

Educação, Ensino e IA

HELDER COELHO*

1. INTRODUÇÃO

Os estudantes brilhantes não têm dificuldades em induzir uma estratégia de resolução, a partir dos exemplos apresentados nos livros texto, sem que para isso tenham sido explicitamente ensinados. Mas como o conseguem, isto é através de que mecanismos cognitivos executam uma tal descoberta e trabalham sobre o seu conhecimento? A procura de uma resposta para esta questão tem orientado grande parte da investigação fundamental na IA, provocando a abertura de duas vias dependentes: uma, centrada na representação, e a outra, em redor da aprendizagem. Na primeira via, a IA tem obtido inúmeros êxitos. A sua popularidade actual, graças à comercialização de algumas das suas tecnologias, apoia-se na engenharia do conhecimento e no fabrico de sistemas periciais. Na sua base estão as novas linguagens de programação, as novas arquitecturas dos computadores, e finalmente a sofisticação do comportamento das máquinas simbólicas, processadores de conhecimento em vez de simples informação (dados) de outrora. Na segunda via, a IA tem avançado com dificuldade e sem êxitos espectaculares. Mas, após o quase desaparecimento da investigação sobre a aprendizagem na década de 70, ocorreu de novo um surto de interesse nos últimos quatro anos. Tal revivalismo parece ter maior êxito, pois agora já é possível dar passos mais largos no domínio da

automatização da aprendizagem, em virtude dos avanços recentes nas Ciências da Computação (incluindo a IA).

Deste paciente e demorado trabalho têm saído alguns resultados pertinentes para a educação e o ensino. Alguns deles vêm sendo integrados nos sistemas para o ensino assistido por computador (vulgo *computer-aided instruction*). Porém estes e outros têm sido pouco divulgados no seio dos pedagogos e dos professores em geral. Já o mesmo ocorrera com o trabalho de George Polya, realizado na década de 40 (Polya, 1945)!

No presente artigo esboçam-se alguns aspectos desta faceta da IA, em particular os centrados sobre a noção de problema e da sua resolução.

2. NOÇÃO DE PROBLEMA

Um problema existe quando não se pode obter imediatamente o que queremos. Assim, podemos considerar como componentes de um problema: os dados, os requisitos, e os meios.

Os dados constituem-se como conhecimento inicial, acessível ao agente que irá resolver o problema. Os requisitos contêm a informação sobre a qual se construirá uma solução para o problema. Os meios são as operações que o agente irá realizar sobre os dados, a fim de obter algo que seja qualificado como requisito.

Em termos informáticos, os dados, os requisitos e os meios são processos sobre a informação e o conhecimento.

* Investigador no Centro de Informática do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Todo o conhecimento tem de ser representado. Mas, a representação não se resume a um modo de arrumar o conhecimento de um problema, pois:

- a) determina que meios estão disponíveis para serem usados sobre o problema;
- b) determina o custo do processamento, e
- c) determina se todo o conhecimento, que temos sobre o problema, pode ser codificado.

A noção de um método cobre o conhecimento que um agente que resolve problemas tem de ter para saber como organizar as suas acções. O termo método é preferível ao de algoritmo, pois cobre esquemas mais gerais, tais como os que são especificados parcialmente, ou os que têm objectivos abertos.

Um método é constituído por três componentes:

- I1) o enunciado,
- I2) o procedimento, e
- II) a justificação.

O enunciado é a especificação do conhecimento que é necessário e suficiente para que o método seja aplicável, mais a especificação do que o método produzirá como resultado de ter sido aplicado.

O procedimento é a sequência de acções que devem ser levadas a cabo, isto é, os subobjectivos a serem atingidos.

A justificação é o conhecimento das relações entre o procedimento e o enunciado.

Os métodos mais interessantes são os que ocorrem quando as situações são demasiado problemáticas.

O espaço de solução de um problema é um espaço de candidatos à solução, a qual é definida pelos dados do problema, e dentro da qual a solução pode ser procurada.

O espaço do problema é um espaço que contém os dados e os requisitos, e todas as situações que podem ser atingidas através da aplicação de qualquer dos meios.

3. EXEMPLOS DE PROBLEMAS

O método seguido na IA para determinar as es-

tratégias de resolução e de aquisição, e construir as leis da aprendizagem, tem sido o de observar protocolos, para depois codificar o conhecimento identificado em programas que simularão comportamentos e capacidades intelectuais. Os três tipos de problemas que em seguida se apresentam, resolução de equações algébricas, demonstrações de teoremas de geometria plana e resolução de quebra-cabeças, são frequentemente usados para testar a coerência das leis do pensamento, e daí inferir algo mais sobre como ensinar a aprender.

Exemplo 1: resolução de equações algébricas

Considere a equação

$$7x + 21 = 5x + 43$$

$$7x = 5x + 22 \quad (\text{subtraia } 21 \text{ em ambos os lados})$$

$$2x = 22 \quad (\text{subtraia } 5x \text{ em ambos os lados})$$

$$x = 11 \quad (\text{divida ambos os lados por } 2)$$

Se o estudante tivesse aprendido no início do capítulo que as operações legais são adicionar ou subtrair quantidades iguais dos dois lados da equação e multiplicar ou dividir ambos os lados pela mesma quantidade, então podia identificar imediatamente que acção tinha sido aplicada em cada passo da resolução. Depois, comparando a primeira e segunda linhas da resolução, podia observar que a alteração crucial era a eliminação de 21 do lado esquerdo da equação!

Esta resolução poderia ser condensada numa estratégia descrita através de quatro regras de produção (ou simplesmente produções)¹:

Se $X=N$ → para

Se N está no lado esquerdo da equação → subtraia N de ambos os lados

Se aX está no lado direito da equação → subtraia aX de ambos os lados

¹ Produção é um instrução (regra de re-escrita) com a forma seguinte:

condição → acção

O lado esquerdo consiste num conjunto de testes, e o lado direito num conjunto de acções.

Se aX está no lado esquerdo e $a \neq 1 \rightarrow$ divida ambos os lados por a

Considere a equação

$$x^2 - a^2 = 3a^2$$

Se o estudante reconhecer que existe apenas uma ocorrência de x na equação, então transformará progressivamente a equação numa equivalente na forma $x=S$, em que S é uma expressão que não contém x . Esta estratégia de isolamento transforma a equação, assim:

$$(1) \quad x^2 - a^2 = 3a^2$$

$$(2) \quad x^2 = 3a^2 + 4a^2 \quad (\text{adicione } a^2 \text{ a ambos os lados})$$

$$(3) \quad x = \sqrt{4a^2} = \pm 2a \quad (\text{ache a raiz quadrada a ambos os lados})$$

Cada passo da resolução consiste em tirar qualquer coisa do lado esquerdo. Ao passar de (1) para (2) usou-se a regra geral

$$U - V = W \rightarrow U = W + V$$

Ao passar de (2) para (3) usou-se a regra geral

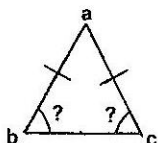
$$U^2 = V \rightarrow U = \pm \sqrt{V}$$

Exemplo 2: demonstração de teoremas da geometria euclidiana

Considere um triângulo isósceles

$$\text{Dados: } ab = ac$$

$$\text{Demonstre: } \sphericalangle abc = \sphericalangle acb$$



Pretende-se demonstrar que:

«se os dois lados de um triângulo são iguais então os ângulos opostos àqueles lados são também iguais»

Para demonstrar este teorema o aluno tem de recorrer a conhecimentos já adquiridos, e escolher

uma direcção para o seu raciocínio. Suponhamos que ele optará por raciocinar para trás, isto é do objectivo a demonstrar para os dados. Assim, necessitará de um teorema que relacione ângulos iguais com outra entidade geométrica:

«dois ângulos UVW e KLM de um triângulo são iguais

se

os triângulos UVM e KLM forem congruentes»

Continuando a raciocinar para trás, o aluno agora terá de encontrar um teorema que relacione congruência de triângulos com outra entidade geométrica:

«dois triângulos XYZ e PQR são congruentes

se dois lados XY e PQ forem iguais

e dois lados YZ e QR forem iguais

e dois lados ZY e RP forem iguais»

Chegámos a uma entidade geométrica «lados iguais» de que se conhece um dado, precisamente $ab=ac$. Mas, o aluno necessitará ainda de ter alguns conhecimentos correntes sobre lados iguais, tais como:

«XY e XY são dois lados iguais»

«XY e YZ são dois lados iguais»

«XY e PQ são dois lados iguais

se PQ e XY são dois lados iguais»

«XY e PQ são dois lados iguais

se YX e PQ são dois lados iguais»

Finalmente, chegámos ao fim da demonstração. A *táctica fundamental* consistiu em olhar para o triângulo inicial sob dois pontos de vista, e depois demonstrar que essas duas vistas/triângulos são congruentes. Assim:

Considere os triângulos abc e acb

$$ab = ac \quad (\text{dado})$$

$$bc = cb \quad (\text{id\^entico})$$

$$ca = ba \quad (\text{dado})$$

portanto os tri\^angulos abc e acb s\~ao congruentes (lado-lado-lado).

Portanto, os \^angulos $\sphericalangle abc = \sphericalangle acb$

Q.E.D.

Exemplo 3: resolu\~ao de um quebra-cabe\~as (Torre de Hanoi)

Existem tr\^es hastes e tr\^es discos com dimens\~oes diferentes:



Figura 2

Os discos t\^em um buraco no centro, de modo a serem arrumados nas hastes. Inicialmente, todos os discos est\~ao na haste A. O disco maior c est\~a em baixo, e o disco menor a em cima. Deseja-se transferir todos os discos para a haste C, movendo um disco de cada vez. Somente o disco de cima, numa haste, pode ser movido, o qual nunca pode ser colocado por cima de um disco menor. Sugere-se o recurso \^a haste B como entreposto.

O tema deste quebra-cabe\~as \^e o racioc\^inio para tr\~as, a partir do problema para resolver, e estabelecendo subproblemas e subsubproblemas, at\^e que o problema original \^e finalmente reduzido a um conjunto de problemas primitivos triviais (redu\~ao de problemas a subproblemas).

Um modo de seguir esta via da redu\~ao de problemas envolve a seguinte cadeia de racioc\^inio:

1. Para mover todos os discos para a haste C, devemos transferir o disco c para l\~a, e a haste C deve estar vazia antes dessa transfer\^encia.
2. Olhando para a configura\~ao inicial n\~ao podemos mover o disco c para qualquer haste

antes de termos primeiramente removido os discos a e b . Al\^em disso, os discos a e b n\~ao devem ser transferidos para a haste C, pois ent\~ao n\~ao ser\~amos capazes de mover o disco c para l\~a. Assim, devemos mover os discos a e b para a haste B.

3. Podemos agora completar a etapa que consiste em mover o disco c da haste A para C, e resolver o resto do quebra-cabe\~as.

Seguindo esta cadeia de racioc\^inio reduzimos o quebra-cabe\~as original ao conjunto dos tr\^es quebra-cabe\~as seguintes:

1. O quebra-cabe\~as de dois discos: mover os discos a e b para a haste B.

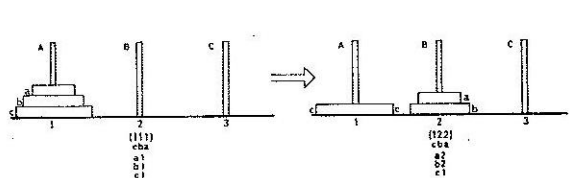


Figura 3

2. O quebra-cabe\~as de um disco: mover o disco c para a haste C.

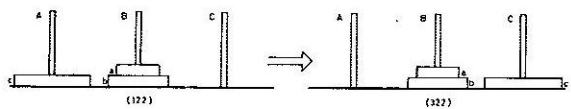


Figura 4

3. O quebra-cabe\~as de dois discos: mover os discos a e b para a haste C.

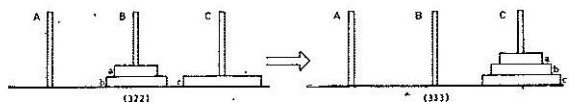


Figura 5

O grafo E/OU seguinte ilustra as soluções obtidas através da via da redução de problemas.

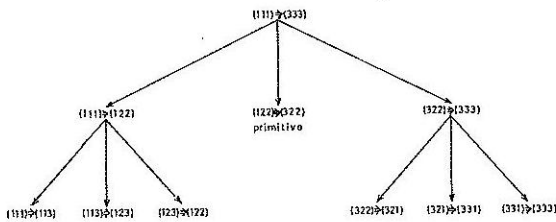


Figura 6

Este problema podia ser também resolvido pela via do espaço de estados.

A notação (ijk) descreve um estado no qual

Figura 7

o disco c está na haste i
o disco b está na haste j
o disco a está na haste k



Se numa haste existem mais do que um disco, assume-se que o menor está no topo. Os arcos que ligam os nós-estados-configurações têm o significado da acção envolvida na passagem de um nó para o outro, por exemplo:

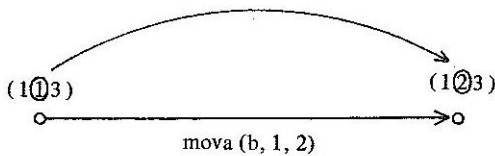


Figura 8

«mova o disco b da haste 1 para a haste 2»

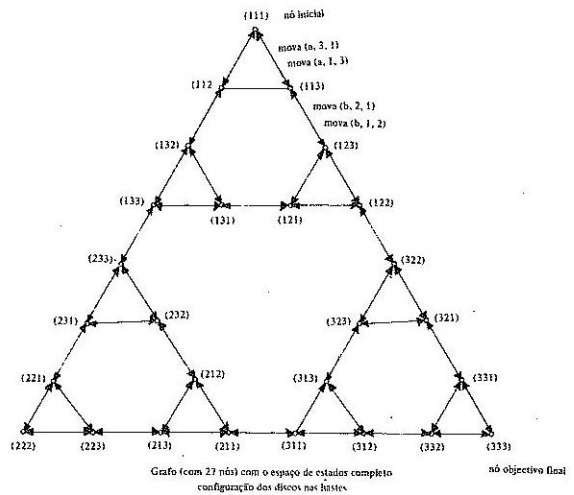


Figura 9

Se o problema consistir em transferir os discos que estão na haste A para a haste C, recorrendo à haste B como entreposto, a solução é obtida através de sete passos:

- Mova o disco de a para C
- Mova o disco de b para B
- Mova o disco de a para B
- Mova o disco de c para C
- Mova o disco de a para A
- Mova o disco de b para C
- Mova o disco de a para C

Ao analisarem-se várias situações de resolução de problemas verifica-se que os conhecimentos que sugeriram certas formulações variam de domínio para domínio: o conceito de classe de equivalência favorece uma melhor representação para o domínio da geometria plana, e a identificação de uma estrutura recursiva nas sequências de resolução ajuda à concepção da redução de problemas no caso da torre de Hanoi. Daí, inferir-se uma importante *conclusão*: o êxito da formulação de um problema depende da descoberta de um isomorfismo entre um novo problema e um outro problema que foi especificado em termos diferentes, mas do qual se conhece a solução. Por exemplo, consideremos o seguinte «*problema dos especialistas*»:

«São conhecidos três médicos que cooperam entre si, A, B e C; cada um tem casos (doentes) dentro da sua especialidade, mas A especializou-se no tratamento inicial e B no final; são conhecidos três casos d (difícil), m (médio) e r (rotina), que foram aceites inicialmente por A; encontre um escalonamento de transferência de casos entre os especialistas, que resultará numa situação em que todos os casos são tratados pelo médico B; se as seguintes condições forem seguidas: (i) um médico pode aceitar um caso de um outro especialista apenas se ele é menos complexo do que qualquer um dos seus casos correntes, e (ii) um médico pode transferir um caso para um outro médico apenas se ele é o menos complexo entre os seus casos correntes.»

A solução é encontrada rapidamente se estabelecermos um isomorfismo entre este problema e o da torre de Hanoi:

(ArB) (AmC) (BrC) (AdB) (CrA) (CmB) (ArB)

4. RESULTADOS DA IA

A construção de programas que procuram soluções para problemas de tipo dos anteriores foi motivada também pelo uso das técnicas de raciocínio simbólico, e pela necessidade de desenvolver sistemas que fossem úteis para a resolução de problemas mais complexos (por exemplo, para a geração de compostos químicos). Na década de 70, as experiências acumuladas na construção de protótipos forneceram uma ideia precisa sobre as *componentes fundamentais* destes sistemas, a saber:

Plano, geração e teste

O programa usa heurísticas para seleccionar a área na qual a resposta deve ser encontrada. Gera soluções plausíveis dentro destas fronteiras, e testa conclusões contra os dados observados. Estas conclusões são revistas até que a melhor é descoberta.

Conhecimento específico do domínio

A maior parte da força destes sistemas resulta das regras específicas e do conhecimento do domínio da aplicação seleccionada. Estas bases de

conhecimento codificam informação factual e regras heurísticas, usadas pelos especialistas para encontrarem rapidamente soluções para estes problemas.

Bases de conhecimento flexível

A base deve ter dimensões pequenas para ser facilmente manipulada pelo programa do computador, e ser suficientemente grande para ter algum significado para o seu utilizador. Novos conhecimentos podem ser adicionados depois, e do mesmo modo o anterior conhecimento pode ser apagado ou corrigido.

Linhas de raciocínio

Os programas para agirem numa dada área de aplicação devem ser capazes de seguir a mesma lógica usada pelos especialistas quando estes geram conclusões. Deste modo, os protocolos de intervenção de um especialista fornecem as regras gerais sobre a mecânica dos raciocínios usados. A lógica humana é depois traduzida na forma de regras simbólicas, escritas numa linguagem de programação.

Múltiplas fontes de conhecimento

A esperteza de um sistema é sempre o resultado dos conhecimentos fornecidos por vários especialistas naquela área de aplicação. Quase sempre são também incorporados os conhecimentos disponíveis nos livros texto.

Explicação

O programa deve ser capaz de explicar a linha de raciocínio que o conduz às conclusões, sem a qual o utilizador é incapaz de compreender os porquês.

Aprendizagem

O programa deve ser capaz de aprender com a sua resolução, e de realizar três mecanismos fundamentais: realizar análises intermédias, converter conhecimento declarativo em procedimentos (processos) e gerar representações para a envolvente da tarefa a resolver.

Estas componentes são parte integrante dos sis-

temas periciais e dos sistemas para o ensino assistido por computador (EAC). Os últimos deverão também ser capazes de se anteciparem às respostas erradas dos estudantes, de prescrever referências sobre material de ensino, de construir modelos sobre o conhecimento dos estudantes, de reflectir sobre as suas fraquezas e forças, e de adoptar um estilo adequado à sua melhor aprendizagem.

5. IA E TECNOLOGIA EDUCATIVA

«Traditional approaches to this problem using decision theory and stochastic models have reached a dead end due to their oversimplified representation of learning... It appears within reach of AI methodology to develop CAI systems that act more like human teachers.»

(Laubsch, 1975)

As aplicações educacionais da tecnologia computacional têm sido desenvolvidas desde os inícios dos anos 60, incluindo o planeamento de cursos, a gestão de auxiliares de ensino e a graduação de testes. A aplicação mais predominante envolveu o recurso ao computador como um dispositivo que em vez de actuar como assistente passivo ou professor interactuasse directamente com o estudante. Para este tipo de aplicação foram experimentados três métodos: o *primeiro* é caracterizado pelo estilo livre com que os estudantes, envolvidos em programação, utilizam a máquina, e é tipificado pelo laboratório LOGO do MIT (Papert, 1970). Os métodos de aprendizagem da resolução de problemas são considerados como consequência do uso de instrumentos projectados para sugerir boas estratégias de resolução de problemas aos estudantes. O *segundo* método recorre aos jogos e às simulações como instrumentos de instrução. Uma vez mais o estudante é envolvido numa actividade, por exemplo simulação de experiências genéticas. Neste método a aprendizagem é considerada como uma consequência. O *terceiro* método é o EAC (ensino assistido por computador, vulgarmente designado por «Computer Aided Instruction» ou simplesmente CAI), o qual promove e controla a aprendizagem (Lopes e Vicari, 1984).

O objecto de trabalho em EAC é a construção de programas inteligentes para a instrução, os quais incorporam o material dos cursos organizado em

edições e optimizam a aprendizagem de cada estudante através da interacção coloquial. Actualmente o EAC concentra-se na definição de um novo ambiente de ensino e no projecto de programas que podem oferecer a instrução numa forma que é sensível às características e ao estilo de aprendizagem de cada estudante. Durante a década de 70 o EAC ganhou um novo folgo graças à introdução das técnicas, métodos e instrumentos da IA, nomeadamente os relacionados com a compreensão da língua natural, a representação do conhecimento e os métodos de resolução de problemas. Os sistemas para o EAC, designados também por tutores, contêm não só os conhecimentos especializados sobre o comportamento dos estudantes durante a aprendizagem (o modelo do estudante), mas também as estratégias de ensino e os procedimentos de diálogo. As técnicas da IA foram usadas para construir modelos do aprendiz, os quais representam o seu conhecimento em termos de decisões, resultados e aptidões. Este modelo é capaz de controlar as estratégias de ensino para apresentar os materiais dos cursos (Lopes e Vicari, 1984).

O trabalho em EAC desenvolve-se principalmente nos EUA (Universidades de Stanford e de Carnegie-Mellon, e no MIT), no Reino Unido (Universidades de Edinburg e Sussex) e em França (Universidades de Paris e Rennes, e no CNAM). No Brasil está em desenvolvimento um projecto pioneiro desde 1948 para três disciplinas de engenharia, resistência de materiais, cálculo numérico e cálculo estatístico na Faculdade de Engenharia de Pacaembu. No LNEC iniciou-se um projecto em 1983, que deu origem a uma tese de mestrado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

As principais componentes de um sistema inteligente de EAC são:

- a) O módulo da especialidade, com capacidade de diagnóstico da resolução de problemas, com o conhecimento que o sistema comunica ao estudante, e com os métodos de raciocínio e de geração de hipóteses;
- b) O modelo do estudante, indicando o que o estudante deve e não deve saber;
- c) O módulo de instrução com capacidade para diagnosticar as estratégias de ensino adaptadas ao modelo do estudante, que especificam

como o sistema apresenta o material ao estudante;

d) O módulo tutor encarregue de estabelecer vários módulos de diálogo com os estudantes;

e) O módulo das explicações capaz de ajudar o estudante a clarificar situações.

Nenhuma destas componentes se encontra presentemente desenvolvida completamente em cada um dos sistemas disponíveis, em virtude do tamanho e complexidade dos programas que compõem cada sistema. A investigação em curso, vem focando problemas respeitantes a cada um destes módulos, nomeadamente os relacionados com a representação e a aquisição de perícia em ensinar, e com as formas como este conhecimento deve ser integrado conjuntamente com princípios gerais do discurso. São exemplo deste tipo de trabalho os sistemas tutor SCHOLAR de Carbonell e Collins, sobre a geografia, EXCHECK de Suppes, sobre a teoria de conjuntos e a lógica, e SOPHIE de Brown e Burton, sobre a reparação de circuitos electrónicos.

Esta direcção de trabalho, inspirada em estudos cognitivos, promete um novo tipo de ensino que se baseia em teorias sobre os modos como os seres humanos organizam o conhecimento e administram a tarefa de resolver problemas. Em resumo, poder-se-á afirmar que os estudos psicológicos encontraram metáforas computacionais, e em particular nos conceitos teóricos da IA, uma nova linguagem para a compreender como os especialistas pensam, e uma nova compreensão sobre o que os estudantes necessitam para serem ensinados. A título de exemplo, podemos apontar três tipos de questões que constituem o objectivo da presente investigação:

Natureza da perícia: Que conhecimento queremos ensinar a um estudante?

Modelação: Como podemos determinar o que um estudante sabe?

Acompanhamento: Como podemos melhorar a rentabilidade de um estudante?

Estas questões anunciam a questão central da educação: como devemos ensinar? Ora, com os tra-

balhos da IA, finalmente poder-se-ão orientar os professores a dirigir para os estudantes um outro tipo de conhecimento, que em geral não aparece nas monografias: associações rápidas, padrões, e estratégias de raciocínio que os especialistas constroem quase sempre sem se aperceberem. Assim, os novos professores serão melhores por apreenderem melhor o que é a perícia num dado conhecimento.

6. CONCLUSÃO

A construção dos programas da IA e dos sistemas do EAC proporcionou até agora a identificação de leis do pensamento², e de princípios gerais sobre a inteligência. Os princípios suportam uma teoria da inteligência capaz de definir o processamento da informação, que ocorre quer num cérebro humano quer num circuito electrónico. A prática do EAC pôs também em evidência três papéis fundamentais do computador, os quais se baseiam na representação computacional da arte de resolver problemas. Assim, os computadores podem servir como assistentes pessoais, desempenhando o sistema de EAC tarefas de resolução de problemas e libertando o estudante para a resolução de problemas mais complexos. Os computadores fornecem ambientes para a programação cognitiva, nos quais os estudantes podem implementar em programas os seus modos de resolver os problemas. Neste caso, os estudantes podem ganhar uma compreensão mais íntima dos assuntos de modo mais activo. E, os computadores podem fornecer ambientes para a simulação cognitiva, nos quais as consequências das várias estratégias de aprendizagem e ensino são exploradas. Desta prática do EAC ressalta o impacto potencial dos computadores como instrumentos de resolução de problemas.

Os conhecimentos já obtidos, e que constituem a perícia desta prática, estão a ser publicados em monografias de um novo tipo: livros que conterão as regras sobre como o conhecimento é usado num

² De acordo com Herbert Simon existem três leis do pensamento: 1) a resolução de problemas em domínios desconhecidos recorre à procura heurística; 2) a procura heurística toma a forma de uma análise intermédia; 3) a procura é conduzida de acordo com uma estratégia progressiva e cada vez mais em profundidade.

dado campo, e não apenas os factos. E, esta via de trabalho conduzirá certamente a uma revolução na educação.

RESUMO

Será que a Inteligência Artificial (IA) poderá revolucionar os actuais métodos de ensino e de provocar uma revolução ne educação em geral? O trabalho que vem sendo desenvolvido em duas das áreas da IA, a aprendizagem e o ensino assistido por computador (EAC), apoia a nossa convicção de que tal sucederá.

SUMMARY

Is it possible that AI change completely the way how to handle teaching and learning? Recent work done along AI and Computer Assisted Instruction supports our belief that it will happen some change.

REFERÊNCIAS

- LOPES, G. e VICCARI, R. (1984) – «An intelligent monitor interacting in Portuguese language», Proc. of the ECAI 84.
- PAPERT, S. (1970) – «Teaching children programming». North Holland, Amsterdam.
- POLYA, G. (1945) – «How to solve it». Princetown University Press, New York.