

Representação de conhecimento em sistemas especialistas, visando à agricultura

André Thiago de Souza Lanzer (UFSC, SC, Brasil) – andrelanzer@yahoo.com.br
• Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, CEP: 88040-970, Trindade, Florianópolis-SC

Recebido em: 20/08/08 Aprovado em: 10/03/09

Resumo

A partir da informação disponível no sistema de avaliação da relação de uso e manejo das terras de D'Agostini & Schlindwein (1998), foi desenvolvido um sistema especialista baseado em regras, cujo conhecimento foi representado de forma hierárquica. A representação hierárquica é indicada para sistemas especialistas da categoria de interpretação e que lidam com classificação, podendo ser utilizada em sistemas de determinação dos usos da terra, tais como o norte-americano e o brasileiro. A introspecção facilita o desenvolvimento nos estágios iniciais de um sistema especialista, nos casos em que informações para a definição dos estados estão presente nos próprios sistemas de classificação, como é o caso do sistema de avaliação de D'Agostini & Schlindwein (1998). Conceitos da Programação Orientada a Objetos são aplicados no desenvolvimento do sistema.

Palavras-chave: *Inteligência artificial; Representação do conhecimento; Classificação das terras; Interpretação; Sustentabilidade.*

Abstract

From the available information in the D'Agostini & Schlindwein (1998) land use and management evaluation system a rule based expert system was developed whose knowledge was adequately represented hierarquically. Hierarchical representation is indicated for interpretation category expert systems that deal with classification, and may be used in land use determination systems such as the American and Brazilian. Introspection eases initial development of an expert system in cases where information for state definitions is found in the classification system itself, as in the D'Agostini & Schlindwein (1998) evaluation system. Object-oriented programming concepts are applied to system development.

Keywords: *artificial intelligence, knowledge representation, land classification, interpretation, sustainability.*

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas especialistas pertencem à ciência da inteligência artificial (IA), a qual, nas palavras de Durkin (1994), é definida como “um campo de estudo na ciência da computação que tem o objetivo de fazer um computador pensar de maneira semelhante aos humanos”. Os sistemas especialistas são construídos para resolver problemas que são muito difíceis de resolver, utilizando-se métodos ou programas de computador tradicionais e eles são, às vezes, descritos como programação para não-programadores (LAWRENCE, 1992).

Sistemas especialistas têm sido aplicados nos mais diversos campos da ciência, tais como a medicina, a ciência da computação, a engenharia, a economia, a geologia e a educação (LUGER, 2004). As categorias de problemas onde são possíveis aplicações, situam-se no campo da interpretação, predição, diagnose, projeto, planejamento, monitoramento, instrução e controle (WATERMAN, 1985), com aplicações, tais como instruções em jogos de empresas (DUAN et al., 1998), no campo financeiro (BRYANT, 2001), e em classificação (Kartikeyan et al., 1995; Hanching et al., 1997; Kahya et al., 2008), dentre outras, como na agricultura, quando, em 1994, já havia aproximadamente uma centena de sistemas desenvolvidos (vide Durkin, 1994; e referências inclusas).

No contexto da análise da cobertura do solo, Kartikeyan et al. (1995) desenvolveram um sistema especialista para a classificação por imagens de satélite, e Hanching et al. (1997) desenvolveram um sistema especialista de classificação florestal, conectado a dados do SIG ArcView. Mais recentemente, Kahya et al. (2008) desenvolveram um sistema especialista para classificação da cobertura do solo, com base em imagens LANDSAT 7 e atingiram uma eficácia de 95,8% na classificação.

O uso dos sistemas especialistas deve-se ao êxito alcançado por eles nas tarefas para as quais são designados. Conforme Waterman (1985), com o desenvolvimento de sistemas especialistas, tem-se um especialista permanente (o sistema), que opera com um baixo custo e que tem uma amplitude de atendimentos maior. A presença do especialista humano torna-se fundamental no desenvolvimento do sistema.

Uma categoria de problemas de interesse para a ciência do solo é a interpretação, definida, conforme Waterman (1985), como a formação de conclusões de alto nível de coleções de dados brutos. Pertinentes ao escopo da interpretação, existem sistemas de determinação de usos (serventias) para a terra, tais como o de Brady (1989) e Ramalho Filho et al. (1978). É provável que hajam sistemas mais recentes.

Nos sistemas de Brady (1989) e de Ramalho Filho et al. (1978), existem classes com características peculiares, às quais podem ser atribuídas certas serventias para a terra. Outra abordagem, diferente daquela de Brady (1989) e de Ramalho Filho et al. (1978), consiste na avaliação da relação de uso que o agricultor mantém com a terra, da qual ele usufrui por meio de valorações entrópicas (D’Agostini & Schlindwein, 1998). O sistema de avaliação de D’Agostini & Schlindwein (1998) pretende ser utilizado no contexto de microbacias hidrográficas, no sentido de auxiliar no planejamento de uso da terra. Com finalidade semelhante, já foram utilizados métodos de decisão multicritério (Mello Filho & Da Rocha, 1994).

O sistema de D'Agostini & Schlindwein (1998) é um sistema que difere do sistema norte-americano, descrito em Brady (1989) e do sistema brasileiro de Ramalho Filho et al. (1978), fundamentalmente por incluir valorações para o custo entrópico dos processos produtivos. Tais valorações entrópicas derivam da segunda lei da termodinâmica, a lei da entropia, a qual diz que “nenhum processo que implique uma transformação de energia, ocorrerá espontaneamente, a menos que haja uma degradação da energia de uma forma concentrada para uma forma mais dispersa” (ODUM, 1997). Neste sentido, os processos produtivos são avaliados por meio da dispersão de energia para o meio ambiente, configurando variações na entropia do sistema.

O conservacionismo é favorável ao planejamento do desenvolvimento coerente com as leis ecológicas (ODUM, 1997) e, dada sua importância para a sustentabilidade, julgou-se então que a criação de um sistema especialista, a partir do sistema de D'Agostini & Schlindwein (1998), avaliaria a viabilidade desta ferramenta da inteligência artificial, para o uso em sistemas de classificação. Sustentabilidade é aqui entendida como o ato de praticar ações que permitam atender às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade das gerações futuras em atender suas próprias necessidades (Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1988).

Para avaliar a viabilidade do desenvolvimento de protótipos de sistemas especialistas para a agricultura e baseados em classificação, é necessário um estudo sobre a forma de representar o conhecimento voltada aos sistemas de classificação; em particular, para a categoria de interpretação em sistemas especialistas. O fruto desta avaliação é um produto que os engenheiros de conhecimento poderão utilizar para criar sistemas especialistas interpretativos que visem à classificação.

O sistema especialista desenvolvido não foi aplicado a campo porque pretendeu-se, com a presente pesquisa, verificar-se a viabilidade quanto ao desenvolvimento de um sistema deste tipo, estando sua aplicação prática condicionada à existência de computadores do tipo laptop para os extensionistas rurais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo exploratório que, além de proporcionar maiores informações sobre um tema a ser investigado (ANDRADE, 2002), tem, como um estudo exploratório, a finalidade de desenvolver e esclarecer conceitos e idéias, a fim de fornecer hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores (TRIPODI et al., 1975). Em síntese, esta pesquisa verifica a viabilidade de implementação de um sistema especialista para uma condição específica, o sistema de avaliação de D'Agostini & Schlindwein (1998) e, com isso, procura expor os métodos e técnicas necessários ao desenvolvimento de sistemas de classificação. Foram conduzidas algumas entrevistas com o especialista humano, a fim de esclarecimento de dúvidas.

Sistema de avaliação de D'Agostini & Schlindwein (1998)

O sistema de avaliação de D'Agostini & Schlindwein (1998) é um sistema de classificação interpretativa, que admite a expressão da subjetividade do interpretador e interpreta os resultados em função de um objetivo específico. Conforme os próprios autores do sistema, a expressão “solo bom” tem significação mais complexa do que “solo profundo”.

A execução da avaliação dá-se conforme mostra o fluxograma da figura 1. Através do preenchimento do quadro de registro (1), calcula-se o custo entrópico médio do processo produtivo, o qual é utilizado para determinar-se o peso dos critérios conservacionista, edafo-econômico e operacionalidade das atividades. Com os dados obtidos do quadro de registro (2) e os pesos dos critérios, obtém-se a classe da relação entre homem e meio e seu posterior enquadramento em uma categoria. É importante citar que ambos os quadros de registro do sistema de classificação contêm definições detalhadas para a classificação das modalidades de cada componente considerado.

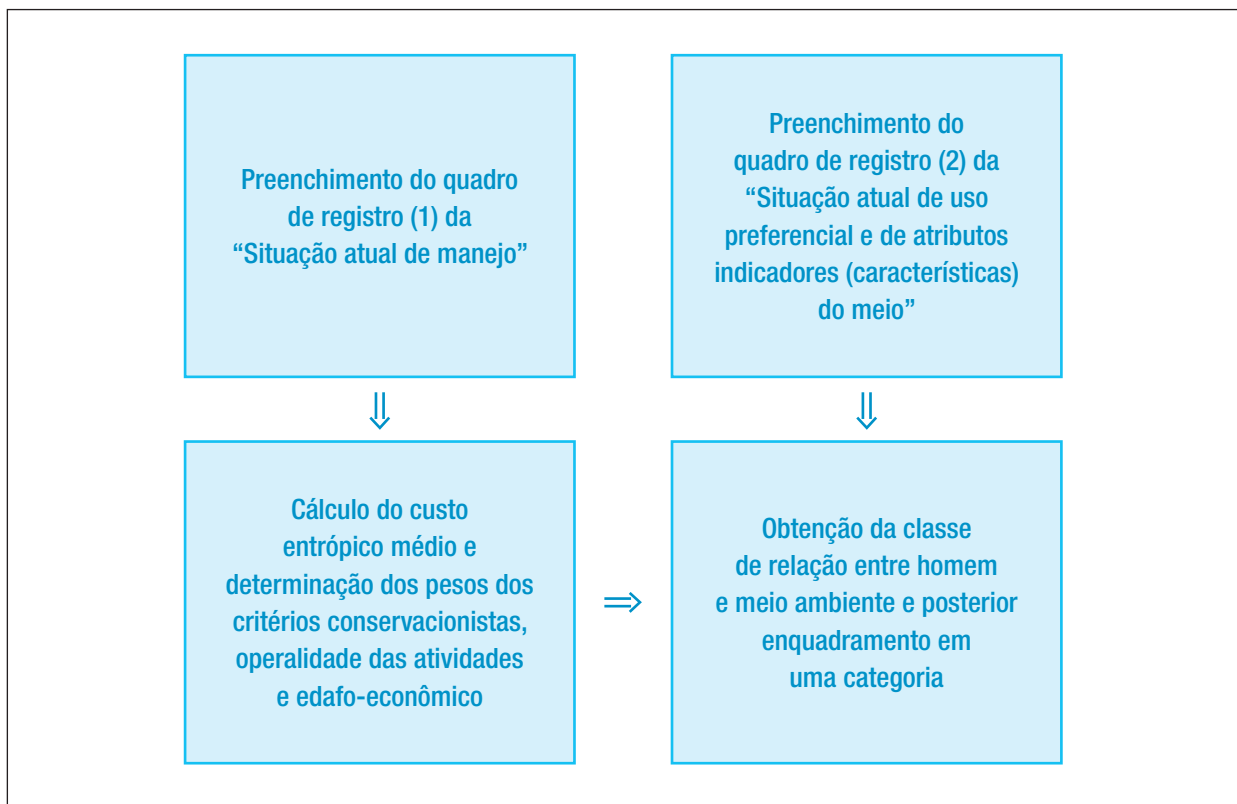


Figura 1 – Fluxograma das informações utilizadas no sistema de avaliação de D'Agostini & Schlindwein (1998)

O quadro de registro da situação atual de manejo (1) contém informações a respeito do manejo do meio e dos insumos. Pertinentes à primeira categoria de manejo, encontram-se dados sobre a condição dos componentes ‘mecanização da gleba’, ‘cobertura vegetal’ (em termos da quantidade de presença e de sua diversidade) e ‘controle do escoamento’. Na segunda categoria de manejo, há dados sobre a condição dos componentes ‘sementes e fertilizantes’ (utilizados), sobre ‘agrotóxicos’ (sua quantidade e posterior manipulação), e sobre o ‘potencial de poluição das águas’. Cada uma das opções, para cada aspecto de manejo supramencionado, possui um valor entrópico.

Com o quadro de registro da situação atual de manejo (1) preenchido, faz-se uma média dos valores do custo entrópico de cada aspecto e obtém-se o custo entrópico médio do processo produtivo (detalhes em D’Agostini & Schlindwein, 1998); a partir deste último valor, determinam-se os pesos dos critérios conservacionista, operacionalidade das atividades e edafo-econômico, de forma que um processo produtivo, com elevado custo entrópico, possui um peso maior no critério conservacionista, e um processo produtivo com reduzido custo entrópico, possui um peso maior no critério edafo-econômico. Isto quer dizer que um processo produtivo que dissipe grandes quantidades de energia para o meio ambiente, deve ater-se mais à conservação dos recursos naturais, enquanto um processo que dissipe pequenas quantidades de energia para o meio ambiente, pode tornar-se mais eficiente, atendo-se aos aspectos do critério edafo-econômico.

O quadro de registro da situação atual de uso preferencial e de atributos indicadores do meio (2), contém informações técnicas a respeito das características do meio, a dizer: o tipo de uso preferencial da gleba (cultura perene, pastagem, reflorestamento, etc.), sua quantidade de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ extraível do solo (alta, média ou baixa em função de uma tabela), o tipo de horizonte superficial (chernozêmico, proeminente, húmico, etc.), a condição de pedregosidade da gleba (desde ausente até muito significativa), a declividade da gleba e a sua condição de drenagem (boa, moderada ou má), além da profundidade do solo.

Com os dados deste último quadro de registro (2), entra-se em uma tabela e, através de uma conta aritmética que utiliza os pesos dos critérios conservacionista e dos demais (ver D’Agostini & Schlindwein, 1998), obtém-se a classe da relação entre homem e meio ambiente, de acordo com a fórmula (equação 1):

$$\text{Classe} = \frac{(PCC \times VCC) + (PCO \times VCO) + (PCE \times VCE)}{21} \quad (\text{equação 1})$$

Onde PCC, PCO e PCE são, respectivamente, o peso dos critérios conservacionista, operacionalidade das atividades e edafo-econômico, obtidos a partir do preenchimento do quadro 1, e VCC, VCO e VCE são a classe obtida da tabela dos respectivos critérios; 21 equivale ao somatório do peso dos três critérios.

Com base no valor da classe, obtém-se a categoria desta relação, que pode ser A, B, C, D ou E (F para o caso da gleba não se encontrar sob uso agrícola). Há uma ordem crescente de sustentabilidade nas categorias da letra E para a letra A.

O sistema especialista desenvolvido considera somente os aspectos da avaliação citados na figura 1. A avaliação completa pelo sistema de D’Agostini & Schlindwein (1998) gera, ainda, uma notação para auxiliar o manejo da gleba e um índice da qualidade da relação de manejo, que pode ser aplicado em uma microbacia hidrográfica. Para a finalidade deste trabalho, não foi necessário implementar a avaliação completa de D’Agostini & Schlindwein (1998).

2.1. Sistemas especialistas

O livro-guia utilizado para a construção do sistema especialista, foi o livro de Durkin (1994). Para Durkin (1994), um sistema especialista é um programa de computador projetado para modelar a habilidade de resolução de problemas de um especialista humano. Se observarmos a figura 2, veremos que o método de resolução de problemas de ambos é bastante semelhante.

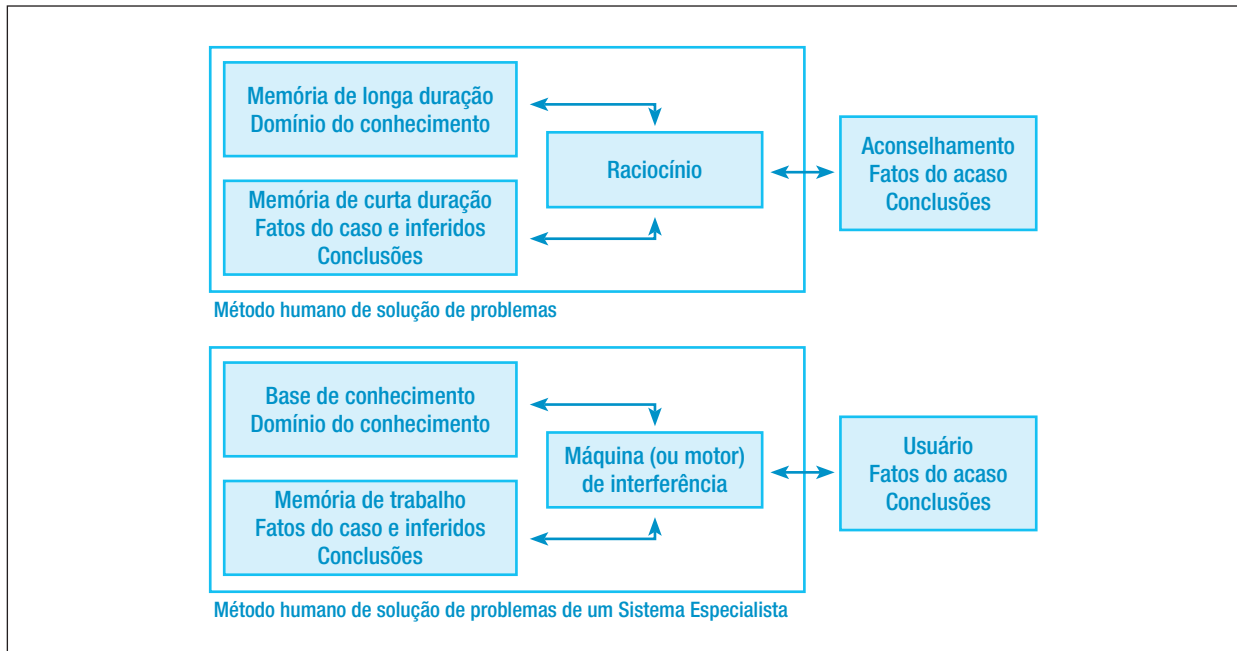


Figura 2 – Métodos de resolução de problemas.

Fonte: Durkin (1994)

O especialista humano é especializado em uma certa área de conhecimento, que chamamos de domínio do conhecimento, que fica armazenado na memória de longa duração (MLD). Os fatos fornecidos sobre um problema, os fatos inferidos e as conclusões ficam armazenados na memória de curta duração (MCD). Aquele que consulta o especialista, lhe fornece fatos que são armazenados em sua MCD. O especialista raciocina sobre o problema combinando os fatos contidos na MCD e o conhecimento contido na MLD, de forma a chegar a uma conclusão final sobre o problema. Durante este processo, ele pode supor novos fatos a respeito do problema que ficam armazenados na sua MCD.

Um sistema especialista (SE) opera de forma essencialmente análoga a este processo. Conforme Durkin (1994), em vez de haver uma MLD, nós teremos (1) uma base de conhecimento, que é aquela “parte do SE que contém o domínio de conhecimento”, (2) uma memória de trabalho, que é aquela “parte do SE que contém informações específicas do caso estudado que são supridas pelo usuário (fatos) e inferidas pelo SE (conclusões)”, e (3) uma máquina (ou motor) de inferência, que é um “processador que coincide os fatos contidos na memória de trabalho com o domínio de conhecimento contido na base de conhecimento para chegar a conclusões sobre o problema”.

O conhecimento extraído do especialista ou de outras fontes, tais como livros e revistas, deve ser representado, antes de iniciar-se sua codificação em uma linguagem de programação. Este conhecimento pode ser representado, através de “triplets” Objeto-Atributo-Valor (“triplets” OAV”), de regras, de redes semânticas, de quadros (“frames”) e logicamente (Durkin, 1994). Os “triplets” OAV consistem em uma forma fundamental de representação do conhecimento e os apresentarei, aqui, dado o contexto do presente artigo, assim como as regras, que também, foram utilizadas pelo sistema especialista desenvolvido.

Os “triplets” OAV podem ter um atributo (figura 3A) ou múltiplos atributos (figura 3B); neste último caso, o objeto possui vários atributos, cada qual com seu valor. O “triplet” OAV de um atributo da figura 3A pode ser interpretado com a frase “o solo tem uma profundidade de 0.5m”, enquanto a interpretação do “triplet” OAV de múltiplos atributos da figura 3B, já seria: “a vegetação tem diversidade do tipo rotação E (AND) altura média de 1m E (AND) a presença é ampla”. Os atributos dos “triplets” OAV, também, podem possuir um único valor ou vários, denominando-os, neste caso, de uni ou multivalorados, respectivamente. Conforme DURKIN (1994), um “frame” possui o nome do objeto representado e propriedade(s) ou atributos com seu(s) valor(es), ou seja, contém um ou mais “triplet” OAV. Além disso, os “frames” relacionam-se, através de conexões em que ocorre herança, ou seja, os “frames” de posição hierárquica inferior herdaram informações dos “frames” hierarquicamente superiores. A hierarquia entre os “frames” pode ser representada por de uma estrutura denominada de árvore hierárquica. No fim das ramificações, encontram-se as instâncias, nas quais todos os atributos recebem valores. É usual que os “frames” hierarquicamente superiores, não possuam todos os atributos com valores. Estes atributos que não possuem valores, permitem o agrupamento de objetos com características semelhantes, em posições inferiores. A raiz da árvore é chamada de “classe” e, havendo “frames” intermediários entre esta e a(s) instância(s), estes são denominados de subclasses.

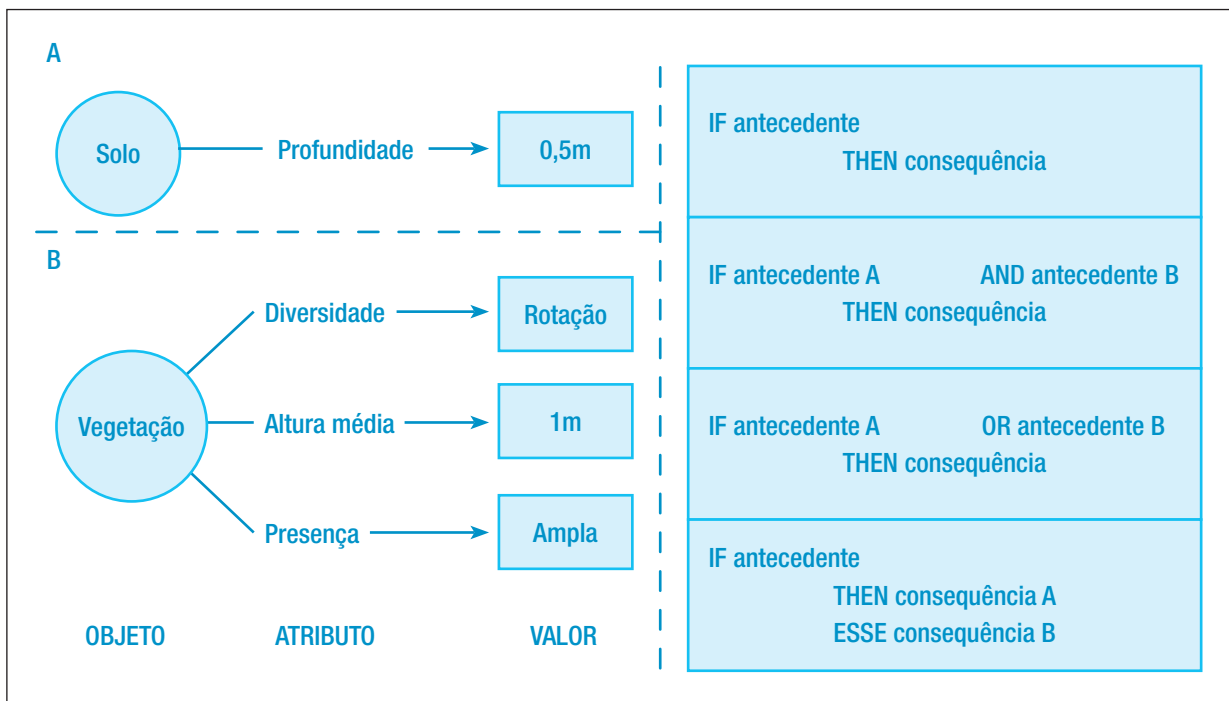


Figura 3 – Exemplos de triplets OAV e regras.

As regras contêm um antecedente ou premissa, a qual contém certas condições que, se verificadas, resultam na execução da consequência ou conclusão da regra. Na Figura 3C, estão demonstradas alguns tipos de estruturas de regras; a estrutura IF...THEN...ELSE (SE...ENTÃO...SENÃO) é uma estrutura típica em programação e é traduzida da seguinte forma: SE algo acontecer ENTÃO tome a atitude “A”, SENÃO tome a atitude “B”. Os operadores AND e OR são frequentemente utilizados em regras. O operador AND (E) significa que uma condição somente é verdadeira, se ambas, premissas, forem verdadeiras e o operador OR (OU) significa que uma condição é verdadeira se apenas uma das premissas for verdadeira. Outros tipos de estruturas de regras podem ser criados, além daqueles mostrados na figura 3C. Nós devemos criar a estrutura da regra que mais se adapte ao problema apresentado.

A combinação de antecedentes e de consequências depende do método de resolução de problemas utilizado pelo especialista humano. O antecedente e/ou a consequência da regra pode ser um “triplet” OAV. Um exemplo de um “triplet” OAV em uma regra é “SE o solo (objeto) tem profundidade (atributo) superior a 1m (valor). ENTÃO o solo é bom para culturas perenes”.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

D’Agostini & Schlindwein (1998) definem as diversas modalidades dos componentes dos quadros de registro da “situação atual de manejo” e da “situação atual de uso preferencial e de atributos indicadores (características) do meio”. Temos, no quadro 1, um exemplo do tipo de informação disponibilizado por D’Agostini & Schlindwein (1998).

| Controle do escoamento superficial | |
|------------------------------------|--|
| Modalidade | Definição |
| Amplo | Situação em que normalmente não se observa qualquer escoamento superficial |
| Eficaz | Situação em que o escoamento superficial só é observado em condições de chuvas intensas, e, mesmo quando ocorre, não há riscos maiores de erosão |
| Insuficiente | Situação em que o escoamento superficial é observado com frequência, com ocorrência de erosão |
| Inadequado | Situação em que o escoamento superficial é significativo em função de práticas mal conduzidas em seu controle |
| Inexistente | Quando não há qualquer preocupação em controlar o escoamento superficial |

Quadro 1 – Dados disponibilizados por D’Agostini & Schlindwein (1998), para a definição do componente “controle do escoamento superficial”

Os dados do quadro 1 podem ser estruturados de forma hierárquica, pois compartilham dados entre classes mais gerais e as classes que lhes compõem (vide Montenegro & Pacheco, 1994), permitindo a abordagem da herança (Luger, 2004). Seguindo o exemplo do quadro 1, a primeira classe (‘ControlEsc’) caracteriza a presença ou ausência de escoamento superficial e contém uma instância (CEsc.Amplo), que corresponde à ausência de escoamento superficial (modalidade amplo) e que é distinta das demais subclasses e instâncias, que estão herdadas suas características da subclasse ‘ComEscSup’, tal como demonstrado na figura 4A.

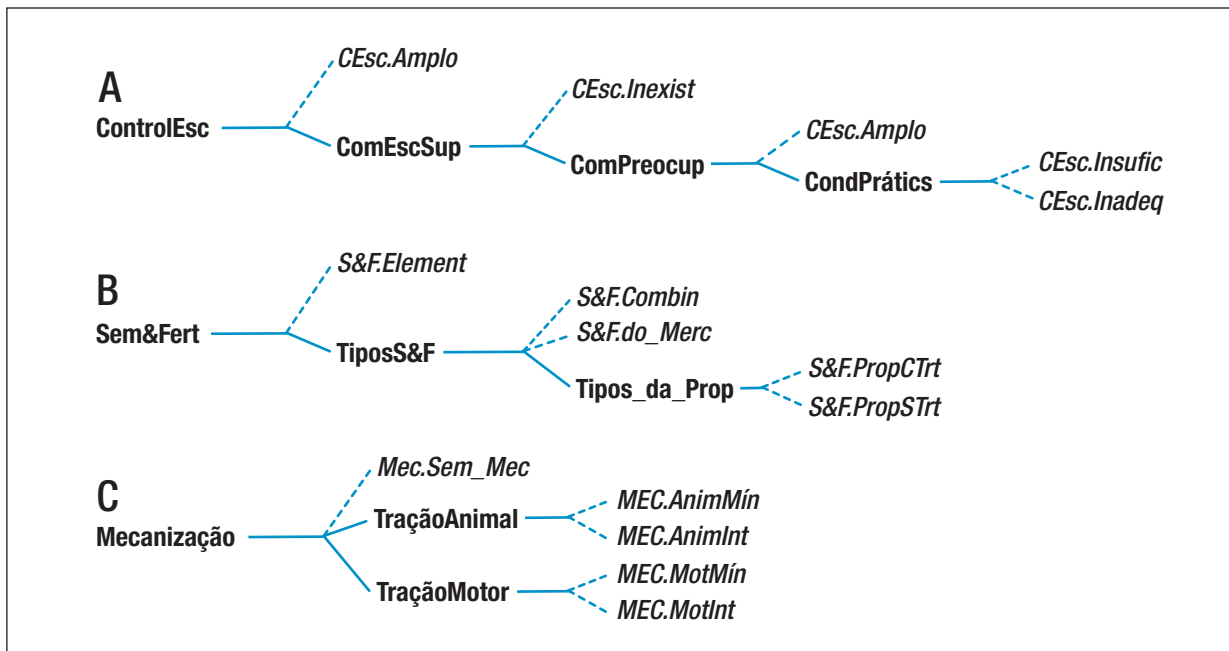


Figura 4 – Alguns exemplos de hierarquias nas regras criadas para o sistema especialista.

A subclasse ‘ComEscSup’ caracteriza a existência ou não de preocupação quanto ao controle do escoamento superficial, situação em que se distingue a modalidade inexistente (sem preocupação, instância CEsc.Inexist) das modalidades restantes, em que pode ser desencadeada alguma preocupação por parte do agricultor, incluídas na subclasse ‘ComPreocup’. ‘ComPreocup’ separa o escoamento superficial não-erosivo e não-significativo (modalidade eficaz, instância CEsc.Eficaz) das demais modalidades ainda não classificadas (insuficiente e inadequado). Por fim, a subclasse ‘CondPratica’ distingue os casos das práticas mal conduzidas com consequências significativas (modalidade inadequado, instância CEsc.Inadeq) dos casos, menos em que frequentemente há escoamento superficial, podendo haver ou não erosão (modalidade insuficiente, instância CEsc.Insufic). A forma das ramificações na hierarquia varia conforme o componente e a definição de suas modalidades, (por exemplo, sementes e fertilizantes, em 4B, e mecanização, em 4C). Qualquer que seja a hierarquia (figura 4A, 4B ou 4C), a representação coincide com o conceito da árvore radcada (LUGER, 2004), uma estrutura para busca em espaço de estados em que os nós, que representam os estados, incluem relações de parentesco, com ascendentes e descendentes e estão conectados aos pares por arcos ou elos. O conhecimento, uma vez hierarquizado, pode ser representado, através de “frames” (DURKIN, 1994).

A representação do conhecimento, através de “frames”, cuja árvore hierárquica está representada na figura 4, torna-se facilitada quando o engenheiro de conhecimento domina alguns conceitos básicos de programação orientada a objetos (POO). Na POO, também existe uma estrutura hierárquica na forma de classes, subclasses e instâncias, que são denominados por objetos e que possuem herança (Montenegro & Pacheco, 1994).

Regras foram construídas, a partir da representação do conhecimento por “frames”. A figura 5 apresenta o conjunto de regras para o escoamento superficial apresentado na figura 4A. A entropia de cada modalidade é definida na parte conclusiva de cada regra.

- | |
|---|
| <p>(1) SE algum escoamento superficial não é observado ENTÃO a modalidade de escoamento é amplo E entropia = 1</p> <p>(2) SE algum escoamento superficial é observado E não há preocupação em controlar o escoamento superficial ENTÃO a modalidade de escoamento é inexistente E entropia = 5</p> <p>(3) SE algum escoamento superficial é observado E há preocupação em controlar o escoamento superficial E o escoamento é pouco observado (sem grandes riscos de erosão) ENTÃO a modalidade de escoamento é eficaz E entropia = 2</p> <p>(4) SE algum escoamento superficial é observado E há preocupação em controlar o escoamento superficial E o escoamento é muito observado (com erosão) E as práticas de controle do escoamento são bem conduzidas ENTÃO a modalidade de escoamento é insuficiente E entropia = 3</p> <p>(5) SE algum escoamento superficial é observado E há preocupação em controlar o escoamento superficial E o escoamento é muito observado (com erosão) E as práticas de controle do escoamento são mal conduzidas ENTÃO a modalidade de escoamento é inadequado E entropia = 4</p> |
|---|

Figura 5 – Regras para determinar a modalidade e a entropia do componente escoamento superficial.

O uso da entropia é, aliás, uma abordagem recente em um sistema de classificação interpretativo. Entropia é a medida de energia não disponível que resulta das transformações (ODUM, 1997). Na ciência ecológica, a entropia tem sido aplicada no conceito de auto-organização dos ecossistemas, os quais, ao contrário de uma carroceria enferrujada de automóvel, por exemplo, conseguem manter um alto grau de ordem interna ou uma condição de baixa entropia auto-organizando-se (ODUM, 1997). A importância da entropia já tem sido discutida, inclusive no contexto econômico, onde McMahon & Mrozek (1997) apontam que a substituição de recursos esgotados por recursos ainda inexplorados, aumenta a entropia do sistema terrestre, pois gera resíduos altamente entrópicos e de baixa utilidade. Tais resíduos somente podem

ser transformados em novos recursos, de baixa entropia e com alta utilidade, se lhes forem adicionadas certas quantidades de energia. McMahon & Mrozek (1997) vêm a questão do ponto de vista do limite que o conhecimento impõe para a criação de novas tecnologias para a resolução de problemas deste tipo, uma vez que nossas fontes de energia, como o sol, são limitadas e não infinitas, como sugere Young (1991).

Diante do conceito de sustentabilidade da Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1988), parece pouco sustentável a idéia de não admitir a lei da entropia como um princípio econômico, que poderia ajudar a orientar nossas ações para com o meio ambiente, conforme sugerem McMahon & Mrozek (1997). O ambiente constitui-se de ecossistemas que evitam, através de processos naturais, o aumento da entropia interna do sistema, pois isto os tornaria inviáveis e acabaria levando-os a autodestruição (Odum, 1997).

O uso da lei da entropia no sistema de D'Agostini & Schlindwein (1998), é conservacionista, pois, conforme Odum (1997), procura (1) garantir a preservação de um ambiente de qualidade que considere as necessidades de produtos; e (2) garantir um rendimento contínuo de plantas e materiais úteis, estabelecendo um ciclo balanceado de remoção e renovação. O conservacionismo procura evitar os chamados "coices ecológicos" (Odum, 1997), assim chamados por serem conseqüências imprevistas de uma modificação ambiental, que cancelam os ganhos de um projeto ou que até criam mais problemas do que resolvem.

De acordo com Negret (1982), é fundamental conhecer a estrutura e função dos ecossistemas para melhor controlar e planejar a utilização racional dos recursos naturais. Desta forma, compreende-se mais claramente como a natureza trabalha e como práticas de manejo podem afetar o funcionamento do sistema. Segundo Negret (1982), a determinação de usos da terra por parte de equipes multidisciplinares, é básica para o desenvolvimento e para tanto, pode-se determinar a vocação produtiva de cada região, com base em dados científicos.

Conforme Durkin (1994), as pessoas envolvidas na construção de um sistema especialista, são o especialista no domínio de conhecimento, o engenheiro de conhecimento e o usuário-final. O especialista deve (1) possuir habilidade e conhecimento para resolver um problema específico (ele será consultado durante a construção do sistema), (2) saber explicar o conhecimento que detém, (3) ter disponibilidade de horários e (4) ser cooperativo para trabalhar no projeto. O engenheiro de conhecimento deve (1) saber extrair o conhecimento do especialista, (2) ser hábil ao selecionar o software a ser utilizado como ferramenta para a construção do sistema e (3) saber codificar o conhecimento extraído do especialista. Para que o sistema desenvolvido seja aplicado em condições reais, o usuário-final deverá participar do processo, pois ajudará a definir as especificações da interface final do sistema, tais como a forma do sistema efetuar as perguntas, o tipo de explicação dada pelo sistema e a forma de acessar-se o sistema.

Waterman (1985) apresenta o processo de extração do conhecimento da introspecção, onde se faz uma extração intuitiva do conhecimento, estudando a literatura e interagindo com os especialistas. O conhecimento, estando disponível no trabalho de D'Agostini & Schlindwein, facilita a introspecção. Na introspecção, conforme Waterman (1985), o engenheiro de conhecimento torna-se familiar aos métodos de resolução de problemas tornando-se um pseudo-especialista. Para viabilizar a introspecção, é útil a técnica de extração do conhecimento da examinação do sistema de Waterman (1985), onde o especialista examina e critica as regras do protótipo e a estratégia utilizada para selecionar as regras.

4. CONCLUSÕES

Os “frames” representam adequadamente o conhecimento em sistemas especialistas da categoria de interpretação e que objetivam a classificação. A disponibilidade de informação para a classificação dos objetos, facilita o uso da introspecção como processo de extração do conhecimento. A introspecção tem a vantagem de poder ser utilizada com especialistas que dispõem de pouco tempo, por causa de carências no quadro de pessoal, tornando-os mais necessários somente no final do projeto do protótipo e não durante todo o seu desenvolvimento. Na introspecção, o especialista deve examinar a estratégia do sistema.

Neste sentido, é viável aplicar o procedimento desenvolvido neste trabalho, em outros sistemas de classificação, tais como no norte-americano (descrito em Brady, 1989) e no brasileiro (Ramalho Filho et al., 1978), reforçando uma vantagem do raciocínio baseado em regras: o fato de serem apropriadas para busca em espaço de estados (Luger, 2004). A estrutura indicada para esta busca em sistemas de classificação, é a árvore radcada.

O uso de hierarquias com classes e subclasses, conceito da POO, simplifica a estruturação do sistema especialista, no qual, por meio da introspecção, o engenheiro de conhecimento pode desenvolver a base de um sistema para posterior aplicação a campo, etapa em que são previsíveis testes junto ao usuário final, ou seja, junto ao extensionista rural. Os conceitos da POO foram implementados suavemente no desenvolvimento do sistema especialista.

As possibilidades de utilização de sistemas de determinação de usos para a terra, aumentam com o desenvolvimento de sistemas especialistas. Tais aplicações, como a avaliação de D’Agostini & Schindwein (1998), são importantes no âmbito do conservacionismo, pois auxiliam a indicar a utilização mais adequada para o solo.

5. AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – pela oportunidade de ter realizado um mestrado nesta instituição. O autor também, agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – pela concessão de uma bolsa de pesquisa, durante seu mestrado, sem a qual não teria sido possível a execução do presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, M. M. **Como preparar trabalhos para cursos de pós-graduação: noções práticas**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2002. 118pp.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878pp.
- BRYANT, K. **ALEES: an agricultural loan evaluation expert system**. Expert systems with applications, v. 21, pp. 75-85, 2001.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988. 430pp.

D'AGOSTINI, L. R.; SCHLINDWEIN, S. L. **Dialética da avaliação do uso e manejo das terras**: da classificação interpretativa a um indicador de sustentabilidade. Florianópolis: EDUFSC, 1998. 121p.

DUAN, Y.; EDWARDS, J. S.; ROBINS, P. C. Experiences with EXGAME: an expert system for playing a competitive business game. **International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance & Management**, v. 7, pp. 1-19, 1998.

DURKIN, J. **Expert systems: design and development**. EUA: Prentice Hall, 1994. 600p.

HANCHING, H.; CHICHUNG, C.; YENCHANG, C. Building an expert system for forest land classification. **Taiwan Journal of Forest Science**, v. 12, n. 3, pp. 255-268, 1997.

KARTIKEYAN, B.; MAJUMDER, K. L.; DASGUPTA, A. R. **An expert system for land cover classification**. IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, v. 33, n. 1, pp. 58-66, 1995.

KAHYA, O.; BAYRAM, B.; REIS, S. **Land cover classification with an expert system approach using Landsat ETM imagery**: a case study of Trabzon. Environmental Monitoring and Assessment, publicação online em 13 de dezembro de 2008.

LAWRENCE, J. **Introduction to neural networks and expert systems**. Nevada City (EUA): California Scientific Software, 1992. 264pp.

LUGER, G. F. **Inteligência artificial: estruturas e estratégias para a solução de problemas complexos**. Porto Alegre: Bookman, 2004. 774pp.

McMAHON, G. F.; MROZEK, J.R. Economics, entropy and sustainability. **Hydrological Sciences Journal**, v. 42, n. 4, pp. 501-512, 1997.

MELLO FILHO, J. A.; DA ROCHA, J. S. M. Diagnóstico físico-ambiental e planejamento do uso da terra, de bacias hidrográficas do vale médio do rio Paraíba do Sul, RJ. **Pesquisa Operacional**, v. 15, n. 1, pp. 27-40, 1994.

MONTENEGRO, F.; PACHECO, R. **Orientação a objetos em C++**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 1994. 394pp.

NEGRET, R. **Ecosistema**: unidade básica para o planejamento da ocupação territorial; ecologia e desenvolvimento. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1982.

ODUM, E.P. **Fundamentos de ecologia**. 5ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1997. 972pp.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E.G.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Ministério da Agricultura. Secretaria Geral. Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola – SEPLAN. EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. 1978. 70pp.

TRIPODI, T.; FELLIN, P.; MAYER, H. **Análise da pesquisa social**: diretrizes para o uso de pesquisa em serviço social e ciências sociais. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1975. 338pp.

WATERMAN, D. A. **A guide to expert systems**. EUA: Addison-Wesley, 1985. 419pp.

YOUNG, J. T. Is the entropy law relevant to the economics of natural resource scarcity? **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 21, n. 2, pp. 169-179, 1991.

