voltar a funcionar após o seu desmonte e conseqüente remontagem. A Física se utiliza muito deste "estratagema".

Cabe aqui lembrar que no fim do século XVIII surge, como uma reação a esta visão mecanicista, a visão romancista, liderada pelos filósofos-artistas alemães tais como Herder e Hegel. Esta reação procurou diferenciar entre organismos e máquinas, defendendo a natureza e as coisas naturais contra as máquinas e as coisas artificiais. Estes filósofos queriam contemplar, entender, interpretar, sentir o mundo e seu significado, como com um poema ou uma pintura. Pode-se dizer que enquanto os filósofos mecanicistas tendiam a pensar horizontalmente, mapeando as seqüências causais de máquinas controláveis, os românticos desenvolviam uma maneira vertical de ver as coisas. Onde os mecanicistas viam estruturas e sistemas, os romancistas viam processos e mudanças. As mudanças eram resultantes de "erupções" a partir de conflitos internos ocultos, que acumulavam tensão antes de sua manifestação. Os romancistas queriam modificar o mundo através de mudar a percepção e experiência que se tem a partir dele.

Resta rapidamente assinalar três importantes aspectos gerais desse modelo da "cadeia do conhecimento". Em primeiro lugar, deve-se considerar o retro-efeito em todas as etapas do ciclo: do conhecimento à informação - "análises são orientadas por teorias"; da informação para os dados - "respostas são pautadas pelo modo em que as questões são postas"; dos dados à observação - "porções da realidade são percebidas se selecionadas pelo conhecimento preexistente". Em segundo lugar, é preciso acentuar o papel da metodologia científica (ou da tecnologia da pesquisa) enquanto meio de produção do conhecimento científico e tecnológico. Por último, deve-se observar que a tecnologia não se constitui no único subproduto do ciclo produtivo da ciência de valia para os processos de tomada de decisão operacional. Deve-se, portanto, distinguir o conceito de tecnologia⁴ (conhecimento aplicado

³ A visão mecanicista/reducionista do mundo foi desenvolvida por grandes filósofos do século XVII como Descartes, Newton e Leibniz. Eles utilizaram esta visão do mundo como fundamento das ciências da natureza, para uma nova definição do próprio homem, e para um novo programa político. Esta visão teve papel preponderante no Iluminismo e na modernização da Europa, e traz até hoje, culturalmente, os elementos associados ao que se entende por "atitude científica".

⁴ O termo "tecnologia" rigorosamente significa o discurso (*logos*) sobre a técnica. Constitui, portanto, uma metonímia, pois o discurso toma o lugar do campo ou produto da ação da técnica. O vocábulo "técnica", por sua vez, vem do grego *technê*, que remonta a um verbo arcaico, *teuchô*, que significa "fabricar", "produzir", e a um substantivo não tão antigo, *techos*, "instrumento" ou "arma". Na época pré-clássica o verbo *poieô* foi utilizado inicialmente com o mesmo sentido de *teuchô*. O

contextualizado em pautas padronizadas, operado pela predição) do conceito de prática (conhecimento aproximativo de tendências e processos, operado pela categoria dialética de projeto). Igualmente deve-se evitar confundir a tecnologia com a ciência, pois esta última possui um caráter de universalidade do conhecimento, que é hierarquicamente superior ao conhecimento contextualizado em pautas padronizadas que caracteriza a tecnologia. Na verdade o conhecimento científico propicia o conhecimento tecnológico, embora seja possível ter o conhecimento tecnológico sem que se tenha o conhecimento científico estruturado.

Este modo de produção do conhecimento produz explicações que, no final desta cadeia produtiva peculiar, resultam em efeitos concretos sob a forma de tecnologia. Porém, as explicações científicas são também o produto de uma dada forma de organizar a produção do conhecimento, com uma identificação estreita com a produção industrial em escala, seriada e padronizada. Todo o desenvolvimento tecnológico, com um tremendo poder de reprodução social, produz uma circulação de efeitos e energia como nem se pensava anteriormente, prova da eficácia concreta dessa forma de produção de conhecimento. Cabe aqui aprofundar um pouco mais o caráter simbiótico da relação entre ciência e técnica, tão importante para a legitimação social da ciência nas etapas precoces da sua luta por hegemonia no contexto social do iluminismo [RORTY 79]. A formação econômico-social emergente, baseada no modo de produção capitalista, trazia para o equivalente modo de produção de conhecimento científico uma clara demanda por objetos simples, a fim de que a tecnologia resultante propiciasse a produção dos objetos complicados da indústria. Em outras palavras, a fragmentação dos problemas científicos determinava um aprofundamento dos processo de produção de conhecimento sobre as partes resultantes, necessidade concreta daquela etapa de desenvolvimento do modo de produção do capitalismo industrial.

Interessante e sutil ciclo de expectativas: a complexidade do mundo real seria traduzida em modelos simples, viabilizando, por meio da tecnologia, a manufatura de produtos complicados; enquanto a indústria se organizava em torno da racionalidade científica, a ciência por sua vez se aparelhava para transformar saber em técnica. A legitimação social e política do novo modo de produção do conhecimento, bem como o financiamento das suas incipientes instituições e dos seus agentes pioneiros, poderia ser retribuída diretamente como força produtiva, sob a forma de processos e produtos, gerados pelas estratégias analíticas da ciência. Por outro lado, na arena científica em geral, mais e mais se valorizava a especialização, tanto no sentido de criação de novas disciplinas científicas quanto na direção de subdivisões internas nos próprios campos disciplinares; no campo das práticas sociais, novas profissões eram criadas; no âmbito da reprodução ampliada, um novo sistema de ensino e formação estruturava-se com base nessa estratégia "minimalista" de recomposição histórica da ciência e da técnica. Desnecessário dizer que esta abordagem de ensino carrega um componente fortemente alienante que acabou contaminando todas as áreas de conhecimento e toda a sociedade. O ex-presidente americano John Kennedy disse certa vez: "Vivemos hoje uma situação de paradoxo: enquanto o conhecimento se multiplica, a ignorância aumenta"!!

3 OS AVANÇOS MAIS SIGNIFICATIVOS DA CIÊNCIA OCORRENDO ATRAVÉS DE QUEBRA DE PARADIGMAS

Cabe aqui citar algumas das várias experiências exitosas do processo de produção do conhecimento anteriormente descrito e onde a observação do universo e das coisas puderam revolucionar os conceitos da ciência e direcionar novas pesquisas, abrindo novas fronteiras.

Na Química, no século XIX, o cientista russo Mendeleiev pôde estudar as propriedades dos elementos e organizá-los segundo um modelo lógico, a célebre tabela periódica, que se usa até hoje, e por ela ele pôde antecipar propriedades de elementos que só viriam a ser descobertos anos depois. No entanto, é na

termo "técnica", definido como modo de fazer eficaz, chegou a ser utilizado por Platão como sinônimo de conhecimento, *epistêmè*, saber rigoroso e fundamentado. Somente na época clássica fixou-se o diferencial semântico entre criação (*poiesis*) e produção (*technè*), sendo esta última definitivamente referida à fabricação de cópias ou imitações da realidade ou de um modelo. Por outro lado, a técnica representa a aplicação sistematizada de um saber instrumental, distinguindo-se com clareza do conhecimento (*epistêmè*) sobre o produto e sobre o processo de produção. Os conceitos de conhecimento e tecnologia foram incorporados aos idiomas ocidentais em diferentes momentos da emergência da ciência moderna, durante os séculos XVII e XVIII, conforme analisado por Foulcault no magistral *les mots et les choses*.

impressionante história da Física que se pode verificar com bastante clareza o êxito da metodologia da ciência moderna.

Em 1865, o físico britânico James Clerk Maxwell unificou as teorias parciais sobre a propagação da luz e do eletromagnetismo, formulando as suas célebres quatro equações que descrevem matematicamente todo o Eletromagnetismo. A teoria de Maxwell previa que as ondas de rádio ou de luz se moviam a uma determinada velocidade fixa. Mas a teoria de Newton tinha se libertado do conceito da inércia absoluta; então, se a luz supostamente se deslocava a uma velocidade fixa, seria possível dizer em relação a que essa velocidade fixa poderia ser medida. Foi então sugerido que havia uma substância chamada "éter", presente em todos os lugares, mesmo nos espaços "vazios". As ondas de luz se deslocariam através do éter, como as ondas de som se propagam através do ar, e sua velocidade seria, então, relativa ao éter. Observadores, movendo-se em relação ao éter (como o caso da Terra em torno do Sol), veriam a luz vindo em sua direção em velocidades diferentes, mas a velocidade da luz em relação ao éter permaneceria fixa. Em 1887, Michelson e Morley levaram a cabo a sua célebre experiência para a aferição da velocidade da luz em direções diferentes entre si em 90 graus. A expectativa era de que se constataria uma diferença de velocidade, porém o que se verificou foi justamente o contrário - as velocidades eram idênticas! A observação colocou em cheque a teoria, e esta precisava, ou ser aperfeiçoada, ou alterada radicalmente. Foram feitas inúmeras e infrutíferas tentativas de aperfeiçoar a teoria vigente sem sucesso, até que um desconhecido funcionário público suíço, Albert Einstein, em 1905, publicou o seu artigo sobre a Relatividade restrita (ou especial), mostrando que o conceito do éter era desnecessário, uma vez que se estava querendo abandonar o de tempo absoluto. Ele estabelecia que todos os observadores encontrariam a mesma velocidade da luz, não importando a que velocidade estivessem. Ele conseguiu unificar as leis de movimento de Newton com a teoria de Maxwell e a velocidade da luz. Uma das conseqüências mais notáveis dessa idéia foi o novo conceito de conversibilidade matéria-energia dado pela célebre equação $E=mc^2$.

No entanto a teoria da Relatividade de Einstein ainda tinha um problema, era inconsistente com a teoria da gravidade de Newton (os objetos se atraem na razão direta da massa e inversa do quadrado da distância). Não importando a posição ou a velocidade do objeto, a força sobre o outro mudará automaticamente. Ou, em outras palavras, os efeitos gravitacionais devem ocorrer a uma velocidade infinita, em vez de à velocidade da luz ou abaixo dela, como determinado pela teoria especial da relatividade. Einstein fez, entre 1908 e 1914 uma série de tentativas mal sucedidas para encontrar uma teoria da gravidade que fosse compatível com a relatividade especial. Por fim, em 1915, elaborou a que é conhecida como a Teoria Geral da Relatividade. Novamente uma mudança de paradigma, pois Einstein propôs a hipótese revolucionária de que a gravidade não é força como as outras, mas sim uma conseqüência do fato de que o espaço-tempo não é plano, como anteriormente era considerado: é curvo ou "arqueado" devido à distribuição de massa e energia. Segundo a Teoria da Relatividade Geral, os corpos sempre seguirão linhas retas no espaço-tempo quadridimensional, e no entanto parecerão a nós, mover-se em trajetórias curvas em nosso espaço tridimensional. A despeito da autenticação da teoria frente a observações e experimentos posteriores, Einstein nunca ficou plenamente satisfeito com sua teoria, pois ainda não permitia uma visão unificada das leis que governam o universo (talvez tivesse saudade do elegante formulismo matemático determinista de Laplace, explicando o mundo conhecido anteriormente.). Em seu leito de morte lastimou não saber mais matemática, dando a entender que teria sido esta deficiência que o impediu de encontrar a teoria de unificação das forças da natureza - o que até hoje ainda não foi encontrado a despeito dos inúmeros esforços dispendidos.

Por falar no determinismo de Laplace, Rayleigh e James Jeans sugeriram que, de acordo com a teoria da época, um corpo aquecido deveria provocar ondas eletromagnéticas igualmente em todas as freqüências. Porém, se a freqüência fosse ilimitada, a energia irradiada teria de ser infinita, o que obviamente não correspondia à realidade. Este problema era conhecido como a "catástrofe do ultravioleta". Só foi possível conceber uma teoria que explicasse este fenômeno quando Max Planck, após alguma relutância devido ao forte paradigma da época, finalmente lançou as bases da Mecânica Quântica⁵ em 1900. As

⁵ Resumidamente a Mecânica Quântica possui 4 princípios básicos: 1) Indivisibilidade do Quanta (Quantum). É impossível haver energia inferior à constante de Planck (h), o que implica que mesmo em repouso absoluto as partículas apresentam uma energia mínima; 2) Dualidade onda-partícula. As partículas podem comportar-se como onda e vice-versa, a única diferença é que os fótons possuem massa de repouso zero; 3) As propriedades das substâncias e elementos a nível macro são uma decorrência da descrição estatística do comportamento de um grande número de partículas, embora nada pudesse ser dito *deterministicamente* a respeito de uma destas partículas individualmente; 4) Correlação não-causal. A teoria quântica requer que as partículas se comportem como se elas se comunicassem instantaneamente, mesmo sobre grandes distâncias. Foi

implicações para o determinismo só foram percebidas em 1926, quando Heisenberg formulou o seu famoso princípio da incerteza. Conforme este princípio, a incerteza da posição de uma determinada partícula é inversa à incerteza de sua energia, ou seja, quanto maior certeza houver quanto a posição de uma partícula no espaço, menos certeza se terá sobre a sua energia. O próprio Einstein, determinista ferrenho (disse uma vez que não acreditava que Deus jogasse dados!), combatia esta teoria, e no fim acabou ajudando a consolidá-la. A Mecânica Quântica teve muitos desdobramentos e aprimoramentos extremamente interessantes que fogem ao escopo do presente explorar. O importante nesta breve exemplificação é ressaltar o processo bem sucedido de produção de conhecimento a partir da observação, o que veio a consolidar com enorme credibilidade a metodologia científica positivista.

A despeito de tantos sucessos, a ciência hoje tem muitas questões em aberto e fenômenos ainda não bem explicados. A Mecânica Quântica, tão útil e bem sucedida para o desenvolvimento dos semicondutores, se mostrou de pouca ajuda para explicar o funcionamento do núcleo do átomo. Enquanto para Termodinâmica (sistema em equilíbrio) tem-se uma teoria consolidada e validada pela prática, a própria mecânica estatística e a mecânica de fluidos, que tratam de sistemas em transição (portanto em desequilíbrio), não apresentam um modelo adequadamente coerente com a prática. Esta dificuldade é sentida na própria Engenharia, que aplica a teoria da ciência na prática, em projetos que envolvam fenômenos de transporte. Novamente tem-se a antítese do determinismo, o que levou a proposição da teoria do Caos para tentar abordar estes problemas.

Diante das várias questões em aberto, muitos têm começado a questionar a própria metodologia e/ou paradigma de abordagem da Ciência [KING 99], buscando encontrar novo paradigma de abordagem, que possa realmente abrir novos horizontes. Será que somente se pode dispor do ferramental hoje disponibilizado pela matemática para representar as teorias e reproduzir os dados observáveis por meio de dedução? É possível representar qualquer fenômeno observável por meio de um formalismo matemático e manusear esta representação de modo que possamos identificar este mesmo fenômeno sob outro ponto de vista, *ainda dentro da mesma teoria formulada*? Pois no início do século XX o matemático húngaro Gödel *demonstrou* que não!!

4 ORIGEM, NATUREZA E OBJETO DA CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

A Ciência da Computação não segue o padrão de metodologia das ciências naturais conforme apresentado resumidamente, mas embora não seja uma ciência natural ou física, indubitavelmente é uma ciência que apresenta uma enorme contribuição intelectual, e de importância prática imensa. Não é uma tarefa fácil exprimir uma definição curta e breve que possa expressar toda a riqueza deste novo e dinâmico processo intelectual. A diferença entre a Ciência da Computação e as ciências naturais é que a Física, Química, Astronomia, etc.. possuem um entendimento, por parte do público em geral, muito mais claro do que a Ciência da Computação. Enquanto a sociedade em geral está bastante familiarizada com os computadores, para ela a Ciência da Computação é uma ilustre desconhecida!

Os matemáticos há muito tempo sempre tiveram interesse nas computações numéricas, mas a busca pela formulação matemática da efetiva computabilidade se intensificou somente após a apresentação do teorema da incompleteza de Gödel⁶. A tese de doutoramento em matemática de Allan Turing culminou com êxito este esforço. Turing [TURING 36] conseguiu definir de maneira elegante e concisa uma máquina (que leva o seu nome) com a qual era possível estudar a computabilidade dos teoremas frente a um conjunto de axiomas (teoria). Outra forma de entender o resultado do trabalho de Turing é como sendo um teorema capaz de demonstrar teoremas, ou de verificar se um teorema pertence a uma teoria. O efeito sobre a Matemática foi profundo. Deste conceito emergiu a elegante teoria das funções recursivas. A lógica mudou completamente e Kolmogorov derivou a interessante definição da alietoriedade (ou randomness) algorítmica, que está crescendo de importância no âmbito da teoria da Ciência da Computação. De fato, o paradigma computacional, e a computação propriamente dita,

principalmente sobre este aspecto que Einstein buscou pelo resto de sua vida refutar a teoria Quântica, mas sem sucesso (o célebre paradoxo de Einstein inclusive ajudou a esclarecer este princípio!).

⁶ Em inglês, *incompleteness*, que também pode-se traduzir como não integralidade ou não inteireza. De qualquer maneira preferiu-se o termo incompleteza, se o leitor sentir-se incomodado, que nos desculpe. O teorema de Gödel mostrou que a abordagem de Hilbert para a demonstração de consistência de teorias matemáticas através de processos finitos era inatingível. Gödel comprovou que é impossível formular um sistema de axiomas que seja rico o suficiente para codificar todas as formulas que modelem as propriedades de um sistema. Parece que a dificuldade em encontrar o formalismo que representasse a unificação das forças da natureza não estava só na incapacidade pessoal, como Einstein pensava!

iniciaram uma profunda transformação na Matemática, a qual ainda está em andamento, e de forma acelerada! Um adepto da hegemonia imperialista da Matemática para a formalização de teorias poderia alegar, um pouco jocosamente, que a Ciência da Computação é apenas uma mudança de paradigma da Matemática. Na verdade inicialmente até se pensou desta forma (considerava-se que a Ciência da Computação era uma subárea da Matemática, e era estudada como Matemática aplicada), mas à medida que o entendimento deste novo paradigma foi se consolidando, começou-se a perceber que de fato se trata de uma nova ciência.

Com o estudo da *computabilidade*, logo se desenvolveu a área de complexidade de algoritmos em teoria da Computação. A análise e projeto de algoritmos é o tema central em teoria da computação. Os limites da efetiva⁷ computação, imposta pela teoria da Computação, são bem entendidos e aceitos. Existe um grande esforço despendido para definir e provar os limites *factíveis* da computação. O esforço fundamental é para provar que certas computações não podem ser efetivadas sob determinadas condições computacionais. Um exemplo disto são os problemas NP⁸ completos. Foi despendido considerável esforço em identificar uma classificação dos problemas de acordo com a sua dificuldade computacional. Um dos resultados tecnológicos tangíveis destes estudos é a criptografia (fundamental para segurança de ambientes computacionais), que até recentemente era tida como tecnologia estratégica nos EUA, e as companhias americanas estavam proibidas por lei de venderem esta tecnologia fora dos EUA.

Como já foi dito, inicialmente era usada a abordagem da Matemática como paradigma da Ciência da Computação, com teóricos tais como Dijkstra, Floyd, Hoare, entre outros, que investiram na abordagem de verificação formal de programas a fim de certificá-los como corretos. Vários programas foram publicados com a sua respectiva verificação (demonstração) formal. A contribuição destes trabalhos para a engenharia de programas e para o projeto de linguagens de programação foi inestimável, porém em 1975, Goodenough publica alguns dos programas tidos pela comunidade científica como verificados formalmente como corretos, com erros de saídas frente a dadas entradas! Ficou comprovado que não era possível verificar a correção de um programa meramente via demonstração formal de teorema, mas os testes eram necessários. Disto surgiu a área de engenharia de testes de programas. Cada vez ficava mais clara a natureza peculiar da Ciência da Computação, pois a metodologia e o paradigma de outras ciências estavam demonstrando serem de pouca eficácia. Se isto estava se tornando evidente para uma máquina executando um programa em lógica seqüencial, imagine agora o leitor o estudo de várias máquinas executando programas iguais e/ou diferentes que se comuniquem entre si! O estudo dos programas também abrange o estudo do não-determinismo em um ambiente onde múltiplos eventos ocorrem simultaneamente em uma seqüência imprevisível, que eventualmente pode ser regulada por uma determinada política de escalonamento de eventos. Com apenas uma máquina já se estava conseguindo simular processamento de sistemas impossíveis de terem a sua lógica representada pelo formalismo matemático, que alcance de lógica pode chegar as múltiplas máquinas (ou agentes, para usar o termo da moda!) cooperantes? Uma idéia de limite pode vir da clarificação do conceito de alietoriedade por meio da complexidade de finitas e infinitas sequencias de Kolmogorov [LI 93]. Mas ainda se tem questões em aberto, como está demonstrado que nenhuma máquina de Turing pode produzir sequencias aleatórias de Kolmogorov maiores que o seu tamanho (descrição), será que existe a possibilidade de sistemas físicos da natureza produzirem sequencias aleatórias de Kolmogorov infinitas? Se for, então a simulação computacional não poderá capturar e descrever de fato TODOS os processos físicos, pois seria necessário um computador do tamanho do universo para poder representá-lo. O estudo da Inteligência Artificial pode levar à metaepistemológica matemática, análoga à metamatemática, ao estudo das regras de aceitação de evidência pelo "conhecedor" e o mundo em que este está inserido. Tal tipo de estudo pode resultar em teoremas sobre se certas estratégias intelectuais podem levar ou não a descobertas de certos fatos a respeito do Universo. Esta possibilidade pode eventualmente revolucionar a Filosofia [McCARTHY 88, LUKER 94, GOTTLÖB 95]!!

O experimento tem um papel totalmente diferente na Ciência da Computação, em relação às ciências naturais. Enquanto que nas ciências naturais o experimento valida ou até propicia uma mudança de paradigma, para a Ciência da Computação o experimento é uma demonstração. Em Ciência da Computação as propostas de teorias não competem entre si para ver quem melhor explica determinado fenômeno. Nem tampouco são as teorias desenvolvidas para conciliar com resultados experimentais. A construção de sistemas, hardware e software, é a característica que define o trabalho experimental e

⁷ Por exemplo: *Halting problem*, impossibilidade de decidir se um programa para.

⁸ Ou NP-difícil, problemas cuja solução só é possível via um algoritmo de complexidade polinomial com até infinitas parcelas!

aplicado em Ciência da Computação. Como consequência, os avanços em Ciência da Computação frequentemente são demonstrados e documentados por uma impactante demonstração de execução de uma computação, ao invés de por uma impactante experiência como nas ciências físicas. É papel da demonstração mostrar a possibilidade ou factibilidade da execução do que foi pensado. Estas demonstrações tem se viabilizado a partir do primeiro computador digital (o ENIAC) e com a arquitetura de Von Neumann, onde ele abstraiu e separou o projeto lógico dos computadores de sua implementação e introduziu o conceito de programa armazenado. Experimentos com algoritmos são usados para testar implementações e comparar o seu desempenho em um subconjunto de problemas considerados importantes. Dessa forma, com a demonstração assumindo papel tão fundamental na Computação, os avanços tecnológicos na construção dos computadores tem influenciado a agenda de pesquisa em Ciência da Computação. Devido a isso, a sociedade em geral tem confundido a Ciência da Computação com os computadores digitais, e por isto tem tido muita dificuldade para entender o que é Ciência da Computação. Resumidamente, pode-se dizer que na pauta das pesquisas em Ciência da Computação tem-se três influências principais: tecnologia, demonstrações e novas conceitualizações.

Os resultados da teoria são julgados pelos "insights" que eles revelam sobre a natureza matemática dos vários modelos computacionais e/ou pela sua utilidade prática ou aplicabilidade na computação. Imaginando a máquina de Turing, tem-se a teoria, o teorema e a máquina que efetua a demonstração deste teorema. Para aprofundar o estudo é necessário entender como é definida a teoria (domínio da aplicação), o teorema (programa) e a máquina⁹, que pode ter arquitetura mais elaborada a fim de propiciar um melhor desempenho. Novos modelos, conceitos, paradigmas e métodos são concebidos pelos pesquisadores em vários níveis de abstração, e depois testados na concepção e projeto do ambiente computacional, na concepção e projeto dos algoritmos computacionais, e nas computações dos algoritmos propriamente ditas. Os cientistas da computação precisam criar muitos níveis de abstração para lidar com estes problemas. Eles tem de criar ferramentas intelectuais para conceber, projetar, controlar, programar, e arrazoar sobre as mais complicadas criações do homem. Ainda por cima, isto tem de ser feito com uma precisão sem precedentes em qualquer outro ramo do conhecimento (o exercício da Ciência da Computação incita a um considerável desenvolvimento da capacidade de concentração). As máquinas que executam as computações são universais e portanto são sistemas caóticos, assim, uma leve alteração em suas instruções pode acarretar em uma enorme diferença nos resultados. Isto é inerente à universalidade dos computadores, e a teoria deixa claro que se abrisse mão desta universalidade pagaria um alto preço no desempenho. Tal conceito é estranho às outras áreas do conhecimento e até ao senso comum. O que se entende é que se os resultados são tão errôneos é porque o sistema está TODO errado, mas não é assim em Ciência da Computação (esta é a "sina" dos profissionais da computação quando são convocados a resolver problemas com sistemas em computadores sob a ira dos usuários impacientes...). Assim, os cientistas são "abençoados" com uma máquina universal que pode ser instruída para executar qualquer computação, sendo portanto caótica, que precisa ser controlada com uma precisão sem precedentes!! Portanto, para poder encarar este desafio, os cientistas da computação precisam desenvolver sucessivas camadas de abstração, em volta destas máquinas caóticas (e totalmente idiotas sem um bom programa), tal que possam ajudá-los a transpor as magnitudes de escala das coisas. O domínio adequado das técnicas de abstração e versatilidade para transitar em vários níveis de abstração, com inclusive diferentes paradigmas de métodos e conceitos que podem estar envolvidos em cada nível, é de crucial importância na Ciência da Computação. De certa forma, pode-se dizer que é corriqueiro¹⁰ em Ciência da Computação conceber novos métodos e paradigmas para a concepção de métodos e paradigmas de projeto de máquinas e programas! Além disso, é de suma importância o domínio sobre as eventuais ambigüidades que possa surgir na concepção das máquinas e programas, pois é justamente sob tais ambigüidades que podem se esconder os "leves desvios" que podem até arruinar todo um projeto¹¹!

Para que se tenha uma vaga idéia da importância das técnicas de abstração em Ciência da Computação, pode-se citar o paradigma da programação procedural e o paradigma da programação declarativa. Estes

⁹ Máquina aqui não deve ser entendida como uma máquina física, mas uma máquina que pode ser simulada por um conjunto composto de Hardware e Software ou outra coisa qualquer que a inteligência humana possa construir. Atualmente se dispõe dos computadores digitais com a sua crescente capacidade de computação e armazenamento de programas e dados. De qualquer maneira todas estas máquinas podem ser demonstradas como equivalentes à de Turing, a máquina universal (com apenas três instruções: avança uma posição, retrocede uma, e compara se está no zero).

¹⁰ Isto demonstra outra peculiaridade da Ciência da Computação, pois em outras ciências isto não é comum!

¹¹ Talvez por isto se possa dizer que uma certa dose de obsessividade compulsiva (como diriam os psicólogos) seria interessante no caráter do profissional em Ciência da Computação!!!

paradigmas funcionam como uma abordagem vertical com vários níveis de abstração, inclusive na concepção de modelos de máquinas computacionais. Para poder trabalhar com êxito dentro de um paradigma é necessário desenvolver a capacidade de pensar de acordo com aquele paradigma, para então ter condições de explorar adequadamente os métodos e conceitos inerentes ao paradigma em questão. A programação procedural (ou imperativa) é mais convencional, e consiste na elaboração de uma seqüência de instruções, passo a passo, que descrevem como devem ser manipulados um conjunto de dados de entrada tal que se produza a saída desejada. Dentro deste paradigma se desenvolveram várias abordagens, tanto para a análise de requisitos quanto para o projeto de programas propriamente dito. Pode-se citar neste contexto procedural a análise e programação algorítmica estruturada, modular, orientada a eventos, e orientada a objetos. Cita-se como exemplo as linguagens FORTRAN, PASCAL, C, MODULA, etc. Este mesmo paradigma é usado também para projetar arquiteturas de computadores e linguagens de programação.

O programa segundo o paradigma declarativo "declara" o *que* o programa deve obter, buscando abstrair o *como* que seria implementado em um nível de abstração inferior. A programação declarativa atualmente se divide em dois ramos: a programação funcional e a programação em lógica. A programação funcional começa por definir funções e utiliza o computador para avaliar expressões que chamam estas funções. Como uma variável, tendo recebido um valor, retém o valor até o fim, a ordem com que uma expressão é calculada é irrelevante. A teoria das funções matemáticas fornece a estrutura e o paradigma para a programação funcional. Como exemplo deste paradigma cita-se a linguagem LISP.

A programação em lógica utiliza um subconjunto do paradigma da lógica clausal da matemática, as cláusulas de Hörn, como abordagem de programação. O exemplo de linguagem neste caso é o PROLOG. É claro que já estava provado que a simples lógica matemática não era capaz de definir um programa, assim surgiu uma Segunda geração de linguagem lógica com algumas extensões procedurais, a linguagem GOEDEL (o nome já diz tudo!!).

Ainda há mais um paradigma declarativo de grande importância para o desenvolvimento de uma nova área de estudo correlata -- a da Engenharia de Sistemas de Informação [ACM 97, DENNING 95](não confundir com Engenharia de Software). Este paradigma está basicamente relacionado a forma como se organiza os dados nos computadores e à forma como estes podem ser consultados. Codd, pesquisador da IBM, na década dos 70, propôs a utilização da lógica de primeira ordem como paradigma para organizar os dados dos computadores, e conceituou o que é o modelo relacional. Em seguida, Date, outro pesquisador da IBM, projetou a linguagem de consulta a esses dados organizados segundo o modelo relacional¹². Ainda na década de 70, Peter Chen, em sua tese de doutorado, definiu uma técnica de modelagem gráfica dos dados que facilitou enormemente a vida dos projetistas de sistemas de informação. Hoje a modelagem de dados está embutida na modelagem orientada a objetos¹³. Nesta área a Ciência da Computação tem evoluído com vistas a capturar cada vez mais semântica junto com os dados armazenados, de forma que seja possível dispor cada vez mais de informação, em nível cada vez mais alto na hierarquia do conhecimento e de vários tipos (dados, voz, imagem, etc.), do que meramente dados organizados logicamente. Graças a isto tem sido possível simplificar dramaticamente o programa de recuperação de informações a partir de um banco de dados adequadamente projetado.

É evidente que ainda existem muitas frentes em aberto na Ciência da Computação. Um ponto crítico ainda é a incapacidade que se tem de modelar e abstrair em múltiplos níveis a seqüência de múltiplos eventos simultâneos que podem estar envolvidos na computação de um dado sistema, de maneira que seja possível ao projetista identificar com clareza a consistência, a completeza e a coerência das seqüências possíveis de eventos de todo o sistema em cada nível. Os principais paradigmas desenvolvidos para a modelagem deste aspecto dos sistemas são as máquinas de estado, diagramas de transição de estado e redes de Petri. Este último parece apresentar melhores perspectivas de evolução futura devido às suas excelentes propriedades matemáticas, mas ainda está longe de ser facilmente gerenciável em vários níveis de abstração (a escola da Europa tem investido bastante neste paradigma). Por isto ainda hoje se tem sérios problemas com os "bugs" dos sistemas computacionais, que nem mesmo o dispêndio de uma capacidade descomunal de trabalho especializado oriunda de uma capacidade de investimento tamanha como nunca houve similar em toda a história da humanidade, conseguem garantir a sua inexistência nos projetos de computações dos sistemas (a Microsoft e o DOD¹⁴

¹² SQL - Structured Query Language.

¹³ Ver a proposta da UML - Unified Modeling Language em <http://www.rational.com>

¹⁴ Departamento de Defesa Americano.

que o digam)!! Esta é uma questão séria, pois tem a ver com a confiabilidade e disponibilidade dos sistemas computacionais. É claro que os níveis de exigência de confiabilidade e disponibilidade variam bastante com o tipo de aplicação, mas a título de exemplo, pode-se citar a experiência de Parnas em seu curto período em que era consultor do famoso projeto Star Wars do DOD. Parnas justificou em uma publicação especializada [PARNAS 85] o seu pedido de rescisão do contrato de consultoria milionário que tinha com o DOD com o fato de que a Ciência da Computação e a Engenharia de Software não tinham ainda desenvolvido recursos suficientes para garantir o desenvolvimento de um projeto como o Star Wars com a confiabilidade que um projeto desta natureza exigia, apresentando as várias frentes onde haviam ainda limitações no desenvolvimento da Ciência da Computação que impediam de enfrentar tal desafio com a segurança necessária (imagine aquele mundo de mísseis nucleares e armas laser em órbita de nosso pobre planeta - e voltadas para ele, controlados por uma verdadeira parafernália computacional)!!! Felizmente se desistiu daquele delírio insano e o projeto foi descontinuado! Já para os computadores pessoais, pode-se encarar um sistema cada vez mais complexo sem maiores sobressaltos, pois os requisitos de confiabilidade e segurança são muito mais brandos. Os usuários do Windows que o digam!

Com o bem definido modelo abstrato de computador *universal* produzido por Turing foi possível desenvolver o *estudo dos procedimentos efetivos*, que pode ser entendido, de forma resumida, como o objeto da Ciência da Computação. Detalhando um pouco mais, e de outra maneira, pode-se entender como objeto da Ciência da Computação a informação, as máquinas, e sistemas que processam e transmitem informação [HARTMANIS 93]. Assim, a Ciência da Computação lida com a criação e o processamento da informação, e com os sistemas (conjunto de programas) que executam estas tarefas, muitas das quais não são dirigidas ou governadas pelas leis naturais do Universo. A Ciência da Computação está muito mais focada no *COMO* do que com o *QUE*, foco maior das outras ciências. De um modo geral, o *como* está associado à Engenharia, mas a Ciência da Computação não é uma área subordinada à Engenharia. Pode-se dizer que a Ciência da Computação é a Engenharia da Matemática (ou o processamento da Matemática)!! Nestes termos pode-se verificar que a Ciência da Computação é uma nova e revolucionária forma de Engenharia. Portanto, a Ciência da Computação está lançando os fundamentos e desenvolvendo paradigmas de pesquisa e métodos científicos para a exploração do mundo da informação e dos processos intelectuais, os quais não são governados por leis físicas. Este é o principal diferencial da Ciência da Computação das outras ciências [HARTMANIS 95]. Alguma alma desavisada então poderia supor que, como a Ciência da Computação estaria ainda a desenvolver paradigmas e métodos, ela ainda estaria em construção, no sentido que ainda precisa se firmar como ciência. No entanto é preciso verificar que é justamente o paradigma da Ciência da Computação, quanto ciência, o desenvolvimento de novos paradigmas e métodos, ou seja, se não houverem mais métodos, paradigmas e conceitos para desenvolver, então não haveria mais como continuar a fazer Ciência da Computação!!

A universalidade dos computadores digitais e a sempre crescente capacidade computacional conferem ao paradigma computacional um papel central e diferenciado em todas as atividades intelectuais. O computador digital é um dispositivo universal que, em princípio, pode executar qualquer computação, e em particular, qualquer procedimento matemático em um sistema formal axiomatizado. Assim, em princípio, toda a capacidade de arazoamento matemático, ferramenta científica fundamental da civilização, pode ser corporificada nos computadores, desde computações numéricas, simulação de processos físicos, computação simbólica, a arazoamento lógico para a demonstração de teoremas. Como exemplo, a previsão do tempo em Meteorologia tem cada vez se aperfeiçoado mais graças ao crescente poder de simulação dos processos físicos envolvidos nas alterações atmosféricas. Sabidamente nunca se conseguiu encontrar uma formulação matemática determinística que pudesse propiciar previsões confiáveis, problema agora resolvido com o mapeamento de satélites e simulação em supercomputadores do complexo conjunto de equações que modelam os fenômenos físicos envolvidos nas mudanças meteorológicas. Dessa forma, começam a refluir para as outras áreas do conhecimento humano as técnicas e paradigmas desenvolvidos pela Ciência da Computação. Inclusive a Ciência da Computação está gradativamente entrando e influenciando de alguma forma todas as outras áreas de conhecimento, tendo aí a possibilidade de se tornar no futuro a ciência de integração de todas as áreas do conhecimento humano, revolucionando radicalmente a epistemologia! Quem viver verá!

5 A EPISTEMOLOGIA¹⁵ DA CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

¹⁵ Teoria do Conhecimento e metodologia, teoria da ciência.

A questão fundamental que está por detrás de toda a computação é *o que pode ser eficientemente automatizado?* Assim, a computação é uma disciplina científica, matemática, e de engenharia [ACM 91]. Os praticantes destas três áreas empregam diferentes metodologias de trabalho, ou *processos*, durante o curso de suas pesquisas, desenvolvimentos, e trabalho prático. Um destes processos, chamado *teoria* ou "teorização", é utilizado pela Matemática para desenvolver teorias matemáticas coerentes e tem os seguintes elementos principais: elaboração de definições e axiomas, elaboração de teoremas e provas, e interpretação de resultados. Em Ciência da Computação, este processo é útil para o estudo de algoritmos (teoria da complexidade), arquitetura (lógica), e linguagens de programação (gramática formal e autômata).

O segundo processo, chamado de *abstração*, é originário das ciências experimentais, e tem os seguintes elementos: coleta de dados, formulação de hipóteses, modelagem, predição, projeto de experimentos, análise de resultados. A abstração é fundamental para a modelagem de estruturas de dados, algoritmos, arquiteturas etc. São feitos testes de hipóteses sobre estes modelos e/ou da teoria atrás destes modelos, e toma-se decisões de projeto considerando várias alternativas.

O terceiro processo é chamado de *projeto*, é originário da engenharia, e é usado no desenvolvimento de um sistema ou equipamento com vistas à solução de um dado problema. Envolve as seguintes etapas: análise de requisitos, elaboração de especificações, projeto e implementação, e teste e análise. Quando os profissionais da computação estão engajados em um projeto, eles se envolvem com a conceitualização e a percepção de sistemas no contexto do mundo real. Isto implica na habilidade de síntese de soluções práticas com vistas a avaliação correta de alternativas, custos, desempenho e benefício no contexto das restrições do mundo real.

Presentemente são identificadas 9 áreas de conhecimento dentro da Ciência da Computação [ACM 91], e em todas elas os processos acima citados de *teoria*, *abstração* e *projeto* aparecem de forma proeminente e indispensável. Resumidamente as áreas são:

- . *Algoritmos e estrutura de dados*. Esta área lida com classes específicas de problemas e suas soluções. O desempenho dos algoritmos e a organização dos dados conforme os requisitos de acesso são os principais componentes.
- . *Organização e arquitetura de computadores*. O desenvolvimento de métodos para organizar sistemas computacionais que sejam eficientes e confiáveis é o principal foco desta área. Inclui a implementação de processadores, memória, comunicação e interface de software, assim como o projeto e controle de ambientes computacionais complexos, tal que sejam confiáveis.
- . *Inteligência artificial e robótica*. Esta área modela e constrói máquinas (reais ou virtuais) que simulem o comportamento humano ou animal. Os principais componentes desta área são: inferência, dedução, reconhecimento de padrões e representação do conhecimento.
- . *Banco de dados e recuperação de informação*. Esta área preocupa-se com a organização da informação e os algoritmos para uma maior eficiência no acesso e armazenamento destas informações.
- . *Comunicação homem-computador*. A eficiente transferência de informação entre o homem e a máquina é o principal foco desta área. Aqui incluem o estudo dos fatores humanos que afetam uma interação eficiente e o estudo da organização e apresentação da informação com vistas a uma efetiva utilização pelas pessoas.
- . *Computação numérica e simbólica*. O foco central desta área é desenvolver métodos computacionais para a resolução de equações de modelos matemáticos com precisão e eficiência. Os principais componentes são o estudo da eficiência e efetividade das várias abordagens para a solução de equações, e o desenvolvimento de *software* matemático de alta qualidade.
- . *Sistemas Operacionais*. Esta área lida com os mecanismos de controle que permitem com que múltiplos recursos sejam eficientemente coordenados durante a execução de um programa. Incluso nesta área estão a apropriação de serviços para a disposição de requisições do usuário, a efetiva estratégia para o controle de recursos e uma efetiva organização para o suporte à computação distribuída.
- . *Linguagens de programação*. As questões fundamentais endereçadas por esta área envolvem notações para a definição de máquinas virtuais que executem algoritmos, a eficiente tradução de linguagens de alto nível para os códigos de máquinas e os vários mecanismos de extensão que podem ser providos em linguagens de programação.
- . *Metodologias de concepção de software e Engenharia*. O principal foco desta área é a especificação, projeto e produção de sistemas de software de grande complexidade que sejam seguros, confiáveis e aderentes aos requisitos que originaram o projeto.

Como disciplina acadêmica, a Ciência da Computação possui também os seus conceitos recorrentes comuns à todas as suas áreas de conhecimento subordinadas. Tais conceitos recorrentes são concernências, idéias significativas, princípios e processos que permitem unificar as várias áreas de conhecimento como uma disciplina acadêmica. O reconhecimento da universalidade destes conceitos dentro da Ciência da Computação e a habilidade de aplicá-los nos contextos apropriados é um indicativo da maturidade do cientista ou engenheiro da computação. São estes conceitos que irão conferir a coesão em um conjunto de disciplinas que venham a compor a formação de um profissional em Ciência da Computação, portanto um projeto de *Curriculum* acadêmico não pode se descuidar destes conceitos [ACM 91]. Cada um destes conceitos ocorre e se difunde em várias disciplinas, com vários tipos de instâncias (aplicações ou percepções), e possui um alto grau de independência tecnológica. O conceito recorrente é mais fundamental que qualquer de suas instâncias e tem se estabelecido de forma fundamental e persistente através da história da computação, tende a permanecer no futuro. Tais conceitos tem instâncias aos níveis da teoria, abstração e projeto, em todas as nove sub-áreas do conhecimento listadas acima, e ocorrem de forma genérica na Matemática, Ciência e Engenharia. A seguir são listados 12 conceitos recorrentes identificados pela comunidade científica da Ciência da Computação [ACM91]:

Vinculação (Binding): processo de tornar uma abstração mais concreta através da associação desta à propriedades adicionais. Como exemplo cita-se a vinculação de um processo com um processador, a associação de um tipo com um nome de variável, associação de uma biblioteca de programa objeto com uma referência simbólica a um subprograma, instânciação em programação em lógica, associação de um método com uma mensagem em uma linguagem orientada a objeto, criação de instâncias concretas a partir de uma descrição abstrata;

Complexidade de imensos problemas: os efeitos do aumento não linear da complexidade à medida em que as dimensões do problema aumentam - este é um fator importante na distinção e seleção de métodos para lidar com diferentes dimensões de dados, espaços, e tamanho de programas. É fator determinante na organização de equipes de implementação para grandes projetos de programação;

Modelagem conceitual e formal: várias maneiras de formalizar, caracterizar, visualizar e pensar a respeito de uma idéia ou problema. Exemplos incluem os modelos formais em lógica, teoria da computação, paradigmas de linguagens de programação baseados em modelos formais, modelos abstratos tais como tipos abstratos de dados e modelos semânticos de dados, e linguagens visuais utilizadas na especificação e projeto de sistemas, tais como diagramas de fluxo de dados, entidade-relacionamento e UML;

Consistência e completeza: é a concreta percepção dos conceitos de consistência e completeza em computação, que incluem conceitos relacionados tais como correção, robustez, e confiabilidade. A consistência implica na concordância e/ou compatibilidade de um conjunto de axiomas que servem como uma especificação formal ou a uma teorização de um fato observado. Também a consistência se aplica à concordância e/ou compatibilidade de um conjunto de definições gramaticais de uma linguagem ou de um projeto de interface ou protocolo. A correção pode ser vista como a consistência do comportamento de um sistema a um conjunto de especificações. Completeza inclui a adequação de um dado conjunto de axiomas para capturar e representar todos os comportamentos desejáveis, a adequação funcional dos sistemas de software e hardware, e a habilidade do sistema se comportar adequadamente sob condições de erro ou situações não previstas;

Eficiência: a medida do custo relativo a recursos tais como espaço, tempo, finanças e pessoas. Exemplos incluem a avaliação teórica da complexidade de tempo e espaço de um algoritmo, a eficiência com que um dado resultado pode ser obtido e a eficiência de uma dada implementação frente a alternativas;

Evolução: o fato da mudança e suas implicações. O impacto das mudanças em todos os níveis e a elasticidade (abrangência) e adequação das abstrações, técnicas e sistemas perante tais alterações. Como exemplos citam-se a habilidade de representar aspectos do sistema que variam com o tempo, e a habilidade para projetar e identificar as invariantes do sistema, separando os aspectos sensíveis às alterações de requisitos de ferramentas e de facilidades, com vistas ao gerenciamento de configuração;

Níveis de abstração: é a natureza do uso da abstração em computação, o uso da abstração para administrar complexidade, estruturar sistemas, ocultar detalhes, e capturar padrões recorrentes. É a habilidade de representar uma entidade ou sistema por meio de diferentes níveis de abstração, com

diferentes níveis de detalhes e especificidade. Como exemplos citam-se diferentes níveis de descrição de hardware, níveis de especificidade em uma hierarquia de objetos, a notação genérica em linguagens de programação, e os níveis de detalhes providos na solução de um problema a partir de especificações codificadas;

Ordenação no espaço: é o conceito de localização e proximidade na disciplina de computação. Em adição à localização física, como em redes ou memória, isto inclui localização organizacional (ex. de processadores, processos, definição de tipos e operações associadas) e localização conceitual (ex. escopo de software, acoplamento e coesão);

Ordenação no tempo: o conceito do tempo na ordenação de eventos. Isto inclui o tempo como parâmetro em modelos formais (como em lógica temporal, p. ex.), tempo como o meio de processos sincronizados que estão espalhado no espaço, tempo como elemento essencial na execução de algoritmos;

Reuso: é a habilidade de uma determinada técnica, conceito ou sistema responder apropriadamente quando reutilizado em um novo contexto ou situação. Cita-se como exemplos deste conceito o reuso de bibliotecas de software e de componentes de hardware, tecnologias que promovam o reuso de componentes de software e abstrações de linguagens que promovam o desenvolvimento de módulos de software reusável;

Segurança: é a habilidade dos sistemas de software e de hardware de responderem apropriadamente e defenderem-se contra requisições inapropriadas ou não previstas, e de uma instalação computacional resistir a um evento catastrófico (p. ex. desastre natural e tentativas de sabotagem). Exemplos incluem a conferência de tipos (type-checking) e outros conceitos em linguagens de programação que forneçam uma proteção contra a má utilização de funções e objetos de dados, a criptografia de dados, o controle de privilégios de acesso por meio de um sistema de gerenciamento de banco de dados, as características das interfaces com o usuário que minimizem os erros, medidas de segurança física das facilidades computacionais, e mecanismos de segurança em vários níveis em um sistema;

Relação custo-benefício (trade-off) e conseqüências: o fenômeno da relação custo-benefício em computação e suas conseqüências. Os efeitos técnicos, econômicos e culturais, entre outros, ao selecionar uma alternativa de projeto em detrimento de outra. A relação custo-benefício é um fato fundamental da vida em todos os níveis e em todas as áreas. Exemplos incluem a relação espaço-tempo no estudo de algoritmos, relação custo-benefício inerente em objetivos de projeto conflitantes (ex. facilidade de uso versus completeza, flexibilidade versus simplicidade, baixo custo versus confiabilidade etc.), relação custo-benefício no projeto de hardware, e relação custo-benefício implícita nas tentativas de otimizar a capacidade computacional em face a uma variedade de restrições (como no projeto dos processadores);

O domínio destes conceitos, que não deixa de se constituir em uma hermenêutica¹⁶, é de fundamental importância para o desenvolvimento do "insight"¹⁷ na formação do profissional em Ciência da Computação.

6 A EXPLOSÃO TECNOLÓGICA E O PARADOXO DO DESCONHECIMENTO DA SOCIEDADE

Em primeiro lugar cumpre ressaltar a diferença entre ciência e tecnologia, embora haja um vínculo simbiótico e sensível entre ambos, especialmente com a Ciência da Computação. A tecnologia constitui-se em conhecimento aplicado contextualizado em pautas padronizadas, operado pela predição, a partir do conhecimento universal provido pela ciência e, principalmente, pela experiência da aplicação nos vários contextos específicos onde tem sido utilizada. Esta realimentação de novos conhecimentos que são incorporados à tecnologia a partir da experiência da aplicação desta, é a principal característica da tecnologia. Os conhecimentos novos oriundos da aplicação raramente são estruturados, e se não houver um registro cuidadoso da experiência que originou determinado conhecimento ou conceito tecnológico,

¹⁶ Arte de interpretar o sentido das coisas e/ou de uma área do conhecimento obscura às pessoas comuns, teoria da interpretação em uma dada área do conhecimento, sistema de regras para interpretação.

¹⁷ Compreensão repentina, em geral intuitiva e até perceptiva de um dado problema ou situação. O "insight" possibilita a que o profissional consiga trazer até para o nível intuitivo e perceptivo a compreensão de situações e problemas complexos com uma estrutura de conhecimento altamente hierarquizada em sua área do conhecimento, sem que para isto tenha de proceder todo um processo dedutivo ou de inferência.

difficilmente se saberá o porque de determinada regra ou forma de aplicação. Assim, somente quem TEVE a referida experiência com aquela tecnologia, e a usou para aperfeiçoá-la, é que poderá seguir aprimorando adequadamente a referida tecnologia. Quem tem experiência de produzir tecnologia em uma área de P&D de uma empresa (onde normalmente é produzida, tanto no Brasil quanto no exterior), sabe que o tal registro meticuloso é atropelado pelos prazos e orçamentos, e a fundamentação da tecnologia fica armazenada nas cabeças de quem esteve envolvido na sua produção. Por isto a transferência de tecnologia é mais um mito do que uma realidade. Este problema não apenas impacta em uma eventual transferência de conhecimentos de como a tecnologia foi produzida, mas também quando se treina técnicos para aplicarem e fornecerem suporte à aplicação desta tecnologia. Tais treinamentos em sua maior parte são uma disciplina em torno do paradigma de apresentação de respostas e soluções ao invés de focar no processo de questionamento, uma vez que a preocupação maior é justamente com as peculiaridades da experiência que tornam a tecnologia única do que o conhecimento científico universal. Assim os treinamentos são mais curtos e mais baratos (como convém ao capitalismo). Os egressos de tais treinamentos apenas exercitam o nível de conhecimento e de raciocínio típico de um estudante de nível médio. É comum saberem como aplicarem uma determinada solução sem que tenham a mínima idéia da origem desta solução, mesmo que esta origem já seja do conhecimento universal e sistematizado da ciência. Este problema existe também em outras áreas do conhecimento, inclusive na área da gestão de negócios. Para tentar minimizar este problema, hoje em dia se fala em gestão do conhecimento dentro das empresas e organizações e cada vez mais tem-se procurado tecnologias para a gestão deste vasto conhecimento empírico acumulado com o dia a dia destas organizações. É claro que isto não substitue o inestimável valor dos recursos humanos da organização.

Normalmente, o grande crescimento do conhecimento empírico, de baixo nível hierárquico, em proporção muito maior que o conhecimento científico estruturado, indicam que há uma grande quantidade de material não trabalhado para o desenvolvimento da ciência. É ruim até para o fabricante ou detentor dos direitos da tecnologia ter um produto demasiado fundamentado em conhecimento empírico, por isto é comum no exterior haver uma divisão de R&D (Research & Development) de uma grande companhia dentro de um Campus universitário. Alguns dos maiores fabricantes, com "cacife" para bancar pesquisa científica, chegam ao ponto de investir também em ciência internamente em seus departamentos de R&D. Cria-se uma relação salutar entre empresa e universidade, onde o conhecimento da aplicação trazido pela empresa propiciam um excelente material para a Universidade seguir construindo a ciência e elaborando e estruturando conhecimento hierarquicamente superior, que por sua vez retorna à empresa tanto sob forma de conhecimento estruturado quanto sob forma de recurso humano qualificado para atuar na P&D. O principal benefício à empresa em ter o conhecimento tecnológico traduzido em conhecimento científico universal é que este último já é um conhecimento elaborado e amadurecido, e não mais dependente de uma fundamentação empírica, e que por isto fica menos dependente experiências particulares de pessoas e pode ser melhor apropriado pela P&D no desenvolvimento de novas tecnologias, sendo inclusive, na maioria das vezes, até mesmo o fator viabilizador de saltos tecnológicos. Como decorrência direta, torna-se viável a evolução tecnológica a um custo bem menor do que o investimento massivo em adequação empírica do conhecimento aplicado. Portanto é importante ressaltar que o fluxo de conhecimento precisa ser bidirecional, e ambas as partes devem valorizar o conhecimento da outra parte, para que o relacionamento empresa-universidade frutifique. A postura arrogante de qualquer das partes só contribui para minar um relacionamento que tem tudo para dar certo!

A pressão por resultados oriunda de uma sociedade capitalista que começa a antever enorme potencial de lucros a partir dos benefícios¹⁸ que a Ciência da Computação pode propiciar, tem provocado uma verdadeira corrida no desenvolvimento tecnológico, que praticamente sufoca a Ciência da Computação ao direcionar o patrocínio das pesquisas quase que exclusivamente à tarefa de substanciar tais benefícios potenciais em aplicações práticas e comercializáveis! Com isto a discrepância entre a quantidade de conhecimento estruturado da ciência e o grande volume de conhecimento empírico inerente às várias abordagens tecnológicas chega a ser impressionante. A demanda por técnicos especializados para dar suporte à estas tecnologias se tornou um fenômeno nesta virada de século, com milhares de vagas não preenchidas por falta de pessoal treinado. Diante disso, os grandes fabricantes tem se empenhado ao máximo em fornecer soluções tecnológicas que cada vez exijam menos qualificação dos usuários e técnicos, a fim de que possam ganhar mercado rapidamente. Como

¹⁸ Só para que se tenha uma idéia, é de consenso dos especialistas que o Capitalismo ainda não encontrou o mesmo destino do Comunismo em 1991 devido justamente à enorme expansão da tecnologia e a sua acessibilidade propiciada pela Internet.

resultado tem-se um verdadeiro exército de usuários e técnicos, tidos como "peritos" da informática, que normalmente dão a nítida impressão que no fundo não entendem bem da área que abraçaram como sua área de conhecimento, seja pelas soluções apresentadas para os problemas encontrados, seja pela incapacidade de preverem com correção prazos e custos para a implantação de determinadas soluções. Pode-se apresentar como solução que deixa dúvidas quanto à competência do "perito" ou quanto à qualidade da solução tecnológica, aquela do tipo "reinstale o software" de tamanho normalmente absurdo ("fatware") ou formate novamente o disco e reinstale todo o sistema operacional! Isto para não dizer de soluções que não duram uma semana, e logo precisa-se "chamar o técnico" para resolver novamente o problema que parecia estar resolvido, seja no ambiente computacional, seja em um aplicativo implementado sob encomenda!

As limitações de tais técnicos se evidenciam mesmo quando já transitam bem em uma tecnologia particular bem amadurecida e estabilizada, quando tem de se deparar com uma outra tecnologia totalmente diferente para resolver o mesmo problema. Como exemplo cita-se o desafio de um especialista em Windows NT em ter que trabalhar com LINUX ou FreeBSD. Apesar de estar familiarizado com uma tecnologia de redes de computadores, salvo se tiver uma formação acadêmica adequada que lhe propicie conhecimentos mais universais e um "insight" mais aprofundado propiciado pelo exercício continuado dos conceitos recorrentes nas várias áreas dentro da Ciência da Computação, este técnico terá grandes dificuldades para assimilar a mudança de paradigma. E é exatamente que se está constatando no mercado, onde relativamente tem-se um razoável número de técnicos para Windows, tem-se uma brutal escassez de técnicos para LINUX ou FreeBSD.

Neste ponto deve-se expor mais algumas falácias oriundas da confusão entre Ciência e Tecnologia (alienação provavelmente induzida pela excessiva compatimentalização do conhecimento no período moderno). Mesmo pessoas mais instruídas em outras áreas do conhecimento acabam cometendo este erro primário, ao confundir a Ciência da Computação com as tecnologias aplicadas que chegam até a sociedade, e ao confundir os "técnicos" como sendo quase que o único tipo de profissional que pode haver na área da computação!! Ao perceberem, mesmo intuitivamente, que tais técnicos não apresentam muita fluência científica, cometem o erro da generalização apressada ao inferir que a Ciência da computação sequer seria ciência, ou que, na melhor das hipóteses, seria uma ciência em construção, buscando ainda se afirmar como ciência! O desconhecimento da Ciência da Computação é tamanho que até em meio universitário já se ouviu expressões do tipo: "se a Universidade possui um curso de computação, então que eles sejam acionados para confeccionar um aplicativo de gestão da entidade". É como se dissesse que já que a Universidade possui um curso de Engenharia Civil então que eles façam os reparos no calçamento de fora ou consertem o encanamento do banheiro, afinal os alunos devem ter aprendido como assentar lajes em calçamento e como fazer argamassa!! Nesta questão cumpre ressaltar que nas várias ciências sempre acaba existindo um distanciamento natural entre a ciência pura e suas aplicações tecnológicas, tanto que, quando se discerne a diferença, torna-se compreensível entender que, embora um médico saiba todo o trabalho do enfermeiro ou de um radiologista, não necessariamente executará esta tarefa com a mesma destreza que os mesmos, que se dedicam àquela atividade o dia todo. O mesmo ocorre nas Engenharias, Administração, área de saúde em geral, entre outras. Evidentemente que o profissional de nível superior não pode viver na "estratosfera" longe dos "mortais comuns", e esperar, ou até exigir, que a sociedade o aceite desta forma. Este profissional precisa de alguma experiência "tecnológica" de aplicação prática para até mesmo validar o seu conhecimento, mas mesmo tal experiência não impede que este profissional não consiga desenvolver a mesma habilidade prática que um técnico competente em uma determinada tecnologia, justamente porque a tecnologia decorre de um bom volume de conhecimento empírico cuja aplicação requer a vivência prática e/ou treinamento qualificado específico naquela tecnologia. No caso da Ciência da Computação esta distância é brutalmente maior, e os profissionais da computação precisam desenvolver uma enorme versatilidade para pelo menos tangenciar as principais tecnologias em suas atividades práticas, porque a tecnologia em computação e informática está avançando muito mais rapidamente que a ciência. Não esquecer no entanto que, por mais que avance, a tecnologia não concorre com a ciência, mas sim prescinde dela para poder dar os grandes saltos, caso contrário a tecnologia pode chegar a um estágio de saturação e estagnação. Tem-se a impressão que se, hipoteticamente, se parasse de desenvolver tecnologia e se dedicasse à documentação e estruturação do conhecimento empírico já levantado, daria para fazer Ciência da Computação por anos, se esta não prescindisse de demonstrações e simulações, e por decorrência do próprio avanço da tecnologia. A tecnologia da computação obsoleta a si mesma continuamente, tornando descartável muito do conhecimento empírico apurado pela tecnologia anterior, criando uma verdadeira corrida alucinada entre tecnologia e Ciência da Computação!

Esta falácia também se repercute na forma desastrosa de como se pratica a contratação de serviços na área da computação! Contrata-se o desenvolvimento de um aplicativo da mesma maneira como se contrata uma empreitada em construção civil, com o detalhe onde é dada pouca ou nenhuma atenção ao planejamento, tal como ocorre na construção civil em geral. Afinal o "computador" é "inteligente" e tem já a solução dos problemas de automação, e portanto não há a necessidade de preocupar-se com os detalhes enfadonhos (exatamente o oposto do requerido para a Ciência da Computação)! Este lapso sempre origina muita "dor de cabeça" e frustração, principalmente porque não é dada atenção ao que se considera minúcias desprezíveis e à documentação de projeto, que raramente é exigida e/ou remunerada (como deveria ser, para que tenha qualidade). Muitas vezes sequer o cliente dá atenção adequada à própria especificação do que exatamente deseja e/ou necessita! Quantas vezes os consultores de informática recebem solicitações apenas por um "sistema de emissão de nota fiscal "baratinho" e rápido de implementar" quando na verdade o que está sendo esperado pelo cliente é toda uma solução de gestão de compras, controle de estoque, etc..! Quando o cliente se dá de conta de sua fragilidade como contratador de produtos e serviços em informática, este tenta instruir-se de uma forma usualmente bastante deficiente, o que o induz a achar que "sabe o que quer" e a exigir soluções conforme alguma tecnologia em particular sem que no fundo tenha certeza de que realmente aquela seja a melhor opção para o seu caso, e muito menos consegue dar uma fundamentação do porque que aquela escolha tecnológica específica seria a mais adequada para o seu caso. Nestes casos o usuário acaba se desviando ainda mais daquele que deveria ser o foco de sua requisição, qual seja entender e especificar com detalhe, profundidade e abrangência qual é a sua necessidade e o que ele realmente precisa para resolver o seu problema, sem se aventurar a escolher uma determinada tecnologia. Assim a própria especificação da tecnologia teria que se adequar à relação custo-benefício exigida pelo cliente, e seria tarefa do profissional de computação encontrar a solução que atendesse adequadamente tal solicitação. Na verdade o cliente profissional é aquele que se especializa em entender as suas próprias necessidades, o que muitas vezes não é uma tarefa trivial, apesar de óbvia!

Em uma contratação de serviço de instalação de um ambiente computacional mais complexo raramente é dada atenção ao diário de instalação (equivalente ao memorial descritivo ou até ao "as built", comuns em Engenharia Industrial) e aos procedimentos de contingência¹⁹. Após algumas frustrações, o contratante do desenvolvimento de um aplicativo específico tenta se resguardar exigindo o código fonte do técnico, como se isto lhe conferisse uma segurança de continuidade do projeto independentemente da disponibilidade do técnico. Evidentemente isto demonstra uma absoluta falta de noção de um dos métodos mais fundamentais em Ciência da Computação que é a elaboração de níveis de abstração por meio das técnicas de abstração. Ter apenas o código fonte de um programa é como ter apenas o prédio construído com a respectiva maquete, sem a planta, memorial de cálculo, memorial descritivo e o projeto!!

Cita-se também a absoluta falta de critério profissional para a seleção e escolha do prestador de serviços especializados. A forma mais usual de seleção de prestador de serviços é o relacionamento, o célebre QI (que indica!), que praticamente despreza por completo a competência profissional devido a absoluta incapacidade de avaliar este aspecto ao ponto de ter segurança e confiança no êxito do projeto. Ai mistura-se a confiança pessoal com a confiança profissional. Na outra forma, buscando algum critério mais profissional, os potenciais contratantes buscam apegar-se exclusivamente, e de forma ferrenha, ao histórico de prestação de serviços anteriores, quando isto nem sempre assegura um assessoramento qualificado e seguro, salvo se a formatação do serviço contratado é muito similar em suas circunstâncias aos serviços anteriormente executados. O limitante mais sério desta abordagem é que ela impede a inovação de soluções, uma vez que o que deve ser contratado é algo similar ao que já foi feito em outro lugar, sendo que em computação em particular existe um enorme potencial a ser explorado justamente com as inovações.

Para poder contornar este problema de barreira à inovação devido à incompetência do mercado em contratar serviços especializados em informática, para poder vender as novas soluções, os grandes fabricantes de tecnologia introduziram e popularizaram o conceito de profissional certificado em uma certa tecnologia. Com o poder inquestionável do marketing conseguiram superar esta barreira à inovação simplificando para o mercado o dilema de decidir pela melhor competência entre candidatos a fornecer o serviço - bastava exigir a referida certificação. O poder de marketing consolidou uma imagem

¹⁹ Este conceito, relacionado à segurança e à disponibilidade, é eminentemente de Engenharia. Qual o engenheiro que nunca ouviu falar das célebres *leis de Murphy*?

tão forte que estes fabricantes até se permitem denominar os seus centros de treinamento de "Universidade" e os seus aprendizes certificados em seus exames de "Engenheiros" sem para isto precisem buscar alguma legitimidade junto ao MEC e tampouco tenham de dar uma formação acadêmica científica a altura do título que seus aprendizes certificados ousadamente ostentam [GOTTERBARN 94]!! Detalhe, com maior aceitação no mercado do que o diploma de curso superior! Desnecessário dizer que, por se tratar de uma certificação em uma tecnologia específica, esta certificação é descartável, tendo uma validade oficial de 2 anos. Os profissionais certificados desta forma são praticamente doutrinados e inculcados com a idéia de que a tecnologia que estão abraçando como abordagem de trabalho é a melhor e a única realmente viável, que sobreviverá no futuro enquanto que todas as outras desaparecerão! Desta forma são "bitolados" a apenas uma forma de abordagem e pensamento, tornando-se severamente limitados a qualquer atividade científica. Desnecessário dizer que tal "deformação" precisaria ser "demolido" para que tal indivíduo pudesse amadurecer como profissional em Ciência da Computação.

Logo estes fabricantes viram no processo de certificação mais uma linha de negócios lucrativa, além de se constituir em fator de inquestionável promoção da sua abordagem tecnológica específica, o que forçaria o mercado a se tornar cativo das soluções que este fabricante produzisse (ex.: Active X, padrão COM, NDS, etc..). Tamanha penetração de mercado se tornou viável graças ao poderio de promoção de marketing onde a sociedade é absolutamente ignorante a respeito da Ciência da Computação, e pior, acha que tem alguma noção a respeito. Neste contexto, onde outros fabricantes tem um verdadeiro "abacaxi", que é o suporte às suas soluções tecnológicas, tendo ai que arcar com custos de garantia e treinamento de rede de assistência técnica, para os grandes fabricantes de tecnologia de informática se tornou mais uma incrível oportunidade de lucro! Agora os seus representantes e revendas PAGAM para se qualificarem na tecnologia do fabricante, às suas próprias custas, e assumem o suporte pós venda e o ônus daí decorrente, de forma que se uma solução dá problema, a culpa é do representante ou da software-house que fez o aplicativo e dificilmente do fabricante. Se fica provado que o problema é realmente do fabricante, normalmente o cliente contemporiza, sendo mais rigoroso com as soluções locais do que com as soluções do fabricante. Este autor está bastante curioso em saber como estes grandes fabricantes vão enfrentar o desafio de introduzir as tecnologias voltadas ao conhecimento, com o advento da Engenharia do Conhecimento nos próximos anos, e produzir a mão de obra qualificada indispensável para que as suas vendas prosperem! É impossível dominar a formalização do conhecimento sem que se esteja adequadamente instrumentalizado com toda a metodologia da Ciência da Computação, em especial a teorização e a abstração.

Os CIOs ou executivos de informática de grandes corporações vivem uma rotina estressante buscando conciliar o grau de risco aceitável para investir em inovação tecnológica e a segurança da continuidade da solução atual, que carrega o ônus de censura por parte do alto escalão por não acompanhar as tendências tecnológicas do mercado, e com isto prejudicar os negócios da empresa! Esta pressão por atualização tecnológica é inteligentemente conduzida e explorada pelos grandes fabricantes de tecnologia, que praticamente monopolizam as decisões de quais tecnologias devem ser importantes para a condução dos negócios no mercado, obsoletando aquelas que já não são mais convenientes aos seus lucros, e criando novas para as quais o mercado acaba sendo obrigado a migrar, e isto em um ritmo cada vez mais frenético (afinal é necessário apresentar resultados contábeis cada vez mais polpidos aos acionistas ao cabo de cada exercício fiscal). Isto explica por que, por exemplo, muitas vezes na prática uma atualização tecnológica significa um investimento em máquina mais potente e software mais sofisticado para fazer exatamente o que era feito anteriormente com a tecnologia "obsoleta", com uma máquina menos potente e mais barata!! Absolutamente leigo em informática e mesmo nas aplicações da computação em seus próprios negócios, o alto escalão acaba repassando esta pressão sobre os seus CIOs, que paradoxalmente, a despeito da crescente importância da tecnologia de informação na condução dos negócios da corporação, ainda não conseguiram auferir uma influência e peso político maior dentro da organização. Assim, muitas vezes estes são forçados a tomar decisões de inovação a contra gosto, e a assumir todo o ônus (ou louros) das consequências de tais decisões. Diante disso, tais CIOs buscam amparo nos braços dos fabricantes e/ou provedores de soluções que tenham conquistado maior influência e poder junto ao mercado, tornando-se verdadeiros reféns das decisões tecnológicas tomadas visando outros interesses que só serão compatíveis com os interesses da corporação por mera coincidência. Desta forma, sob certo aspecto, o eventual ônus de algum problema de desempenho e/ou fracasso poderia ser diluído com a comunidade que acreditou na mesma solução!! A única esperança de escapar desta armadilha é dispor no mercado de meios para que as decisões sobre tecnologia mais apropriada ao seu negócio possam ser tomadas localmente. Isto iria requerer a existência de competência local para desenvolver e aplicar a tecnologia que fosse mais conveniente, o que implicaria

em uma competência científica local, e não apenas técnica! Como o grau de complexidade das soluções tecnológicas hoje disponíveis no mercado é considerável, tal perspectiva de desenvolver tecnologia customizada às necessidades locais de um negócio específico não passaria de um sonho se não fosse a perspectiva da disponibilidade de tecnologias livres e abertas para que alguém que tivesse domínio da Ciência da Computação pudesse então viabilizar as soluções tecnológicas específicas tão sonhadas! Isto traria uma valoração mais saudável do profissional com formação acadêmica e científica em detrimento do famoso "técnico de informática"! Na verdade, tais tecnologias abertas hoje disponíveis possibilitam o acesso à customização de soluções até mesmo para quem tem menor capacidade de investimento, democratizando desta forma o acesso à tecnologia! Assim, no médio prazo, tanto os profissionais da Ciência da Computação quanto o próprio mercado tem tudo a ganhar com a popularização do software livre.

O pragmatismo das empresas que se vêm pressionadas a investir cada vez mais em treinamento de seus funcionários, devido à alucinante evolução tecnológica viabilizada pelos massivos investimentos (só no projeto do Windows 2000 foram investidos 1 bilhão de dólares!), faz com que estas tentem repassar pelo menos parte deste ônus às Universidades, cobrando que elas forneçam já prontos estes técnicos qualificados em uma tecnologia recém introduzida no mercado por parte de um grande fabricante!! É claro que tais empresas são eminentemente consumistas e pouco ou nada se importam com a ciência. A Universidade precisa preservar e seguir desenvolvendo ciência, especialmente em país do terceiro mundo, a não ser que se queira satisfazer em ser mão de obra barata a serviço das grandes empresas multinacionais que ditam até o que se deve consumir na sociedade local. Por outro lado, a Universidade pode aproveitar tal situação como uma oportunidade de negócios, desenvolvendo cursos de curta duração a nível de extensão ou especialização, ou até de nível médio (mais adequado no caso de capacitação meramente tecnológica) orientado para esta demanda específica de mercado, inclusive com possibilidade de certificação em tecnologia de um dado fabricante de maior projeção. Assim poderia captar mais recursos para desenvolver projetos de pesquisa.

Um dos maiores méritos da reserva de mercado de informática no Brasil, apesar de "quixotesca"²⁰ e mal arquitetada, foi ter propiciado o embrião do desenvolvimento da Ciência da Computação nas principais Universidades do país, que tiveram a competência de preservar este patrimônio, que hoje todas as instituições de ensino podem usufruir. O principal erro da política de desenvolvimento da computação na época da reserva foi justamente haver focado a computação como sinônimo de computadores, enfatizando quase que exclusivamente o hardware dos computadores digitais. Foi uma lamentável ignorância sobre o que é Ciência da Computação! Posteriormente políticos e economistas influentes, que não estavam preocupados em corrigir a abordagem da reserva de mercado, mas sim em acabar com ela, utilizaram toda a sua inteligência e esperteza para minar e finalmente eliminar a reserva de mercado, abrindo espaço para uma abertura de mercado caótica e predatória, deixando o país "inserido na globalização" mais como um mero títere ou vítima do que como um protagonista influente, dentro da propalada "modernidade".

A situação do lado dos candidatos a prestadores de serviços especializados em informática não é muito diferente daquela do mercado. Com a explosão de demanda por serviços técnicos mais variados em informática, logo surgiu um verdadeiro exército de leigos, que após algumas horas de aprendizado autodidático ou em cursinho de certificação, se enchem de confiança para oferecer-se a atender a demanda que se apresenta. Assim, por exemplo, já que o mercado contrata serviço de desenvolvimento por empreitada, como em construção civil, sem se preocupar com o planejamento e o projeto, estes profissionais se submetem a estes padrões, fornecendo orçamentos e cronogramas que em via de regra são meras peças de ficção. A comunicação cliente-técnico é extremamente imperfeita e até "ruidosa", e o técnico não consegue entender e levantar adequadamente as necessidades e requisitos da aplicação do cliente. A adequação da solução às necessidades do cliente é normalmente um fato esporádico. A coincidência do orçamento e cronograma com a concretização do trabalho é um fato raro, como ganhar na loteria! No fim das contas ambos os lados acabam arcando com o ônus desta aventura, com o "técnico" sendo trocado por outro e com o cliente tendo que suportar a solução por um tempo até que possa esquecer a dor de cabeça e o gasto que teve, e então tentar contratar novamente outro "técnico", normalmente repetindo os mesmos erros!

Neste estado de coisas, surge uma demanda na sociedade por algum tipo de moralização da prestação destes serviços, mesmo sem entender direito esta área do conhecimento envolvida. Com o vácuo de

²⁰ Recomenda-se a leitura divertida de *Dom Quixote de La Mancha*, de Miguel de Cervantes!

poder regulador, então tem surgido até entidades profissionais alheias à computação, e portanto leigas nesta área do conhecimento, que procuram emprestar a credibilidade que possuem em suas respectivas áreas para arbitrar o exercício da profissão em computação. É claro que é uma aventura com o objetivo de obter uma nova fonte de arrecadação, e sem nenhuma perspectiva ou competência para moralizar a área da computação na sociedade, uma vez que nada entendem desta ciência! Em função desta ousadia intempestiva dos leigos em quererem advogar para si até mesmo a autoridade de arbitrar o próprio exercício da profissão em Ciência da Computação, várias entidades da categoria encaminham presentemente uma proposta de regulamentação no congresso²¹.

A mesma explosão tecnológica que pressiona as empresas e instituições, também pressiona as pessoas para que busquem ao menos se familiarizar com a utilização da computação no exercício das diversas atividades. Isto logo despertou uma oportunidade de grandes lucros aos assim chamados cursos de informática, com encaminhamento para o emprego! A abordagem didática extremamente pobre destes cursos de informática, que objetivam mais os ganhos imediatos, segue a linha da didática da obsoleta pedagogia diretiva, com o agravante de normalmente apresentar um conteúdo idiota e nada desafiante, além de exigir muito pouco ou nada de esforço por parte do aprendiz para que este realmente possa se qualificar. É o famoso jogo do "você faz de conta que ensina" que "eu faço de conta que aprendo", e "pago a você para que atenda os meus desejos" (que normalmente não correspondem a necessidades). Daria para escrever livros a respeito das atrocidades que se pratica no mercado!

A educação no computador tem sido, de longe, um desapontamento, supervalorizada e sub-realizada. O treinamento por computador tem significado pôr um livro no computador, permitir que o estudante aperte um botão para acessar a próxima página e fazer um exame no final [MENDELS 99]. Diversão educativa tem significado algum jogo bobo que pretendia ensinar fatos valiosos às crianças. É necessário perceber que o paradigma da computação abre excelentes oportunidades para o desenvolvimento de uma abordagem didática revolucionária. Como foi abordado anteriormente, a computação tem na demonstração e/ou simulação um de seus principais paradigmas. Este paradigma praticamente induz uma pedagogia relacional, com pressuposto construtivista. Como exemplo, cita-se o simulador de vôo como um ótimo item de software educacional; não existe um meio melhor de aprender a voar que não seja perigoso. Aprender fazendo é uma realidade prática, tendo boas simulações. O problema é tanto construir estas simulações quanto reinventar um currículo baseado nesta nova tecnologia e na idéia de aprender fazendo [SCHANK 99]. Que as pessoas aprendem fazendo é uma idéia antiga. Na verdade, John Dewey (1916) lamentava que, mesmo todo mundo sabendo que as pessoas aprendem fazendo e que não podem "aprender por despejo", parecia não haver meio de mudar as escolas. Bem, agora existe. Aprender fazendo necessita de um meio e o computador pode ser este meio. Os cursos universitários existentes podem ter sucesso quando permitem fazer. Porém, um grande número de disciplinas, especialmente as introdutórias e de serviços, têm pouco ou nenhum fazer. Isto mudará quando a Universidade Virtual ascender. Há uma asserção errada de que, devido à suposta familiaridade dos professores jovens com computadores, eles estarão necessariamente mais confortáveis com a tecnologia como ferramenta de ensino. Mas só porque um professor pode utilizar um computador para editar um texto não significa que a pessoa tenha uma boa idéia de como utilizar o mesmo como auxílio à educação.

Mais e mais informação pode nos tornar menos cultos e incapazes de tomar uma decisão inteligente ou até mesmo sábia, se ficarmos assoberbados por muitos dados e por comunicação instantânea. Paradoxalmente, alguns dos temas mais importantes que o mundo tecnológico cria para a educação são os valores e a capacidade de fazer escolhas, e não assuntos técnicos. Pode haver uma tentação a esquecer isto, quando a atenção está firmemente voltada a grandes investimentos em equipamentos para a educação. Vários programas de treinamento para professores falharam em ensinar efetivamente estas habilidades pedagógicas [MENDELS 99]. Uma razão é que os departamentos educacionais das faculdades freqüentemente são privados dos recursos como os que recebem as escolas de engenharia ou administração, e simplesmente não têm dinheiro para investir na atualização de seus equipamentos de computação. Outra razão é que alguns membros docentes podem não estar familiarizados com a tecnologia como ferramenta de ensino, sendo incapazes de ensinar tais habilidades à nova geração de professores. Entretanto, questiona-se todo o esforço para utilizar a tecnologia no ensino, provavelmente boa parte dos bilhões que estão sendo despejados nestes projetos são dólares gastos em um esforço mal direcionado, que deposita mais fé nas máquinas do que nos seres humanos.

²¹ pode ser verificado em <http://www.fenadados.org.br/regprof.htm>. A manifestação das entidades e breve histórico pode ser visto em <http://assespro.org.br/manifesto.htm> e <http://www.sbc.org.br/regulamentacao/fdisputa.html>.

As universidades estão correndo para entrar no negócio da educação à distância. Elas vêem o computador como sendo vital para esta empreitada, mas não é óbvio que saibam porque ele é vital. As universidades querem oferecer cursos pela Web. Elas querem fazê-lo porque temem que alguém o faça antes delas e obtenha maior prestígio ou mais receita dos estudantes. As pessoas que estão pondo seus cursos na Web não o estão fazendo por estarem interessadas em explorar novos métodos de ensino. Elas não vêem a Web como um instrumento revolucionário. Mas isto é exatamente o que ela é [SCHANK 99]. É fácil imaginar que as universidades tenham de repente se tornado fascinadas com o poder do computador, ou que tenham começado a se preocupar com a criança de Manaus que nunca chegará a Boston, muito menos cursará Harvard. Mas o que está realmente acontecendo não tem nada a ver com computadores ou educação para as massas. As universidades estão preocupadas porque, se Harvard algum dia se organizar e decidir oferecer todos os cursos de Harvard via aulas em vídeo, e desenvolver alguma maneira de os estudantes interagirem com professores para corrigir seus temas de casa, todos os demais estarão falidos.

7 A GRANDE MUDANÇA DE PARADIGMA REQUERIDA DO APRENDIZ

Dentro da abordagem do construtivismo, o aproveitamento do aprendiz em um curso ou treinamento ocorre por meio da construção de conhecimento a partir de estruturas de conhecimento que este já possuía anteriormente. Nestas estruturas inclui-se conceitos e paradigmas. Pela própria apresentação anterior neste trabalho sobre a tecnologia na sociedade, não é difícil perceber que o aprendiz dificilmente terá alguma estrutura de conhecimento ou paradigma que permita "construir" sobre ela a estrutura da Ciência da Computação! E isto sem mencionar o péssimo nível de ensino em nível básico e médio de onde veio este aprendiz, e que está abaixo da crítica.

Já estudos comprovam [BEN-ARI 98] que os novatos têm enormes dificuldades para assimilar conceitos abstratos tais como variáveis, parâmetros, tipos e polimorfismo em objetos (sintaxe e semântica de um ambiente de programação). Daí, o caos e o horror é ainda maior quando se tenta introduzir os conceitos de níveis de abstração e as técnicas para conceber e representar tais níveis. Além disso, constatou-se que eles têm uma total falta de qualquer conceito parecido com uma máquina lógica seqüencial (computador ou máquina de Turing), e muito menos possuem o conceito de resultado totalmente errado em função de um pequeno detalhe.

A computação não é como a física básica, onde a intuição e a facilidade de manipulação algébrica podem garantir um bom desempenho, mas é eminentemente abstrata, e as conseqüências das concepções errôneas são imediatamente expostas. Isso é muito mais evidenciado nos iniciantes do que naqueles que já conseguiram avançar no curso, e pode-se considerar como um forte fator desestimulante que irá requerer muita perseverança do aluno para superar esta formidável dificuldade. Mesmo os famigerados "técnicos", com experiência em programação em uma dada tecnologia, autodidata ou adquirida nos "cursos de informática", tem enormes lacunas nestas mesmas questões, apresentando estruturas prévias de conhecimento que simplesmente não são viáveis para estudos acadêmicos em Ciência da Computação. Eles simplesmente precisam esquecer tudo e aprender do zero, como os outros, senão correm sério risco de tropeçarem mais do que o novato na área, justamente por se apegarem ao seu conhecimento "técnico"! Só para citar um exemplo, mesmo os técnicos certificados nas mais avançadas tecnologias de Bancos de Dados do mercado, se chegaram a ouvir falar de modelagem conceitual, não conseguem operacionalizar de forma efetiva na prática a modelagem conceitual, lógica e física com a respectiva traçabilidade nos três (ou mais) níveis de abstração. Eles na verdade são meros "desenhadores" de "schema" de banco de dados físico, e contam com a sofisticação tecnológica do fabricante para, ainda em modelagem física, chegar mais próximo do domínio das regras de negócio do cliente! O mesmo ocorre com os técnicos certificados em um dado ambiente de desenvolvimento. O próprio paradigma da Análise e programação orientados a Objeto (OOA e OOP) tem tido dificuldades em explorar a reusabilidade (o principal argumento que justifica o investimento neste paradigma) justamente pela dificuldade enorme que os praticantes de tal abordagem tem para estruturar abstrações supra contextuais desde o nível conceitual, tal que se possa inclusive implementar em forma de programa executável tais abstrações.

Adicionalmente, ainda persiste a concepção na sociedade de que a formação profissional adequada se reflete na capacidade de "regurgitar" respostas prontas à qualquer requisição que se apresente em sua área de conhecimento, como se cada profissional tivesse a obrigação de ser uma enciclopédia em sua área de conhecimento. O próprio sistema de avaliação e certificação ainda amplamente utilizados

induzem a esta falácia. Dessa forma, o desenvolvimento da habilidade de identificar e buscar o conhecimento requerido para a solução de um dado problema não é adequadamente incentivado. Obviamente que este paradigma é colocado cada vez mais em cheque diante do descomunal volume de conhecimento que se multiplica geometricamente na sociedade de hoje!

A seguir, para melhor ilustrar esta questão, serão apresentados os respectivos perfis dos iniciantes, e dos profissionais em Ciência da Computação. O leitor poderá tirar o seu próprio juízo comparando os dois!

7.1 A sua "deformação" em nível básico e médio

Com a malfadada e irresponsável reforma do ensino da década dos 70 no Brasil, foi promovido um verdadeiro "genocídio" sobre a educação de gerações, relegando estas "vítimas" a um estado de verdadeira "indigência cultural". O ensino público está em tal situação calamitosa que se dá graças a Deus quando *aparece* algum professor para estar na aula (se vai dá-la é outra questão). Questionar e esperar aprimoramento na qualidade do ensino não passa de mero sonho neste contexto. A situação se apresenta bastante preocupante à medida em que se percebe que a própria sociedade não sabe como exigir a restauração do sistema de ensino (vítima do próprio sistema), e nem tampouco tem no ensino a sua prioridade maior, apesar dos efeitos devastadores que a globalização selvagem no Brasil promove sobre as camadas da sociedade menos qualificadas em termos de educação. A situação do ensino particular, salvo alguma "ilha de exceção", é um pouco melhor (pelo menos tem professor), mas não foge muito à regra geral de baixa qualidade do ensino tanto em abordagem quanto em conteúdo. Pelo menos está no nível da crítica!

Portanto o iniciante do curso superior traz uma bagagem cultural que não apenas não serve para o apropriado desenvolvimento de um estudo acadêmico, mas até atrapalha o desenvolvimento do estudo. Ele vem de uma experiência de estudante de disciplinas desenvolvidas em torno do paradigma de apresentação de respostas e soluções ao invés de focar no processo de questionamento, e usualmente da velha e surrada didática diretiva. Quando este por um acaso passou por um período de experiência didática com proposta construtivista, é preciso verificar se na prática a implementação da proposta não foi "destrutivista" (ver adiante alguns riscos do construtivismo)! Já vem com o vício do comodismo e a postura passiva nas atividades discentes e se assusta, até se ofende, quando se depara com uma exigência maior (trabalhos, pesquisas, estudos, etc..) no curso superior. Não está acostumado à autocrítica, e joga a culpa de seu eventual desempenho medíocre na Universidade, no curso, no professor, etc.. Acostumado com conteúdos de conhecimento ralos, superficiais e sumários, não está acostumado a digerir e organizar grandes quantidades de conhecimento em um curto período de tempo. Muito menos está acostumado a desenvolver abstrações e a buscar conhecimento em bibliografia extensa com vistas a aplicá-lo em uma necessidade específica. Dado o seu comodismo, exige que a escola e/ou o professor apresentem TODOS os conteúdos em classe, e se escandaliza se em uma verificação vierem a ser cobrados conhecimentos não explicitamente apresentados em aula. Não desenvolveu o prazer de aprender, e dificilmente fica estimulado diante de desafios, pelo contrário, se desestimula! A própria dificuldade imensa de se concentrar que se identifica nos iniciantes em geral já demonstra per si só que o ensino básico e médio nada exigem para certificá-los como "aptos". Esta capacidade de concentração é fundamental para administrar exigência de precisão no desenvolvimento do estudo acadêmico em Ciência da Computação. Com certeza, sem uma radical mudança cultural de atitude e comportamento, este indivíduo jamais poderá ser um profissional de computação adequado.

7.2 O perfil do profissional em Ciência da Computação

Ao conduzir um curso e/ou elaborar um Currículo acadêmico de formação de um profissional de computação em nível superior não se pode perder de vista o perfil requerido deste profissional, para que a qualidade da formação não seja comprometida. Assim como a Ciência da Computação tem as suas peculiaridades que a caracterizam (já abordadas anteriormente), o profissional desta área do conhecimento também terá as suas peculiaridades que o caracterizam como tal. Donald Knuth²² uma vez disse (tradução livre):

²² Para os que não são da computação, este pesquisador é autor de vários livros de computação e possui grande reputação entre a comunidade científica, sendo os seus trabalhos sobre algoritmos e estruturas de dados dentre os mais famosos, pois ele oferecia prêmio em dinheiro a quem quer que conseguisse encontrar algum erro em seus programas, e acredite o leitor, não era fácil achar um eventual erro! Os seus trabalhos eram uma contundente demonstração da habilidade transitar em vários

"Ciência da Computação é um campo que atrai diferentes tipos de pensadores. Eu creio que um cientista da computação nato pensa algorítmicamente. Tal tipo de indivíduo é especialmente bom em lidar com situações onde regras diferentes se aplicam em diferentes situações; eles rapidamente podem mudar de nível de abstração, simultaneamente visualizando as coisas a nível macro e a nível micro".

Ainda outro cientista da computação famoso, Fred Brooks [BROOKS 75], disse:

"O programador, tal como um poeta, trabalha somente um pouco a parte do pensamento puro. Ele constrói os seus castelos no ar, e do ar, criados pela aplicação da imaginação. Poucos meios de criação são tão flexíveis, tão fáceis de polir e retrabalhar, sendo assim prontamente capazes de realizar grandes estruturas conceituais (é claro que depois pode ter os seus problemas de traçabilidade!). No entanto o programa, diferente das palavras do poeta, é real no sentido em que se move e funciona, produzindo saídas (resultados) separados do programa propriamente dito. Imprime resultados, desenha figuras, produz sons, move braços, etc.. A mágica do mito e da lenda se torna verdade nos dias de hoje (a realidade virtual que o diga!). Alguém digita a encantação correta no teclado e a tela do computador adquire vida, mostrando coisas que nunca existiram ou não poderiam ter existido!".

Realmente é indescritível o excitamento de se possuir um meio onde é possível criar idéias, conceitos, pensamentos com uma liberdade nunca experimentada em qualquer outra área do conhecimento, e ao mesmo tempo poder concretizar estas criações em um dado ambiente computacional. É sensação similar a de um compositor de música que compõe pautas (programas) a serem tocadas por uma orquestra (ambiente computacional), que está sempre disponível para tal. É claro que justamente esta liberdade traz o problema de saber administrá-la, para não cair no caos²³, mas isto "faz parte do jogo". Tal entusiasmo incita e aguça a mente inquisidora do pesquisador. O cientista sempre está a formular perguntas para as quais busca respostas. Pode-se dizer que é como se o profissional da computação tivesse uma "inquietação genética" e nunca conseguisse se acomodar. É óbvio que a qualidade das respostas depende da qualidade das perguntas. Precisa-se assim de boas perguntas, e a capacidade de identificar as questões relevantes (ou "insight") é a que deve ser desenvolvida na formação do profissional da computação e no transcurso de toda a sua vida profissional ativa. Mais do que em qualquer outra área²⁴, a da computação exige esta habilidade em todos os níveis do exercício da profissão, a começar pela mais corriqueira atividade de prestar suporte à utilização de um dado ambiente computacional²⁵.

Igualmente é preciso desenvolver a capacidade de buscar a resposta através de novas perguntas, que levem até a resposta da questão original. Esta capacidade requer a habilidade de navegar no oceano do conhecimento da área, que sempre está mudando e aumentando geometricamente. Portanto o profissional da computação deve ter apreço (até paixão) por aprender, e ter o aprendizado como parte integrante de toda a sua vida profissional, ele não pode depender da formalidade de um curso para se "atualizar", como se o aprendizado fosse uma atividade especial e até esporádica em sua profissão. Tal profissional inclusive precisa ter facilidade e agilidade para aprender e assimilar um considerável volume de conhecimento novo e estar em condições de aplicá-lo em seguida. Na verdade, se o exercício da profissão em computação após a formação dependesse exclusivamente da realização de cursos de atualização, o profissional de computação não trabalharia mais, mas estaria o tempo todo ocupado com "cursos"! Portanto, na formação de um profissional de computação a pior coisa que pode existir é uma disciplina em torno do paradigma de apresentação de respostas e soluções ao invés de focar no processo de questionamento. Esta abordagem "bitola" e, no caso da computação, chega a comprometer seriamente o perfil mínimo necessário ao profissional. É um sério sintoma de falta de maturidade científica o apego a alguma abordagem ou paradigma específicos, mesmo que em um contexto de

níveis de abstração e ao mesmo tempo manter uma precisão sem precedentes. O autor não tem conhecimento se alguma vez este prêmio precisou ser pago, e com certeza não foi por falta de haver quem tentasse ganhar o prêmio.

²³ É bom lembrar que já "bravas" almas tiveram que tirar algumas "férias" forçadas da computação ou até abandoná-la devido ao imenso stress provocado pelo caos.

²⁴ Principalmente para áreas do conhecimento mais tradicionais da ciência, esta habilidade não é tida como fundamental para o exercício da profissão, mas apenas é considerada uma habilidade necessária aos poucos privilegiados que seriam capazes de conduzir uma pesquisa científica. Um caráter elitista na própria área!

²⁵ Entende-se como ambiente computacional o conjunto de hardware e software necessário para oferecer as facilidades de computação ao usuário.

conhecimento supra contextual de hierarquia mais elevada. Inclusive, como é necessário transmitir esta sensação de entusiasmo e exitamento com a computação aos iniciantes, o conteúdo apresentado nas disciplinas deve ser desafiador e não idiota. O iniciante precisa ter a sua experiência de descobrir o que Brooks descreveu tão bem acima, e desenvolver a sua autoconfiança ao vencer obstáculos intelectuais realmente desafiadores!

A formação do profissional em computação deve incitar o desenvolvimento de raciocínio crítico, a solução de problemas, a aplicação de métodos de pesquisa e o desenvolvimento profissional contínuo. Ainda deve-se ressaltar mais três categorias de experiências fundamentais na formação do profissional em computação [ACM 91]: trabalhar como parte de uma equipe, comunicação, e familiaridade com o exercício da profissão. Estes aspectos inclusive são fundamentais para que este profissional não se isole no "mundo virtual", sendo fundamental para a iteração com a sociedade.

Como na Ciência da Computação aplicada é comum o desenvolvimento de projetos de grande envergadura, é fundamental ao profissional da computação saber cooperar de forma efetiva em trabalho de equipe. Trabalhos de laboratório de certo porte são interessantes para desenvolver esta experiência. Isto adiciona largura, profundidade e realismo ao curriculum de formação. Na cooperação o iniciante é forçado a desenvolver a capacidade de comunicação escrita e oral, fundamental para cooperar, para apresentar o resultado do trabalho desenvolvido até cada etapa, e para o exercício da profissão em geral. Igualmente é imprescindível desenvolver a habilidade de pesquisa bibliográfica, possuindo familiaridade com as fontes de pesquisa existentes, principalmente de periódicos, assim como colóquios, seminários, etc... Com isto o iniciante já se habitua a manter em contato com o que está sendo produzido teoricamente e tecnologicamente em Ciência da Computação, e irá desenvolver a sua percepção de suas limitações e seus pontos fortes.

O profissional da computação deve estar preparado para aplicar o seu conhecimento a fim de especificar e produzir soluções, identificando os problemas circunstanciais. Isto inclui a habilidade de definir um problema com clareza; definir a sua traçabilidade; determinar quando é pertinente a consulta a outros peritos de fora; avaliar e escolher a estratégia de solução apropriada; estudar, especificar, projetar, implementar, testar, modificar, e documentar a solução; avaliar alternativas e executar análise de risco do projeto; integrar tecnologias alternativas à solução; comunicar aquela solução a colegas, profissionais de outras áreas e ao público em geral. Naturalmente que isto inclui a habilidade de trabalhar dentro de um ambiente de equipe durante todo o processo de solução do problema.

Evidentemente que o profissional da computação deve ter experiência suficiente com o rico corpo de teoria que suporta a área de computação de forma que possa apreciar a sua profundidade intelectual e as questões que ainda desafiam os pesquisadores no futuro. Dessa forma este profissional se manterá a par da velocidade sem precedentes de mudança da tecnologia, e ao mesmo tempo da relativamente gradual velocidade de mudança na teoria da computação, assim como da delicada interação existente entre estes. Uma forte base teórica é fundamental não só para discernir com clareza entre ciência e tecnologia mas também para assimilar com maior rapidez a novas tecnologias. O profissional deve aprender a apreciar as questões filosóficas, os problemas técnicos e os valores artísticos que tem importante influência no desenvolvimento da Ciência da Computação. Tal fundamentação propiciará uma sólida base para o aprendizado e o desenvolvimento ao longo de toda a carreira profissional.

Finalmente, o profissional de computação deve entender as questões legais, sociais, éticas e culturais inerentes à área de computação. É necessário que tenha a habilidade de levantar questões sérias sobre o impacto social da computação e avaliar as respostas propostas a estas questões. Determinado lançamento de tecnologia irá melhorar a qualidade de vida ou piorá-la? Qual é o impacto sobre indivíduos, grupos, e instituições? O profissional também deve ter noções dos direitos legais de usuários e fornecedores de hardware e software, e deve estar apto a avaliar os aspectos éticos com base nestes direitos, pois é cada vez mais comum o profissional ser solicitado pela sociedade nestas questões. Portanto, é necessária a consciência da responsabilidade profissional e das conseqüências de uma eventual falha no exercício de sua profissão. É fundamental que o profissional entenda as suas limitações e as limitações das ferramentas de que dispõe. É necessário que ele tenha um compromisso constante com a evolução de suas especialidades e com a Ciência da Computação como um todo. Estes pontos infelizmente tem sido muito negligenciados na formação dos profissionais no Brasil, mas espera-se que esta lacuna seja corrigida, nem que seja por pressão da sociedade. Por falta destes aspectos na formação de alguns profissionais, em alguns segmentos da sociedade criou-se uma imagem negativa a respeito da categoria (algo como "picaretagem").

8 BUSCA DE UMA PEDAGOGIA APROPRIADA AO ENSINO DA CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

É necessária uma pedagogia apropriada para que o curso de graduação não se torne uma mera extensão do ensino médio ou um "colegião"! A ampla gama de conhecimentos, e principalmente habilidades, requeridos dos profissionais de Ciência da Computação exigem o cumprimento de um programa mínimo e uma certa segurança de que os egressos de um curso de graduação apresentam uma proficiência mínima sob pena de desqualificar, perante a sociedade, a instituição de ensino que certifica profissionais com formação defeituosa. Sabidamente certas áreas do conhecimento dificilmente são conquistadas sem labuta no estudo, dedicação e até sacrifício pessoal. A busca de melhores pedagogias não pode passar pelo desprezo a estes padrões mínimos fundamentais para a formação de um profissional. A razão do relativo êxito de alguns egressos de algumas escolas ditas convencionais e clássicas que adotam o método pedagógico autoritário/empírico se deve principalmente ao fato de essas escolas se preocuparem com os objetivos a serem atingidos pelos seus alunos em termos de um padrão de um bom nível.

Os estudantes pensam que vão à faculdade para conseguir um emprego e as faculdades pensam que os estudantes estão ali por uma razão completamente diferente. Um consenso seria interessante. As faculdades têm uma certa obrigação de elevar as consciências dos estudantes acima de suas aspirações iniciais. Por outro lado, elas também têm a obrigação de respeitar as exigências práticas que persistem ainda no mundo de hoje. Na verdade, para que possa produzir profissionais capazes de promover mudanças no comportamento da sociedade, a Universidade, além de conferir uma boa formação acadêmica, não pode alienar-se da realidade do mercado, seja esta boa ou ruim! Os professores em geral partilham a idéia de que estão na verdade treinando seus alunos para serem acadêmicos como eles mesmos, e de que seu trabalho deve ser direcionar seus esforços para aqueles um ou dois estudantes que representam alguma promessa de futuro na área. Todos os outros estudantes, que se tornarão praticantes nestes campos, recebem atenção apenas parcial e não são levados a sério pelo comitê curricular. Alguns professores podem e de fato trabalham ao largo do sistema preparado para eles, mas o sistema, em geral, não permite ou sequer se preocupa com o futuro emprego de seus estudantes. Tanto os empregadores como as escolas de pós-graduação exigem um diploma de graduação. Eles não se importam muito com o que se aprendeu na faculdade, porque sabem que terão de ensiná-lo tudo de novo. Claro que isto é um círculo vicioso, que permite às faculdades continuarem seu total desrespeito pelas necessidades dos estudantes, dado que ninguém espera que o produto do ensino tenha algum valor!

8.1 Na interação professor-aluno

Cabe que, inicialmente, seja brevemente apresentado o paradigma do *construtivismo*, a fim de que se possa entender a sua aplicabilidade e limitações no ensino da Ciência da Computação:

- Para o construtivismo, a realidade ontológica é no mínimo irrelevante. Uma vez que nunca se pode saber realmente alguma coisa, a ontologia não pode modificar o paradigma educacional;
- A epistemologia do construtivismo é não fundacional e é falível. A verdade absoluta é inatingível e, portanto, não existe fundamento de verdade sobre o qual se possa edificar. O conhecimento é construído pelo indivíduo e por isso necessariamente falível;
- O conhecimento é adquirido recursivamente: percepção de dados é combinada com o conhecimento existente a fim de criar novas estruturas cognitivas que, por sua vez, se tornam base para novas construções de conhecimento;
- O aprendizado passivo não funciona porque cada estudante traz uma estrutura de conhecimento diferente para a classe, e irá construir um novo conhecimento de maneira diferente. O aprendizado deve ser ativo: o estudante deve construir o conhecimento assistido pela orientação do professor e da retroalimentação de outros estudantes.

A tarefa do professor é bem mais complexa com o paradigma do construtivismo do que com a pedagogia diretiva clássica, porque este deve fornecer uma orientação baseada no entendimento das estruturas cognitivas atuais em cada estudante. Existe discussão entre os construtivistas que discordam entre si sobre a maior importância da construção individual do conhecimento ou da construção do conhecimento por parte do grupo. Cabe ainda ressaltar que existe oposição ao construtivismo em função do seu "excessivo relativismo". Se conduzido de forma extremada, o construtivismo radical, focado exclusivamente no processo de aprendizado individual, induz ao *solipsismo*, o clamor filosófico de que o mundo é minha própria criação ou sonho. Isto pode levar à rejeição da ética e ao desenvolvimento de

um caráter até psicopata! "Se o mundo é minha criação, que me importam os outros?" Por outro lado, o construtivismo social exacerbado induz a uma visão da ciência como meramente um desenvolvimento político por parte de grupos elitistas cujo principal propósito é assegurar a sua própria sobrevivência. Da falibilidade do conhecimento científico se desliza para o relativismo da verdade, e da sociologia da prática científica para demanda de poder e legitimidade, dissociados de qualquer tentativa de uma avaliação objetiva do conhecimento científico! Em suma, corre-se o risco de regredir para a era pré-moderna onde o "santo" sobrepunha-se à razão e o "dogma" à evidência! É necessário portanto precaver-se da aplicação desastrosa da abordagem construtivista para que não acabe se tornando um verdadeiro "destrutivismo"!

O professor, como agente catalisador do processo de construção do conhecimento em seus alunos precisa dominar plenamente a área de conhecimento que pretende ministrar, sabendo claramente diferenciar o conhecimento intrínseco ou essencial do conhecimento derivado, podendo assim focar no processo de sedimentação conceitual ao invés de focar no conhecimento de processos e métodos como se estes fossem axiomas básicos da área de conhecimento. O foco no processo simplesmente inibe a criatividade, bitolando e deformando o aluno a uma particular forma de abordagem da área de conhecimento em questão. Em áreas como Ciência da Computação, Matemática e Física, fica muito perceptível nos egressos de suas disciplinas a "deformação" causada pela atuação de professores que não possuem um "insight" e um amadurecimento mínimo em sua área de conhecimento, mesmo já no ensino médio, imagine então no superior, onde esta deformação na verdade pode tornar-se em uma verdadeira "mediocrização"! Evidentemente, que para propiciar uma dinâmica apropriada, o professor precisa aprender constantemente o que o aluno construiu até o momento [BECKER 94]. Na verdade, o professor de nível acadêmico/universitário precisa saber como orientar o aluno a saber conhecer. Como foi visto, o profissional de computação precisa ser um cientista, para quem conhecer significa saber perguntar. O perguntar hermenêutico como antídoto à falsa pretensão de saber e de prepotência do sujeito é fundamental para o desenvolvimento saudável tanto do profissional quanto da ciência. A presunção e a arrogância comprometem o bom desempenho científico e andam de "mãos dadas" com a mediocridade!

Ao se considerar o emprego da abordagem construtivista no ensino da Ciência da Computação é necessário observar algumas características peculiares a esta ciência, que não aparecem nas ciências naturais [BEN-ARI 98]:

- O iniciante não possui nada parecido com um efetivo modelo computacional em sua estrutura de conhecimento, sobre a qual seja possível construir a formação em computação;
- O computador disponibiliza uma realidade ontológica²⁶ acessível, onde a resposta correta é facilmente acessível, e ainda o desempenho bem sucedido requer que o modelo normativo desta realidade seja construído (ex. um programa é dito correto se este produz um resultado dentro da expectativa quando executado em um determinado ambiente computacional).

Como foi visto no item sobre a mudança de paradigma requerido do aprendiz, a intuição que eventualmente este possa ter desenvolvido, e que o tenha auxiliado em estudos em outras áreas como a Física, é inútil em sua iniciação em computação (o mesmo ocorre com a Matemática). Analogias do computador com o cérebro são ridículas, e a tentativa de aproveitar estruturas de conhecimento alternativas para construir a estrutura da computação tem demonstrado ser um verdadeiro fiasco. Infelizmente a construção dos conceitos de Ciência da Computação nos novatos tem se dado mais ao acaso, porque as percepções obtidas em classe tem de se integrar com a estrutura de conhecimento pré-existente no novato, a qual é muito superficial mesmo nos "técnicos de informática". As frustrações e a percepção de que a Ciência da Computação é "muito difícil" são conseqüências naturais do fato de que os modelos precisam ser construídos do "zero". Os resultados obtidos pela realimentação a partir do trabalho com o computador podem ser bastante desencorajadores para aqueles que preferem um estilo de aprendizado mais refletido, contemplativo e social.

É indispensável que os cursos, tutoriais e até arquivos de ajuda em Ciência da Computação enderecem explicitamente a construção de um modelo, e não se limitem a práticas comportamentais do tipo "para fazer X, siga estes passos". Este é o mais sério dos problemas existente nos "help on line" dos softwares distribuídos no mercado hoje, que, ao invés de ajudar a entender o software, acabam atrapalhando! Quem não se frustou com aquela ajuda de conteúdo e índice dos aplicativos Windows? Você vai crente

²⁶ resumidamente, *onto* - ser, indivíduo, *logos* - princípio de inteligibilidade, razão. Razão do ser, teoria da existência de uma realidade ou verdade absoluta.

que achou um caminho para descobrir como resolver o seu problema, e depois acaba irritando-se com a frustração! A abstração é essencial como forma de "esquecer" deliberadamente detalhes (não por ignorância!!), para poder visualizar a coerência, consistência e completeza do modelo em vários níveis.

Outro erro a ser evitado no ensino da Ciência da Computação é o uso da concretização ou bricolage²⁷. Esta não é uma epistemologia para uma disciplina programação profissional. Uma massiva quantidade de conhecimento detalhado deve ser construído, sendo necessário portanto que seja organizado em níveis de abstração, e o estilo normativo de planejamento que se costuma chamar de Engenharia de Software precisa ser aprendido e praticado. A principal manifestação de deficiência devido à aprendizagem baseada nesta abordagem em Ciência da Computação é a depuração interminável por meio de exaustivas tentativas de execução do sistema, em uma variação do "tente e veja o que acontece". O estudante que *exclusivamente* trabalha com tal tipo de técnica não é qualificado para trabalhar com sistemas operacionais (sistemas não determinísticos²⁸) e sistemas dedicados (*embedded systems*), os quais requerem a habilidade de criar e testar hipóteses. Como já foi dito, esta também é uma das maiores dificuldades dos "técnicos em informática", pois estão acostumados ao "tente e veja o que acontece". Este problema é tão sério que é considerado uma das principais causas das deficiências dos projetos de software. Uma tentativa prematura de induzir os novatos logo de início a programação dificilmente evitará este problema de concretização por parte do aluno. Ele só se sente seguro depois que tiver algumas linhas de código executáveis, e terá enormes dificuldades para confiar em especificações abstratas de maior nível de abstração. Para ele, a Engenharia de Software e a documentação de projetos dentro de uma dada metodologia praticamente será uma "cultura inútil", e não baixará a sua ansiedade enquanto não tiver algum código fonte funcionando! Com certeza, tal aluno irá abraçar sem restrições as tecnologias "maravilhosas" dos fabricantes, que buscam aproximar as estruturas de linguagem de implementação às estruturas correspondentes às regras dos requisitos das aplicações, tornando-as desnecessariamente complexas [KEGLEVICH 84, HOARE 81]. Esta é uma das principais razões do enorme sucesso da linguagem BASIC entre os "técnicos de informática", apesar de ser uma linguagem originalmente projetada para leigos em computação confeccionarem os seus programas de aplicação simples. Dijkstra [DIJKSTRA 68] comprovou que seria extremamente danoso à formação de profissionais em computação o uso de tal tipo de linguagem para introduzi-los em programação. É claro que o mercado simplesmente ignorou solenemente tal fato! Quem tem experiência no mercado sabe que isto já se tornou uma doença endêmica! Assim, o eventual bom desempenho em uma situação em particular não significa necessariamente um indicativo de entendimento da disciplina de Ciência de Computação por parte do aluno. A falha do aluno em construir um modelo viável indica uma falha no processo educacional pelo qual este aluno passou, mesmo se a falha não se torna evidente de imediato. A experiência tem sugerido [BEM-ARI 98] que o efetivo uso do paradigma do construtivismo no ensino de Ciência da Computação tem se viabilizado somente após o aluno ter conseguido construir uma estrutura de conhecimento básica de uma máquina computacional e alguma percepção da importância dos níveis de abstração (pelo menos a nível rudimentar).

Como já foi discutido, é fundamental na formação acadêmica a consciência de que em qualquer abordagem, técnica ou paradigma, sempre existirão limites e restrições que só poderão ser descobertos mediante o questionamento científico. Na verdade o nível do domínio de uma determinada técnica ou abordagem está diretamente relacionado com a consciência das limitações inerentes àquela técnica ou abordagem. O desenvolvimento desta habilidade nos alunos não é trivial, e aqui a abordagem dialética²⁹ por ser de ajuda à medida em que se possa levar o aluno a uma certa percepção da aplicação das leis³⁰ da dialética na análise das várias abordagens da Ciência da Computação. Uma boa condução da dialética poderá levar o aluno não só à percepção dos limites de uma dada abordagem, como da demanda que originou a elaboração da quela abordagem, e com isto abrir-lhe os horizontes para até mesmo contribuir com o aprimoramento da referida técnica e/ou abordagem, e por que não o desenvolvimento de novas propostas para a abordagem!

²⁷ Termo cunhado pelo antropólogo Claude Lévi-Strauss para, em sentido pejorativo, designar a "ciência do concreto" nas sociedades primitivas em oposição à abstração da ciência moderna.

²⁸ Sistemas que não fornecem sempre a mesma saída frente a mesma entrada em execuções diferentes, em momentos diferentes.

²⁹ Desenvolvimento de processos gerados por oposições que provisoriamente se resolvem por unidades. Conforme Hegel, a natureza verdadeira e única da razão e do ser que são identificados um ao outro e se definem segundo o processo racional que procede pela união incessante de contrários - tese e antítese - numa categoria superior, a síntese.

³⁰ Leis gerais da Dialética (cf. Engels): 1) lei da passagem de quantidade à qualidade (e vice-versa); 2) lei da interpenetração dos contrários; 3) lei da negação da negação.

Após algumas pesquisas em educação, definiu-se um modelo de aprendizagem a fim de entender a efetividade do processo de ensino/aprendizagem [DAVY 99]. Este modelo foca as concepções do estudante, e pode ser descrito resumidamente em uma estrutura de conversação com 4 componentes:

- Componente *discursivo*, diálogo em que os objetivos do aprendizado são acordados entre as partes, as concepções tanto do aluno quanto do professor são acessíveis a ambos, e os estudantes recebem um retorno sobre as suas descrições a respeito de suas concepções;
- Componente *interativo* onde os estudantes executam tarefas com vistas a determinados objetivos, recebendo uma realimentação extrínseca (dos efeitos e resultados da execução das tarefas) e uma realimentação intrínseca (dos "insights" do professor sobre o desempenho e resultados do aluno);
- Componente *adaptativo* onde o tutor altera o foco do diálogo e das tarefas com base em reflexões sobre o componente discursivo;
- Componente *reflectivo*, significando que o estudante aprende, a partir do componente discursivo e de suas ações na execução de tarefas no componente interativo, a modificar tanto a sua descrição dos conceitos quanto as suas ações na execução de novas tarefas.

Estes componentes são fortemente interdependentes e pode-se estabelecer uma estratégia de aprendizado por parte do estudante focada em várias frentes, visando explorar melhor os componentes acima:

- Apresentações em aula reiterando sistematicamente conceitos relevantes, tais como a distinção entre a execução de procedimentos mecanicamente e um entendimento mais aprofundado o qual torna mais facilmente adaptável o conhecimento e as habilidades;
- Questões de estratégia de estudo devem ser discutidas brevemente em várias porções de um tutorial (Como posso sair em busca de conhecimento e habilidade necessários quando não consigo executar um trabalho?);
- Uso do recurso de grupos de discussão ("bulletin board facility") via internet, que viabiliza uma discussão constante do andamento dos módulos como maneira de fornecer a realimentação ao aluno mais rapidamente e de forma individualizada (este não tem de esperar por uma oportunidade na aula da próxima semana). Isto permite inclusive um melhor rendimento das aulas, quando realmente os alunos participam e usam o recurso. Este autor experimentou com sucesso o <http://www.egroups.com/>. Isto naturalmente exige que os iniciantes tenham acesso fácil à internet, e se habituem a UTILIZAR este recurso.
- Uso extensivo, sempre que possível, de um livro texto, com referências alternativas freqüentes em leituras, tutoriais, manuais e trabalhos do curso, encorajando os estudantes a ganharem confiança no uso do material de referência (observou-se que uma das principais causas da não-utilização dos livros e manuais por parte do aluno é justamente a falta de confiança que o mesmo tem nos livros!).
- Induzir a que os alunos assumam responsabilidade pelo seu próprio aprendizado, fornecendo-lhes sempre que necessário dicas de onde obter o conhecimento que precisam ou invés de responder diretamente a questão. Isto é particularmente útil para o aprendizado de uma dada tecnologia de aplicação ou utilização em demonstrações, porque normalmente estas tecnologias fornecem tutoriais, ajudas online e até recursos de testagens online. Junto com uma maior interação com um tutor ou até um monitor (aluno mais experiente) isto permite ao aluno um aprendizado mais rápido.

É claro que a estratégia acima só funciona com alunos motivados. O maior problema são aqueles alunos que não conseguem se "desencilhar" de sua "deformação" no ensino médio, que carrega problemas que vão deste um desmesurado comodismo até incapacidade para inglês (pelo menos leitura) e inexperiência com Windows! Não é considerado como estudo de nível acadêmico o aprendizado do inglês instrumental e a familiaridade do uso do microcomputador (Windows/Internet). A instituição deve estabelecer estes itens como requisito para os ingressantes ou deve propiciar alguns cursos de curta duração à parte do curriculum acadêmico propriamente dito, para suprir as severas deficiências da maioria das escolas brasileiras. Permitir que tais deficiências afetem o curriculum acadêmico coloca o curso em sério risco de se tornar mediocre! Outro problema sério ocorre com os cursos noturnos, onde os alunos em sua maioria exercem outras atividades, de até maior prioridade que os estudos por serem fundamentais à sua própria subsistência. Nestes casos a disponibilidade para tais alunos para as atividades extra classe é escassa, e o grau de dedicação que podem conferir às suas atividades discentes é muito inferior à dedicação que um aluno diurno pode dispor. No caso da Ciência da Computação onde esta disponibilidade para atividades extra classe é fundamental para a formação do aluno, é preciso avaliar se, em caso de não haver escapatória para a existência de um curso noturno, não cabe estabelecer um período maior para que tal aluno conclua a sua graduação, com um menor número de disciplinas por semestre para que este utilize os horários vagos à noite para as imprescindíveis atividades extra classe. Imaginar que um curso como Ciência da Computação possa ser desenvolvido satisfatoriamente só com

atividades em sala de aula é no mínimo uma demonstração de total falta de familiaridade com esta ciência. De fato é raro que haja alguma área do conhecimento que permita uma formação adequada com apenas atividades em sala de aula! Fazer "vista grossa" a este fato fatalmente irá induzir à formulação de um curso de baixa qualidade, até por força da limitação de tempo imposta! Portanto o dimensionamento e objetivos de um determinado curso de graduação precisam necessariamente levar em consideração as condições em que este curso será conduzido, e não apenas os requisitos curriculares teóricos e o correspondente corpo docente necessário.

Novamente aqui cabe frisar que o recurso de analogias e outros recursos para apresentar os conceitos básicos de computação e lógica sequencial através de interfaces homem-máquina extremamente sofisticadas hoje em desenvolvimento nos melhores centros de pesquisa no mundo se aplicam sómente para a educação de crianças e de leigos em Ciência da Computação. A literatura científica tem demonstrado claramente que desempenho não é um indicativo de entendimento. A falha do estudante em construir um modelo viável reflete uma falha no processo educacional, mesmo quando esta falha não se evidencia imediatamente!

8.2 Na Avaliação

Infelizmente a escola de hoje praticamente pouco tem a ver com aprender. Tem a ver com certificação. Estudantes universitários vão à escola para obter uma graduação que eles esperam que lhes dê algo que querem. Eles escolhem as escolas com base nisto e as freqüentam com a atitude concomitante. Nunca é perguntado a um estudante se ele aprendeu bastante, pergunta-se se ele se saiu bem. A auto-avaliação é baseada no julgamento de outros, no que tange ao aprendizado "oficial". Os estudantes acham que se saíram bem quando outros dizem que foram bem. É raro um estudante dizer que aprendeu bastante e, portanto, está contente com sua educação. A educação não deveria ser uma competição. Aprender deveria ser divertido. O estresse que os estudantes suportam na escola, a arbitrariedade e a falta geral de relevância daquilo que aprendem para o mundo real, tornam o aprendizado qualquer coisa exceto diversão.

Enquanto os testes forem a medida na escola, os estudantes se adequarão à medição. Os estudantes preocupam-se com as notas e se recusam a aprender algo se não cair na prova. Os estudantes rotineiramente perguntam se serão "responsáveis" pelo material em discussão e, se não forem, eles se desligam. Eles colam, competem, usam favorecimentos, discutem por notas, reclamam e se queixam de suas notas aos professores; eles se estressam, eles estudam e depois se esquecem o que estudaram. Eles fazem tudo menos gostar de aprender [SCHANK 99].

Tem-se a oportunidade de criar grandes mudanças no que significa estar envolvido em obter educação. Para fazê-lo, precisa-se mudar completamente o modelo escolar. Muitos professores nas universidades atuais não estão motivados a fornecer ensino de alta qualidade. Eles sabem que os estudantes não agirão como consumidores, a despeito do fato de estarem pagando as contas. Ao contrário, como os estudantes necessitam da certificação e das recomendações que as universidades oferecem, os professores estão em posição de poder e não na posição de provedores de serviços. Os professores entendem que podem dominar os estudantes e criar vários obstáculos para os estudantes ultrapassarem para obter uma boa nota, mas que eles não precisam se preocupar se alguém aprendeu alguma coisa. Neste modelo, é fácil demais apenas dar aulas, testar e esquecer da verdadeira educação. Tudo isto está bem para os alunos, afinal. Existe um acordo de cavalheiros implícito sobre a escola. Os professores fazem exigências, os estudantes as satisfazem, e aqueles que obedecerem as regras do jogo vencem. "Você me dá a nota, eu tiro meu diploma e caio fora".

Como a criticalidade e a penetração do software e aplicações com computadores tem aumentado dramaticamente na sociedade, urge, para o bem da ética profissional, que se desenvolvam padrões para a certificação e licenciamento de profissionais [GOTTERBARN 94]. Se a universidade, a quem normalmente compete esta tarefa, certificar profissionais incompetentes, com certeza cairá em descrédito perante a sociedade. Não é possível livrar-se da certificação, mas talvez se possa contemplar novos tipos de certificação. Os estudantes deveriam ser certificados por ter conseguido algo ou por serem capazes de fazer alguma coisa. Como as medalhas de mérito dos escoteiros, ou a faixa preta de Karatê, ou a licença para motoristas de caminhão, a prova deveria estar na capacidade. Um estudante deveria exibir suas habilidades, ele deveria poder fazer algo e a confirmação da execução seria a certificação [SCHANK 99]. Provavelmente o único modelo viável é a dissociação do ensino e aprendizado da certificação, pois os interesses envolvidos com a certificação são na prática antagônicos com os

interesses de promover a qualidade e a atratividade do processo de aprendizagem. As escolas e universidades estão enfrentando o problema de tentar acumular estas duas funções (ensinar e certificar) prejudicando a função de certificação, a fim de não correr riscos de perder alunos pagantes das mensalidades. Talvez o caminho seja tirar a função de certificar das escolas e universidades, e deixar a cargo de entidades governamentais e/ou representativas da sociedade civil ou de categoria profissional específica.

É uma leviandade irresponsável o que está sendo proposto por algumas escolas do governo e algumas instituições, que para eliminarem o inconveniente dos altos índices de repetência e evasão escolar ou por uma ingenuidade pedagógica dos responsáveis, optaram pela pedagogia do "laissez-faire" e do abrandamento extremo da avaliação de certificação, ou até a eliminação da avaliação, certificando indiscriminadamente todos os que participam da maioria das atividades. Isto acaba repassando o ônus da certificação mais para o fim da formação do indivíduo. Desnecessário dizer que quanto mais para o fim, maior será a barreira e a dificuldade a ser enfrentada, podendo até mesmo inviabilizar a certificação deste indivíduo como profissional perante a sociedade. Assim, esta pedagogia ingênua, ao procurar socializar a educação, acaba elitizando-a ainda mais por tornar mediocre a formação de seus indivíduos, pois quem freqüenta a escola pública são justamente os menos afortunados!

É necessário o maior número possível de avaliações quanto mais difícil e volumoso for o conteúdo de uma disciplina, a fim de propiciar uma realimentação ao aluno a fim de que este possa corrigir o rumo de seu aprendizado o mais cedo possível, evitando o fracasso em todo um módulo de aprendizagem. A avaliação deve ser conduzida como um processo e não ser separada do aprendizado, assim, o conceito de "semana de provas" e um número fixo de provas/avaliações padronizado tem causado sérios prejuízos ao aprendizado [VASCONCELLOS 94]. O desafio de implementar esta estratégia está no fato de, ao mesmo tempo, manter o nível dos desafios tal que o aluno realmente cresça até atingir os requisitos de um profissional em Ciência da Computação e manter a transparência e a justiça no processo de avaliação. A própria sistemática regulamentada em algumas escolas permitem aos alunos a exigirem a "revisão de nota" e o professor é obrigado pelo sistema a tal procedimento. Isto acaba induzindo ao velho e surrado sistema de avaliação, já comprovadamente falido!

Portanto, tem-se os seguintes desafios à prática da avaliação:

- Fazer da avaliação um movimento de estímulo;
- Estabelecer parâmetros que apontem desafios;
- Propiciar ao aprendiz o sentimento de crescimento ao superar os desafios;
- Manter a transparência e a justiça no processo de avaliação

No curso superior o aluno deve se deparar com a necessidade de trabalhar uma ampla e até vasta literatura a fim de desenvolver a habilidade de gerenciar e aplicar uma quantidade de conhecimentos e informações que seriam impossíveis de serem vistos se o tempo dedicado a abordagem deste conhecimento se restringisse a apenas o tempo da aula. O fato do aluno atingir a avaliação satisfatória por sua própria atividade, restitui-lhe a dignidade, faz com que desenvolva a fibra e a autoconfiança, fundamentais em sua formação profissional. Esta fibra e autoconfiança serão proporcionais ao tamanho do desafio que tiveram de superar para atingirem a avaliação satisfatória. Por isto é bastante comum encontrar profissionais de Ciência da Computação com uma alta dose de autoconfiança (às vezes até exagerada), porque eles tiveram de enfrentar uma grande mudança de paradigma e superar o que era para eles um grande desafio, e triunfaram.

9 CONCLUSÃO

A Ciência da Computação já amadureceu e está se desenvolvendo a uma velocidade impressionante se comparada ao desenvolvimento de outras áreas do conhecimento. Na verdade, a computação é uma ciência que está até adiante de sua época e, a despeito do vertiginoso desenvolvimento da tecnologia, a sociedade e o público em geral ainda não conseguiu formar uma idéia coerente e consistente do que seja a Ciência da Computação como o faz com a Medicina, Engenharia, Direito, entre outras. Por sinal, é justamente o avanço tecnológico aliado ao enorme "ruído" provocado pelo poderoso marketing das grandes companhias que buscam explorar o rico mercado das aplicações da computação, que atrapalham a correta compreensão por parte do público do que vem a ser Ciência da Computação.

Dada a peculiaridade da Ciência da Computação e as distorções do contexto social, a formulação de uma pedagogia adequada para o ensino desta área de conhecimento não é uma tarefa simples, e é

objeto de muito trabalho de pesquisa nesta área. As propostas pedagógicas consideradas hoje como ideais para o ensino em geral não são plenamente aplicáveis à Ciência da Computação. Existem já vários trabalhos em andamento, mas ainda há muito a ser feito. Igualmente é um grande desafio conciliar a motivação do aluno no estudo acadêmico da computação com a necessária certificação para a legitimação de sua atuação profissional perante a sociedade, a fim de preservar a ética no exercício da profissão.

Um ponto a salientar é o papel fundamental dos professores, independente dos recursos que possam ser disponibilizados pelos avanços tecnológicos. Com que sucesso a tecnologia é usada na educação e o quanto ela muda os padrões depende em muito dos professores [MENDELS 99]. Esta observação contrasta com os que têm defendido a tecnologia na sala de aula como uma forma de tornar a educação à prova de professores. As gerações emergentes de usos da tecnologia na educação poderiam muito bem ser definidas como "centradas no aluno" mas também podem ser descritas como "intensivas em professores", exigindo um repertório muito exigente de conhecimentos, habilidades e competência docentes. Temas de educação de professores, pré-serviço e serviço são, assim, muito importantes. Superar a resistência dos professores é crítico. O foco deve estar nas habilidades possuídas por professores individualmente e em grupos, nas atitudes e ambientes de aprendizado onde o uso aberto e imaginativo da tecnologia seja tanto possível como encorajado, e nos incentivos para os professores desenvolverem novas abordagens e formas de competência. É um grande desafio desenvolver a habilidade de despertar o prazer em aprender em outras pessoas, envolve toda a complexidade do relacionamento humano. Para desenvolver tal vocação um professor precisa ter prazer em ver os alunos progredirem no conhecimento. A filosofia do "conhecimento é poder" e a conseqüente omissão em conduzir a determinados conhecimentos que pudessem eventualmente tirar o poder do monopolizador do conhecimento não condiz com a vocação do professor. Programas de educação dos professores antes e durante o serviço, mesmo que importantes, serão ineficazes se não houver um escopo genuíno para a exploração do potencial da tecnologia no ensino diário. Isto implica em que os professores tenham também valores a transmitir e expressar aos alunos, e não apenas informação e conhecimento. O próprio professor deve ser um exemplo de aluno sempre sedento por aprender, encorajando, assim, pelo seu testemunho, aos alunos seguirem o seu exemplo. Aqui cabe uma citação de um sábio escritor de 2000 anos atrás: *"O saber ensoberbece, mas o amor edifica. Se alguém julga saber alguma coisa, com efeito ainda não aprendeu como deve saber."* 1 Co. 8:2.

Existe grande preocupação, atualmente, entre os espaços que estão sendo abertos entre os abastados e os desprovidos de acesso à tecnologia, os que reforçam seu acesso e uso da tecnologia na educação com o que têm e fazem em casa, e aqueles que desfrutam de pouco ou nenhum de ambos. Esta divisória digital pode se tornar tão profunda quanto formas mais antigas de seleção rígida social e educacional. Mais uma vez, o entusiasmo pelo potencial da tecnologia não deve cegar aos riscos bem reais que a acompanham [MENDELS 99].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [ACM 91] **ACM Curricula Recommendations.** Report of the ACM/IEEE-CS Joint Curriculum Task Force. Communications of the ACM 34(6):94-101, June 1991. <http://www.acm.org/education/>. Acesso em: fev. 2000.
- [ACM 97] **Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Information Systems.** ACM, AIS & AITP, Joint Curriculum Task Force. 1997. <http://www.acm.org/education/>. Acesso em: fev. 2000.
- [ALEXANDER 00] ALEXANDER, Tom. **Tecnologia da Informação x Educação – o futuro está em jogo.** Revista TechKnowlogia • 13/01/2000. <http://www.revistadigital.com.br/>; Especial Educação. Acesso em: fev. 2000.
- [BECKER 94] BECKER, Fernando. **Modelos pedagógicos e modelos epistemológicos.** EDUCAÇÃO E REALIDADE. Porto Alegre, 19(1):89-96, jan/jun. 1994.
- [BEN-ARI 98] BEN-ARI, M. **Constructivism in Computer Science Education.** Proceedings of the twenty ninth SIGCSE technical symposium on Computer science education , 1998, Pages 257 - 261.

- [BRANDT 97] BRANDT, D. Scott. **Constructivism teaching for understanding of the Internet.** *Commun. ACM* 40, 10, Pages 112 - 117. (Oct. 1997).
- [BROOKS 75] BROOKS, F. P. JR. **The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering.** Addison-Wesley, Reading, Mass. 1975.
- [DAVY 99] DAVY, J. and Tony Jenkins. **Research-led innovation in teaching and learning programming.** Proceedings of the 4th annual SIGCSE/SIGCUE on Innovation and technology in computer science education , 1999, Pages 5 - 8.
- [DENNING 95] DENNING, Peter J. **Can There Be a Science of Information?** *ACM Computing Surveys*, Vol.27,No.1, March 1995.
- [DIJKSTRA 68] DIJKSTRA, E. W. **GO TO statement considered harmful.** *Communications of the ACM*, 13(6):147-8, Mar. 1968.
- [GOODENOUGH 75] GOODENOUGH, J. B. & GERHART, S. L. **Toward a Theory of Test Data Selection.** *IEE Transaction on Software Engineering*, vol SE-1, N. 2, June, 1975, pp. 156-172.
- [GOTTERBARN 94] GOTTERBARN, D. **Standards for Certifying Computer Technicians Professionals.** Proceedings of the Conference on ethics in the computer age, 1994, pp. 178-9.
- [GOTTLOB 95] GOTTLOB, GEORG. **Translating Default Logic into Standard Autoepistemic Logic.** *Journal of the Association for Computing Machinery*, Vol 42.No 4, July 1995, pp 711-740.
- [GRANGER 94] GRANGER, GG. **A Ciência e as Ciências.** Unesp, São Paulo, 1994.
- [HADJERROUT 99] HADJERROUT, S. **A constructivist approach to object-oriented design and programming.** Proceedings of the 4th annual SIGCSE/SIGCUE on Innovation and technology in computer science education , 1999, Pages 171 - 174.
- [HARTMANIS 92] HARTMANIS, J. AND LIN, H., EDS. **Computing the Future: A Broader Agenda for C'omputing Science and Engineering.** National Academy Press, Washington, D.C. 1992.
- [HARTMANIS 93] HARTMANIS, J. **Some observations about the nature of computer science.** In *Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 761. Springer-Verlag: New York, 1993, p. 1-12.
- [HARTMANIS 95] HARTMANIS, J. **On computational complexity and the nature of computer science;** *ACM Computer Survey* 27, 1 (Mar. 1995), Pages 7 - 16. Turing Award Lecture.
- [HOARE 81] HOARE, C. A. R. **The Emperor's Old Clothes.** *Communications of the ACM*, 24(2):75-83. Feb. 1981. Turing Award Lecture.
- [HOLLAND 97] HOLLAND, S., R. Griffiths, and M. Woodman. **Avoiding object misconceptions.** *SIGCSE Bulletin*, 29(1):131-134, 1997.
- [KING 99] KING, M. **The new metaphysics and the deep structure of creativity and cognition.** Proceedings of the third conference on Creativity cognition , 1999, Pages 93-100.
- [KEGLEVICH 84] KEGLEVICH DE BUZIN, Paulo. **CONSTRUCTOR: PROJETO DE UMA FERRAMENTA PARA DESCRIÇÃO DE COMPUTAÇÕES. Prêmio SERPRO de informática**, em âmbito nacional. Promovido em comemoração aos 20 anos do SERPRO. O melhor trabalho científico.
- [LI 93] LI, M. & WTANYI, P.M.B. **An Introduction to Kolmogorov Complexity and Its Applications.** Springer-Verlag: Heidelberg, 1993.

- [Luker 94] Luker, A & Dennis Rothermel. **The philosophy of artificial intelligence: a general studies course with particular benefits to computer science majors.** *twenty-fifth annual SIGCSE symposium on Computer science education* , 1994, Pages 41 - 45.
- [MAYER 88] MAYER, R. E. editor. **Teaching and Learning Computer Programming.** Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- [McCARTHY 88] McCARTHY, J. **Mathematical logic and artificial intelligence.** In *The Artificial Intelligence Debate.* S,R.Graubard, Ed., MIT Press, Cambridge, Mass. 1988.
- [MENDELS 99] MENDELS, Pamela. **Treinando para educar.** New York Times on the Web, 07/10/1999. Educação, agenda do século 21. <http://www.revistadigital.com.br/>; Especial Educação. Acesso em: fev. 2000.
- [OLIVEIRA 95] OLIVEIRA, Newton Ramos. **A escola, esse mundo estranho.** In: PUCCI, Bruno. *Teoria crítica e educação: a questão da formação cultural na escola de Frankfurt.* Petrópolis, RJ: Vozes, São Carlos, SP: Edupiscar, 1995.
- [PARNAS 85] PARNAS, D. L. **Software aspects of strategic defense systems.** *Commun. ACM* 28, 12 (Dec. 1985), Pages 1326 - 1335.
- [PIAGET 72] PIAGET, J. **Psychology and Epistemology: Towards a Theory of Knowledge.** Allen Lane, London UK, 1972.
- [REINFELDS 95] REINFELDS, J. **A three paradigm first course for CS majors.** 26th SISCSE technical symposium on Computer science education , 1995, Pages 223 - 227.
- [RORTY 79] RORTY, R. **Philosophy and the mirror of nature.** Princ. University Press, Princenton, 1979.
- [RUSSEL 72] RUSSEL, B. **Principles of mathematical philosophy.** Touchstone, New York, 1972.
- [SCHANK 99] SCHANK, Roger. **Universidade: diploma ou conhecimento?** John Brockman, editor da Revista Edge, conversa com Roger Schank, 14/10/1999. <http://www.revistadigital.com.br/>; Especial Educação. Acesso em: fev. 2000.
- [TURING 36] TURING, A. M. **On computable numbers with an application to the Entscheidungsproblem.** In *Proceedings of the London Mathematical Society, series 2*, 42, pp:230-265, 1936.
- [VASCONCELLOS 94] VASCONCELLOS, Celso dos S. **Avaliação: concepção dialético-libertadora do processo de avaliação escolar.** São Paulo: Libertad, 1994.