

Sistemas especialistas: um hiato de aplicabilidade

Ronaldo Zwicker

Professor Assistente Doutor da Faculdade de Economia,
Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo

Nicolau Reinhard

Professor Assistente Doutor da Faculdade de Economia,
Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo e
Supervisor do Programa de Informática da Fundação Instituto de
Administração — Proinfo

INTRODUÇÃO

Tem aumentado, recentemente, a utilização de métodos e técnicas da Inteligência Artificial (IA) em diversos campos da ciência. Tem despertado particular interesse a metodologia de Sistemas Especialistas, na qual, de modo geral, se tenta capturar o conhecimento humano sob a forma de programas e sistemas de computação. O objetivo final é que estes apresentem comportamento análogo ao de especialistas humanos e, assim, possam auxiliar na resolução de problemas, na difusão do conhecimento, no treinamento de pessoas etc.

Sistemas de IA normalmente empregam técnicas de *software* orientadas para a manipulação de símbolos em lugar de números. Por exemplo, através de linguagens apropriadas podemos facilmente armazenar no computador o conceito de ser Carlos um cliente, informando simplesmente: **cliente(carlos)**. Podemos, também, informar que todo cliente tem crédito: **se cliente(x) então tem-credito(x)**. A partir dessas informações o sistema é capaz de deduzir **tem-credito(carlos)**.

Os conceitos não são informados em linguagem natural, pois esta incorpora muitas ambigüidades tor-

nando difícil sua manipulação automatizada. Prefere-se representações mais estruturadas e precisas. Deve-se observar que o texto **cliente(carlos)** e a dedução **tem-credito(carlos)** constituem simples configurações de *bits*. O significado no mundo real do texto correspondente é apenas atribuído (percebido) por nós humanos. Apesar disso, a capacidade de manipulação simbólica de conceitos, idéias e relações parece conferir aos sistemas de IA um pouco de senso comum, evidente em seres humanos.

Os sistemas de IA são calcados em dois argumentos: representação do conhecimento e pesquisa de soluções. Dado um problema complexo, a primeira dificuldade residirá na forma de representar no computador o conhecimento que propiciará a sua solução. Será necessário, também, **acionar** esse conhecimento para chegar a conclusões. Exemplificando, um sistema para determinação de crédito de clientes terá de armazenar o conhecimento que possibilitará a um gerente realizar tal atividade. Além disso, dado um conjunto de informações específicas de um cliente, o sistema terá de determinar a sequência de inferências que conduzirão ao resultado final.

Em muitas áreas do conhecimento a resolução de problemas não exige que se reporte sistematicamente

a conhecimento mais fundamental. A solução é muitas vezes obtida a partir do reconhecimento de padrões por especialistas em determinado assunto. Tudo se passa como se o especialista obedecesse a certas regras, cujas validades foram estabelecidas através de uso prático constante. Conhecida regra em diagnóstico médico é: **se febre então infecção**, possivelmente acompanhada de algum fator de certeza estabelecendo seu grau de validade para contexto particular. Regras desta natureza não se reportam a conhecimento mais básico para chegar a uma conclusão. Um profissional de medicina não se reporta sistematicamente aos processos bioquímicos desencadeadores da febre para uma conclusão do tipo estabelecido por essa regra. Diz-se encerrar a regra conhecimento compilado.

A resolução de problemas baseada em conhecimento compilado pode ser automatizada com alguma facilidade. Essencialmente, é necessário **extrair** o conhecimento utilizado por especialistas humanos em determinada área, convertendo-o usualmente em regras do tipo **se condição então conclusão (parcial)**. A representação do conhecimento sob forma de regras é o esquema mais empregado em IA, por ser prático e natural. Estabelecidas as regras, é necessário verificar sua ordem de aplicação para determinada situação-problema. Deve-se levar em conta poder certa regra estabelecer conclusões parciais que acionem não uma, mas várias outras regras em seguida. A tecnologia para explorar ordenadamente as várias possibilidades assim criadas também já está bem-establishada.

Sistemas desse tipo são conhecidos como Sistemas Especialistas (SEs). Eles incorporam conhecimento prático que pode ser, inclusive, ambíguo e incompleto. De modo geral, tenta-se fazer cada regra representar uma unidade de raciocínio estanque. Porém, isto não quer dizer que simplesmente são determinadas regras e mais regras, armazenando-as no computador. A prática mostra que o construtor de um SE também precisa organizar o conhecimento para conseguir conviver com o volume de informações que necessita fornecer à máquina. Assim, conhecimento sobre o conhecimento acaba sendo incorporado nesses sistemas.

O desenvolvimento de SEs consiste basicamente em duas fases: aquisição do conhecimento, possivelmente de um ou vários especialistas; e sua transformação para a forma de programa de computador. Essas tarefas costumam ser executadas por indivíduos convencionalmente chamados de **engenheiros do conhecimento**.

A primeira fase oferece maiores dificuldades. Pode ser extremamente árduo extrair conhecimento de especialistas, sendo também difícil sua organização e validação. Esta fase é, muitas vezes, a primeira ocasião de reflexão de um especialista sobre os métodos e processos que emprega na resolução de problemas.

No âmbito de uma empresa este é o instante no qual, pela primeira vez, se fixa o conhecimento realmente possuído por ela. Muitas vezes o processo de reflexão e argumentação envolvido na aquisição do conhecimento torna-se muito mais importante do que qualquer SE construído com base nela.

A segunda fase pode ser bastante simples, pois existem recursos computacionais que facilitam o armazenamento do conhecimento e já provêem rotinas prontas para realizar inferências com ele. Esses recursos costumam ser denominados de *shells*, no sentido de oferecerem arcabouço básico ao qual falta, essencialmente, acrescentar conhecimento em algum formato padronizado (as regras). A interface com o usuário e os algoritmos para inferências já estão embutidos nos sistemas. Existem, também, linguagens de programação voltadas para aplicações de IA; elas oferecem maior flexibilidade e normalmente acompanham *shells* mais sofisticados.

SEs não substituem especialistas humanos. Em situações complexas e extraordinárias um especialista vale-se de conhecimento teórico mais fundamental ou pode se recordar de situações parecidas ocorridas há muito tempo. A construção de sistemas reportando-se a primeiros princípios ou com capacidade de aprendizado é ainda uma realidade distante. A grande vantagem dos SEs é a capacidade de seguir linhas de raciocínio típicas, de forma sistemática e garantindo que hipóteses razoáveis não tenham sido ignoradas.

Muitos SEs já foram desenvolvidos para ampla gama de aplicações. Encontramos aplicações em medicina, engenharia, administração, geologia, direito, educação, entre outras, e que realizam tarefas classificadas como sendo de diagnóstico, planejamento, pesquisa, treinamento etc. Não se deve imaginar que SEs apenas tenham aplicação em áreas altamente especializadas. Eles também são úteis para situações bem menos sofisticadas, como por exemplo na redução da burocracia (fixação de aposentadorias), na tomada de decisões corriqueiras (dar ou não crédito a um cliente), na automação de documentação (consistência de normas) etc. Aplicações dessa natureza são eventualmente designadas de sistemas baseados em conhecimento.

O HIATO DE APLICABILIDADE

Muitas publicações transmitem quadro francamente otimista com relação aos SEs. Antevêm aplicações que, apesar de validadas por protótipos, não conseguem ser viabilizadas na prática. Poucos autores alertam para esta questão. Radig (1990) tenta avaliar a utilidade prática da tecnologia de IA junto a usuários, ficando claro serem as avaliações de fabricantes e usuários fortemente discrepantes. Apesar de essa pesquisa apontar centenas de projetos piloto na Alemanha, talvez apenas uma dezena possa ser classifi-

cada como efetivamente em uso. O desenvolvimento desses sistemas tem preço alto, com prazos relativamente longos e, de modo geral, as expectativas dos usuários não são satisfeitas. Para os sistemas de sucesso são apontadas vantagens variadas, incluindo a redução de gastos da empresa.

Schwabe *et alii* (1990), em pesquisa junto a bancos alemães, indicam vários projetos em desenvolvimento, a maioria constituída de protótipos. As instituições estão avaliando a tecnologia e demonstram ceticismo, particularmente as maiores, sobre suas possibilidades práticas. Os sistemas não são avaliados, por enquanto, sob o ponto de vista econômico, medindo seus reflexos na racionalização e na vantagem competitiva. Seu desenvolvimento é realizado muito mais por razões puramente tecnológicas. A pesquisa mostra, inclusive, que os sistemas desenvolvidos estão, em geral, inseridos no contexto da informática e as maiores dificuldades não são pertinentes à sua programação. Os problemas da utilização prática dizem respeito principalmente a questões organizacionais e inserção nos sistemas de informações existentes na empresa. A falta de apoio da alta administração também é questão ressaltada.

Malsch (1991) remete a questão ao argumento central da IA, isto é, à possibilidade de construir artefatos efetivamente inteligentes. A modelagem de sistemas tradicionais (via engenharia de *software*) já é complicada, quanto mais a modelagem de problemas altamente desestruturados (via SEs) e cuja resolução é essencialmente calcada em habilidades holísticas. Além disto, essa modelagem utiliza métodos de produção de *software* cujo estilo de programação favorece a criação de artefatos defeituosos. Um SE pode ser, claramente, uma dupla armadilha: não fornece a perfeição e a correção desejadas. Pode-se falar até em crise dos SEs. Segundo o autor, antes de mais nada trata-se de uma crise de aplicabilidade, no sentido dos SEs serem de utilidade discutível e envolverem altos custos. Apenas em segunda instância a crise decorre da falta de recursos de *software* e *hardware* adequados a sua sustentação. A disponibilidade de técnicas e recursos de suporte mais sofisticados possivelmente apenas exaltará essa crise de aplicabilidade.

Lehner (1992) analisa diversos SEs de aplicação em tarefas organizacionais e administrativas. Estão em questão sistemas que auxiliam no delineamento de estruturas organizacionais, na execução de tarefas diversas de escritório, na administração de pessoal e na gerência de projetos. O autor conclui na análise que, em vista da alta complexidade dos problemas dessas áreas, SEs menores com área de aplicação claramente delimitada parecem ter as melhores chances de sucesso. Efetivamente, em geral tarefas organizacionais não possuem características favoráveis para abordagem via SEs. É surpreendente, entretan-

to, o número de projetos nessa área. Como era de se esperar, a aceitação desses sistemas é bastante restrita.

SEs podem sobrepujar, e muito, algumas capacidades humanas. Suas bases de conhecimento podem ser muito extensas e sua capacidade de inferência é altamente disciplinada. Contudo, isto pode significar pouco. Em muitas situações ainda são insuficientes e inadequados as formas de representação do conhecimento e os mecanismos de inferência disponíveis. Mesmo que as novas abordagens, hoje objeto de pesquisa, venham a se tornar viáveis na prática, é provável constituírem apenas mais um passo em direção a horizonte longínquo de sistemas efetivamente inteligentes. Na realidade atual, conforme Barth *et alii* (1991), SEs têm seu lugar na informática. Entretanto, não deverão desempenhar papel preponderante com relação às funções tradicionais de processamento de informações.

Esse *gap* de aplicabilidade foi igualmente sentido pelos autores deste texto em projeto recente envolvendo a aplicação da tecnologia de SEs em treinamento profissional (Zwicker & Reinhard, 1990). Neste caso a viabilidade da tecnologia também foi verificada através da construção de um protótipo. A solução proposta foi tecnicamente validada e mostrou-se praticamente efetiva. Contudo, ficou patente a grande distância separando o protótipo de uma implementação comercial.

Tipicamente, os protótipos implementam apenas parte das funções de um sistema real. Concentram-se no argumento da inteligência artificial e ignoram ser necessário arcabouço computacional para tornar o produto, entre outras coisas, funcional e fácil de usar. Esse arcabouço pode corresponder a mais de 80% de todo o esforço de desenvolvimento do sistema real. Caracteristicamente, os custos da parte não-inteligente do sistema ultrapassam os da inteligente. Diante da incerteza de sucesso, muitos projetos são abandonados neste estágio.

Outras questões contribuem para o *gap* de aplicabilidade. A própria aplicação deve possuir características favoráveis, ou seja, deve ser suficientemente complexa, de escopo limitado e de contornos bem-definidos. Deve suportar ainda respostas não-ótimas, eventualmente até errôneas, dadas pelo SE. Além disso, as soluções do SE devem ter impacto significativo, sobrepujando as soluções de **não-especialistas**. Muitas situações são consideradas como possuidoras dessas características, mas apenas análise mais profunda, possivelmente realizada ao longo da construção do SE, será capaz de comprovar esses requisitos.

É comum o desenvolvimento de SEs ser realizado por profissionais oriundos da função tradicional de informática na empresa. A inexperiência com a metodologia de SEs contribui para a fixação de projetos

nebulosos, nos quais são exaltadas questões tecnológicas. Em muitas situações as questões de análise, aquisição e organização do conhecimento sobre o problema acabam sendo relegadas a segundo plano. Devido ao enfoque excessivamente tecnológico desses profissionais, a questão de um SE é remetida à da sofisticação do *software* de suporte. Como apontado anteriormente, tal questão é certamente secundária. Há, inclusive, casos em que o resultado da fase de aquisição do conhecimento pode ser sintetizado através de recursos simples como uma tabela de decisão. Pode ser até inadequada sua conversão em programa de computador. Descobrir soluções simples não invalida a aplicação da metodologia de SEs. Sem ela, provavelmente, esse conhecimento nunca teria vindo à tona.

A questão da estabilidade do conhecimento também deve ser corretamente considerada. Tipicamente, SEs não possuem capacidade de aprendizado e existem poucas perspectivas de que algum dia virão a tê-la. Em geral, o conhecimento que origina um SE está em constante mudança; portanto, a base de conhecimento desses sistemas precisa ser atualizada de maneira contínua. Originalmente argumentava-se serem essas bases de conhecimento fáceis de atualizar, em particular se estivessem organizadas na forma de regras **se-então**. Isto não se constata na prática. Para grandes sistemas é necessário, inclusive, o desenvolvimento de metodologias específicas para organizar, pesquisar e atualizar essas bases de conhecimento com vistas à sua manutenção. A dificuldade de manutenção de sistemas de informações tradicionais é bem conhecida; no caso de SEs ela é certamente maior. A menos que haja boas razões para preservar a existência de um SE, ele facilmente sucumbirá diante da primeira manutenção.

A pesquisa em IA tem sido alvo de contínuas críticas com relação a questões fundamentais que giram em torno da possibilidade de criação de inteligência não-humana. Do ponto de vista prático, essas questões devem ser ignoradas, sendo provável nenhum engenheiro do conhecimento estar realmente preocupado com elas. Há talvez vieses quanto às preocupações exageradas em copiar as capacidades humanas. Esta sim, é questão merecedora de reflexão, pois, conforme Malsch (1991), "quem reconstrói artificialmente a capacidade de andar, corre o risco de nunca encontrar a roda e falhar eternamente no problema da validação das pernas".

A cegueira criada pela atividade de projetar não é, certamente, característica apenas das metodologias de IA. É também incorreto imaginar que ela possa ser evitada ou não haver situações nas quais é importante. Ignorá-la não é correto. Um bom projetista é aquele que consegue superar seus dogmas e perceber seu papel de eterna interação com pessoas e ambiente. É sua a responsabilidade de dar atenção

a todas as possibilidades oferecidas por eles e àquelas eliminadas pelo projeto. Em um contexto de IA, no qual prevalece a tecnologia, esta é questão virtualmente ignorada.

A questão central do *gap* de aplicabilidade, contudo, talvez esteja na real utilidade dos SEs para as pessoas. Não é incomum a construção de sistemas de informações calcados no argumento de automatizar o possível sem considerar questões, muitas vezes já bem-estabelecidas, que determinam sua real utilização. Muitas situações designadas como complexas, e nas quais SEs seriam aplicáveis, são mal-avaliadas. É comum essa complexidade ser apenas eventual, isto é, ocorrer em ocasiões particulares pouco frequentes. Apesar de o SE resolver essa complexidade, pode ser que seu uso não se ajuste aos padrões de quem o for utilizar. Tomemos como exemplo a concessão de crédito. Talvez a maioria dos casos seja de solução trivial para profissional da área. Talvez esses casos também possam ser tratados através de algum esquema tradicional de computação. Como há neles poucas situações excepcionais, esse profissional eventualmente preferiria tomar sua decisão sem qualquer auxílio automatizado.

Existem contextos nos quais o conhecimento, apesar de suficientemente estabelecido para originar um SE, nem sempre será a referência para efetivas ações. Como assinalado por Clancey (1992), ao automatizar e formalizar tarefas nem sempre se consegue obter um alvo fixo. Pode-se teoricamente descrever modelos, atividades, procedimentos e formas de comunicação utilizados pelas pessoas, mas estes não constituem a base para as ações realizadas posteriormente por essas e outras pessoas. Por exemplo, um SE para diagnóstico médico pode se ajustar ao especialista que lhe deu origem, mas ser extremamente desconfortável para quem o vai efetivamente utilizar.

Nesse sentido, não podemos igualmente ignorar que as pessoas aprendem quando confrontadas sistematicamente com determinadas situações. Mesmo sendo meras interpretadoras de resultados de sistemas, sem conhecer os modelos que lhes deram origem, são capazes de perceber padrões que, talvez, lhes permitam tomar decisões, prescindindo totalmente dessas informações. De acordo com essa observação, um SE torna-se naturalmente desnecessário ao usuário com o transcorrer do tempo.

Expectativas de projetos de SEs nem sempre são concretizadas ao ser iniciada sua utilização prática. São frustradas porque não foi dada atenção aos perigos oferecidos pelo ambiente organizacional. Muitas vezes nem se sabe exatamente como inserir o sistema nesse ambiente: por quem, como e quando ele será utilizado. SEs em ambientes organizacionais automatizam, em geral, parte das atividades de alguma tarefa maior menos-estruturada. Ao parcelar a tarefa interfere-se na organização do trabalho e cria-se outro

problema, tipicamente de coordenação. A tarefa, antes conduzida de modo pessoal e informal, passa a ter um componente altamente estruturado. A efetividade do trabalho não pode mais ser tratada no campo individual e passa ao organizacional. Não sendo resolvida essa questão, provavelmente prevalecerão os métodos antigos de trabalho.

Em contexto mais amplo a rejeição da tecnologia de SEs não decorre de um indivíduo, mas de todo um grupo social. Por exemplo, SEs possivelmente podem contribuir na automação de decisões de natureza jurídica; entretanto, é fácil a percepção de haver fortes argumentos não-tecnológicos em contrário. Segundo Norman (1991), muitas vezes a tecnologia é empregada por seus próprios méritos, independentemente de sua real utilidade, independentemente de seus reais usuários. Talvez isto funcione bem na otimização de computações e organização de bancos de dados, mas pode ser inapropriado quando ela atua como auxílio direto nas atividades de pessoas. As tarefas, a cultura, a estrutura social e o indivíduo são componentes essenciais do trabalho. A menos que a tecnologia se ajuste sem deixar arestas, o resultado será frustrante.

CONCLUSÃO

Em nível de pesquisa o hiato de aplicabilidade deve perdurar e, inclusive, aumentar. Nada há de fundamentalmente errado na dissociação entre pesquisa e prática. A questão central é a conscientização da comunidade de usuários da tecnologia quanto à distância que as separa. A metodologia de SEs é tecnologia acessível, vindo daí parte de seu sucesso e a euforia que a cerca. É igualmente correta a afirmação de desenvolverem-se SEs sob medida para cada organização. Além da questão do valor do conhecimento que encerram, este dificilmente ajustar-se-ia a outras organizações. Portanto, em princípio, faz sentido a empresa investir no aprendizado da tecnologia.

É mais difícil a escolha correta de problemas passíveis de abordagem via SEs. Na maioria das situações os problemas ou são triviais, e neste caso um SE torna-se rapidamente inútil, ou são demasiadamente complexos, não oferecendo um SE a tecnologia necessária. Efetivamente, só para poucos problemas há perspectivas de abordagem via SEs na organização. Como indicio pode-se afirmar estarem esses problemas em áreas técnicas, sendo bastante estruturados. Em áreas menos técnicas, nas quais proliferam problemas mal-estruturados, as perspectivas são menores e as ambições devem ser reduzidas. Isto contradiz observações mais antigas inserindo a utilidade de SEs principalmente no campo dos problemas mal-estruturados. Além disso, devem ser cuidadosamente consideradas as questões mais amplas que interferem na efetiva utilização de SEs, algumas delas abordadas neste texto. Posto de outra forma, a decisão por um SE é, na maioria dos casos, um problema mal-estruturado e, como tal, não existem recomendações definitivas.

Infelizmente, a exploração de novas tecnologias de computação é com frequência acompanhada de euforia exagerada. Sua divulgação é realizada como se pudessem transformar as organizações de modo drástico e impossível através de outros meios. As pessoas adotam formas de análise nas quais esquecem haver valor em transformações menores e ignoram problemas significativos, subproduto da nova tecnologia (Kling, 1991). Pode-se argumentar, também, se o interesse despertado pela Inteligência Artificial não será passageiro. Revendo o passado, observa-se que a história da Ciência da Computação tem sido marcada por períodos de euforia em uma ou outra de suas disciplinas. Essa ênfase, com certeza, deixou sempre contribuições significativas e SEs não fogem à regra. Na realidade, o hiato de aplicabilidade só existe por haver aplicações práticas nas quais os SEs fizeram e fazem sucesso. É pena não ser geral esse sucesso.

- BARTH, G.; CHRISTALLER, T.; CREMERS, A.B.; NEUMANN, B.; RADERMACHER, F.J.; RADIG, B.; RICHTER, M. Künstliche Intelligenz: perspektive einer wissenschaftlichen disziplin und realisierungsmöglichkeiten. *Informatik-Spektrum*, v. 14, n. 4, p. 201-206, ago. 1991.
- CLANCEY, W. J. Guidon-manage revisited: a socio-technical systems approach. INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS, 2. Montreal, 1992. In: *Lecture Notes in Computer Science*, n. 608, p. 21-36, Springer-Verlag, 1992.
- KLING, R. Cooperation, coordination and control in computer supported work. *Communications of the ACM*, v. 34, n. 12, p. 83-88, dez. 1991.
- LEHNER, F. Expert systems for organizational and managerial tasks. *Information & Management*, v. 23, n. 1, p. 31-41, jul. 1992.
- MALSCH, T. Expertensysteme in der krise. *Künstliche Intelligenz*, n. 3, p. 70-74, set. 1991.
- NORMAN, D. A. Collaborative computing: collaboration first, computing second. *Communications of the ACM*, v. 34, n. 12, p. 88-90, dez. 1991.
- RADIG, B. (ed.). Umfrage: nutzen der KI: technologie im praktischen einsatz. *Künstliche Intelligenz*, n. 3, p. 37-41, set. 1990.
- SCHWABE, G.; DOLINSKY, D.; KREMAR, H. Umfragergebnisse zum einsatzstand von expertensystemen in banken. *Künstliche Intelligenz*, n. 3, p. 59-63, set. 1990.
- ZWICKER, R. & REINHARD, N. Acquisition of routine cognitive skills by computer users: a case study of intelligent computer aided instruction. ACM SIGBDP CONFERENCE ON TRENDS AND DIRECTIONS IN EXPERT SYSTEMS. Orlando, 1990. *Proceedings*. ACM Press, p. 355-366, 1990.

Recebida em dezembro/92