

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO**

DILCÉLIA HECKMANN BARBALHO

**SISTEMA ESPECIALISTA PARA
DIAGNÓSTICO RÁPIDO DE FLORESTAS
TROPICAIS**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos
requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação

Prof. Júlio Sancho Linhares Teixeira Militão, Dr.

ORIENTADOR

Florianópolis, Fevereiro/2001.

SISTEMA ESPECIALISTA PARA DIAGNÓSTICO RÁPIDO DE FLORESTAS TROPICAIS

Dilcéia Heckmann Barbalho

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, Área de Concentração (Sistemas de Conhecimento) e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação em 20 de fevereiro de 2001.

Prof. Dr. Júlio Sancho Linhares Teixeira Militão
Orientador

Prof. Dr. Fernando Ostuni Gauthier
Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª Dr^ª Darlene B. Coêlho

Prof. Dr. João Bosco da Mota Alves

Prof. Dr. Júlio Sancho Linhares Teixeira Militão

DEDICATÓRIA

Ao meu companheiro. Grande incentivador desta e de todas as outras jornadas – Diogenes Canabrava Barbalho.

A Laiz Heckmann Barbalho e Márcio Heckmann Barbalho – filhos que encantam e alegam a minha caminhada.

E a todos os amigos – fontes de idéias e de muita sabedoria.

RESUMO

As florestas desempenham importante papel na vida sobre o planeta, não só pela abundância e variedade de seres vivos que abrigam, mas também pela qualidade paisagística da qual fazem parte. Sua existência é de suma importância para o ser humano e para a preservação da vida, por isso, é importante o seu estudo não só numa visão acadêmica, mas também numa visão econômica e social.

Esta pesquisa tem por objetivo desenvolver uma ferramenta, um protótipo de um Sistema Especialista capaz de fazer avaliação florística automatizada, para auxiliar no trabalho realizado por especialistas da área de biologia, ajudando-os na classificação de florestas tropicais e na orientação da avaliação das comunidades florísticas.

A trabalho desenvolvido baseia-se no propósito teórico da Inteligência Artificial, que é o auxílio na resolução de problemas mediante a utilização de computadores, tentando imitar os humanos na forma de resolução de problemas. Para solucionar problemas os Sistemas Especialistas necessitam acessar uma substancial base de conhecimentos que ficam armazenados num Banco. Como metodologia para a montagem deste Banco de Conhecimentos, foram utilizadas as etapas de aquisição e representação do conhecimento da Engenharia de Conhecimento. Este banco foi criado através de levantamentos bibliográficos com parâmetros e conceitos fitossociológicos obtidos em análises de composição e estrutura vegetal realizados por diversos autores. A base de dados contém informações acerca da estrutura, composição florística, relevo, solo, drenagem, diversidade biológica e importância sócio-econômica da vegetação do Estado de Rondônia.

Através deste trabalho, construiu-se o protótipo do Sistema Especialista para Diagnostico Rápido de Florestas Tropicais e formalizou-se o processo de acesso ao banco de conhecimentos. Futuramente a base de conhecimentos poderá ser trabalhada para que outras florestas, além das tropicais, possam ser analisadas.

ABSTRACT

Keywords: EXPERT SYSTEMS, ARTIFICIAL INTELIGENCE and TROPICAL FOREST

The forest plays an important part of the life of the planet, not only for the abundance and variety of life that it shelters but also for its aesthetic beauty. The existence of the forest is essential to humanity to the preservation of life. And therefore it is important to study the forest, not only from an academic point of view, but also from an economic and social one.

The objective of this research was to develop a tool for an expert system capable of making automated evaluations of vegetation to aid in the work accomplished by researchers, helping them in the classification of tropical forest and the orientation and evaluation of various vegetation communities.

This work is based on the theory of artificial intelligence. It is an aid in problem solving with the use of computers in an attempt to simulate human logic. To solve problems the expert systems needs to access a substantial base of knowledge that is stored in a bank. To utilize the Engineering of Knowledge to form a bank of data it is necessary to utilize various levels of acquisition and representation of knowledge. The bank was created through bibliographical research studies with parameters and phytosociological concepts obtained in the analyses of the composition and structure of vegetation by several authors. The database contains information concerning the structure, composition, relief, soil, drainage, bio diversity and socioeconomic importance of the vegetation of the State of Rondônia.

Through this work the prototype of the expert system “ Sistema Especialista para Diagnóstico Rápido de Florestas Tropicais” (Specialist System to Quickly Diagnose Tropical Forest) was built to formalize the process of access the bank of knowledge. In the future this will be able to be applied to other forests besides tropical.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS.....	8
INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS	10
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	10
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	11
1.2 LIMITAÇÕES	11
1.3 ESTRUTURA.....	11
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	13
2.1 INTRODUÇÃO	13
2.2 HISTÓRICO	13
2.2.1 <i>Sistemas Especialistas</i>	14
2.2.2 <i>Linguagem Natural</i>	15
2.2.3 <i>Robótica</i>	15
2.3 ARMAZENAMENTO DO CONHECIMENTO	17
2.4 TEORIA DA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS.....	19
SISTEMA ESPECIALISTA – EXPERT SYSTEMS.....	21
3.1 DEFINIÇÕES.....	21
3.2 HISTÓRICO	21
3.3 ELEMENTOS OU COMPONENTES DOS SISTEMAS ESPECIALISTAS	24
3.4 ESTRUTURA TÍPICA DE UM SISTEMA ESPECIALISTA	25
ENGENHARIA DE CONHECIMENTO	27
4.1 INTRODUÇÃO	27
4.2 AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO.....	28
4.3 REPRESENTAÇÃO DE CONHECIMENTO.....	30
4.4 BASE DE CONHECIMENTO	30
4.5 ALGUMAS PERSPECTIVAS NO CAMPO DE REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO (RC).....	30
4.6 CARACTERÍSTICAS DAS FORMAS DE REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO:	31
4.7 PARADIGMAS DE REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO	32
MODELAGEM DO CONHECIMENTO	35

5.1 MODELOS TRABALHADOS	35
5.2 LÓGICA	35
5.3 TEOREMA DE BAYES	36
DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA PROPOSTO	43
6.1 INTRODUÇÃO	43
6.2 DESENVOLVIMENTO.....	43
6.3 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA:.....	45
6.3.1 <i>Classificação das florestas</i>	46
6.3.2 <i>Análise da comunidade vegetal</i>	46
6.4 AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO	47
6.5 REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO.....	47
6.6 REGRAS DE INFERÊNCIA UTILIZADAS PELO SISTEMA	49
6.6.1 <i>Exemplos aplicados ao protótipo do Sistema Especialista:</i>	66
6.7 VALIDAÇÃO DO SISTEMA	70
CONCLUSÃO	73
7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
7.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1- Estrutura de um Sistema Especialista.....	26
Figura 3.2- Estrutura Convencional de um Sistema Especialista.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Parcela da Base de Conhecimento - Fator Solo e Relevo.....	41
Tabela 5.2 – Parte da Base de Conhecimento do protótipo - Município.....	42
Tabela 6.1 – Representação Escrita do conhecimento implementado no Sistema.....	48
Tabela 6.2 – Conhecimento Implementado no Sistema através de valores booleanos.....	49
Tabela 6.3 - Classificação das Florestas segundo a TECNOSOLO.....	49

INTRODUÇÃO

As florestas não servem apenas para produzir as matérias básicas para a existência do homem, tais como, madeira, frutos, resinas, papel. Também são fundamentais para o equilíbrio e para existência de vida no planeta. As florestas desempenham importante papel na conservação e umidade do solo, pela influência no clima e na temperatura ambiental, pela influência na qualidade do ar que compõe a atmosfera, pela abundância e variedade de seres vivos que abrigam, pela qualidade paisagística da região que fazem parte, enfim, sua existência é de suma importância não só para o ser humano, mas para a preservação de toda vida sobre o planeta.

Por várias razões a vegetação de uma determinada área necessita ser estudada. Os exemplos práticos mais comuns são: para o reconhecimento e descrição das várias espécies florísticas e das comunidades de plantas conhecidas (fitossociologia); para o mapeamento dos tipos de comunidades vegetais; para o estudo do relacionamento entre a distribuição de plantas e o controle ambiental; para o estudo da vegetação como habitat de animais, pássaros e insetos; para melhor conhecimento do habitat de mosquitos que causam doenças tropicais; para auxiliar na resolução de problemas florestais e agrícolas; para a extração de componentes químicos, de espécies vegetais; para o levantamento do volume de madeira; para a reconstrução da vegetação primitiva após uma calamidade como as queimadas e outras aplicações.

Para o estudo acadêmico, a vegetação pode ser descrita e analisada amplamente, propiciando conhecimento metodológico, biológico e estatístico.

Nos estudos de aplicação destes conhecimentos fora do ambiente acadêmico, os dados sobre a vegetação são coletados e analisados com a pretensão de providenciar a conservação ambiental ou, em casos específicos, para solucionar ou prevenir alguns problemas ecológicos, como por exemplo: gerenciamento e conservação biológica; permitir o relatório de impacto ambiental, solicitado às indústrias quando da sua implantação numa determinada região; possibilitar aproveitamento racional dos

recursos da flora; monitorar ou providenciar bases de predição de mudanças ambientais futuras.

Apesar dos avanços na área da ciência da computação e em particular das arquiteturas computacionais, ainda existem diversos problemas reais que são de difícil solução. Ao se aplicar técnicas estruturadas para o desenvolvimento de sistemas oferece-se um enfoque mais apropriado para o desenvolvimento de sistemas que envolvam Inteligência Artificial (IA), pois partes do projeto podem utilizar componentes de IA. Biologia computacional é um exemplo de área científica onde encontram-se problemas de grande porte com soluções especializadas, as quais pertencem ao domínio de especialistas, que os adquirirão através de experiências e do aprendizado. Obter uma máquina que simule, através de regras heurísticas, as atividades da mente humana na área de biologia poderá dar ao profissional desta área, mais tempo, eliminando de seus afazeres a parte tecno-biológica.

Tendo em vista a importância das técnicas empregadas em computação e principalmente em IA, para a aquisição e manipulação de dados, é de suma importância sua utilização para auxiliar nas classificações taxonômicas e nas tomadas de decisões nas áreas de biologia, ecologia e botânica, tendo em vista principalmente o grande número de dados que deverão ser manipulados em pouco tempo. Oferecendo assim suporte técnico e especializado aos usuários para uma análise mais detalhada dos sistemas ambientais, confirmação ou não de suas conclusões e dando-lhes apoio para as tomadas de decisões, principalmente quanto à classificação das florestas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Projetar e implementar um protótipo de um Sistema Especialista para Diagnóstico Rápido de Floresta Tropicais que possa auxiliar na orientação e na avaliação de comunidades florísticas.

1.1.2 Objetivos Específicos

Montar uma base de dados que contenha informações sobre estrutura, composição florística, relevo, solo, drenagem, diversidade biológica e importância sócio-econômica da vegetação em áreas de preservação e conservação, do Estado de Rondônia.

- Através do levantamento bibliográfico, de parâmetros fitossociológicos em trabalhos de análise de composição e estrutura vegetal em florestas tropicais, será montada uma Base de Dados.

Montar um protótipo de um sistema especialista para analisar os dados fitossociológicos e avaliar o tipo de floresta estudado.

- Através do levantamento de conceitos fitossociológicos e seu cruzamento com as conclusões de autores em trabalhos correlatos, serão criadas diretivas (regras), para a avaliação florística automatizada utilizando os dados adquiridos e armazenados.

1.2 Limitações

Este trabalho está direcionado ao Diagnóstico de Florestas Tropicais do Estado de Rondônia, podendo futuramente ser ampliado para o estudo de todos os tipos de florestas pertencente a outros estados e outros países.

1.3 Estrutura

Esta dissertação está organizada em sete capítulos, nos quais o principal objetivo é abordar os estudos, as técnicas e as ferramentas utilizadas para a criação do protótipo de um sistema especialista. Este sistema servirá como ferramenta de auxílio para especialistas da área de ciências da terra, para que possam diagnosticar fatores ambientais, principalmente quanto à classificação de florestas. Auxiliando na tomada de decisões e no planejamento de estratégias ecológicas e ambientais. O primeiro capítulo é a introdução ao tema, onde estão relacionadas as principais motivações que levaram a implementação de um protótipo de um sistema para diagnóstico ecológico rápido e o que isto representa quanto a sua necessidade e utilização. O segundo capítulo aborda a

visão da Inteligência Artificial e suas aplicações nos Sistemas Especialistas. O terceiro capítulo trata de Sistemas Especialistas abordando sua utilização e metodologias aplicadas. No quarto capítulo Engenharia do Conhecimento, tema importante principalmente para a aquisição de conhecimento pelo sistema especialista. O quinto capítulo versa sobre o tratamento matemático utilizado no desenvolvimento do trabalho: conjunto, lógica e estatística. O sexto capítulo aborda a metodologia aplicada ao sistema especialista proposto. No sétimo e último capítulo, são feitas as considerações finais, versando principalmente sobre as áreas de pesquisa onde este sistema poderá se tornar mais abrangente e completo. Em seguida é apresentada a bibliografia consultada e os sites visitados, para o desenvolvimento desta dissertação.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

2.1 Introdução

Grande parte do esforço em Inteligência Artificial está concentrado em buscar ou aperfeiçoar formalismos para representação do conhecimento e sua manipulação, partindo-se do estudo do funcionamento do raciocínio humano, para tentar sua representação através de um programa de computador.

Como ainda não se tem uma definição científica clara de “como funciona” o raciocínio humano, torna-se difícil sua perfeita modelagem. Como modelar o que não se conhece? Torna-se necessário então, procurar entender e copiar, o mais próximo possível, a forma do raciocínio humano e a aplicar às máquinas, para que estas possam buscar soluções para diversos tipos de problemas. Comportamentos inteligentes podem ser simulados em máquinas, utilizando modelos baseados na estrutura e no funcionamento do cérebro humano, fazendo processamento rápido (raciocínio) e eficiente, adquirindo e acumulando conhecimentos para o planejamento e previsão de resultados.

2.2 Histórico

Em 1956, com John Mac Carthy e o psicólogo Marvin Minsky, no Workshop do Dartmouth College, nasceu o termo **Inteligência Artificial** (IA). O primeiro trabalho que foi reconhecido como sendo de IA foi o de Warren McCulloch e Walter Pittsem 1943. Neste propuseram um modelo de neurônios artificiais. Desde esta época as diferentes correntes de pensamento em IA têm estudado formas de estabelecer comportamentos “inteligentes” nas máquinas, simulando a capacidade de raciocínio humano quer seja na resolução de problemas, nas generalizações ou no aprendizado a partir de experiências passadas. A IA estuda a aplicação da tecnologia que se encontra disponível hoje, de modo a permitir aos computadores realizarem tarefas que no momento as pessoas efetuam com melhor desempenho. Possibilitando ao computador ter um “comportamento inteligente na realização de suas tarefas” (RICH, 1985).

“Nós estamos no limiar de uma nova era. Um renascimento das ciências da vida e da computação, onde pessoas e máquinas trabalham juntas, não como mestre e escravo, mas como companheiros inteligentes”. Assim escreveu Keller em 1991.

O computador é utilizado, em IA, como um meio de automação dos processos intelectuais, como uma ferramenta que realiza todos os processos e passos do raciocínio humano. O grande desafio nas pesquisas em IA, desde a sua criação até a atualidade, pode ser resumido com o questionamento feito por Minsky, em seu livro “*Semantic Information Processing*”, “Como fazer as máquinas compreenderem as coisas?” (MINSKY, *Semantic Information Processing*, apud CHAIBEN, 2000).

A utilização da Inteligência Artificial tem saído do círculo meramente acadêmico, para tomar forma nas aplicações práticas da indústria e do comércio “realizando tarefas profissionais, que, muitas pessoas concordam, requerem algo que chamamos de inteligência” (KELLER, 1991). Desenvolveu-se, principalmente nos campos de: **Sistemas Especialistas, Linguagem Natural e Robótica**, incluindo neste último a visão, fala e locomoção. Isto se deve principalmente aos avanços tecnológicos dos equipamentos computacionais e das crescentes necessidades humanas, nas últimas décadas.

2.2.1 Sistemas Especialistas

São programas computacionais, criados para solucionar determinados e específicos problemas, por isso são chamados de **sistemas especialistas**.

Uma das primeiras tentativas de se criar um sistema especialista baseado em conhecimento, foi realizada por Joshua Ledenberg e Edward Feigenbaum que em 1967 criaram o DENDRAL. O projeto foi desenvolvido a partir de 1965, na Universidade de Stanford (USA), o objetivo era o de “desenvolver programas capazes de determinar, automaticamente, o conjunto de estruturas moleculares, constituídas de átomos conhecidos, capazes de explicar dados provenientes da análise espectrográfica de uma molécula desconhecida” (UFSC, 2000, on line). O DENDRAL é um programa capaz de fazer análises químicas sendo utilizado até a atualidade. Alguns resultados de análises realizadas pelo sistema foram

considerados melhores do que os obtidos por especialistas humanos e publicados em revistas especializadas. O DENDRAL rendeu a Ledenberg o prêmio Nobel de Química.

2.2.2 Linguagem Natural

Um dos primeiros problemas trabalhados em Inteligência Artificial foi a tentativa da tradução automática de línguas, chamado de processamento de linguagem.

O processamento da linguagem compreende a compreensão (estrutura mental manipulada em função do estado mental e emocional) de uma seqüência de símbolos (palavras) e a geração simultânea de outra seqüência de símbolos diferentes (idioma diferente), transmitindo inclusive a interpretação conseguida no primeiro idioma. Acreditava-se que para isto, bastaria dispor de um potente dicionário e de regras gramaticais que facilmente se obteria como resultado a tradução satisfatória de um texto. Observou-se que este problema era mais complexo. Mas o que pareceu um insucesso veio a transformar-se numa melhor compreensão da estrutura das linguagens naturais.

A primeira tentativa de modelagem do raciocínio humano foi financiada pelo Departamento de Defesa americano, por meio da ARPA – *Advanced Research Projects Agency*, o objetivo era criar um programa para computadores que traduzisse documentos técnicos da União Soviética. Este sistema funcionou enquanto tradutor russo-ínglês, mas não conseguia determinar construções ou ambigüidades da língua, foi abandonado por não conseguir solucionar este problema.

2.2.3 Robótica

Sonhos de ficção científica viram realidade com o crescente desenvolvimento do conhecimento humano e o avanço das engenharias. Atualmente apareceram muitos robôs, cada qual atuando em determinada área, que até uma feira mundial, a Robodex no Japão, foi organizada por Toshitada Doi, vice-presidente da Sony. Segundo Toshitada (apud Marcelo Ferroni, 2000)

“A nova era será caracterizada por gente e robôs vivendo juntos”. Na feira o modelo que mais impressionou foi o SDR-3X da Sony, um robô capaz de dançar, jogar bola e fazer peripécias anteriormente consideradas somente humanas. De acordo com revistas atuais, nos EUA os cientistas tentam acrescentar emoções às máquinas. No Instituto de Massachusetts (MIT), Anne Forest, especialista em Inteligência Artificial, pretende criar nos autômatos a capacidade de reagirem ao meio ambiente de forma própria, apresentando momentos de alegria e tédio, sem que ninguém o programe para isso.

A IBM lançou em 2000, um computador que ouve e fala, através do software ViaVoice, o qual permite que textos sejam ditados, lidos, e que apenas com o comando de voz, navegue na Internet buscando arquivos.

Outra atividade para a qual os robôs estão sendo programados para a auto criação, ou seja, máquinas criando novas máquinas. O projeto Golem (*Genetically Organized Lifelike Electro Mechanics*), coordenado por Hod Lipson e Jordan B. Pollack, da Universidade de Brandeis, nos EUA, trabalha com algoritmos genéticos, para que o próprio computador, que desenha e cria os robôs, produza diversas gerações de computadores, cada uma com novas adaptações e após promova uma seleção natural dos mesmos, dotando-os de estruturas otimizadas e bastante criativas em função do objetivo para o qual foram criados.

Vera Maria Benjamim Werneck, 1998, citando Dan W. Patterson enumera as seguintes propriedades de sistemas computacionais que demonstram alguma forma de inteligência:

- Sistemas que aprendem novos conceitos e tarefas;
- Sistemas que raciocinam e tiram conclusões úteis sobre o mundo ao nosso redor;
- Sistemas que compreendem linguagem natural;
- Sistemas que percebem e entendem uma cena visual e;

- Sistemas que desempenham outras habilidades que requerem inteligência humana.

Observa-se que uma manifestação inteligente pressupõe: aquisição, armazenamento e, geralmente, alguma estratégia de controle destes conhecimentos adquiridos, ou seja, uma máquina de inferência que determina os itens de conhecimento a serem acessados, as deduções a serem feitas, e a ordem dos passos a serem usados.

“Um sistema IA não é capaz somente de armazenamento e manipulação de dados, mas também da aquisição, representação, e manipulação de conhecimento. Esta manipulação inclui a capacidade de deduzir ou inferir novos conhecimentos - novas relações sobre fatos e conceitos - a partir do conhecimento existente e utilizar métodos de representação e manipulação para resolver problemas complexos...” (CHAIBEN, 1999).

2.3 Armazenamento do conhecimento

Para que o conhecimento possa ser armazenado é essencial que se possa representá-lo de forma adequada. Segundo alguns autores dentre eles Werneck, 1998, Chainben, 1999 e Assis, 1992 ao se discutir representação do conhecimento lidam com entidades de tipos diferentes, quais sejam: os **fatos**, que são as verdades de algum mundo relevante (real), as quais queremos representar; as **regras procedurais**, que são regras que descrevem as seqüências e as relações relativas ao domínio; e as **regras heurísticas** que são regras gerais intuitivas ou regras simples e práticas que sugerem procedimentos a serem seguidos quando as regras procedurais não são eficientes. Essas regras são aproximadas e a qualidade desse conhecimento determina o grau de especialização.

A **representação dos fatos** é feita através de relações diretas de associações, as quais são facilmente representadas num computador, vejamos:

Representação de uma árvore

ARVORE < FOLHAS, CAULE >

CAULE < DIÂMETRO MAIOR DO QUE 30CM, ALTURA MAIOR DO QUE 30 M >

O **conhecimento heurístico**, que é composto por intuição, associações, regras de julgamento, estruturas de preferências e processos de **inferência**, combinado com os conhecimentos dos **fatos**, é que leva o ser humano a apresentar comportamento inteligente. Este é um tipo de conhecimento especial, usado pelas pessoas para solucionar problemas, este conhecimento é mais complexo em termos de representação computacional.

Um sistema de Inteligência Artificial é composto por um Banco de Conhecimentos, onde estão todas as informações que o sistema dispõe para efetuar um diagnóstico. As informações podem ser montadas em estruturas semânticas por meio de termos como **...é causa de...** , **...pode levar a ...**, **...n é função de...** ou outros tipos de relações e associações. Deste modo cria-se uma estrutura de recorrência entre os fatos e as causas prováveis. Por meio de algoritmos heurísticos e de estratégias de seleção, o sistema poderá solicitar informações adicionais ao usuário caso necessite.

Representação semântica do aparecimento de um tipo de floresta em consequência da existência de um determinado tipo de solo será feita desta forma:

Se SOLO HIDROMÓRFICO pode levar a FLORESTA OMBRÓFILA ABERTA ALUVIAL

Se SOLO HIDROMÓRFICO pode levar a FLORESTA OMBRÓFILA Densa ALUVIAL

Se SOLO HIDROMÓRFICO pode levar a FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL ALUVIAL

Se SOLO HIDROMÓRFICO pode levar a FORMAÇÃO PIONEIRA SOB INFLUÊNCIA FLUVIAL ARBÓREA

Se SOLO HIDROMÓRFICO pode levar a FORMAÇÃO PIONEIRA SOB INFLUÊNCIA FLUVIAL ARBUSTIVA E/OU ARBÓREA

Após inserir estes dados no banco de conhecimento, serão feitas as diferenciações de cada tipo de floresta através da utilização de outras regras de

inferência e outras associações para que ao final quando todas as regras forem associadas, possa o sistema chegar a um diagnóstico final para a área analisada em questão.

A Inteligência Artificial se preocupa com aspectos teóricos e aplicados da representação do conhecimento, ou seja, um conjunto de convenções sintáticas e semânticas que torna possível descrever as coisas em certeza, incerteza e imprecisão. Os formalismos matemáticos de interesse para IA têm sido aqueles baseados em lógica de primeira ordem ou dela derivados, além de outros mais específicos como lógica nebulosa (fuzzy), formalismos probabilísticos (árvores causais, diagramas de influência e outros), funções de crença e redes neurais.

2.4 Teoria da resolução de problemas

Um dos propósitos da Inteligência Artificial é auxiliar na resolução de problemas, mediante a utilização de computadores que imitam os humanos na forma de resolução de problemas. O “que é” um problema? Isto fica bem definido por VELOSO, 1981 apud BARRETO, 1997:

Um problema é o objeto matemático $P = \{D, R, q\}$, consistindo de dois conjuntos não vazios, D os dados e R os resultados possíveis e de uma relação binária $q \subset D \times R$, a condição, que caracteriza uma solução satisfatória.

Segundo BARRETO, 1997, “Formular um problema é diferente de achar a solução do mesmo. A definição de um problema possibilita testar se um certo elemento é ou não a solução, mas não guia na busca deste elemento. Verificar se um elemento é solução é simplesmente verificar se o par (dados, elemento candidato à solução) satisfaz ou não a condição”. Continua o autor “Como a solução de um problema é uma função, se for possível implementar esta função tem-se a solução do problema”.

Para a classificação de florestas, pertenceria ao conjunto os seguintes elementos:

1. Conjunto de dados disponíveis $d \in D$, sendo d os dados observados pelos especialistas e pesquisadores acerca dos fatores ambientais que influenciam

determinados tipos de florestas, os quais pertencem ao conjunto D de possíveis dados existentes.

2. R é o conjunto de tipos de florestas tropicais existentes.
3. Para se encontrar uma solução satisfatória, para o problema de classificação de florestas, deve-se encontrar o par (d, R) , onde $r \in R$ seja a classificação desejada. Se somente existir uma solução possível, pode-se dizer que a relação q se torna uma função e que a solução do problema será poder associar a cada elemento de D o elemento correspondente de R , de modo que $(d, f(d)) \in q$, onde $f(d)$ é uma função.

SISTEMA ESPECIALISTA – *EXPERT SYSTEMS*

3.1 Definições

Definir Sistemas Especialistas (SE) parece não ser das mais fáceis tarefas para muitos autores, segundo FEIGENBAUM, 1981, “Sistemas Especialistas são sistemas que solucionam problemas que são resolvíveis apenas por pessoas especialistas (que acumularam conhecimento exigido) na solução destes problemas”, para RICH, 1993, “Os sistemas especialistas solucionam problemas que normalmente são solucionados por *especialistas* humanos. Para solucionar tais problemas, os sistemas especialistas precisam acessar uma substancial base de conhecimentos do domínio de aplicação, que precisa ser criada do modo mais eficiente possível”.

Logo, um SE é um programa de computador que tenta resolver problemas, usando o raciocínio de um especialista, ou então é uma aplicação de Inteligência Artificial criada para resolver problemas em um determinado domínio do conhecimento. Concluindo: um Sistema Especialista é aquele projetado e desenvolvido para atender a uma aplicação determinada e limitada do conhecimento humano, capaz de emitir uma decisão apoiada em conhecimentos adquiridos a partir de uma base de conhecimentos.

3.2 Histórico

Nos anos 50, os pesquisadores já haviam estabelecido os fundamentos da Inteligência Artificial, com isto foram surgindo sistemas práticos de computação simbólica, neste mesmo tempo aparecem os computadores interativos, e os psicólogos cognitivos criaram os caminhos padrões do processo de investigação do raciocínio, modelando o aparente processo de tomada de decisões em termos de regras de produção condicionada.

No final da década de 70, os pesquisadores em IA descobriram que o processo de resolução de problemas dependia mais do conhecimento que um programa de computador possuía do que do formalismo ou esquema de inferência empregado. Com estas descobertas, começaram a surgir programas de computador com propósitos particulares, sistemas que eram peritos em alguma área limitada, passando estes então a ser chamados de Sistemas Especialistas.

Comercialmente os Sistemas Especialistas começaram a surgir entre 1980 e 1981. A primeira companhia formada para produzir sistemas especialistas foi a *Intelli Genetics* tratando do campo de engenharia genética e com técnicos oriundos do Projeto de Programação Heurística da Universidade de Stanford. Recentemente, muitas organizações têm aplicado e explorado a tecnologia dos sistemas especialistas.

Um sistema especialista é um programa “inteligente” de computador, planejado para adquirir e disponibilizar o conhecimento operacional de um, ou de vários especialistas (humanos) sobre uma determinada área de conhecimento. Portanto, é um sistema de Inteligência Artificial aplicada, que possui propósitos específicos. Utiliza **métodos inferenciais** para a resolução de problemas técnicos e altamente especializados, sendo capazes de tomar decisão como especialistas humanos em diferentes áreas ou lhes dando suporte à decisão. Sua estrutura reflete a maneira como o especialista humano arranja e faz inferência sobre o seu conhecimento.

A diferença existente entre um Sistema Convencional e o Sistema Especialista é que, o primeiro é baseado em um algoritmo que emite um resultado final correto processando um volume de dados de maneira repetitiva, o convencional, é projetado para sempre emitir uma resposta final correta. O segundo, Sistema Especialista, é baseado numa busca heurística, trabalha com problemas para os quais não existe uma solução convencional organizada, podendo inclusive não chegar a resposta alguma, ou chegar a uma resposta errada, exatamente como o especialista humano. Num sistema especialista o processamento não é feito em cima de dados, mas sim em cima de conhecimentos.

O sistema especialista por ser uma aplicação da inteligência artificial (IA), interage com seu usuário numa linguagem natural (mais próxima da natural possível) muitas vezes através de perguntas e respostas.

Características mais comuns dos Sistemas Especialistas:

1. Resolvem problemas tão bem quanto especialistas humanos;

2. Raciocinam heurísticamente;
3. Interagem com usuários humanos, utilizando inclusive linguagem natural;
4. Funcionam com dados errados e regras incertas de julgamento;
5. Justificam as suas conclusões.

Os Sistemas Especialistas utilizam programas de computador que usam raciocínio simbólico:

1. Utiliza conhecimento especializado sobre uma determinada área;
2. Emprega codificação do raciocínio (simbólico e qualitativo) somado a utilização de cálculos (quantitativamente);
3. Seu desempenho normal está num nível de competência maior do que o de pessoas não especializadas.

Numa comparação feita entre o conhecimento de especialistas humanos e dos Sistemas Especialistas, observa-se que enquanto um perito pode reorganizar informações e utilizá-las para sintetizar novos conhecimentos; pode manusear eventos inesperados usando imaginação ou novas abordagens, inclusive usando o raciocínio por analogia de um outro domínio qualquer, o Sistema Especialista trabalha sem criatividade, de maneira rotineira e sem inspiração. O conhecimento artificial utilizado pelos Sistemas Especialistas tem limitações. Eles são freqüentemente utilizados para planejamento, aconselhamento, diagnóstico e consultoria ou para auxiliar um perito humano, como suporte para a tomada de uma decisão.

Parâmetros para escolha quanto à utilização de um Sistema Especialista para determinado tipo de problema:

1. Quando o fato, ou a tarefa a ser realizada não necessitar de senso comum. Sendo os problemas restritos a uma área específica

(especializada) os computadores não necessitam trabalhar com o senso comum;

2. Análise do conhecimento para saber se este pode ser formalizado;
3. Existência de especialistas que possam colaborar com o desenvolvimento do sistema, pois sua atuação é de suma importância, pois não se pode esperar que o criador do sistema se baseie somente em bibliografias.

3.3 Elementos ou componentes dos Sistemas Especialistas

Um sistema qualquer que reflita com “inteligência” possui como estrutura: uma base de conhecimento e uma base de raciocínio. Para que estes sistemas apresentem um “comportamento inteligente” devem utilizar técnicas de inferência e mecanismos formais para a representação do conhecimento, que são chamadas de regras heurísticas. A estrutura básica da arquitetura dos sistemas especialistas pode ser apresentada através de três componentes: a base de conhecimento, a máquina de inferência, e a interface com usuário, representadas na página seguinte, através das visões de MEIRELLES (1994, pág.435) na Fig. 3.1 e de CHAIBEN (2000, on-line) na Fig. 3.2.

3.4 Estrutura Típica de um Sistema Especialista

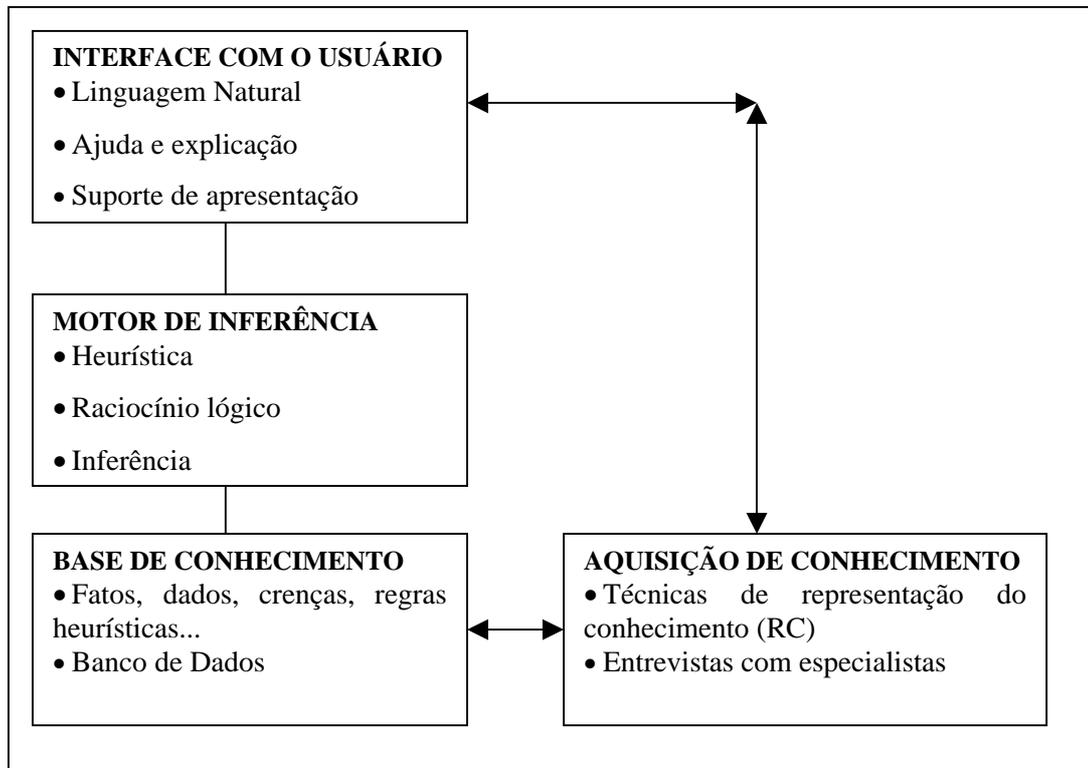


Figura 3.1- Estrutura de um Sistema especialista, segundo Meirelles, 1994.

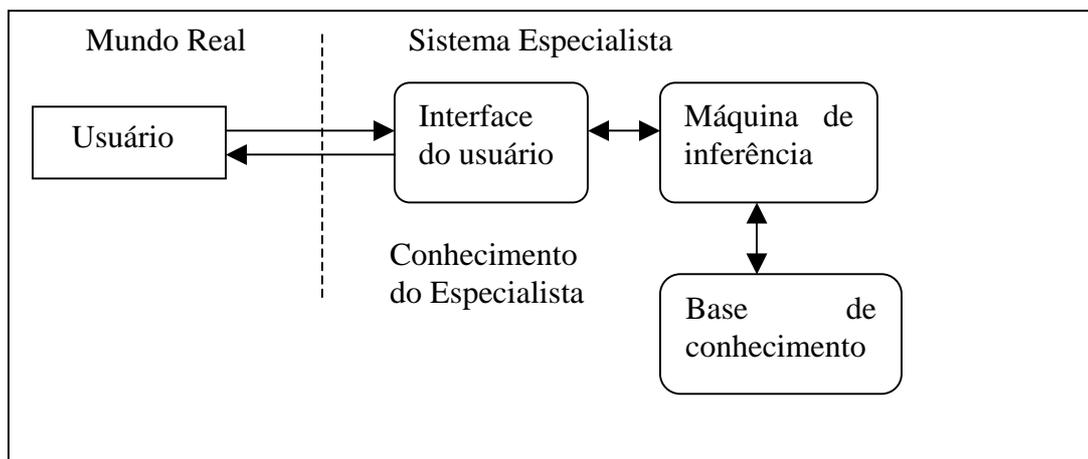


Figura 3.2- Estrutura Convencional de um Sistema Especialista – Hamilton Chaiben, 1996.

3.3.1 Base de conhecimento – elemento permanente e específico para cada Sistema Especialista, é onde estão armazenados os fatos e as regras. Compreende o conhecimento que é especificado no domínio de aplicação, conhecimento este adquirido principalmente através do especialista ou de referências bibliográficas e outras fontes. Na base de conhecimento encontram-se:

1. Os fatos que descrevem o domínio da área estudada;
2. As regras que descrevem relações ou fenômenos do domínio;
3. Os métodos, heurísticos (regras heurísticas representam linhas de orientação sobre como resolver um problema, operar um sistema, melhorar um desempenho... elas desenvolvem-se através de intuição e experiência) e idéias para a resolução de problemas deste domínio.

3.3.2 Máquina de inferência – também conhecida como mecanismo ou motor de inferência, é a parte responsável pela busca das regras da base de conhecimento para serem avaliadas, direcionando o processo de inferência. A ordem de avaliação obedece a uma estrutura do tipo pilha, com o objetivo de atingir a meta mais recente. Quando um valor de um parâmetro determinado de contexto não é conhecido e não se encontra nas estruturas de pilha, deve-se então procurar novas informações na base de conhecimento, provocar a busca de novas regras ou perguntar diretamente ao usuário.

3.3.3 Interface com o usuário - fornece comunicação adequada e simples entre usuários e o sistema e permite ao usuário seguir o processo de resolução gerado pelo motor de inferência, podendo inclusive responder questões quando colocadas pelo sistema.

ENGENHARIA DE CONHECIMENTO

4.1 Introdução

Este termo, Engenharia do Conhecimento (EC), é utilizado para descrever todo o processo do desenvolvimento de um sistema especialista, envolvendo a interação entre o construtor do sistema especialista, chamado de engenheiro do conhecimento e um ou mais especialistas de alguma área específica.

O objetivo da Engenharia do Conhecimento é capturar e incorporar o conhecimento fundamental de especialistas sobre um determinado domínio (coleta, seleção, decomposição, composição e modelagem) como também suas conclusões, prognósticos e sistemas de controle e integrá-los com o conhecimento implícito existente nas bases de dados que estejam relacionadas ao domínio destes especialistas. Este processo envolve reunir informação, familiarização do domínio, análise e esforço no projeto. Além disso, todo conhecimento acumulado deve ser **codificado, testado e refinado**. Dentre as tarefas consideradas inteligentes estão o reconhecimento de padrões, previsões, classificação, diagnóstico, capacidade de aprender com novos fatos, tomadas de decisões e outros.

Os especialistas são pessoas que possuem alto grau de conhecimento em uma dada área de domínio e habilidade para transmitir esse conhecimento. São os especialistas a fonte de conhecimento para a funcionalidade de um sistema especialista. Sem o conhecimento de tais peritos, o sistema especialista não obterá êxito, pois não conseguirá resolver problemas significativos, perdendo assim a sua utilidade. Para o sucesso do SE, os peritos que estão envolvidos, devem: escolher e concordar com as soluções encontradas, pois caso contrário, o sistema especialista não terá validação; devem ser capazes de articular e explicar os métodos que utilizam para resolver problemas do domínio e suas soluções, para que o engenheiro do conhecimento consiga extrair o “conhecimento do especialista”, interpretá-lo e colocá-lo no programa de uma forma estruturada, fase esta conhecida por **Aquisição do Conhecimento (AC)**.

4.2 Aquisição do Conhecimento

Aquisição do Conhecimento (AC), é uma das atividades da Engenharia de Conhecimento, entendida pela maioria dos autores como a tarefa mais problemática de todas devido principalmente a sua importância.

"Aquisição de conhecimento é a transferência e transformação da habilidade ou perícia para resolver problemas contidos em alguma fonte de conhecimento para um programa", (SCHWABE, 1987).

Divide-se o processo de aquisição de conhecimento em três estágios segundo alguns autores:

1. **Definição ou Análise Inicial:** é a decisão de qual conhecimento é necessário para que o sistema funcione;
2. **Explicitação do Conhecimento:** é a obtenção de conhecimento vindo de especialistas humanos predominantemente e a interpretação deste conhecimento;
3. **Representação do Conhecimento:** codificação do conhecimento na linguagem interna do sistema.

Um sistema especialista não é uma seqüência linear de estágios, mas sim um processo cíclico entre os estágios de desenvolvimento. Protótipos são projetados, construídos e testados e então são revistos e novas versões serão projetadas, construídas e novamente testadas.

Este processo é iterativo (repetição incessante de uma determinada operação), com ciclos que dependem do tamanho do sistema a ser construído, profundidade e amplitude da tarefa a ser suportada, e a qualidade do conhecimento adquirido. Esta visão do processo se encontra expressa nos passos a seguir:

1. Adquirir o conhecimento inicial necessário, acerca do domínio;
2. Prototipar o conhecimento e colocá-lo para testes;
3. Exemplificar uma tarefa, para observar o protótipo em funcionamento;

4. Deixar o especialista observar o sistema prototipado;
5. Se a Base de Conhecimento estiver razoavelmente completa, SAIR;

 Senão continuar o processo;
6. Deixar o especialista observar e inferir o que for necessário para que o Banco de Conhecimentos fique mais completo;
7. Adquirir o conhecimento necessário;
8. Adicionar o conhecimento necessário ao Banco de Conhecimentos;
9. Se a Base de Conhecimento está razoavelmente completa, retornar ao passo 3 ; senão passo 7.

Observa-se que no desenvolvimento do protótipo poder-se-á retornar quantas vezes seja necessário ao passo três (3), que é onde se faz o teste com o sistema. Caso não esteja atingindo o objetivo proposto retorna-se a fase de aquisição de conhecimentos até atingir a meta do passo cinco (5) e então SAIR. Estando assim, o protótipo funcionando conforme estipulado.

“Converter dados em informação requer conhecimento. E conhecimento por definição é especializado. Logo, a organização do futuro baseada na informação requer acima de tudo, muito mais especialistas e ferramentas especializada, do que companhias baseadas em comando e controle a que estamos acostumados” (MEIRELLES, 1994).

A informação deve ser usada para tomadas de decisão melhores, e o seu valor está em quanto custaria ter deixado de tomar determinada decisão por falta de informação. Tomar uma decisão é uma projeção para o futuro, portanto é preciso reunir informações e analisar as crenças. Alguns problemas são parcialmente ou totalmente estruturáveis. Para isto temos as ferramentas de apoio à decisão, as quais através de numerosos e trabalhosos cálculos poderão prever diversos e diferentes resultados para cada situação.

4.3 Representação de Conhecimento

Para resolver problemas se faz necessária a utilização de conhecimentos que façam parte do domínio do problema, e de mecanismos para o armazenamento e a manipulação desses conhecimentos. A representação do conhecimento pode ser definida como “um conjunto de convenções sintáticas e semânticas que tornam possível a descrição das coisas”.

Existem várias técnicas que são utilizadas para a representação do conhecimento. Caberá ao engenheiro do conhecimento, que é quem juntamente com o conhecimento do especialista forma a Base de Conhecimentos, escolher aquela que melhor se adequar ao problema em questão.

4.4 Base de Conhecimento

O termo “base de conhecimento” é utilizado para significar a coleção de conhecimento do domínio, ou seja, as informações ao nível de especialista, necessárias para resolver problemas de um domínio específico. Portanto, este conhecimento precisa ser organizado de uma maneira adequada para que a máquina de inferência consiga tratá-lo convenientemente. O conhecimento em um sistema especialista consiste de *fatos* e *heurísticas*. Os fatos constituem as informações que estarão sempre disponíveis para serem compartilhadas e atualizadas pelo especialista do domínio. As heurísticas são regras práticas que caracterizam o nível de tomada de decisão do especialista em um domínio.

Um dos problemas mais sérios, e ao mesmo tempo muito comum, encontrado na implementação de sistemas especialistas, é que usualmente parece impossível fornecer um conhecimento completo sobre o qual o sistema vai operar. Portanto, o nível de desempenho de um sistema especialista está relacionado ao tamanho e à qualidade de sua base de conhecimento.

4.5 Algumas perspectivas no campo de representação do conhecimento (RC)

1. Representação do Conhecimento como epistemologia aplicada

A complexidade do conhecimento é utilizada como princípio, isto é, envolve-se com o problema do conhecimento (pressuposto na atividade inteligente) e a forma de representá-lo em uma base como estruturas e programas.

2. Representação do Conhecimento como um módulo de pergunta resposta

É a mais baixa expectativa de um módulo de representação do conhecimento, provém no mínimo de duas operações:

Tell (K, F) = Dado uma base de conhecimento K o fato F é somado a ele resultando numa nova base K'.

Ask (K, F) = A base de conhecimento K é examinada sobre um fato F.

Dependendo do paradigma de representação do conhecimento (RC), a resposta encontrada pode ser; sim, não ou desconhecida.

3. Representação do Conhecimento como incorporação de sistemas de IA

Esta é a visão de que existem várias unidades interconectadas onde todas são responsáveis para representar vários conceitos. Um conceito é representado num senso distribuído e é indicado por um envolvimento em atividades sobre uma coleção de unidades.

4.6 Características das formas de representação do conhecimento:

- **Escopo e granulosidade:** partes do domínio consideradas, detalhamento.
- **Indeterminância e definição das noções primitivas de representação:** alternativas de modelagem.
- **Modularidade/compreensibilidade:** "clusterização" do conhecimento, legibilidade.

- **Conhecimento explícito e flexibilidade:** toda a informação necessária à solução do problema na Base de Conhecimento, e não embutida em outro componente.

Fatos e regras podem ser representados separadamente dos algoritmos de decisão, ou seja, pode-se separar o conhecimento declarativo do conhecimento procedimental.

4.7 Paradigmas de representação do conhecimento

Caberá, como já exposto, ao desenvolvedor do sistema avaliar qual será a melhor técnica de representação, aquela que melhor se adequar ao problema que tem para solucionar. Descreveremos alguns paradigmas existentes, o assunto não se esgota aqui, pois a quantidade existente é muito grande, as abordagens mais importantes atualmente são; redes semânticas, lógica de primeira ordem, frames e regras de produção.

4.7.1 Conhecimento procedimental: O conhecimento sobre o mundo é representado em forma de uma seqüência de funções codificadas em procedimentos, os quais dizem como o conhecimento deve ser manipulado.

4.7.2 Redes: O conhecimento é representado por meio de grafos direcionados cujos nós representam conceitos e entidades, enquanto que os arcos representam a relação existente entre as entidades e conceitos.

Redes Semânticas: é a forma de representação mais adequada para domínios onde problemas podem ser descritos por classificações complexas. São representadas como um conjunto de nós ou nodos que são ligados por meio de arcos, onde cada nodo representa um objeto, uma entidade conceitual ou um evento e cada arco representa o relacionamento existente entre cada par de nodos. E cada par de nodos representa um determinado fato.

4.7.3 Lógica: representa o conhecimento numa das mais primitivas formas de representação do raciocínio ou conhecimento humano.

Lógica proposicional: forma mais comum da lógica baseia-se em que a proposição só pode ter um dos dois valores: verdadeiro ou falso.

Lógica de predicados: considerada como uma extensão da lógica proposicional, nesta os elementos fundamentais são, além do objeto, também os seus predicados.

4.7.4 Árvores de decisão: os conceitos são organizados em forma de árvores.

4.7.5 Conhecimento estatístico: O uso de fatores de certeza, Teorema de Bayes, Redes, teoria de Dempster-Shafer, Lógica Fuzzy...

4.7.6 Regras: O uso de sistemas de Produção para codificar regras de condição-ação.

Regras de produção: forma de representar o domínio do conhecimento através de um conjunto de regras. As principais características são: modularidade, facilidade de implantação e a existência de pacotes desta técnica para o desenvolvimento de Sistemas Especialistas. É a mais conhecida forma de representar conhecimento, usada atualmente em sistemas de pequeno porte.

4.7.7 Processamento paralelo distribuído: Utiliza-se de modelos conexionistas.

4.7.8 Esquemas híbridos: Qualquer representação do formalismo que emprega a combinação de esquemas de representação do conhecimento.

A Engenharia de Conhecimento procura investigar os sistemas baseados em conhecimento e suas aplicações, englobando atividades como: investigação teórica de modelos de representação de conhecimento, estabelecimento de métodos de comparação entre os diferentes modelos quer seja do ponto de vista formal bem como do experimental, desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento e estudo das relações entre sistemas e o processo ensino/aprendizagem.

Dentro desta visão, estão sendo desenvolvidos os seguintes temas:

Sistemas Cognitivos Construtivistas: os quais abrangem o estudo de sistemas orientados a conhecimento adotando uma abordagem construtivista inspirada no trabalho de Piaget.

Modelos Conexionistas: trata da representação de conhecimento de forma distribuída em uma rede.

MODELAGEM DO CONHECIMENTO

5.1 Modelos trabalhados

Existem várias técnicas de representação que podem ser usadas para modelar sistemas de crença segundo RICH, 1994, nos quais, em um dado momento, um fato em particular é tido como verdadeiro, falso, ou nenhuma destas duas hipóteses. No caso de certos tipos de solução de problemas, ajuda poder descrever crenças que não são indiscutíveis, mas para as quais existem certas evidências de apoio.

Problemas podem ser modelados usando-se certas técnicas baseadas em raciocínio simbólico diante da incerteza, nestes, o mundo relevante não é aleatório, ele tem comportamento "normal", a menos que haja algum tipo de exceção. Muitas tarefas de senso comum enquadram-se nesta categoria, e também muitas tarefas de raciocínio especialista como o de classificação de florestas. Para problemas como os de classificação de florestas, *medidas estatísticas* podem ter função bastante útil como resumo do mundo. No lugar de enumerar todas as exceções possíveis, podemos usar um resumo numérico que informe com que frequência pode-se esperar que ocorra um determinado tipo de exceção.

As técnicas, comentadas, nos paradigmas de representação do conhecimento anteriormente, para a modelagem e representação matemática dos conhecimentos, para a solução de problemas, não modificam os fundamentos matemáticos fornecidos pela lógica, pela teoria dos conjuntos e nem pela estatística. O que ocorre é a ampliação destas aplicações para a solução de problemas específicos que necessitam de tratamento lógico matemático especial.

5.2 Lógica

Na teoria clássica dos conjuntos, também conhecida como lógica proposicional, descrevem-se a presença ou ausência de associações, entre dois ou mais conjuntos de

elementos, utilizando-se de valores de pertinência e de não pertinência. Nas relações difusas existe a capacidade de capturar quão forte é a associação através de graus de pertinência. Podendo inclusive ser de total pertinência ou não, como nos conjuntos clássicos. Pode-se observar, portanto que o conjunto clássico faz parte de uma parte especial dos conjuntos difusos, chamado de conjunto “crisp”.

Neste protótipo está sendo utilizada a lógica proposicional, da seguinte forma.

Dada a relação difusa binária, em que \mathbf{R} é definido em um conjunto \mathbf{T} de Tipos de Florestas (Aa, Ab, ..., L, U) e um conjunto \mathbf{F} de fatores chaves considerados importantes para a solução da classificação (rios, solos, relevo...). Sua função de pertinência é definida como o produto cartesiano $\mathbf{T} \times \mathbf{F}$. Onde para cada tipo de Floresta $\mathbf{t} \in \mathbf{T}$, ($Aa \in \mathbf{T}$), o grau de pertinência $\mathbf{R}(\mathbf{t}, \mathbf{f})$ pode ser interpretado neste caso, como o grau de relevância do Tipo de Floresta \mathbf{t} para o fator estudado \mathbf{f} . A caracterização da relação existente entre estes dois eventos é muito expressiva. A resposta obtida com esta forma de tratamento dos dados é mais relevante do que a obtida pela lógica clássica.

5.3 Teorema de Bayes

Também bastante utilizado para a representação de conhecimentos é a estatística, através da probabilidade e do Teorema de Bayes.

Uma importante meta de muitos sistemas na busca da solução de problemas, é coletar evidências no decorrer do programa e modificar o comportamento deste, com base nessas evidências. Para moldar este comportamento, precisa-se de uma **teoria estatística** de evidências. A **estatística bayesiana** é uma dessas teorias. Segundo MEYER, 1978 a noção fundamental da estatística bayesiana é a probabilidade condicional, fórmula (1):

$$P(H|E) \tag{1}$$

Que representa a probabilidade da hipótese H ocorrer, dado que se observa a evidência E.

Para computá-la, precisa-se levar em consideração a probabilidade prévia de H, a probabilidade que se atribui a H caso não tivesse nenhuma evidência. E até que ponto E fornece evidências de que H ocorrerá. Para isto, precisa-se definir um universo que contenha um conjunto exaustivo e mutuamente exclusivo de H_i 's que está tentando ser discriminado. Então, seja:

$P(H_i|E)$ = é a probabilidade de que a hipótese H_i seja verdadeira, dada a evidência E.

$P(E|H_i)$ = é a probabilidade de que se observa a evidência E, dado que a hipótese H_i é verdadeira.

$P(H_i)$ = é a probabilidade *a priori* de que a hipótese i seja verdadeira na ausência de qualquer evidência específica. Estas probabilidades são chamadas de probabilidades prévias, ou simplesmente prévias.

k = número de hipóteses possíveis.

O teorema de Bayes afirma que, fórmula (2):

$$P(H_i / E) = \frac{P(E / H_i) \cdot P(H_i)}{\sum_{n=1}^k P(E / H_n) \cdot P(H_n)} \quad (2)$$

Supondo, que se esteja interessado em examinar as evidências de um tipo de floresta em um local em particular, caso se conheça as probabilidades prévias de se encontrar os vários tipos de florestas e se souber as probabilidades de serem observadas certas características físicas, caso esta floresta esteja presente. Então se pode usar a fórmula de Bayes para computar, a partir das evidências coletadas, que probabilidade existe em se encontrar determinados tipos de florestas. O programa PROSPECTOR, 1972, utiliza-se desta metodologia, ele foi desenvolvido no SRI (*Stanford Research Institute*) Internacional (USA), com o objetivo de auxiliar geologistas na exploração e como ferramenta de identificação mineral.

A chave para usar-se o teorema de Bayes como base para o raciocínio incerto é reconhecer exatamente o que ele diz. Especificamente, quando ele diz $P(A|B)$, está descrevendo a probabilidade condicional de A, dado que a única evidência que se tem é B. Se houver outras evidências relevantes, elas também terão de ser consideradas.

Observe, sem evidências adicionais, a presença de clareiras serve como evidência de floresta aberta. Também serve como evidência de existência de palmeiras, já que a floresta aberta possui palmeiras. Mas supondo que já se saiba que a floresta é aberta. Então a evidência condicional de que ela apresenta clareiras na verdade não diz nada sobre a possibilidade de palmeiras. Alternativamente, somente clareiras ou somente palmeiras constituiria evidência em favor da floresta aberta. Se ambas estiverem presentes, precisará levar ambas em consideração na hora de determinar o peso total das evidências. Mas, como as clareiras e as palmeiras não são eventos independentes, não se pode simplesmente somar seus efeitos. Precisar, isto sim, representar explicitamente a probabilidade condicional que resulta de sua conjunção. Em geral utiliza-se a fórmula (3), dada uma evidência prévia e e algumas novas observações E, necessita-se computar:

$$P(H_i / E) = P(H / E) \cdot \frac{P(e / E, H)}{P(e / E)} \quad (3)$$

Num mundo complexo, o tamanho do grupo de probabilidades conjuntas necessárias para computar esta função cresce em 2^n caso haja n proposições diferentes sendo consideradas, tornando assim, impraticável o uso do teorema de Bayes, pois:

O problema de aquisição de conhecimento é intransponível; um número excessivo de probabilidades precisa ser fornecido.

O espaço necessário para armazenar todas as probabilidades é muito grande.

O tempo exigido para computar todas as probabilidades é muito grande.

Apesar destes problemas, porém, as estatísticas bayesianas são uma base atraente para um sistema de raciocínio incerto. Vários mecanismos foram desenvolvidos. Para explorar seu potencial e, ao mesmo tempo, torná-la tratável, segundo RICH, 1993, são eles: anexação de fatores de certeza às regras; redes bayesianas; teoria de Dempster-Schafer e a lógica difusa. “Há claras limitações em relação a todas as técnicas conhecidas. Em essência o júri ainda não se manifestou”.

A principal idéia é que, para descrever o mundo real, não é necessário usar uma enorme tabela de probabilidades conjuntas na qual listamos as probabilidades de todas as combinações possíveis de eventos, pois a maioria é condicionalmente independente da maioria dos outros, portanto suas interações não precisam ser consideradas. Podendo-se usar, para isto, uma representação mais local, em que se descreve agrupamentos de eventos que interagem.

No protótipo do sistema proposto foi utilizada a definição de probabilidade condicionada, fórmula (4):

$$P(H/E) = P(E \cap H) / P(E) \quad (4)$$

Desde que $P(E) > 0$.

A consequência mais importante da definição dada acima resulta nas fórmulas 5 e 6:

$$P(E \cap H) = P(H/E) P(E) \quad (5)$$

Ou, equivalentemente,

$$P(E \cap H) = P(E/H) P(H) \quad (6)$$

Isto é muitas vezes mencionado como o teorema da multiplicação de probabilidades.

Como exemplo, aplicando-se a metodologia apresentada por este teorema, para calcular a probabilidade da ocorrência conjunta dos eventos D (floresta densa) e

solo_tipo1 (S), apresentados de acordo com a tabela 5.1 (a qual é uma pequena parcela de uma tabela maior, mais completa, a que faz parte da base de conhecimento do protótipo proposto), obtém-se o seguinte resultado:

Fatores	A (Aberta)	D (Densa)	Total
Solo_tipo1	0	1	1
Relevo_tipo1	1	1	2
Total	1	2	3

Tabela 5.1 – Parcela da Base de Conhecimento -Fator Solo e Relevo

A tabela 5.1 mostra o número de fatores ambientais representativos por tipo de floresta, de acordo com esta, uma determinada floresta pode possuir vários fatores ambientais para a sua classificação, no caso específico temos três fatores ambientais; solo_tipo1 = 1 e relevo_tipo1 = 2. Alguns destes fatores ambientais pertencentes a floresta Aberta (A), outros a floresta Densa (D) e outros fatores pertencentes a ambas.

Numa determinada pesquisa, por exemplo, feita *in loco* por um especialista, percebe-se a ocorrência de floresta densa conjuntamente com solo_tipo1. O Especialista deseja saber: “Qual a probabilidade de que seja o fator solo (S) o relevante para a classificação desta floresta, em floresta densa(D)?” Em termos de notação utilizada pelo Teorema de Bayes o que se busca saber é $P(D | S)$, ou seja, a probabilidade de ocorrer floresta densa com solo do tipo 1.

Considerando somente o espaço amostral reduzido S (isto é, 1) :

$P(D | S) = 1 / 2 = 0,5$, que é o fator que ocorre na floresta densa dividido pelo número total de fatores que se tem para a sua classificação. Empregando a definição de probabilidade condicionada, fórmula 4, substituindo as letras H por D (floresta densa) e E por S (solo_tipo1), resulta:

$$P(D/S) = P(D \cap S) / P(S)$$

$$P(D/S) = \frac{1/3}{2/3} = 1 / 2 = 0,5$$

Portanto, no caso da floresta densa a probabilidade de que o fator solo seja o fator o relevante para que esta floresta seja uma floresta do tipo densa é de 0,5, ou seja de 50%. Sendo então o fator solo_tipo1 de suma importância para a classificação da floresta densa (neste exemplo).

Caso a pergunta fosse: “Qual a probabilidade do fator relevo ser o fator relevante?” Por analogia observa-se que o fator relevo, para este caso, também terá valor 0,5, ou seja, 50%, de relevância, como observa-se abaixo.

$$P(D/R) = P(D \cap R) / P(R)$$

$$P(D/R) = \frac{1/3}{2/3} = 1/2 = 0,5$$

Parte de alguns dados sobre a base de conhecimentos acerca dos municípios está representado na tabela 5.2. Cada célula desta, representa um peso em forma de percentual, do tipo de floresta num determinado município. Esta tabela será utilizada para que o especialista, usuário do sistema, faça a conferência e atualização dos resultados obtidos, com a probabilidade condicional.

Fator	OO	A	C	D
Alta Floresta D'oeste	20	39	10	10
Alto Alegre dos Parecis	16	37	4	2
Alto Paraíso	29	69	0	2
Alvorada D'oeste	44	9	14	0
Ariquemes	48	50	1	1

Tabela 5.2 – Parte da Base de Conhecimento do protótipo - Município

No caso do exemplo anterior, se a floresta analisada ficasse no município de Alta Floresta D' Oeste, aquele valor de relevância encontrado $1/2 = 0,5$ seria multiplicado por um peso, que corresponde a representatividade daquele tipo de floresta naquele município. Na tabela 5.2 para Alta Floresta D'Oeste, observa-se 10% do total do município com floresta densa. Aqui deve ser feita uma observação importante, como

são 3 as subdivisões de floresta densa, então o peso será de $10/3$ para termos um valor subdividido igualmente entre os tipos de florestas densas encontradas, isto porque não temos ainda na Base de Conhecimento os valores percentuais de cada subdivisão da floresta por município. Então para este caso obter-se-á o seguinte valor:

$(10/3) (1 / 2) = 1,66$ sendo que este resultado é um valor em porcentagem, então teremos 1,66% de chance de ser esta floresta uma floresta densa, levando-se em consideração o fator solo.

Caso ambos os fatores, solo e relevo fossem levados em consideração, obter-se-á como resposta, aproximadamente 3,33%, o que aumentaria a probabilidade de ser floresta densa no município de Alta Floresta D'Oeste.

Através destes exemplos pode-se observar que quanto mais fatores ambientais existirem para a análise, que correspondam àquele tipo de floresta estudado, maior será o valor percentual encontrado. Dando assim ao especialista um grau de confiabilidade maior na solução encontrada pelo Sistema.

Por isso diversos fatores ambientais serão colocados a disposição do pesquisador, para que possa fazer a opção de inclui-los ou não nos cálculos.

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA PROPOSTO

6.1 Introdução

A comunidade vegetal é considerada como tendo certos atributos (DAUBENMIRE, 1968), estes atributos são convencionados como sendo: fisionomia, composição florística, organização dinâmica, funcionamento, distribuição e evolução (MARTINS, 1990). Para se estudar uma comunidade florística duas etapas são importantes, primeiramente a da identificação **taxonômica**, parte da botânica que estuda a classificação, a identificação e a nomenclatura das plantas, considerada como o alicerce da fitossociologia, pois é a partir da correta identificação das espécies que se poderá fazer um estudo mais elaborado das mesmas, e a segunda etapa que é a da estimativa dos **parâmetros fitossociológicos** referentes àquelas cenopopulações (subconjunto de elementos dentro de uma comunidade, não levando em consideração uma população isolada como as monoculturas (WHITE, 1985)). Os parâmetros, medidas e números representativos são utilizados para descrever a comunidade, para fazer comparações entre comunidades diferentes e para relacionar cenopopulações a alguns fatores ambientais.

6.2 Desenvolvimento

A principal função do protótipo do Sistema Especialista para Diagnóstico Rápido de Florestas Tropicais é classificar as florestas tropicais do Estado de Rondônia. Para que o Sistema possa apresentar o resultado desejado será alimentado com o maior número de dados conhecidos acerca das áreas que serão estudadas, com descrições formais de inventários florísticos de tipos importantes de florestas em diferentes municípios do Estado, realizados pela Tecnosolo, durante o período de 09 de junho de 1996 até dezembro de 1997, seguindo os critérios do projeto RADAMBRASIL e do IBGE. Os dados de entrada se referem a observações feitas in loco por grupos de pesquisadores e especialistas e/ou pela Tecnosolo, todos citados na bibliografia.

Serão utilizados exemplos para a demonstração do funcionamento do Sistema Especialista.

O conhecimento adquirido pelo Sistema através da aquisição do conhecimento, foi armazenado na forma de uma *rede de inferência*: uma rede semântica onde os nodos representam fatos sobre o domínio, e os arcos indicam como a probabilidade associada a um nodo influencia um outro nodo. Um fato pode ser interpretado como um indício da veracidade ou da falsidade de um outro. Existem ainda fatos que são independentes, isto é, não existem arcos entre eles. Apesar da representação em forma de grafo e do uso de probabilidades, os arcos de inferência da rede podem ser interpretados como um conjunto de regras.

Além da rede de inferência, o sistema conta com uma rede taxonômica que descreve relações do tipo classe/elemento e classe/subclasse entre os termos mencionados na descrição dos modelos, por exemplo, **Costa Marques é um tipo de município** e **Mamoré é um tipo de rio**.

O funcionamento da análise utilizando o sistema é dividido em três partes; inicialmente o usuário fornece as informações disponíveis sobre o local a ser analisado estas informações são pesquisadas na Base de Conhecimento, são separadas para depois serem analisadas e comparadas com os dados já disponibilizados sobre cada domínio do tipo estudado. O resultado desta primeira análise é a soma de todos os tipos e a escolha dos mais adequados. Na segunda parte o sistema utiliza as informações disponíveis, através de um mecanismo de encadeamento regressivo, para refinar a análise. Alguns fatos são ditos “perguntáveis”.

Durante o refinamento da análise o sistema poderá solicitar ao usuário as probabilidades associadas aos fatos do evento analisado, os quais sejam relevantes para a situação analisada. Na terceira etapa, o especialista/usuário confirma ou não a solução dada pelo sistema. Caso a resposta não seja aceita pelo especialista o Sistema não **adquire aquele conhecimento**, não inclui esta análise em sua Base de Conhecimento, caso aceita pelo especialista, ele adquire aquele conhecimento.

O processo de aprendizagem, de acordo com HOLZ, (1991), é por tentativa e erro, e existem tipos de programas em IA que aprendem por tal procedimento. Caberá ao especialista humano alimentar o programa com certas informações que permitam ao computador passar pelos movimentos necessários para a determinação da análise final.

No caso do Sistema Especialista para Diagnóstico Rápido de Florestas Tropicais bastará que o especialista confirme a classificação para que o sistema adquira o conhecimento **gravando-o** em uma tabela específica de sua Base de Conhecimentos, para análises futuras utilizando-o inclusive como referência.

6.3 Definição do problema:

Em todas as bibliografias estudadas referentes a taxonomia das espécies vegetais e sobre o tratamento fitossociológico das mesmas, não foi observado estudo da possível existência de padrões quanto a forma dos indivíduos se aloquem no meio em que vivem, i. é, não foi encontrado tratamento dos dados coletados quanto a possível existência de padrões em termos de alocação de espécies arbóreas. Portanto através da análise dos dados referentes a composição florística de uma determinada área poderá ser procurada uma padronização provando ou não sua existência através da observância de homogeneidade ou heterogeneidade em termos de sua distribuição quanto às espécies encontradas.

O estabelecimento de uma floresta, numa determinada região, manifesta uma diversidade de indivíduos arbóreos possivelmente condicionada aos aspectos geomorfológicos do terreno em que se encontram. Nesta direção os fatores ambientais, a rede de drenagem; a topografia do terreno; a composição do solo poderão estar influenciando os padrões de distribuição dos indivíduos arbóreos das diferentes espécies, nos diferentes municípios. Se este enfoque estiver concernente com a realidade, os fatores ambientais de uma determinada região poderão ou não determinar os padrões de distribuição dos indivíduos das diferentes espécies numa formação vegetal (floresta tropical) investigada. Sendo correta estas afirmações uma área amostral terá que ser delimitada por aspectos geomorfológicos. Se isto for devidamente consubstanciado, poderá esta correlação projetar o padrão de distribuição encontrado para a bacia hidrográfica ou mesmo região? Será estudado em que a Inteligência Artificial pode colaborar na congregação das avaliações contábeis (estrutura horizontal/vertical) conjugada com a delimitação espacial da amostragem e sua espacialidade.

6.3.1 Classificação das florestas

A comunidade vegetal de uma determinada região pode ser classificada de diversas maneiras, algumas são: quanto aos fatores naturais tais como, o solo, a água, as espécies existentes a variedade de animais existentes, quanto à densidade, número de indivíduos por unidade de área “uma formação arbórea **densa** na qual as copas se tocam e cobrem pelo menos 60% do solo”, (POGGIANI, 1989), a floresta também pode ser classificada de acordo com a sua finalidade.

A densidade da vegetação exerce grande influência sobre as quantidades de luz e de chuva que penetram em cada uma das camadas da floresta, influenciando assim na existência ou não de estratos sob a floresta, aumentando a composição e diversidade da mesma.

A floresta natural é um sistema ecológico complexo e equilibrado. Normalmente cobre uma vasta extensão de terreno, no qual as árvores são a forma de vida predominante. Após os estudos desenvolvidos pela botânica e com o desenvolvimento da civilização, a floresta passou a ser vista como uma entidade biológica. E como entidade biológica possui uma comunidade vegetal governada por leis naturais próprias, cuja compreensão e conhecimento é essencial para o uso não predatório de seus recursos. A importância biológica da preservação e do estudo desse ecossistema decorre de seus efeitos sobre o clima, o solo, a perenidade das águas, contribuindo assim para a preservação dos recursos naturais ligados à flora e à fauna.

6.3.2 Análise da comunidade vegetal

Uma comunidade vegetal pode ser analisada sob aspectos de sua organização **vertical**, quando se analisa o perfil da estrutura vegetal, que vem a ser o desenho das árvores, seus tamanhos e sua densidade.

A estrutura da floresta pode ser analisada de acordo com a sua organização **vertical**, através do perfil ou, de acordo com a sua organização horizontal onde se consideram as projeções das copas sobre o solo ou então a distribuição espacial dos troncos das árvores geralmente com o DAP (diâmetro à altura do peito) maior do que 10 cm.

6.4 Aquisição do conhecimento

Primeiramente foram feitos estudos e entrevistas orais com especialistas da área de biologia, botânica e química, bem como a leitura e interpretação de muitas referências bibliográficas de autores conceituados, citados na referência bibliográfica, para a definição do tipo de conhecimento seria necessário o protótipo adquirir.

Feita a análise de quais seriam os conhecimentos necessários para que ao final de uma pesquisa o protótipo classificasse o tipo de floresta existente em uma determinada análise. Neste processo a pessoa do especialista é muito necessária, pois somente ele tem o conhecimento necessário para indicar o que é ou não importante para uma análise de comunidades florísticas.

6.5 Representação do conhecimento

Para alimentar o sistema com o conhecimento necessário, foram utilizadas tabelas de dados, as quais são facilmente manipuladas e gerenciadas, podendo estas ser continuamente alimentadas e reorganizadas, quer por programadores ou por especialistas.

Nas tabelas foram atribuídos pesos booleanos a cada tipo de fator ambiental analisado, sendo o valor **1** (um) atribuído a presença de determinado fator ambiental e o **0** (zero) a ausência deste fator. Ao final os pesos são somados e feitos ajustes lógicos e estatísticos para que estes pesos sejam transformados em graus de pertinência e confiabilidade. As tabelas de pesos do Sistema seguem o descrito abaixo, tabela 6.1.

- | |
|--|
| 1. TERRENOS TERCIÁRIOS <u>AUSÊNCIA</u> DE FLORESTAS OMBRÓFILAS ABERTAS ALUVIAIS |
| 2. TERRENOS TERCIÁRIOS <u>AUSÊNCIA</u> DE FLORESTAS OMBRÓFILAS TERRAS BAIXAS |
| 3. TERRENOS TERCIÁRIOS <u>AUSÊNCIA</u> DE FLORESTAS OMBRÓFILAS SUBMONTANAS |

4. TERRENOS TERCIÁRIOS <u>AUSÊNCIA</u> DE FLORESTAS OMBRÓFILAS COM BAMBU
5. TERRENOS TERCIÁRIOS <u>AUSÊNCIA</u> DE FLORESTAS OMBRÓFILAS DENSAS ALUVIAL
6. TERRENOS TERCIÁRIOS <u>PRESENÇA</u> DE FLORESTAS OMBRÓFILAS DENSAS/TERRAS BAIXAS
7. ...

Tabela 6.1- Representação escrita do conhecimento implementado no Sistema.

Para a Base de Conhecimento, será representado na forma abaixo, demonstrada na tabela 6.2, através de valores booleanos, para possíveis cálculos.

Fator	Aa	Ab	As	Au	Da	Db	Ds	Fa	...
Terrenos terciários	0	0	0	0	0	1	0	0	...

Tabela 6.2- Conhecimento Implementado no Sistema através de valores booleanos.

O Banco de Conhecimentos utiliza o código das formações florestais e a metodologia de classificação da TECNOSOLO (1998), descritas na tabela 6.3.

Aa	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial
Ab	Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas
As	Floresta Ombrófila Aberta Submontana
Au	Floresta Ombrófila Aberta com Bambu
Da	Floresta Ombrófila Densa Aluvial
Db	Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas
Ds	Floresta Ombrófila Densa Submontana
Fa	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial
Fs	Floresta Estacional Semidecidual Submontana

Pz	Formação Pioneira sob Influência Fluvial de Buriti
Pa	Formação Pioneira sob Influência Fluvial Arbórea
P	Formação Pioneira sob Influência Fluvial Arbustiva e/ou Arbórea
Pb	Formação Pioneira sob Influência Fluvial Arbustiva
Ph	Formação Pioneira sob Influência Fluvial Herbácea e/ou Graminóide
Cd	Savana Florestada
Ca	Savana Arborizada
Cp	Savana Parque
ON	Contato Floresta Ombrófila/ Floresta Estacional Semidecidual
SN	Contato Savana/ Floresta Estacional Semidecidual
SO	Contato Savana? Floresta Ombrófila
L	Campinara/ Campina de Areia Branca
U	Formação Aluvial de Pequeno Porte (Umirizal)

Tabela 6.3- Classificação das Florestas segundo a TECNOSOLO.

6.6 Regras de Inferência utilizadas pelo sistema

Classificação das florestas tropicais seguindo a estrutura de uma árvore, subdividindo-a em níveis.

1. Florestas

1.1. Tropicais

1.1.1. Ombrófilas: florestas úmidas, sempre verdes, ocorrem sobre latossolos, podzólicos, predominância solos terciários.

1.1.1.1. Abertas

- Dossel descontínuo – folhas ausentes entre 30% a 40%
- Espécies associadas:

- Palmeiras
 - Cipós
 - Bambus
 - *Phenakospermum guianense* ⇒ sororoca
-

1.1.1.1.1. Aluvial/ Área inundável

- Tipo de solo
 - Hidromórficos
 - Rasos
 - Mal drenados
 - Altitude – até 100m
 - Próximo dos rios:
 - Guaporé
 - São Miguel
 - Corumbiára
 - Cautário
- Densidade maior do que 600 árvores/hectare
- Espécies comuns:
 - *Euterpe precatória* ⇒ açáí
 - *Iriatea ventricosa* ⇒ paxiúba barriguda
 - *Soratea exorrhiza* ⇒ paxiúba comum

- *Phenakospermum guianense* ⇒ sororoca

- Espécies tolerantes a inundação:

Viola surinamensis

Viola crebinervia

Iriartea ventriculosa

Euterpe

Mauritia

Sarcaulus brasiliensis ⇒ jaraí

Calycophyllum brasiliense ⇒ jacareúba

1.1.1.1.2. Terras Baixas

- Tipo de solo
 - Latossolos
 - Medianamente profundos
 - Bem drenados
 - Zona de transição entre Amazônia
- Diversidade até 180 espécies
- Densidade entre 400 e 500 árvores/hectare
- Espécies de palmeiras comuns:
 - *Attalea maripa* ⇒ inajá
 - *Attalea mariana* ⇒ coco cabeçudo

- *Attalea phalerata* ⇒ babaçu
 - *Geonoma spp.*
 - *Astrocaryum mumbaca*
 - *Bactris sp.*
- Espécies de árvores comuns:
- *Cedrelinga catanaeformis* ⇒ cedrorana
 - *Switenia macrophylla* ⇒ mogno
 - *Torresia acreana* ⇒ cerejeira
-

1.1.1.1.3. Sub-montana

- Tipo de solo
 - antigos
 - Rasos
 - Afloramento de rochas
 - Declive até 40%
- Espécies de palmeiras comuns:
 - *Attalea phalerata* ⇒ babaçu
 - *Attalea mariana* ⇒ coco cabeçudo
 - *Attalea maripa* ⇒ inajá
- Espécies emergentes do dossel:
 - *Dipteryx odorata* ⇒ cumaru

- *Hieronima laxiflora* ⇒ margonçalo
- *Poecilanthe effusa* ⇒ gema de ovo

1.1.1.1.4. Com bambu

- Dossel descontínuo – folhas ausentes até 60%
- Tipo de solo
 - Profundos
 - Deficiência hídrica
- Próximo do rio:
 - Roosevelt
- Diversidade alta
- Densidade entre 200 e 250 árvores/hectare
- Espécie de bambu comum:
 - *Guadua superba* ⇒ bambu

1.1.1.2. Densas

- Dossel contínuo – fechado
- Espécies associadas:
 - Árvores na abóbada

1.1.1.2.1. Aluvial/ Área inundável

- Tipo de solo

- Hidromórficos
- Rasos
- Mal drenados
- Próximo dos rios:
 - Mamoré
 - Madeira
 - Guaporé
 - Cautário
 - Ouro Preto
- Densidade variável
- Espécies comuns:
 - *Euterpe precatória* ⇒ açai
 - *Iriatea ventricosa* ⇒ paxiúba barriguda
 - *Soratea exorrhiza* ⇒ paxiúba comum

1.1.1.2.2. Terras Baixas

- Tipo de solo
 - Terra firme
 - Altitude até 100m
 - Norte do Estado domínio Amazônico e Acreano
- Dossel de 30m a 35m

- Emergentes de até 45m

 - Espécies de árvores comuns:
 - *Parkia spp*

 - *Bertholletia excelsa*

 - *Dialium guianense*

 - *Brosimum spp.*

 - *Pouteria ssp*

 - *Protium spp*
-

1.1.1.2.3. Sub-montana

- Tipo de solo
 - Rasos

 - Antigos

 - Arenosos

 - Planaltos

- Serras
 - Parecis

 - Pacaas Novos

- Espécies de comuns:
 - Cipós

 - Bambus

- Espécies:
 - *Tetragastris altissima* ⇒ breu sucuruba
 - *Himenaea courbaril* ⇒ jatobá
 - *Dialium guianensis* ⇒ jutaí pororoca
 - *Vochysia innundata* ⇒ quaruba cedro
 - *Cedrelinga catanaeformis* ⇒ cedrorana

1.1.2. Estacionais

1.1.2.1. Semidecíduais

- Dossel com emergentes

1.1.2.1.1. Aluvial

- Tipo de solo
 - Hidromórficos
 - Inundáveis
- Planícies com altitudes de até 600m
- Espécies comuns:
 - *Sapium marmier*
 - *Maquira sclerophyllai*
 - *Tabebuia sp.*
 - *Bombax sp.*
 - *Hasseltia floribunda*

1.1.2.1.2. Montana

- Tipo de solo
 - Rasos
 - Rochosos
 - Podzólicos
- Planaltos
- Altitude de 600 metros
- Espécies de árvores comuns:
 - *Schefflera morotoni*
 - *Decussocarpus piresii* ⇒ pinheirinho

1.1.2.1.3. Submontana

- Serras
 - Parecis
 - Pacaás Novos
 - Uopianes

1.1.3. Formação Pioneira sob Influência Fluvial

- Terrenos quaternários
 - Dossel uniestratificado
-

1.1.3.1. Buriti

- Tipo de solo
 - Úmidos
- Relevo
 - planícies
 - Altitude – até 100m
 - Próximo dos rios:
 - Mequens
 - São Miguel
 - Corumbiára
- Espécies associadas:
 - *Mauritia flexuosa* ⇒ Buriti
 - *Mauritiella armata* ⇒ caranãs

1.1.3.2. Arbórea

- Tipo de solo
 - Hidromórficos
 - recentes
 - Planície dos rios
- Espécies comuns:
 - *Virola surinamensis*

- *Symphonia globulifera*
- *Triplaris sp*

1.1.3.3. Arbustiva ou Arbórea

- Tipo de solo
 - Hidromórficos
- Relevo
 - plano
 - Altitude – inferior a 100m

1.1.3.4. Fluvial Arbustiva

- Relevo
 - plano
 - Altitude – até 50m
- Espécies comuns:
 - *Mauritia flexuosa* ⇒ Buriti
 - *Mauritiella armata* ⇒ caranãs

1.1.3.5. Herbácea e/ou Graminóide

- Dossel descontínuo – folhas ausentes até 60%
- Tipo de solo
 - Aluviais
- Relevo

- plano
- Altitude – até 50m
- Espécie de gramíneas comum:
 - *Axonopus purpusii*
 - *Oryza perennis*
 - *Cyperus giganteus*

1.1.4. Savana/Cerrados

1.1.4.1. Florestada (Cerradão)

- Tipo de solo
 - Ácidos
 - Pobres
 - Mediamente drenados
- Espécies comuns:
 - *Browdia virgilioidesí*
 - *Coccoloba latifolia*
 - *Andira sp.*
 - *Byrsonima crassa*

1.1.4.2 Arborizada (Cerrado Arbóreo-Arbustivo)

- Espécies de comuns:

- *Curatella americana*
 - *Pseudobombax sp.*
 - *Qualea sp.*
 - *Tabebuia rosea*
-

1.1.4.3 Parque (Campo Cerrado)

- Tipo de solo

- Pobres
- Rasos
- Drenagem deficiente
- Areias quartzosas

- Espécies comuns:

- *Curatella americana*
 - *Vochya sp.*
-

1.1.4.4 Gramíneo-lenhosa (Cerrado herbáceo-arbustivo: Campos limpo, sujo e de murudu)

- Tipo de solo

- Arenosos

- Pobres
- Deficiência hídrica
- Espécies comuns:
 - *Aristida sp.*
 - *Panicum sp.*
 - *Hyparrhenia rufa*
 - *Echinochloa sp*

1.1.5. Contato

1.1.5.1. Ombrófila/Floresta Estacional Semidecidual

- Ocorrência de Florestas Ombrófilas
- Ocorrência de Florestas Estacional Semidecidual
- Chapada dos Parecis
- Espécies comuns:
 - *Dialium guianense* ⇒ pororoca
 - *Neoxythece robusta* ⇒ guajará
 - *Thyrsodium paraense* ⇒ breude leite
 - *Hasseltia floribunda* ⇒ juá

1.1.5.2. Savana/Floresta Estacional Semidecidual

- Tipo de solo

- Deficiência hídrica
- Espécies comuns:
 - *Piptadenia peregrina* ⇒ angico
 - *Tabebuia serratifolia* ⇒ pau d'arco amarelo
 - *Chorisia pubiflora* ⇒ barriguda
 - *Curatella americana*
 - *Atallea phalerata* ⇒ babaçu

1.1.5.3. Savana/Floresta Ombrófila

- Tipo de solo
 - antigos
 - paleozóico
 - mezozóico
 - pleistoceno
 - Pobres
- Chapada dos Parecis
- Espécies de árvores comuns:
 - *Humiria floribunda* ⇒ umiri
 - *Curatella americana* ⇒ lixeira
 - *Callophyllum brasiliense* ⇒ jacareúba
 - *Vochysia sp* ⇒ pau de tucano

- *Mauritia flexurisa* ⇒ buriti

1.1.6. Campinara/ Campina de Areia Branca

- Tipo de solo
 - Planícies terciárias
 - Terra firme
 - Solos de areia branca
 - Espécies associadas:
 - *Humiria balsamifera* ⇒ umiri
 - *Ouratea castanaefolia*
 - *Himatanthus sucuuba*
 - *Pagamea sp.*
 - *Prodosina glicycarpa*
-

1.1.7. Formação Aluvial de Pequeno Porte (Umirizal)

- Tipo de solo
 - Aluvião
 - Pobres
 - Mal drenados
 - Rasos

- Bacias dos rios
 - Madeira
 - Guaporé
- Solos de areia branca
- Espécies associadas:
 - *Humiria balsamifera* ⇒ umiri
 - *Pera sp.*
 - *Pagamea sp*
 - *Qualea sp.*

Todos os dados acima foram colocados em forma de tabelas, na Base de Conhecimento do Sistema Especialista para Diagnóstico Rápido de Florestas Tropicais.

Após o desenvolvimento do protótipo final do Sistema Especialista, o aplicativo passará a ser utilizado por usuários que não devem ter como objetivo principal, modificar o programa, portanto ele deve poder ser executado independente do programa com a linguagem utilizada para o seu desenvolvimento. A linguagem é facilmente apreendida e possui uma boa interface gráfica, portanto facilmente programável.

O programa será compilado e poderá ser executado sem o *runtime* (rotina que interpreta o programa desenvolvido). O programa compilado não necessitará de outro programa para ser interpretado, bastando somente conhecimentos básicos de computação por parte do usuário.

6.6.1 Exemplos aplicados ao protótipo do Sistema Especialista:

Foram utilizados exemplos, retirados aleatoriamente, de trabalhos feitos por especialistas e pesquisadores na área de botânica, sobre estudos fitossociológicos do Estado de Rondônia. Os pesquisadores utilizados foram: Augusto S. P. da Silveira, Rosimar Ibiapina Batista e José Maria Botelho, bem como análises desenvolvidas no Estado pela TECNOSOLO.

Cada um destes exemplos já se encontra solucionado, pelo próprio pesquisador. Abaixo serão apresentados os fatores ambientais encontrados pelos pesquisadores, de acordo com a seguinte classificação; Município, Espécies arbóreas encontradas, Solo, Relevo, Serra, Rios e Diversidade.

O protótipo apresentará esta mesma classificação em sua tela, da seguinte forma: no campo **Município**, aparecerão todos os municípios do Estado; no campo **Espécies arbóreas**, aparecerá a classificação das espécies de árvores encontradas em Rondônia, utilizando o nome científico e o nome popular das mesmas; no campo **Solo** estarão listados os tipos de solos encontrados no Estado; idem para o campo **Relevo, Serra, Rios**; no campo **Diversidade** teremos os valores de números de árvores por unidade de área. O usuário alimentará o sistema através da inclusão dos dados e através destes o protótipo poderá apresentar a solução do problema proposto, ou seja, classificar o tipo de Floresta Tropical em questão.

Exemplo 1: Exemplo retirado da dissertação de mestrado do Prof. Ms. Augusto Sérgio Pinto da Silveira. Análise feita no Município de Guajará-Mirim. Os dados para os quais não foram encontrados valores, foram deixados em branco. Seguem os dados coletados pelo pesquisador:

Município: Guajará-Mirim

Espécies arbóreas encontradas com maior frequência:

1. *Orbygnia martiana* ;
2. *Oenocarpus bataua* 20% dos indivíduos amostrados;

3. *Trattinickia burserifolia* (*Burseraceae*) com 19%;
4. *Fabaceae* com 7% ;
5. *Caesalpinaceae* com 5% e
6. 49% de outras com números baixos de indivíduos por espécies.

Solo: antigo, litólicos, afloramentos rochosos, areias quartzosas, podzólico e latossolo.

Relevo: tabulares.

Serra: Pacaás Novos.

Rio: Mamoré e Jamarí.

Diversidade:

Resultado esperado de acordo com LISBOA (1989) e SILVEIRA (1998) é a predominância, nesta serra, de Floresta Aberta sobre a Vegetação de Savana Arbórea Densa (Cerradão) e de Savana Arbórea Aberta (Campo Cerrado) e menor frequência Floresta Densa.

A área estudada por SILVEIRA é de Floresta Densa.

Resultado obtido pelo protótipo:

Os dados indicam tratar-se de uma floresta Ombrófila Densa Aluvial (Da), com 33,33% de possibilidade. O município selecionado, Guajará-Mirim, possui 1% de floresta do tipo Ombrófila Densa e mais 5% de Contato.

Interpretação do resultado obtido:

Observa-se que o protótipo, neste exemplo, atinge o objetivo, classificando a floresta corretamente, apresentando um percentual de 33,33% para floresta Densa Aluvial.

Apresenta ainda as porcentagens que na classificação, aparecem o tipo Floresta Densa. Uma delas é a floresta de Contato, este tipo está no limite entre dois ou mais tipos de floresta, no caso incluindo assim Floresta Densa.

Exemplo 2: Exemplo retirado do livro **Rondônia Espaço Geográfico** de BATISTA e BOTELHO, página 28. Aqui se percebe que não existe um município específico, portanto será utilizada a classificação geral do Estado. Os dados para os quais não foram encontrados valores foram deixados em branco. Seguem os dados coletados pelo pesquisador:

Município: (Rondônia)

Espécies arbóreas encontradas com maior frequência:

1. Copaíba;
2. Castanheira – *Bertholletia excelsa*
3. Palmeiras;
4. Bambús e
5. Cipós.

Solo: antigo, afloramento rochosos e litólicos . Afloramentos rochosos,

Relevo: planaltos e planícies, interflúvios do terciário.

Serra:

Rios:

Diversidade:

Classificação apresentada pelos autores do livro citado é de Floresta Densa.

Resultado obtido pelo protótipo: Os dados indicam tratar-se de floresta do tipo Floresta Ombrófila Densa Aluvial (Da), com 30% de possibilidade, 30% de possibilidade de ser Floresta Densa Terras Baixas e 25% de possibilidade de Floresta Ombrófila Densa Submontana. Portanto trata-se de Floresta Densa, como a classificação dos autores. O município selecionado, Rondônia, possui 4% de Floresta do tipo Ombrófila Densa e mais 8% de Floresta de Contato.

Exemplo 3: exemplo retirado da apostila da TECNOSOLO, inventário de n.º 33, pág. 60.

Município: Alta Floresta D' Oeste

Espécies arbóreas predominantes:

1. *Mauritia flexuosa*;
2. *Luhea sp*;
3. *Bombax sp*;
4. *Tabebuia*.

Solo: alagado perennemente (aluviais)

Relevo:

Serra:

Rio:

Diversidade:

Resultado Obtido pelo inventário é de Formação Pioneira Aluvial de Buritizal.

Resultado obtido pelo protótipo foi: Os dados indicam tratar-se de floresta do tipo Formação Pioneira sob Influência Fluvial de Buriti (Pz), com 41,6% de possibilidade, de Floresta Estacional Semidecidual Aluvial Formação Pioneira sob

Influência Fluvial de Buriti (Fa) e de Formação Pioneira sob Influência Fluvial Arbustiva (Pb) de 16,6% de possibilidade O município selecionado Alta Floresta D' Oeste, possui 15 % de Floresta do tipo Formação Pioneira sob Influência Fluvial de Buriti e mais 2% de Floresta Estacional.

6.7 Validação do Sistema

Qualidade de Software é tema muito discutido atualmente na Informática, existem muitas definições do que realmente seja a qualidade de um programa. Segundo Barreto, 1998, alguns autores definem a qualidade de um programa como sendo o fato do software estar em conformidade com os requisitos solicitados pelos clientes, em outros trabalhos a definição é colocada como sendo a capacidade de prever e satisfazer os desejos do cliente. Devido ao fato da existência de tantas e tão diferentes definições foram criadas normas que regulamentam e definem testes para saber se um software tem ou não qualidade.

A ISO (Organização Internacional de Padrões) publicou uma norma que representa a padronização mundial atual, para a qualidade de produtos de software que é a ISO/IEC 9126– Tecnologia de Informação – Avaliação de produto de Software, publicada em 1991, a qual foi traduzida em 1996 como NBR 13596. Testes e requisitos de qualidade estabelecem quais são os requisitos de qualidade para pacotes de software e instruções de como testar um pacote de software, com relação aos requisitos pré-estabelecidos.

De acordo com a NBR 13596, estas devem ser as características de um bom software:

Funcionalidade – deve satisfazer os requisitos iniciais, as necessidades dos usuários quanto à adequação ao problema proposto e principalmente quanto à segurança de acesso.

Confiabilidade – deve ser imune às falhas, sendo passível de recuperação de dados.

Usabilidade - deve ser de fácil utilização e de fácil compreensão quanto a sua aplicação.

Eficiência - deve ser rápido e conciso.

Manutenibilidade - deve ser facilmente modificado, em sua programação, e testado muitas vezes para correção de falhas.

Portabilidade - fácil de utilizar, instalar em outro ambiente computacional.

A qualidade de um software começa e termina com o cliente. Necessário, portanto se faz ouvir o usuário por intermédio de pesquisas, de registro e acompanhamento das possíveis reclamações na medida em que os dados forem sendo inseridos.

Segundo a autora Célia Joseli do Nascimento, com o trabalho que apresentou durante QUATIC'2001– 4º Encontro para a Qualidade nas Tecnologias de Informação e Comunicações Lisboa – Portugal em março de 2001, “o grande desafio é a inserção do Brasil na nova “economia digital”, onde o setor de software desponta como agente crítico da participação em um cenário altamente competitivo desta economia globalizada e transnacional.” E os principais métodos para prevenção de defeitos, para o processo apontados pela pesquisa realizada pela autora são: adoção de normas e padrões da empresa, prototipação, análise crítica conjunta e gerência de projetos, assinalados por mais de 40% das empresas pesquisadas.

Segue ainda a autora que dentre os métodos para prevenção classificados como "avançados" para o processo de desenvolvimento de software, encontram-se a prototipação (44%), o reuso (24%) e as auditorias (21%), além da gestão de configuração, adoção de medições da qualidade (métricas) e Joint Application Design - JAD com percentuais inferiores a 15%.

É observado que os métodos para detecção de defeitos são utilizados mais intensivamente do que os métodos de prevenção, incluindo diferentes categorias de

testes, especialmente, testes funcionais, testes de campo, testes de aceitação, testes do sistema integrado e testes de integração, e validação.

Quanto ao teste de validação do protótipo do Sistema Especialista para Diagnóstico Rápido de Florestas Tropicais, aqui proposto, adotamos ouvir o usuário por intermédio de pesquisa e da utilização do mesmo. Com a utilização chegar-se-á a uma nova aquisição de conhecimento, com um aumento na base de dados, eliminando o maior número possível de falhas. Este tipo de validação deverá ser feito através de especialistas da área de biologia, com o uso continuado do protótipo e o registro dos erros ocorridos, para que estes erros possam ser tratados por um programador e corrigidos. Quanto à eficiência, o protótipo é rápido quanto à classificação, mas carece ainda de aprimoramento. É facilmente instalado em outros computadores e em outros ambientes, possuindo assim portabilidade.

CONCLUSÃO

7.1 Considerações finais

Após ter sido montada a Base de Conhecimentos, com os conhecimentos específicos de especialistas das áreas de biologia, botânica e ecologia e principalmente de levantamento bibliográfico sobre os parâmetros fitossociológicos e classificações taxonômicas, foram criadas tabelas referentes a fatores ambientais, relevantes à classificação das florestas. As tabelas são: tipo de solo, espécies arbóreas encontradas, relevo da área analisada, município em que se localiza a vegetação analisada, proximidade ou não a rios, diversidade florística e número de árvores por unidade de área. Dotado foi o Sistema de regras de inferência para a chegada de conclusões quanto ao tipo de Floresta e sua classificação

O protótipo do Sistema Especialista para Diagnóstico Rápido de Florestas Tropicais desempenha um importante e relevante papel para a análise e levantamento dos tipos florestas existentes no Estado de Rondônia, tendo em vista principalmente, a não existência de ferramentas para o auxílio de classificação de Florestas Tropicais.

As florestas desempenham importante papel para que o ecossistema permaneça equilibrado e estável, conservando a umidade, a temperatura, a qualidade do ar e a abundância dos seres vivos que nela residem. Também é de suma importância o estudo das florestas para o conhecimento dos fatores que influenciam a existência de doenças tropicais, cujos transmissores são principalmente os mosquitos, os quais necessitam de um ambiente propício para se reproduzirem, alguns só em determinadas espécies de plantas. Outras doenças ocorrem devido à existência de determinados fatores locais que poderão ser detectados ao ser feito o levantamento florístico da região estudada.

7.2 Proposta de trabalhos futuros

O Sistema Especialista prototipado faz a análise de Florestas Tropicais localizadas no Estado de Rondônia, podendo ser sua Base de Conhecimentos ampliada,

através de dados de outros estados, para poder diagnosticar qualquer tipo de floresta de qualquer outro Estado ou País.

Outra aplicação para este protótipo, que no momento ainda não foi implementada, e que poderá ter relevante importância sócio-econômica para o Estado é a análise da vegetação sob o aspecto econômico, utilitário e de reflorestamento. Projetando o valor madeireiro bruto e a que tipo de uso se presta determinadas espécies, as quais poderão ser reflorestadas após um histórico prévio quanto ao manejo e tempo para poderem ser usadas. Também o aspecto da utilização química de cada espécie poderá ser analisado, desde que o Banco de conhecimentos seja ampliado com dados relevantes para estes usos.

Discutidos alguns aspectos básicos do projeto deste Sistema Especialista, e mostrados os métodos utilizados para a sua implementação, foram obtidos resultados satisfatórios, quando da análise de exemplos retirados de referências bibliográficas. Assim, este protótipo simboliza estas e muitas outras considerações feitas durante o trabalho através da proposta de um ambiente facilitador para a classificação das florestas tropicais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABSY, Maria Lúcia; PRANCE, Ghillean T; RODRIGUES, William A. **Inventário Florestal de um hectare de mata de terra firme km30 da estrada Manaus – Itacoatiara**. Acta Amazônica, 6(1): 9-35. 1976.
- ABSY, Maria Lúcia; PRANCE, Ghillean T.; BARBOSA, Edelcílio Marques. **Inventário Florístico de Floresta Natural na área da estrada Cuiabá - Porto Velho (BR 364)**. Acta Amazônica, 16/17 (n. ° único) Sup. 85-121. 1986/87.
- ASSIS, Selma Glitz de. **Aquisição de Conhecimento para sistemas baseados em conhecimento: Uma Experiência de Engenharia de Software**; Tese de mestrado, Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1992.
- BARRETO, Jorge Muniz. **Inteligência Artificial no Limiar do século XXI**. Florianópolis: J. M. Barreto, 1997.
- BARRETO JUNIOR, José **Qualidade de Software**, on line: <http://www.barreto.com.br/qualidade/qualidad.htm>, acessado em 16 de novembro de 1998.
- BATISTA, Rosimar Ibiapina e BOTELHO, José Maria Leite– **Rondônia espaço geográfico**.
- BECCARI, Álfio. Mecatrônica: a união faz o robô. **Revista Galileu**, Rio de Janeiro, Editora Globo, on-line: <http://galileu.globo.com/edic/89/seufuturo1.htm>, acessado em 14 de fevereiro de 2000.
- BUCKMANN, Harry. **Natureza e propriedade dos solos**. 6ª ed. Freitas Bastos, Rio de Janeiro-RJ, 1983.
- CHAIBEN, Hamilton. **Inteligência Artificial na Educação**, on-line: <http://www.cce.ufpr.br/~hamilton/cce.shtml> , acessado em 10 de agosto de 2000.
- CHAIBEN, Hamilton. **Um Ambiente Computacional de Aprendizagem Baseada em Redes Semântica**. Tese de mestrado. Paraná. CEFET/PR, 1996.
- DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA - **Universidade Estadual de Maringá**- on line: <http://www.din.uen.br>, acessado em Agosto de 2000, acessado em 23 de agosto de 2000.
- DEPARTMENT OF HEALTH INFORMATICS - Houston, on line: <http://www.sahs.uth.tmc.edu/kajohnson>, acessado em 02 de julho de 2000.

- ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA – “Luiz de Queiroz”- Departamento de Ciências Florestais, on line: <http://www.esalq.usp.br>, acessado em 12 de agosto de 2000.
- FEIGENBAUM, Edward A. e BARR, Avron . **The Handbook of Intelligence** –Vol 1: 1981.
- FERRONI, Marcelo. **O mundo dominado pelos robôs**. Revista *Galileu*. Rio de Janeiro: Editora Globo, 112, nov. 2000.
- GOLEMAN, Daniel, Phd. **Inteligência emocional- a teoria revolucionária que redefine o que é ser inteligente**. Editora Objetiva- Rio de Janeiro- RJ. 1995.
- GOELDI, Emílio - **Museu Paraense** on - line: <http://www.museu-goeldi.br>, acessado em setembro de 2000.
- HOLZ, Frederick. **Sistemas Especialistas: programado em Turbo C**. Rio de Janeiro: Campus, 1991.
- IPEF – **Instituto de pesquisa e estudos florestais**-on line:<http://www.ipef.Br>, acessado em 12 de setembro de 2000.
- JOLY, Aylton Brandão. **0 Botânica- introdução à taxonomia vegetal**- 11 ed. São Paulo: Editora Nacional, 1993.
- KELLER, Robert – **Tecnologia de Sistemas Especialistas: desenvolvimento e aplicação** - São Paulo: Makron, MacGraw-Hill, 1991.
- KENT, Martin ; COKER, Paddy. **Vegetation description and analysis – A practical approach**. John Wiley & Sons – New York. 1994.
- KLIR, George J. **Fuzzy set teory: foundations and applications**. Prentice Hall, USA.1997.
- LIPSON, Hod e POLLACK Jordan B. **The Golem Project** –<http://golem03.cs-i.brandeis.edu/index.html>, acessado em 14 de agosto de 2000
- LIMA, Abnael Machado. **Terras de Rondônia Geografia Física e Humana**. 3ª ed., Porto Velho - RO. OFF - Editora Gráfica Ltda., 1997.
- LISBOA, Pedro L. B. **Estudo florístico da vegetação arbórea de uma floresta secundária, em Rondônia**. Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, série Botânica, 5(2).1989
- LISBOA, Pedro L. B. ; LISBOA, Regina C. L. **Inventários florestais em Rondônia . I – Rodovia Presidente Médici - Costa Marques (RO-429), km90** – 1984.

- LISBOA, Pedro L. B. ; MACIEL, Ubirajara N. - **Estudo florístico de 1 hectare de mata de terra firme no Km 15 da rodovia Presidente Médici - Costa Marques(RO-429), Rondônia.** Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, série Botânica 5(1).1989.
- LISBOA, Pedro L. B. ; SALOMÃO, Rafael de Paiva. **Análise Ecológica da vegetação de uma floresta pluvial tropical de terra firme, Rondônia.** Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, série Botânica 4(2).1988.
- LISCHNER, Ray . **Delphi : o guia** essencial- Rio de Janeiro: Campus, 2000.
- MARTINS, Fernando Roberto. **Aspectos da organização de uma comunidade arbórea florestal: um estudo prático-** Departamento de Botânica - Instituto de Biologia/ UNICAMP – Curso de Ciências Biológicas- Ecologia Vegetal .1996 – Campinas –SP.
- MARTINS, Fernando Roberto. **Estrutura de uma Floresta mesófila.** Editora da UNICAMP. Série Teses. Campinas. 246p.
- MEIRELLES, Fernando de Souza. **Informática: novas aplicações com microcomputadores** – 2. Ed – São Paulo: Makron Books, 1994.
- MEYER, Paul L. **Probabilidade: aplicações à estatística** - Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978.
- NASCIMENTO, Célia Joseli do, **A Evolução da Qualidade no Setor de Software Brasileiro:Quatro Biênios Medindo e Acompanhando Indicadores de Gestão** – Lisboa / Portugal , on-line: <http://www.mct.gov.br/sepin/dsi/qualidad/certiso.htm> acessado em 05 de maio de 2001.
- POGGIANI, Fábio. **Estrutura, funcionamento e classificação das florestas implicações ecológicas das florestas plantadas.** Universidade de São Paulo - Escola Superior De Agricultura “Luiz De Queiroz” - Departamento de Ciências Florestais.1989.
- PULLEGA, Silvia. **Fitosociologia**, on-line: <http://www.greentarget.com/Greentarget/bot2/fitosociologia.html>, acessado em 02 de setembro de 2000.
- RICH, Elaine e KNIGHT, Kevin. **Inteligência Artificial.** 2.^a edição.Editora Makron Books, 1994.
- ROLSTON, David W. **Principles of Artificial Intelligence and Expert Systems Development** . New York, Mac Graw Hill. 1988.
- RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. **Artificial Intelligence: A Modern Approach.** Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995.
- SALOMÃO, Rafael de Paiva; ROSA, Nelson de Araújo - **Análise da vegetação de floresta pluvial tropical de terra firme, pelo método dos quadrantes: Serra**

Norte, Carajás, PA. Anais do XXXIX Congresso Nacional de Botânica, Vol 2(1), 1989.

SCHWABE, D.: CARVALHO, R. Lins de. **Engenharia do Conhecimento e Sistemas Especialistas**. Edição Preliminar. Editora Kapelusz - EBAI, 1987.

SILVEIRA, Augusto Sérgio Pinto da. **Estrutura, composição e importância socioeconômica da vegetação de mata de terra firme na Serra dos Pacaás Novos, município de Guajará-Mirim, no Estado de Rondônia**. Dissertação de Mestrado – Cuiabá – 1998. Universidade Federal do Mato Grosso- Instituto de Biociências – Curso de Ecologia e Conservação da Biodiversidade. 56p.

TECNOSOLO. **Diagnóstico Sócio – Econômico - Ecológico do estado de Rondônia e assistência técnica para formulação da Segunda aproximação do zoneamento sócio-econômico-ecológico**. – Julho 1998.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA <http://www.das.ufsc.br/gia/softcomp/node36.html>, acessado em 12 de agosto de 2000.

WERNECK, Vera Maria Benjamim. **Apostila de Inteligência Artificial**. On-line: http://www.ime.uerj.br/projeto/engenharia/ap_ia_1, acessado em 11 de agosto de 2000.