

Sistemas especialistas e o manejo ambiental

Vânia R. Pivello*

RESUMO Sistemas especialistas podem ser utilizados com sucesso no manejo ambiental, fornecendo aconselhamento especializado nos processos de tomada de decisão. Constituem ainda um bom método para a organização e difusão do conhecimento, bem como para a estruturação e análise de problemas.

O que são sistemas especialistas, como funcionam, suas principais vantagens e desvantagens ao manejo ambiental são discutidos ao longo do artigo.

Palavras-chave: Sistema especialista, manejo ambiental, manejo de recursos naturais, inteligência artificial.

ABSTRACT Expert systems can be successfully used for environmental management tasks, giving expert advice in decision-making. They also are useful for organizing and transmitting knowledge, as well as problem structuring and analysis.

What expert systems are, how they work, their main advantages and disadvantages in environmental management are discussed in this article.

Key words: expert system, environmental management, natural resources management, artificial intelligence.

QUE SÃO SISTEMAS ESPECIALISTAS?

Sistemas especialistas são programas de computador criados para auxiliar na solução de problemas específicos, através de um processo semelhante àquele que um profissional especializado no assunto utilizaria quando na função de consultor. Tais programas são organizados de forma a serem capazes de manter uma “conversa” aparentemente inteligente com o usuário, apresentando-lhe perguntas, explicações e conclusões. Os sistemas especialistas são produtos da Inteligência Artificial, ou seja, o ramo da Informática responsável pela criação de programas que envolvem uma *base de conhecimento* e que, acoplados a computadores, tornam-nos capazes de imitar atitudes humanas que envolvem raciocínio.



Histórico

Após a II Guerra Mundial, o antigo desejo de se criar inteligência fora do corpo humano começou a passar do plano utópico para o real, com a criação das primeiras “máquinas pensantes”. Além de cálculos matemáticos, elas eram capazes de realizar tarefas que envolviam a utilização de símbolos não-numéricos (Nilsson, 1971; McCorduck, 1979).

A mais famosa destas criações foi provavelmente o GPS (General Problem Solver), um programa idealizado para solucionar uma vasta gama de problemas matemáticos, provar teoremas e resolver jogos de quebra-cabeça. A solução das questões era alcançada através da redução do problema a subproblemas e do processo de tentativa-e-erro (Ernst & Newell, 1969; Parsaye & Chignell, 1988).

* Bioóloga, Mestre em Ecologia, atualmente desenvolvendo doutorado no Departamento de Tecnologia Ambiental do Imperial College, Universidade de Londres.

Embora eficientes em tarefas relativamente simples, programas generalistas como o GPS mostraram ser lentos em situações mais complicadas e, muitas vezes, incapazes de chegar à solução, justamente por trabalharem num universo muito amplo.

Os esforços seguintes foram então dirigidos no sentido de se restringir o campo de ação, considerando-se assuntos complexos, porém bem delimitados.

Problemas de classificação (nos quais a solução é uma dentre várias hipóteses listadas) constituíram um campo perfeito a ser explorado nesse sentido.

Assim, no fim da década de 70, foram lançados os primeiros sistemas *especialistas* desta vez centrados na dependência de um assunto específico.

DENDRAL (descrito por Buchanan & Feigenbaum, 1978) foi o pioneiro, atuando na identificação de estruturas moleculares de determinadas substâncias químicas. Seguiram-se-lhe vários outros, principalmente na área de diagnose e aconselhamento médicos.

Os bons resultados alcançados por estes programas encorajaram, nos anos 80, a expansão dos sistemas especialistas aos mais variados campos de atuação, citando-se como alguns exemplos relacionados às ciências ambientais: fointerpretação (McKeown & McDermott, 1983), análise de impactos ambientais (Chase, 1989), manejo agrícola (Roarch et al., 1985; Munford & Norton, 1988) e manejo dos recursos naturais, tema que será detalhado neste artigo.

No Brasil, os sistemas especialistas ainda são pouco conhecidos, sendo que as primeiras experiências nas áreas de ciências biológicas começaram a ser desenvolvidas nos últimos dois ou três anos, pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), para aplicações em agricultura.

No que diferem os sistemas especialistas dos programas convencionais?

Os programas convencionais manejam com facilidade dados *quantitativos*, utilizando instruções detalhadas passo a passo, denominadas algoritmos.

A principal diferença entre os programas convencionais e os sistemas especialistas é a capacidade destes últimos de trabalharem com conhecimento *qualitativo*, isto é, informação cujas relações entre os fatos não são diretas e exatas e, por isso, sua representação numérica é muito difícil ou impossível. Neste caso, a informação pode ser representada por meio de outros símbolos, como palavras e frases, e geralmente sob a forma de *leis*.

Em muitos casos, o conhecimento qualitativo é fundamental na avaliação do problema e na escolha da solução. A chamada *experiência* que possuem os profissionais especialistas ("experts") nos assuntos de seus domínios é, em grande parte, constituída por conhecimento que provém de experiências passadas e da vivência no assunto, onde os conceitos são um tanto empíricos, não quantificáveis, difíceis de serem explicados racionalmente. Muitas vezes, porém, este tipo de informação é a única disponível. É, portanto, nessas situações que reside a grande vantagem dos sistemas especialistas, tornando possível a captação do conhecimento qualitativo em programas de computador para auxiliar nos processos de tomada de decisão.

Por outro lado, a obtenção e organização das informações para a elaboração do sistema especialista constitui ta-

refa difícil e demorada, principalmente em virtude de existir um grande componente de subjetividade envolvida no conhecimento qualitativo (veja Waldrop, 1984 e Hart, 1986).

Portanto, em ocasiões onde dados quantitativos são disponíveis e suficientes, programas convencionais são geralmente preferíveis, por serem mais objetivos, de construção mais simples, além de se desempenharem com maior velocidade.

Um bom sumário ilustrando as situações mais adequadas para o uso de sistemas especialistas foi apresentado por Noble (1987):

Tabela 1 — Comparação entre situações adequadas para o uso de sistemas especialistas e programas convencionais.

Apropriado	Inapropriado
diagnose	cálculo
teoria não estabelecida	fórmulas estabelecidas
dados vagos	dados precisos
assunto bem delimitado	assunto não delimitado
pouca disponibilidade de especialistas no assunto	conhecimento bem difundido

Estrutura e Funcionamento

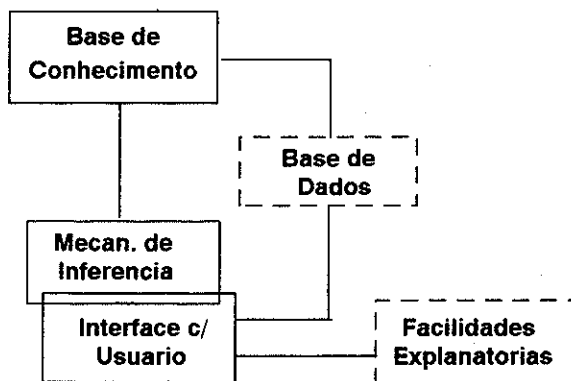
Os sistemas especialistas são, em geral, compostos por três compartimentos principais: a base de conhecimento, o mecanismo de inferência e a interface com o usuário (figura 1).

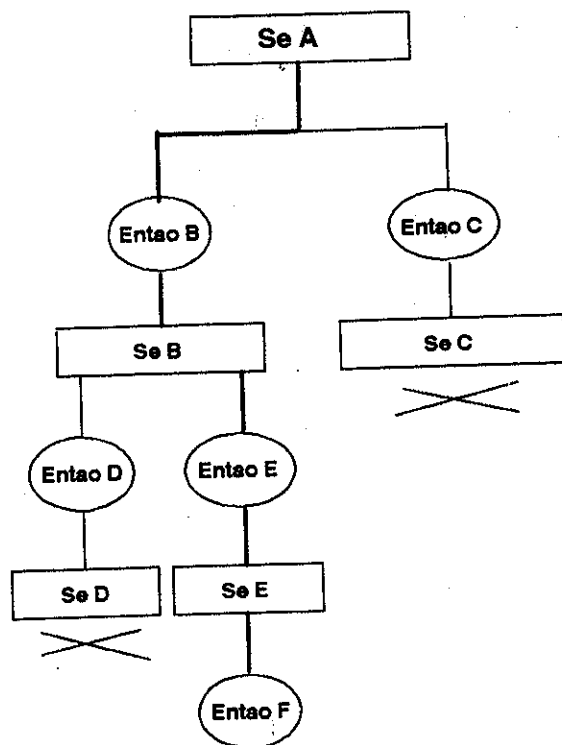
A *base de conhecimento* é o "cérebro" do programa. Nela fica armazenado todo o conhecimento necessário para a solução do problema proposto, em geral sob a forma de leis, mas, também, sob a forma de gráficos, tabelas, quadros, matrizes.

As leis são do tipo "se — então", pois envolvem uma ou mais premissas (condições) resultando em uma ou mais consequências (conclusões). Ex.: SE há uma premissa. ENTÃO há uma consequência.

O número de leis pode variar de algumas dezenas (no caso de um pequeno protótipo) a alguns milhares (em programas comercializados).

O programa é estruturado tomando-se por base o princípio das árvores de decisão, isto é, existe uma estrutura hierárquica entre as leis que dirige a busca da solução





(figura 2). Esta, por sua vez, pode ocorrer de duas formas: ou partindo da pergunta inicial e seguindo por todos os ramos da árvore até encontrar a conclusão adequada (caminho direto), ou partindo da conclusão disponível até chegar na condição que a gerou (caminho inverso) (veja Hayes-Roth et al., 1983 ou Parsaye & Chignell, 1988).

Sistemas especialistas que exigem um grande número de dados factuais (e não conhecimento) como, por exemplo, dados meteorológicos, podem ter uma base de dados acoplada à base de conhecimento (fig. 1).

O mecanismo de inferência é a componente do sistema que armazena todos os comandos que dirigem a "conversação" com o usuário, estabelecendo conexões entre perguntas e respostas, a ordem correta das mensagens, etc. São leis que fazem com que o programa funcione adequadamente, não tendo relação alguma com o conhecimento propriamente dito.

A interface com o usuário, como o próprio nome diz, comanda toda a apresentação do programa ao usuário. Nela se encontram as informações visuais do sistema, como a disposição do texto na tela, cores, formato, linguagem etc.

A qualidade do sistema especialista pode ser ampliada ao se acoplar uma parte acessória que forneça explicações sobre o texto e justificativas de como as conclusões foram alcançadas, aqui denominada "facilidades explanatórias" (fig. 1).

Linguagens e "Shells"

Assim como acontece para qualquer programa, na construção de um sistema especialista também existe a necessidade de se codificar o conhecimento sob a forma de

símbolos. Neste caso, é possível utilizar-se de linguagens tradicionais como FORTRAN, PASCAL, por exemplo, ou das chamadas linguagens naturais, que recebem este nome por se aproximarem muito de nossa linguagem escrita. Diferentemente das linguagens tradicionais, as naturais não exigem instruções detalhadas "passo-a-passo" (algoritmos), pois são capazes de encontrar relações indiretas entre os dados. Por esta razão, são mais adequadas para a representação do conhecimento qualitativo. Dentre elas, a mais utilizada atualmente é o PROLOG.

Outra opção para a construção de sistemas especialistas é a utilização de "shells". Elas constituem um sistema semipronto, com o mecanismo de inferência, a interface com o usuário e, geralmente, facilidades explanatórias, faltando apenas a base de conhecimento, que deve ser implantada de acordo com a finalidade do programa a ser produzido. Este artifício facilita muito a construção de sistemas especialistas pois, além de poupar tempo, permite à pessoa sem prática em programação de computadores construir seu próprio programa. A desvantagem, por outro lado, é que se fica limitado a estrutura ditada pela shell.

Construção

Muitos autores acreditam que a condição ideal para a construção do sistema especialista deve reunir dois tipos de profissionais: um ou mais "experts" no assunto e um programador experiente que, ao mesmo tempo, consiga captar o conhecimento do(s) "expert(s)" e criar o tipo de programa mais adequado à situação. Em geral, não recomendam que o "expert" construa seu próprio sistema, pois afirmam que, quanto mais experiente uma pessoa se torna em determinado assunto, maior é sua dificuldade em explicar o conhecimento que utiliza para chegar às decisões (Hayes-Roth et al., 1983; Waterman, 1986).

Por outro lado, a transmissão do conhecimento a uma pessoa que não tenha formação específica na área de estudo (no caso, o programador) incorre em outros pontos igualmente desfavoráveis: gasta-se um tempo imenso na aquisição do conhecimento e o risco do programador adquirir conceitos errados é grande. Juntando-se a estes fatores o crescente lançamento de "shells" mais flexíveis no mercado, tem-se notado que a tendência caminha no sentido de, cada vez mais, os próprios pesquisadores construírem seus sistemas especialistas.

O Uso de Sistemas Especialistas no Manejo dos Recursos Naturais

O manejo dos recursos naturais implica a manipulação de ambientes naturais ou seminaturais para o alcance de objetivos específicos, tais como conservação dos ecossistemas, preservação de espécies ou uso racional dos recursos. Assim, da mesma forma que determinadas técnicas de cultivo, adubação ou combate a pragas são necessárias numa cultura para dela se obter o melhor rendimento e o maior lucro, práticas de manejo igualmente bem definidas, devem ser aplicadas na obtenção de metas conservacionistas préestabelecidas. Em outras palavras: *conservação também implica manejo*.

O sucesso do manejo é diretamente dependente do nível de conhecimento dos componentes do ambiente, e

Tabela 2 — Exemplos de sistemas especialistas para o manejo de recursos naturais

Nome	Assunto	Instituição/País	Autor/(Referência)
ADAPT	Plan. Uso Solo	CSIRO — Australia	Davis & Grant (Davis & Grant, 1987)
ASPENEX	Silvicultura	USDA Forest Service — EUA	Morse & White (Rauscher, 1987)
BEHAVE	Silvicultura	USDA Forest Service — EUA	Burgan et al. (Burgan & Rothermel, 1984)
BIPS	Silvicultura	Texas A&M University — EUA	Loh & Saarenmaa (Rauscher, 1987)
BRUSH & GUILD	Fauna	USDA Forest Service — EUA	Marcot, B.G. (Rauscher, 1987)
CROWNFIR	Ecoss. Naturais	USDA Forest Service — EUA	Latham, D. (Rauscher, 1987)
FIRES	Ecoss. Naturais	CSIRO — Australia	Davis, Hoare & Nanninga (Davis et al, 1986)
FIRESYS	Ecoss. Naturais/Fauna	USDA Forest Service — EUA	Fischer & Wright (Fischer & Wright, 1987)
FOREST/DEER INTERACTIONS	Fauna	Texas A&M University — EUA	Folse, Packard & Grant (Rauscher, 1987)
GATTON	Plan. Uso Solo	CSIRO — Australia	Davis, J.R. (Lambert & Wood, 1989)
GROUSE ADVISOR	Fauna	USDA Forest Service — EUA	Buech & Rauscher (Rauscher, 1987)
INSEX	Silvicultura	Texas A&M University — EUA	Coulson, R. (Rauscher, 1987)
MOOSE	Fauna	Finnish Forestry Research Institute — Finlândia	Saarenmaa, H. (Rauscher, 1987)
NIDAHO	Silvicultura	USDA Forest Service — EUA	Chew & Rauscher (Rauscher, 1987)
PREDICT	Silvicultura	USDA Forest Service — EUA	Schmoldt, D. (Rauscher, 1987)
REDPINE ADVISOR	Silvicultura	USDA Forest Service — EUA	Rauscher & Benzie (Rauscher, 1987)
RIPARIAN	Ecoss. Naturais	University of Nevada — EUA	Lambert, D. (Lambert & Wood, 1989)
SHRUBKILL	Ecoss. Naturais	CSIRO — Australia	Ludwig et al. (Ludwig, 1988)
WHITETAIL ADVISOR	Fauna	USDA Forest Service — EUA	Buech & Rauscher (Rauscher, 1987)
WOODPECKER	Fauna	Texas A&M University — EUA	Coulson, R. (Lambert & Wood, 1989)

principalmente das inter-relações que governam seu funcionamento como um todo.

Um grande avanço na compreensão destas inter-relações foi alcançado com a aplicação de modelos matemáticos à Ecologia. Através dos modelos, as mais variadas situações puderam ser imaginadas, simuladas e seus efeitos previstos, levando ao melhor entendimento da dinâmica dos ecossistemas.

Porém, como afirmam Starfield & Bleloch (1986), modelos são essencialmente quantitativos e, mesmo aqueles mais generalistas, requerem dados numéricos ao serem aplicados em casos específicos. Na maior parte dos estudos ambientais, a falta de dados numéricos revela-se como o fator limitante na construção de modelos funcionais. Isto se deve não apenas à grande dificuldade prática em se medir os processos biológicos, como também porque há processos extremamente difíceis de serem traduzidos para uma

forma quantitativa, cujos mecanismos ainda não estão esclarecidos.

Em situações como estas, onde ao menos uma base de conhecimento qualitativo existe, a aplicação de sistemas especialistas tem se mostrado como uma boa alternativa ao armazenamento, organização e transmissão deste conhecimento.

Exemplos

A idéia do uso de sistemas especialistas para o manejo ambiental surgiu pela primeira vez em 1983, quando Starfield e Bleloch lançaram BURN (Starfield & Bleloch, 1983), um pequeno protótipo para demonstração, tendo como tema o manejo do fogo no Kruger National Park (África do Sul).

Desde então, diversos destes programas têm sido desenvolvidos para o manejo de recursos naturais, muitos deles já implantados e utilizados rotineiramente. No Canadá, por exemplo, foi recentemente criado um amplo esquema para manejo e controle de incêndios florestais, todo baseado em sistemas especialistas (Kourtz, 1987). Na Austrália, vários programas deste tipo são hoje utilizados para o manejo do Kakadu National Park (Davis et al., 1986).

Alguns exemplos de sistemas especialistas para o manejo de recursos naturais, que se encontram pelo menos em fase de desenvolvimento, estão listados na tabela 2, tendo sido agrupados de acordo com os seguintes temas: ecossistemas naturais, silvicultura, fauna e planejamento do uso e ocupação do solo. Sistemas especialistas para o manejo de fogo foram incluídos em "silvicultura" ou "ecossistemas naturais", dependendo de sua função.

Vantagens e Desvantagens

Diversos autores, dentre os quais Rauscher (1987), Scifres (1987) e Jeffers (1985), discutem a adequação dos sistemas especialistas como técnica para estruturação e análise de questões ligadas ao manejo ambiental. Lochle (1987) chama a atenção ainda para a possibilidade de seu uso como ferramenta para a construção de modelos ecológicos.

A maior vantagem do uso dos sistemas especialistas em manejo ambiental deve-se justamente a sua habilidade em lidar com o conhecimento qualitativo, como já discutido anteriormente, sendo também capazes de, até certo grau, manipular dados numéricos e modelos matemáticos.

Estes sistemas constituem também um bom instrumento para a difusão do conhecimento. No caso de atividades onde atuam dois ou mais grupos de profissionais, com níveis de conhecimento diferentes, como é o caso do manejo ambiental, o ideal é que haja uma integração perfeita entre o grupo de "produtores de conhecimento" (cientistas, pesquisadores) e os "aplicadores" do conhecimento gerado (administradores dos recursos naturais). Infelizmente, na prática, não é isso o que geralmente acontece. A comunicação entre pesquisadores e administradores é insuficiente; os veículos tradicionais de comunicação científica (jornais e revistas especializadas, livros técnicos etc) têm pouca penetração entre os administradores que, em geral, não estão familiarizados com sua linguagem; as oportunidades de contato direto com os pesquisadores são raras e o que geralmente ocorre é que a demanda por aconselhamento especializado é muito maior que a disponibilidade de "experts". Assim, sistemas especialistas podem facilitar enormemente o acesso à informação técnica e ao aconselhamento especializado, representando uma boa interface entre os administradores dos recursos naturais e os pesquisadores.

O sistema de "conversação" utilizado nesses programas permite o uso de uma linguagem acessível ao usuário e imprime uma natureza bastante interativa ao método. Pela facilidade de uso e transparência de sua base de conhecimento, esta técnica é ainda muito útil no caso de tarefas de rotina e treinamento de pessoal, poupando o tempo do profissional especializado.

Durante o processo de consultoria ao sistema especialista, o usuário muitas vezes depara-se com questões nas quais nunca havia pensado, mas cuja resposta é exigida

pelo programa. Este é outro ponto bastante favorável do método pois, tendo que fornecer a informação, a pessoa é forçada a refletir sobre aspectos do problema anteriormente não considerados. Esta questão é ainda mais acentuada para os construtores do sistema. Tanto o(s) "expert(s)" como o programador precisam ter uma atitude muito clara e objetiva diante do problema em questão, uma vez que têm de decidir e justificar as decisões durante todo o processo construtivo. Cada passo deve ser analisado e justificado.

No caso de conflitos de opiniões, essa técnica também é favorável no sentido de forçar o grupo a chegar em acordo.

Pela objetividade do método, Starfield & Bleloch (1983) afirmam que o processo de construção do sistema especialista, por si só, pode ser mais valioso que sua implementação e uso. Com razão, o esforço de criação de um sistema especialista é, em geral, tarefa extremamente compensadora, trazendo respostas objetivas a questões que, até o momento, permaneciam vagas, e identificando deficiências do conhecimento, que poderão ser tomadas como temas para pesquisas posteriores.

Uma vez construído o sistema especialista, sua base de conhecimento pode ser facilmente modificada, o que permite que seja constantemente atualizado.

Por outro lado, qualquer programa de computador, por melhor que seja, tem suas limitações, que devem ser reconhecidas pelo usuário. Numa área como o manejo ambiental, onde a natureza das variáveis que influem no problema e as relações de causa e efeito muitas vezes não são perfeitamente conhecidas, o uso de tais programas só se justifica quando o usuário (no caso, o administrador dos recursos) já tiver certa experiência no assunto e razoável conhecimento de sua área de manejo, de forma que seja capaz de ponderar as sugestões oferecidas pelo programa, julgá-las de acordo com a situação em que se encontra e aceitá-las ou não. Isto porque, apesar dos sistemas especialistas procurarem analisar o máximo de variáveis até chegarem à recomendação final, circunstâncias especiais (casos excepcionais) podem não ter sido consideradas durante sua construção e, neste caso, ao se ter em mãos uma situação incomum, as sugestões oferecidas podem não ser adequadas. Da mesma forma, sistemas especialistas não têm senso de limitação, isto é, são programados tendo como objetivo encontrar a resposta ao problema. Isto os torna sujeitos a uma "superdiagnose" (Hart, 1986), ou seja, podem fornecer a recomendação com dados insuficientes.

Tais sistemas são, por definição, restritos a um assunto limitado. À medida em que questões marginais ao conhecimento específico são levantadas, o desempenho do programa tende a cair rapidamente (Pauzcher, 1987). No caso do manejo ambiental, onde as questões são geralmente de âmbito multidisciplinar, isto pode representar uma limitação razoável. (Para solucionar este tipo de problema, está-se tentando a criação dos chamados *sistemas integrados*. São conjuntos de sistemas específicos a assuntos inter-relacionados, ligados através de sua parte em comum, formando um programa amplo (Coulson et al., 1987).

Em conclusão, sistemas especialistas jamais devem ser encarados como substitutos do profissional. Sua função é propiciar o acesso a informações importantes que, juntamente com o bom senso do profissional e seu conhecimento da região irão ajudá-lo nas tomadas de decisão.

Referências

- BUCHANAN, B. G. & FEIGENBAUN, E. A. Dendral and Meta-Dendral: their applications dimension. *Artificial Intelligence* 11: 5-24. 1978.
- BURGAN, R. E. & ROTHERMEL, R. C. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system — fuel subsystem. *USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-167*. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Intermountain Research Station. 1984.
- CASE, P. NEPA — NFMA Workbench. *alli Newsletter*. 1(1): 19-21. 1989.
- COULSON, R.N.; FOLSE, L.J. & LOH, D.K. Artificial intelligence and natural resource management *Science* 237: 262-267. 1987.
- DAVIS, J.R.: HOARE, J.R.L. & NANNINGA, P.M. Developing a fire management expert system for kakadu National Park. *J. environ Mgmt.*, 22: 215-227, 1986.
- DAVIS, J.R. & GRANT, I.W. ADAPT: a knowledge-based decision support system for producing zoning schemes. *Environment and Planning* 814: 53-66. 1987.
- DAVIS, J.R.: NANNINGA, P.M. & WILLIAMS, G.J. The design of an expert system for environmental management. In: *Readings in Australian Geography* — Proc. on the 21st. IAG Conference. Perth, 1987.
- ERNST, G.W. & NEWELL, A. GPS: A case study in generality and problem solving. London, Academic Press. 1969. 297 p.
- FISCHER, W.C. & WRIGHT, A.H. Firesys — using artificial intelligence techniques to build a fire effects information system. *The Compiler*, 5(5):28-35. 1987
- HART, A. *Knowledge Acquisition for Expert Systems*. London, Kogan Page, 1986. 180 p.
- HAYES-ROTH, F.; WATERMAN, D.A. & LENAT, D.B. *Building Expert Systems*. London. Addison-Wesley. 1983. 444p.
- JEFFERS, J.N.R. Ecological advice through expert systems In: *First International Expert Systems Conference*, London. October 1985. Oxford, Learned Information. 1985. pp 163-172.
- KOURTZ, P. Expert system dispatch of forest fire control resources. *AI Applications* (1):1-8. 1987.
- LAMBERT, D.K. & WOOD, T.K. Partial survey of expert support systems for agriculture and natural resource management. *AI Applications*. 3(2): 41-52. 1989
- LOEHLE, C. Applying artificial intelligence techniques to ecological modeling *Ecological Modelling*, 38:191-212. 1987.
- LUDWIG, J. *SHRUBKILL User's Guide* Australia. OSIRO Division of Wildlife and Ecology, 1988. 14 p.
- McCORDUCK, P. *Machines Who Think* San Francisco, W.H. Freeman, 1979. 375 p.
- McKEOWN, D.M. & McDERMOTT, J. Toward expert systems for photo interpretation. In *Frands & Applications Conference*. Maryland. May 1983. Proceedings. Los Angeles. IEEE Computer Society Press. 1983. op. 33-39.
- MICHIE, D. Current developments in expert systems. In: QUINLAN, J.R. (ed. *Applications of Expert Systems* England. Turing Institute/Addison-Wesley. 1987. pp. 137-156.
- MUMFORD, J.D. & NORTON, G.A. Expert systems in pest management: implementation on an international basis. *Entomology Working Papers*, 1(2): 21-28. 1988.
- NILSSON, N.J. *Problem — Solving Methods in Artificial Intelligence*. New York. Mc Graw-Hill. 1971. 255p.
- NOBLE, I.R. The role of expert systems in vegetation science. *Vegetation*, 69: 115-121. 1987.
- PARSAYE, K. & CHIGNELL, M. *Expert Systems for Experts*. New York, John Wiley & Sons. 1988. 462 p.
- RAUSCHEH, H.M. Expert systems for natural resources management. *The Compiler*, 5(5): 19-27. 1987.
- ROACH, J.; VIRKAR, R.S.; WEAVER, M. & DRAKE, C.R. Pomme: a computer-based consultation system for apple orchard management using Prolog. *Expert Systems*, 2(2): 56-69. 1985.
- SCIFRES, C.J. Decision-analysis approach to brush management planning: ramifications for integrated range resources management *J. Range Manage*, 40(6): 482-90, 1987.
- STARFIELD, A.M. & BLELOCH, A.L. Expert systems: an approach to problems in ecological management that are difficult to quantify. *J. environ. Mgmt.*, 16: 261-268. 1983.
- STARFIELD, A.M. & BLELOCH, A.L. *Building Models for Conservation and Wildlife Management*. New York, Macmillan, 1986. pp. 213-237.
- WALDROP, M.M. The necessity of knowledge. *Science*, 223(4642): 1279-1282. 1984.
- WATERMAN, D.A. *A Guide to Expert Systems*. Reading, Addison-Wesley. 1986. 419 p.

Agradecimentos

Agradeço ao Dr. Leopoldo M. Coutinho e Paulo E.C. de Toledo pela leitura do original e sugestões e aos colegas de Silwood Park pelo constante apoio e colaboração.

