

SISTEMA DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO APLICADO AO PLANEJAMENTO DE USO DA TERRA

*Cláudio Chauke Nehme, D. Sc.
Universidade Católica de Brasília
Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa
SGAN 916 Módulo B – Asa Norte
Brasília – DF – Brasil – 70790-160
Fone: 061-340 5550 R. 143
Fax: 061-340 5550 R. 115
chauke@pos.ucb.br*

*Margareth Simões, D. Sc.
Embrapa Solos
Rua Jardim Botânico, 1024 – Jardim Botânico – Rio de Janeiro – Brasil
Fone: 021-274 4999 R. 248
Fax: 021-274 5291
margaret@cnps.embrapa.br*

*Suzana Druck Fuks, D. Sc.
Embrapa Solos
Rua Jardim Botânico, 1024 – Jardim Botânico – Rio de Janeiro – Brasil
Fone: 021-274 4999 R. 248
Fax: 021-274 5291*

RESUMO

Este trabalho visa descrever o desenvolvimento de uma ferramenta para Planejamento Agrícola baseada na utilização de um Sistema de Suporte à Tomada de Decisão (SSTD) para Avaliação das Terras. Este sistema congrega duas dimensões: ecológica, que reflete as limitações e potencialidades do uso sustentável dos recursos naturais e a econômica, que expressa o desenvolvimento das comunidades que vivem na região ou zonas enquanto as explora.

Os Sistemas de Informação Geográficas (SIGs) vêm sendo utilizados em muitas aplicações como uma ferramenta de análise espacial. Desta forma, um SIG será utilizado para dar suporte aos aspectos espaciais do SSTD para avaliação da aptidão das terras. O sistema ora proposto poderá ser uma ferramenta para o planejamento do uso da terra e para o gerenciamento ambiental.

ABSTRACT

This work aims at developing a tool for Agriculture Planning based on an expert system for Land Evaluation. The social and economical consequences of an unsuitable land use is known, although, normally, in some countries, natural potential is not respected causing the misuse of land potential and, as a result, economical and environmental damages.

A land use plan is essential during economic development, without land use plan and interventions in the distribution of the development sectors, regional economic development problems will probably occur.

Normally in Brazil, the economic development goes on without a land use planning. This causes development problems such as: imbalance growth, income disparity, decreasing of water quality, to name some.

A Decision Support System for Land Evaluation will be used as a first step for land use planning. This system encompasses two dimensions: the ecological, which reflects the limitations and potentialities of sustainable use of natural resources, and the economical, which expresses the development of the communities that live and use the region or zone.

Five limitation factors are initially considered: soil fertility, water excess/deficiency, erosion susceptibility and the necessary mechanisation degree.

Geographic Information Systems (GIS) have been used for many applications as a tool for spatial analysis. In this way, a GIS will be used to support the spatial aspects of the above mentioned knowledge-based system for land evaluation assessment. This information system will facilitate decision making and can be a powerful tool for land use planning and environmental management.

INTRODUÇÃO

As conseqüências sociais e econômicas do uso insustentável da terra são bem conhecidas, entretanto, em certos países como o Brasil, a potencialidade natural não é considerada, causando o mal uso do potencial das terras e prejuízos econômicos e ambientais.

O planejamento do uso da terra é essencial durante o processo de desenvolvimento econômico. Sem as devidas intervenções na distribuição dos setores de desenvolvimento, baseados no planejamento da terra, problemas econômicos provavelmente irão ocorrer.

Em muitos países, o desenvolvimento econômico ocorre sem o planejamento do uso da terra. Isto causa problemas, tais como: crescimento desbalanceado, disparidades na distribuição de renda, decadência da qualidade da água e dos recursos naturais, dentre outros.

Um Sistema de Suporte a Decisão pode ser utilizado como o primeiro passo para planejamento do uso da terra [9]. Neste sentido, cinco fatores limitantes podem ser inicialmente considerados: deficiência de fertilidade do solo, excesso de água, deficiência de água, suscetibilidade a erosão e impedimentos à mecanização. Além destes fatores ambientais, alguns aspectos econômicos também deve ser considerados, expressando o grau de desenvolvimento das comunidades, tendências de mercado e etc.

De acordo com a FAO [1995 / Capítulo 10 - Agenda 21]: "um planejamento integrado do uso da terra é uma forma eminentemente prática de se mover na direção do uso efetivo e eficiente da terra e de seus recursos naturais. Esta integração deve ocorrer em dois níveis, considerando-se de um lado o ambiente, fatores sociais e econômicos e de outro lado todos os componentes ambientais e fontes de recursos de forma integrada."

Esta integração pode ser obtida através da aplicação dos conceitos de Ecologia da Paisagem [17],[7],[15], através da definição de unidades da paisagem, capazes de representar esta abordagem integrada. As unidades da paisagem são utilizadas como porções elementares capazes de prover informações para o processo de análise e avaliação do ambiente. Unidades da paisagem são entidades geográficas contendo atributos que permitem uma diferenciação entre si, possuindo, simultaneamente, uma conexão dinâmica.

SISTEMA BASEADO EM CONHECIMENTOS PARA AVALIAÇÃO DAS TERRAS

Um sistema baseado em conhecimento considera a experiência e o conhecimento de um grupo de especialistas, bem como os objetivos a serem atingidos pelo sistema, de acordo com as necessidades dos usuários. Um especialista possui uma variedade de visões. Conseqüentemente, o problema necessita ser bem especificado, construindo-se fronteiras apropriadas e estabelecendo-se metas específicas.

Um sistema de avaliação das terras pode ser classificado de acordo com os tipos de culturas ou dos níveis de gerenciamento. Ambos, entretanto, podem considerar fatores econômicos bem como sociais.

As informações sócio-econômicas são basicamente: sistema de produção, orientação de mercado, tamanho da propriedade, nível de mecanização, investimentos, gerenciamento de solos, técnicas de conservação de solos e nível tecnológico.

Considerando-se a avaliação da aptidão das terras de acordo com nível de manejo, uma comparação entre as condições ideais e as condições existentes são efetuadas a partir dos fatores limitantes [10],[12]. Estes fatores nos dá uma primeira aproximação das deficiências das terras, de acordo com a deficiência de fertilidade, deficiência de água, deficiência de oxigênio, suscetibilidade a erosão, impedimentos a mecanização e infestação por pragas.

A principal característica da terra relativa aos fatores limitantes são baseados nos parâmetros, que variam de acordo com a área de estudo.

Os Sistemas Baseados em Conhecimentos (SBC) historicamente possuem uma metodologia de construção ad-hoc. As questões de Engenharia de Software relativas ao processo de desenvolvimento geralmente não podem ser mensuráveis em um cenário destes. Por exemplo, quais são as técnicas de especificação de software utilizados no processo de desenvolvimento? E a qualidade de software?

Os SBC caracterizam-se, principalmente, pela natureza interativa e pela aquisição gradativa de conhecimento heurístico e especializado. Desta forma, existe a necessidade da definição de um processo específico e adequado ao desenvolvimento de SBC. O KADS (Knowledge Acquisition and Design Structuring) é resultado de uma pesquisa desenvolvida no projeto ESPRIT da Comunidade Européia, sendo uma proposta para o desenvolvimento e construção de SBC. O KADS atua no processo de desenvolvimento de SBC tentando modelar todo o ciclo de vida do sistema. Os resultados do processo de avaliação do KADS levaram à reformulação final do processo e à definição de uma extensão ao método, pois este não se mostrou suficiente para a especificação e projeto de um SBC. No entanto, o KADS original já é uma grande avanço para o desenvolvimento deste tipo de sistema. Todas as extensões KADS mantêm, basicamente, o modelo principal – Modelo de Especialidade – coerente com a proposta inicial.

Neste trabalho adotamos a metodologia KADS e iremos nos referenciar ao KADS original.

Os modelos do KADS são:

- ✦ **Modelo Organizacional:** analisa o ambiente sócio-organizacional em que o sistema irá funcionar.
- ✦ **Modelo da Aplicação:** define o escopo do problema, suas funções e restrições externas.
- ✦ **Modelo de Tarefas:** especifica como a função do sistema é realizada através das tarefas executadas pelo sistema.
- ✦ **Modelo de Cooperação:** descreve as tarefas do modelo de tarefas que necessitam um esforço cooperativo, i.é, define como deverão ser distribuídas as tarefas entre o sistema e os agentes externos (usuários) e como as tarefas com envolvimento conjunto serão executadas.
- ✦ **Modelo de Especialidade:** atividade central do desenvolvimento de um SBC e tem como objetivo especificar o conhecimento necessário para executar as tarefas do sistema.
- ✦ **Modelo Conceitual:** é composto do modelo de cooperação e do modelo de especialidade, sendo estes independentes da implementação. Este modelo resulta no modelo de resolução do problema, agregando esses dois modelos.
- ✦ **Modelo de Projeto:** descreve o modelo baseado nas técnicas computacionais e de representação do conhecimento.

A título de exemplificação, a Figura 1 apresenta um diagrama de tarefas KADS para Avaliação da Aptidão das Terras.

Como dito, o KADS é uma metodologia para o desenvolvimento de software, porém é necessário realizar a fase de aquisição do conhecimento. Esta fase tem dois enfoques. O primeiro está relacionado ao contato direto com um grupo de especialistas no intuito de formar-se uma Equipe. O trabalho em equipe facilita o entendimento do problema com vários pontos de vista diferentes, enriquecendo os processos de identificação do problema, conceitualização e solução. Este enfoque deveria traduzir o pensamento sistêmico da Equipe, mantendo a visão compartilhada do problema e, conseqüentemente, resultando em um processo de aquisição do conhecimento mais efetivo. O segundo enfoque está mais relacionado a técnicas da Inteligência Artificial para descobrir conhecimentos em bases de dados através de algoritmos de Data Mining e machine Learning. Sua aplicação é complementar ao trabalho realizado pela Equipe, pois quando há uma grande massa de dados, é impossível para os especialistas analisarem todas as possibilidades e avaliar os vários critérios. Este enfoque tem por finalidade suprir a equipe com aquelas informações complexas inicialmente difíceis de serem inferidas por um especialista.

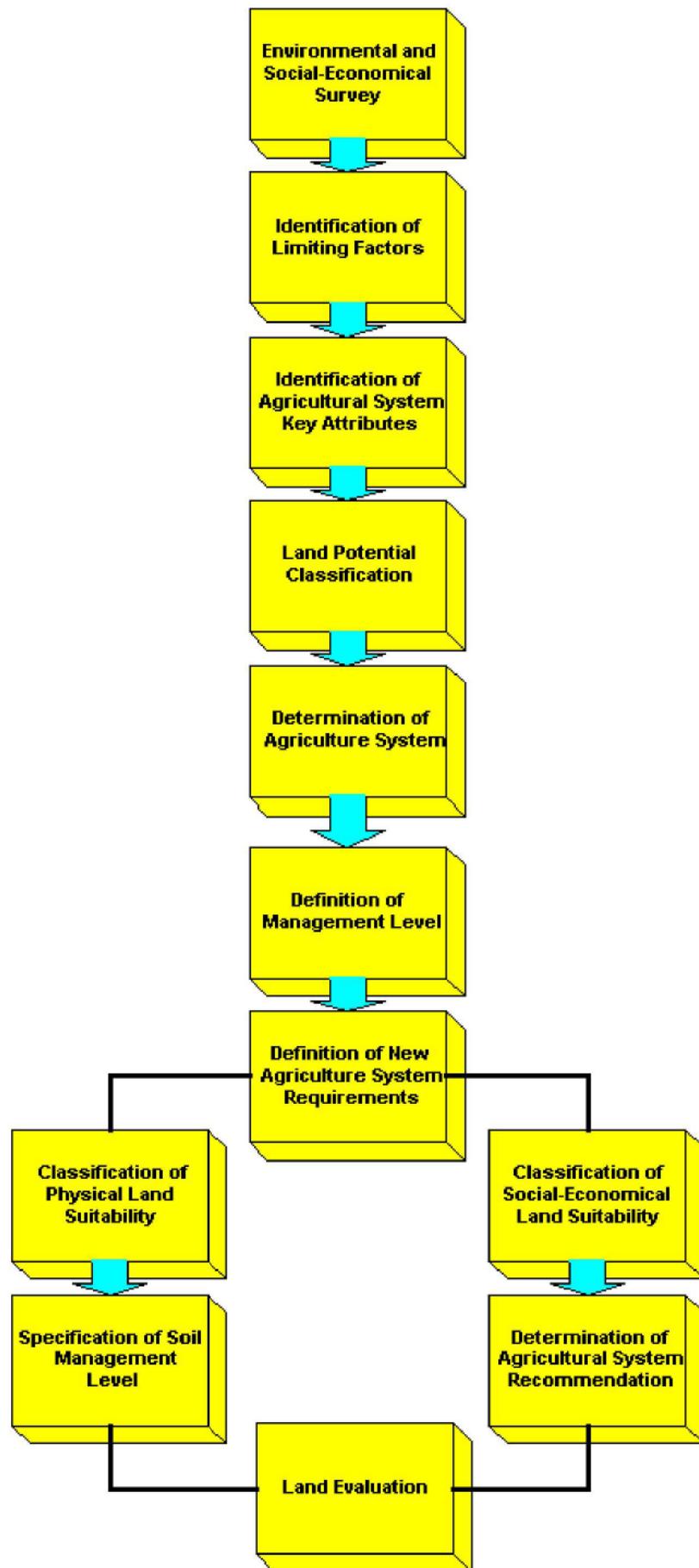


Figura 1 – Diagrama de Tarefas KADS para Avaliação da Aptidão das Terras

Sendo assim, utilizamos os dois enfoques para adquirir conhecimentos. Neste projeto, é importante observar que a nível regional, as regras que representam o conhecimento são, algumas vezes, incompletas ou necessitam ser ajustadas. Um algoritmo de aprendizagem (Machine Learning) foi adotado no qual considera o uso de um conhecimento inicial, baseado

na experiência do especialista, seguido de um estágio de aprendizagem, onde o sistema irá aprender até estar apto a produzir a avaliação das terras por ele mesmo. O processo de aprendizagem é obtido da seguinte forma:

- ✦ um pequeno conjunto de regras baseadas em conhecimento é elaborado juntamente com um grupo de especialistas.
- ✦ Um conjunto de dados de levantamento é utilizado para permitir ao sistema aprender (aprendizagem supervisionada) e aperfeiçoar seu conhecimento;
- ✦ Um outro conjunto de dados é utilizado (etapa de teste), o resultado dos testes é avaliado pelo especialista. Se algumas deduções realizadas pelo sistema não forem aceitáveis, elas são fixadas e um novo conjunto de testes é realizado até que os resultados sejam considerados satisfatórios pelos especialistas.

Este estágio de aprendizagem é usado para assegurar a generalização do conhecimento. O segundo passo utilizado ocorre durante o processo de aplicação. Após o treinamento do sistema, este pode ser utilizado com os dados do levantamento, já disponíveis na base de dados, para se gerar a avaliação das terras sem a necessidade do processo tradicional de levantamento de dados no campo.

Os detalhes práticos do modelo de conhecimento podem ser encontrados em [5]. O sistema CIL²P - Connectionist Inductive Learning and Logic Programming é um modelo computacional em Redes Neurais que integra aprendizagem indutiva a partir da Programação em Lógica, conforme apresentado na Figura 2.

Começando a partir do conhecimento inicial, representado por um programa em lógica, um algoritmo de tradução (1) é aplicado, gerando uma rede neural com neurônios semi-lineares. A rede é treinada com exemplos (2), utilizando-se algoritmos de aprendizagem neural (backpropagation). Além disto, a rede neural computa o modelo de estabilidade do programa em lógica original como um sistema paralelo para programação em lógica (3). O CIL²P é um sistema para programação em lógica com a capacidade de também realizar aprendizagem indutiva.

Os resultados obtidos através da rede refinada pode ser explicado através da extração de um programa em lógica revisado (4). O programa em lógica extraído a partir da rede neural pode ser facilmente analisado pelo especialista do conhecimento do domínio, que decidirá se a mesma deve retro-alimentar o sistema, fechando o ciclo de aprendizagem (5).

INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES DE MÚLTIPLAS FONTES EM SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO

Os Sistemas de Suporte a Decisão (SSD) aplicados juntamente com SIGs e Sistemas de Processamento de Imagens lidam com diferentes fontes de informação geo-referenciadas e com diferentes combinações de dados espaciais a fim de possibilitar a tomada de decisão. No entanto, existem alguns aspectos relevantes relativos a combinação destas fontes de dados que necessitam ser considerados: a informação possui distintas concepções (dados sócio-econômicos, dados ambientais, etc.), resoluções e acurácia (dados coletados através de levantamentos, modelagem geoestatística, técnicas de sensoriamento remoto etc.), portanto estes aspectos têm que ser considerados, quando fontes diversificadas de informações são utilizadas.

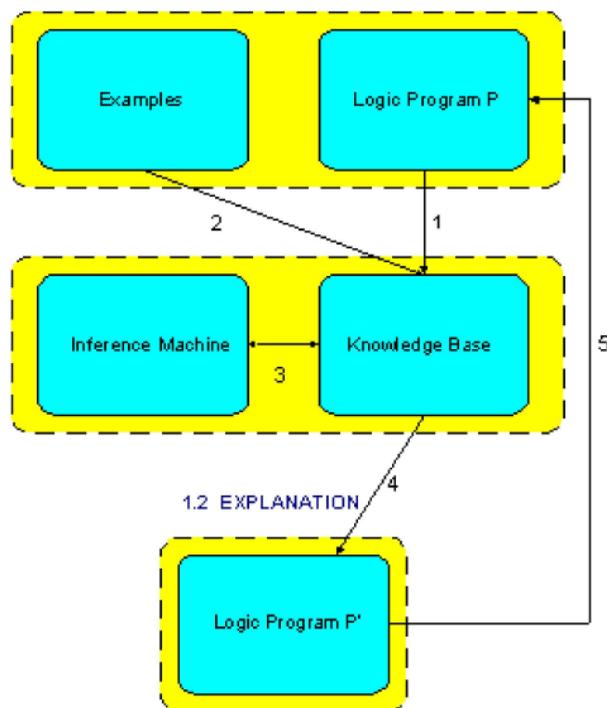


Figura 2 – Sistema CIL2P

A integração de informações de múltiplas fontes é um desafio a qualquer Sistema de Suporte a Decisão. Na literatura, existem alguns trabalhos descrevendo métodos que tentam resolver o problema de integrar dados utilizando-se técnicas como: uso de operadores booleanos, modelagem por sobreposição de índices, Lógica Fuzzy e métodos de probabilidade Bayesiana [2].

Os operadores booleanos são muito simples, já que são apenas baseados na combinação de operadores lógicos clássicos, tais como: and, or e not. Como poderia, então, uma combinação de dados lidar com diferenças de concepção, resolução e acurácia advindas de diferentes fontes de informação? Um SSD baseado em regras de raciocínio utilizando operadores booleanos não pode modelar as incertezas e os conhecimentos perdidos encontrados na maioria das aplicações reais.

Por outro lado, modelagem por sobreposição de índice melhora as técnicas de integração de dados através da implementação de pesos diferenciados para cada fonte de informação. O problema destes modelos é a forma como a informação é combinada. Para realizar a integração de dados, uma fórmula linear aditiva é utilizada, ou seja, o critério de integração é baseado na adição por pesos. Existem dois problemas associados com isto: 1) os pesos são subjetivos, 2) considera-se que o plano de informação como um todo tem o mesmo peso, quando em alguns casos, para se modelar a realidade, precisa-se associar não somente valores diferenciados a cada classe do plano de informação, mas também considerar a possibilidade de cada plano possuir uma variação na sua importância relativa, expressa através destes pesos.

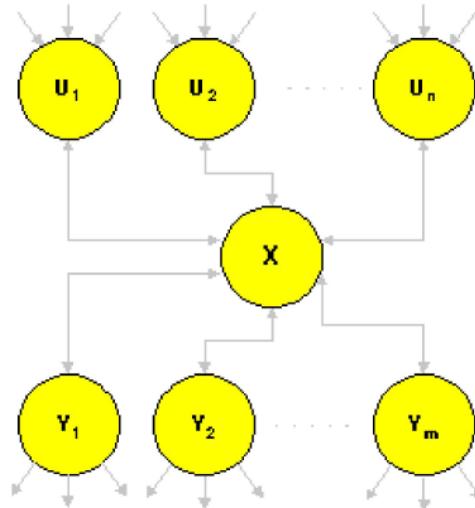
A Lógica Fuzzy é muito útil para a modelagem de aplicações onde existem determinadas incertezas nos dados [14],[16],[3],[4]. A Lógica Fuzzy possui operadores para a integração de dados de forma consistente. Existem SSD fuzzy com regras de inferência que são composições de operadores fuzzy [Klir & Folger, 1988]. Considere um conjunto de fatores e algumas regras fuzzy, a combinação de diversas fontes de informações pode ser realizada através destas regras de composição e inferências fuzzy. Sistemas baseados em conhecimentos fuzzy são fundamentados nesta teoria matemática, o que justifica ser um método de integração de dados.

A teoria das Redes Bayesianas é um tipo especial de Teoria de Crença [13], onde a integração é baseada no Teorema de Bayes. A de crença implementada por Redes Bayesianas é analisada como uma tarefa cooperativa entre filhos e pais de um nó específico de rede. Os pais indicam quanto uma informação de entrada pode cooperar para o sucesso dedutivo do nó analisado, enquanto os filhos indicam quanto a propagação da informação, através do nó analisado, representa uma consequência coerente.

Uma característica importante das redes Bayesianas é sua habilidade em produzir inferências bi-direcionais. Uma rede Bayesiana propaga informação causal (da causa para efeito), assim

como diagnóstica a informação (do efeito para causa). Além disto, as redes Bayesianas podem modelar incertezas nas regras de raciocínio bem como incerteza nos dados. Em contraste com a Lógica fuzzy, nas redes Bayesianas, as incertezas nas regras são representadas por matrizes de probabilidade condicionada, enquanto as incertezas nos dados são modeladas baseada na probabilidade do dado ser relacionado a uma classe pré-definida de dados.

Uma rede Bayesiana é representada por um grafo bi-direcional, onde cada nó armazena um fato multi-valorado (variável), que agrega uma coleção de hipóteses mutuamente exclusivas, e uma relação entre nós é expressa por um arco, que armazena probabilidade condicional. A Figura 3 apresenta um exemplo desta estrutura.



O principal propósito de uma rede Bayesiana é obter o valor de crença para cada nó, para tanto, é necessário obter-se, primeiramente, o valor de crença para cada variável de cada nó. Quando algumas evidências são observadas, a rede Bayesiana calcula todos os valores de crença para um nó específico e propaga novas evidências através da rede. A fim de se estimar o valor de crença de um nó, as redes Bayesianas necessitam das informações enviadas pelos pais (causal), as informações enviadas pelos filhos (diagnóstico) e a matriz de probabilidade condicional. As mensagens que comunicam as informações obtidas pelos pais são denotadas por π e as mensagens que trazem informações dos filhos são denotadas λ . A crença em cada nó x é denotada $Bel(x)$, que é um vetor com elementos $Bel(x_i)$, onde x_i indica um valor particular de crença para a i^{th} variável de x .

Na prática é definida uma estrutura lógica de causa/efeito com o suporte do especialista, isto é, a arquitetura lógica inicial da rede Bayesiana. O próximo passo é a construção da rede considerando-se os valores iniciais dos vetores λ , π e Bel para cada nó. Estes vetores possuem tantos elementos quanto os possíveis estados (variáveis) para nó particular. Para se inicializar a rede, serão atribuídos para todos os elementos de todos os vetores λ o valor 1. Também são atribuídos a todos os elementos do vetor π dos nós da raiz, as probabilidades a priori para os estados correspondentes. Isto significa que um estudo detalhado deve ser realizado para avaliar a distribuição de probabilidade para cada fonte de informação. Existem situações onde os especialistas determinam estas probabilidades a priori. Todos os valores das variáveis restantes podem ser computados a partir das quantidades inicializadas acima e dos elementos da matriz de probabilidade condicional. Existem alguns métodos para se calcular a matriz de probabilidade condicional, como por exemplo, utilizando-se o Método de Monte Carlo e técnicas de krigagem, mais detalhes a cerca destas abordagens podem ser encontradas em [8]. No entanto, um elemento de uma matriz de probabilidade condicional, $P(x_i / u_{1j1}, \dots, u_{njn})$, fornece a probabilidade do estado i para o nó x , condicionado ao estado do nó do seu pai. Além disto, cada nó, com exceção dos nós folhas, tem um vetor π (send) que pode comunicar com seu filho. Este vetor carrega subscrito o nome do filho, o qual ele vai em direção. Por exemplo, $\pi_{X(U_{ij})}$ indica o j^{th} elemento do vetor π do pai U_i enviado a seu filho X . Cada nó, espera que o nó raiz, carregue um vetor λ (send) que pode se comunicar com seus pais. Este vetor carrega subscrito o nome do filho de onde ele veio. Existem tantos elementos quanto o estado do nó pai que ele vai em direção. Por exemplo, $\lambda_{Y_j(x_i)}$ significa a contribuição do filho y_{jth} ao i^{th} estado do seu pai x_i .

Informações adicionais sobre a funcionalidade da rede pode ser encontrada em em [14]. Não é o propósito deste trabalho detalhar as redes Bayesianas como um método para integração

de informações de múltiplas fontes, mas apresentar um exemplo de aplicabilidade deste método para o projeto de avaliação das terras para aptidão agrícola.

ESTUDO DE CASO

A Embrapa Solos desenvolveu um Banco de Dados de Solos chamado SIGSOLOS. O SIGSOLOS foi modelado para dados de levantamento de solos, algumas análises de aptidão das terras além de informações ambientais. A Embrapa Solos possui um projeto financiado pela FINEP (Financiadora de Projetos de Pesquisa) para, juntamente com a Embrapa Informática, implementar uma cooperativa de banco de dados a ser disponibilizada para as instituições brasileiras de pesquisa em ciências do solo e meio ambiente. Esta cooperativa de dados permitirá a troca de informações de solos e de clima, a partir de dados localizados em diferentes partes do país.

Os dados sócio-econômicos, econômicos e ambientais são integrados externamente, atualmente. Entretanto, no futuro a cooperativa de banco de dados poderá integrar estas informações juntamente com os dados físicos já modelados.

O Sistema de Suporte a Decisão baseado em redes Bayesianas utiliza todas estas informações a fim de avaliar a adequação do uso do solo às aptidões da terra, analisando as informações sobre o uso atual disponíveis no SIG com a avaliação das terras obtidas através do sistema baseado em conhecimentos, Figura 4.

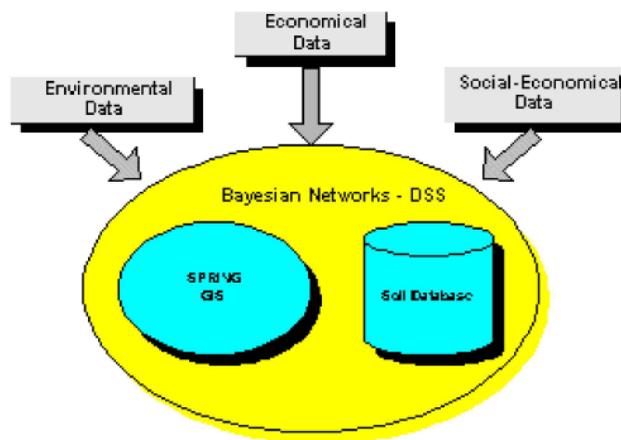
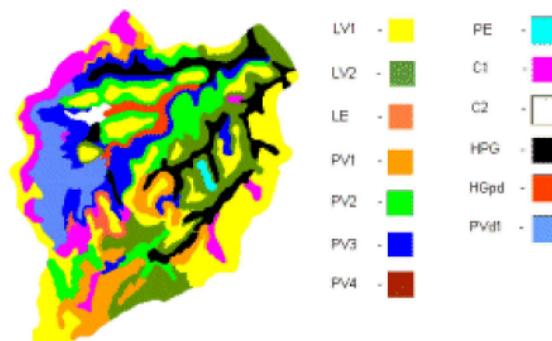


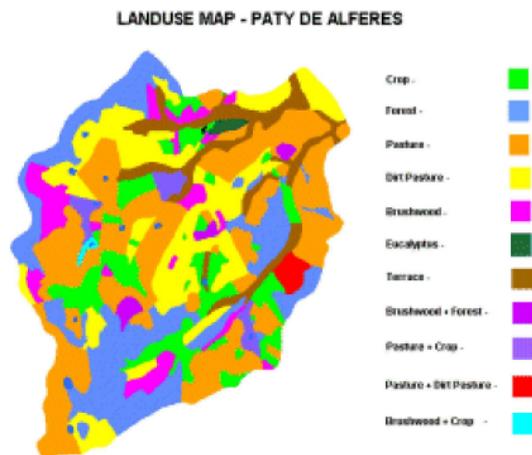
Figura 4 – Desenvolvimento da Integração de Informações Múltiplas Fontes.

Uma aplicação da metodologia descrita está sendo desenvolvida em Paty do Alferes, Estado do Rio de Janeiro. A estrutura lógicas das redes Bayesianas está sendo desenvolvida juntamente com os especialistas em ciência dos solos. A aptidão das terras obtida para a região é uma informação de entrada para a rede. Uma vez obtida a rede Bayesiana e os dados de levantamentos estando disponibilizados no Banco de Dados de Solos (SIGSOLOS), o próximo passo será treinar a rede para avaliar a adequação do uso em relação a aptidão das terras.

A Figura 5 apresenta alguns mapas da área e o mapa de aptidão das terras obtido através do sistema baseado em conhecimentos.

Soil Map - Paty do Alferes





Land Evaluation Map - Paty do Alferes

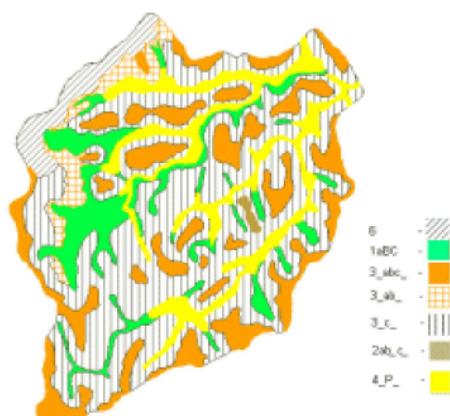


Figura 5 – Mapas de Solo, Uso e Aptidão das Terras

CONCLUSÃO

O Sistema de Suporte a Decisão e a metodologia apresentada estão sendo validadas no município de Paty de Alferes, Rio de Janeiro com bons resultados em comparação com os métodos tradicionais de avaliação de aptidão agrícola das terras e de análise de adequação de uso, normalmente realizados pelos cientistas de solos da Embrapa Solos. O próximo passo será a implementação de algoritmos fuzzy aos sistemas baseados em conhecimentos para possibilitar a avaliação de custos e o estabelecimento de análise de riscos associados a tomada de decisão. Para este propósito, pretendemos utilizar a metodologia proposta por BOGRADI [1].

As medidas de confiabilidade fuzzy podem ser utilizadas para comparar decisões alternativas quando as conseqüências dos erros associados são consideradas.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos cientistas de solos do projeto Paty de Alferes (Embrapa Solos), especialmente Dr. Francesco Palmieri, líder do projeto, que forneceu os dados sócio-econômicos bem como físicos e ambientais da região.

Gostaríamos também de agradecer a Dra. Leonor Assad (Universidade Federal de Brasília), seu grupo de pesquisa e os cientistas de solos da Embrapa Solos que contribuíram com importantes sugestões para a definição do conhecimento do sistema especialista.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bogradi, I., Bardossy, A; Mays, M.D. and Duckstein, L. (1996) – Risk Assessment and Fuzzy Logic as Related to Environmental Science. In: Data reliability and Risk Assessment in Soil Interpolations. Soil Science Society of America, Inc. Madison Wisconsin, USA, pp. 339.

2. Bohan-Carter, G.F. (1994) - Geographic Information Systems for Geoscientists – Modeling with GIS. Kidlington, Pergamo, 391 p.
3. Burrough, P.A . (1989) – Fuzzy Mathematical Methods for Soil Survey and Land Evaluation. Journal of Soil Science, v.40, p.477-492.
4. Burrough, P.A.; McMillan, R.A . and Deursen, W. (1992) – Fuzzy Classification Methods for Determining Land Suitability from Soil Profile Observation and Topography. Journal of Soil Science, v.43, p.193-200.
5. Garcez, A. S.; Zaverucha, G. Carvalho, L. A. (1996) -Logical Inference and Inductive Learning in Artificial Neural Network. Workshop on Knowledge Representation and Neural Networks, ECAI'96, Budapest.
6. Gomes, J. B. V.; Lumberras, J. F.; Cunha, T. J. F.;Larach, J. O. I. & Palmieri, F. (1998) - Avaliação Preliminar da Aptidão Agrícola das Terras no Município de Paty do Alferes e Sub-Bacias dos Afluentes do Córrego do Saco -Rio Ubá, Estado do Rio de Janeiro. Relatório Técnico -Embrapa Solos. CNPS/Embrapa, rio de Janeiro, p.110.
7. Groten, S.M.E. (1994) – Land Ecology and Land Use Survey. ITC Publication RUS 10: Enschede, The Netherlands, p.149.
8. Heuvelink, G.B.M. (1998) – Error Propagation in Environmental Modelling with GIS. T.J. International, Padstow, UK, pp. 158.
9. Huizing, H. and Bronsveld, K. (1994) – Interactive Multiple-Goal Analysis for Land Use Planning. ITC JOURNAL, p.336-373.
10. Huizing, H.; Fashad, A . and Bie, K. (1995) – Land Evaluation (Land Use System Evaluation). ITC Publication, Enschede, The Netherlands, p.82.
11. Klir, G. J. & Folger, T. A. (1988): Fuzzy Sets, Uncertainty and Information. Prentice Hall, p.310.
12. Ramalho, A. and Beek, K.J. (1995): Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras. CNPS/Embrapa. Brasil, p.65.
13. Russell, S. and Norvig, P. (1995): Artificial Intelligence: A Modern Approach. Prentice Hall Series in Artificial Intelligence, p.220.
14. Stassopoulou, A.; Petrou, M. & Kittler, J. (1998): Application of a Bayesian network in a GIS based decision making system; Int. J. Geographical Information Science, vol 12, no 1, 23-45.
15. SIMÕES-MEIRELLES, M. (1997) – Análise Integrada do Ambiente Através de Geoprocessamento – Uma Abordagem Metodológica para Elaboração de Zoneamentos. Tese de Doutorado, IGEO/UFRJ – Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, p.193.
16. SIMÕES, M. and FUKS, S.D. (1995) – Novas Técnicas de Mapeamento em Sistemas de Informação Geográfica. XVII Congresso Brasileiro de Cartografia: Salvador, Brasil. Vol.1, p.120-124.