

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SISTEMA DE APOIO AO PROCESSO DE DECISÃO PARA A
GESTÃO DO USO AGRÍCOLA DA TERRA**

MONICA LURI GIBOSHI

**CAMPINAS – SP
Fevereiro - 2005**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**SISTEMA DE APOIO AO PROCESSO DE DECISÃO PARA A
GESTÃO DO USO AGRÍCOLA DA TERRA**

Tese de doutorado submetida à banca examinadora para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável.

MONICA LURI GIBOSHI

Orientador: Prof. Dr. Luiz Henrique Antunes Rodrigues

Co-orientador: Dr. Francisco Lombardi Neto

CAMPINAS - SP
Fevereiro - 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

G356s Giboshi, Monica Luri
Sistema de apoio ao processo de decisão para a gestão do uso agrícola da terra / Giboshi, Monica Luri .--Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientadoes: Luiz Henrique Antunes Rodrigues, Francisco Lombardi Neto.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Sistemas de suporte de decisão. 2. Sistemas especialistas (Computação). 3. Sistemas de informação geográfica. 4. Solo – Uso. 5. Solos – conservação. 6. Solo adequado para agricultura. I. Rodrigues, Luiz Henrique Antunes. II. Lombardi Neto, Francisco. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.

Titulo em Inglês: Decison support system for agricultural land use management

Palavras-chave em Inglês: Decision support systems, Expert systems, Geographic information systems, Land use, Soil conservation e Land capability

Área de concentração: Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável

Titulação: Doutora em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Adriana Cavalieri Sais, Antonio Mauro Saraiva, Carlos Roberto Espíndola e Mara de Andrade Marinho Weill

Data da defesa: 17/02/2005

Ao meu marido, Francisco, pelo carinho,
apoio, compreensão e muita paciência.

Aos meus filhos Renata e Guilherme por
compreenderem os momentos de ausência.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Luiz Henrique Antunes Rodrigues pela orientação, pela confiança, incentivo, amizade e paciência.

Ao Dr. Francisco Lombardi Neto, cuja orientação e ajuda foi de fundamental importância para a realização deste trabalho, pela contribuição na minha formação profissional, pela confiança e incentivo.

Ao Fábio Usberti, cujo trabalho de iniciação científica foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. Também pela dedicação, ajuda e tempo despendidos na programação do sistema.

Ao Prof. Dr. Jansle Vieira da Rocha pela atenção, colaboração e sugestões. Também por permitir o uso do Laboratório de Geoprocessamento para a realização deste trabalho.

À Profa. Dra. Mara Marinho Weill pela atenção e tempo despendidos com este trabalho, pela colaboração e sugestões.

Ao Dr. Lauro Charlet Pereira, da Embrapa Meio Ambiente, pela atenção, colaboração e amizade.

Aos especialistas do Centro de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agrônomo de Campinas, Dr. Pedro Luiz Donzelli e Dra. Isabella Clérici De Maria pela colaboração. Também à Bete e Tânia pela atenção e amizade.

À todos os professores e funcionários da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP) que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho. Em especial à Aninha e Marta da secretaria de pós-graduação, ao Agmon do Laboratório de Geoprocessamento e a todo o pessoal do Labin.

A toda família, pelo apoio e ajuda, em especial ao seu Antônio, pelo tempo despendido na revisão da redação da tese, à dona Margarida por ter ficado, muitas vezes, com as crianças.

A todos que de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
I – INTRODUÇÃO	1
II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 - Planejamento do uso da terra	4
2.1.1 - Capacidade de uso da terra.....	5
2.1.2 - Uso da terra	8
2.1.3. Conservação do solo e sistemas de manejo.....	9
2.2 – Sistemas de suporte à decisão.....	14
2.2.1 - Sistemas Especialistas (SE).....	15
2.2.2 - Sistemas de Informações Geográficas	24
2.3 – Síntese.....	26
III - MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 - Estrutura do sistema	27
3.1.1 - Sistema Especialista.....	28
3.1.2 - Sistema de Informações Geográficas	50
3.1.3 - Interface.....	55
3.1.4 – Base de dados	60
3.2. - Área-teste	60

3.2.1 - Solos.....	63
3.3 – Síntese.....	65
IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4.1 – Sistema de Suporte à Decisão para a Gestão da Terra	66
4.1.1 - Validação.....	67
4.1.2 – Requisitos para utilização do programa.....	75
4.2 Resultados obtidos para a área-teste.....	76
4.3 – Síntese.....	83
V – CONCLUSÕES	84
VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXOS	95
ANEXO A : Manual de acesso às funções essenciais do CLIPS pelo VB.....	96
ANEXO B: Recomendações que fazem parte da base de conhecimento do sistema especialista RECOMENDAÇÕES.	102
ANEXO C: Resultados obtidos para a área-teste, o município de Santo Antônio do Jardim.	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Resumo com alternativas de uso da terra e intensidade máxima de utilização.	9
Figura 2: Práticas disponíveis para se obter maior produção vegetal.	11
Figura 3: Componentes de um sistema especialista.	19
Figura 4: Componentes do sistema e fluxo de operações.....	28
Figura 5: Interface do sistema especialista CAP_USO executado no CLIPS.	40
Figura 6: Diagrama com componentes do SSD e fluxo de operações, com destaque para o SE que faz as recomendações de uso e manejo.....	43
Figura 7: Exemplo de regras (em CLIPS) do sistema especialista para recomendações de uso e manejo.	46
Figura 8: Exemplo de regras (em CLIPS) para recomendações de terraço.....	47
Figura 9: Como selecionar a DLL “idrisi32 Library”.	52
Figura 10: Diagrama com as operações efetuadas pelo Idrisi32 e os mapas intermediários gerados para a obtenção do mapa com a classificação da capacidade de uso da terra.	53
Figura 11: Diagrama com as operações efetuadas pelo Idrisi32 e os mapas intermediários gerados para a obtenção do mapa de adequabilidade de uso.....	54
Figura 12: Parte da subrotina que envia informações ao sistema especialista para determinar a capacidade de uso da terra.	56
Figura 13: Janela do programa com a capacidade de uso da terra.	57
Figura 14: Parte do programa da interface para realizar operações no SIG Idrisi32.....	58
Figura 15: Parte da subrotina que envia informações para o sistema especialista e o ativa para que possa fazer as recomendações.	59
Figura 16: Janela do sistema com recomendações de uso e manejo.	59

Figura17: Município de Santo Antônio do Jardim, SP (localização e composição colorida RGB 345 da imagem LANDSAT/TM de julho/1997).	61
Figura 18: Distribuição das classes de declividade do município de Santo Antônio do Jardim.	62
Figura 19: Uso da terra do município de Santo Antônio do Jardim – SP.	62
Figura 20: Distribuição das classes de solos do município de Santo Antônio do Jardim	63
Figura 21: Recomendações de uso do sistema.	68
Figura 22: Mapa com a capacidade de uso da terra apresentado pelo sistema desenvolvido. ..	77
Figura 23: Parcelas das áreas das classes de capacidade de uso da terra em relação à área total do município de Santo Antônio do Jardim.	78
Figura 24: Mapa de adequabilidade de uso apresentado pelo sistema.	79
Figura 25: Parcelas das áreas das classes de adequação de uso em relação à área total do município de Santo Antônio do Jardim.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização dos grupos e das classes de capacidade de uso da terra.....	7
Tabela 2: Graus de limitação devido à disponibilidade de água	30
Tabela 3: Graus de limitação devido à fixação de fósforo	31
Tabela 4: Classes de declividade.....	32
Tabela 5: Graus de limitação devido à pedregosidade em função da porcentagem de fragmentos grosseiros em relação à massa de solo.	33
Tabela 6: Graus de limitação devido à rochiosidade em função da porcentagem de matações e afloramentos rochosos em relação à massa do solo.	33
Tabela 7: Graus de limitação devido ao risco de geada em função da posição no relevo.....	33
Tabela 8: Graus de limitação devido ao risco de inundação em função da duração e frequência da inundação.....	34
Tabela 9: Graus de limitação devido à profundidade efetiva.	34
Tabela 10: Graus de limitação devido à drenagem interna ou excesso de água.....	34
Tabela 11: Graus de limitação devido a erodibilidade	35
Tabela 12: Graus de limitação devido ao risco de erosão em função da erodibilidade e da classe de declividade.	36
Tabela 13: Graus de limitação devido à disponibilidade de nutrientes em função da saturação de bases e da capacidade de troca de cátions (CTC).....	36
Tabela 14: Graus de limitação devido à toxicidade por alumínio em função da capacidade de troca catiônica (CTC) e da saturação de alumínio.....	36
Tabela 15: Graus de limitação devido à drenagem interna ou excesso de água.....	37
Tabela 16: Graus de limitação devido à mecanização em função da classe de declividade, risco de inundação e/ou pedregosidade.....	37

Tabela 17: Classe de declividade e graus de limitação dos fatores limitantes para determinação das classes de capacidade de uso da terra.....	38
Tabela 18: Exemplos de regras para recomendações de terraço.	47
Tabela 19: Enquadramento das classes gerais de solo do Estado de São Paulo nos grupos hidrológicos do solo segundo SARTOI (2004).	48
Tabela 20: Identificação dos especialistas que participaram da validação.....	49
Tabela 21: Taxonomia dos solos do município de Santo Antônio do Jardim.	64
Tabela 22: Capacidade de uso da terra para o município de Santo Antônio do Jardim.	70
Tabela 23: Resumo das discordâncias entre o resultado do sistema e os especialistas para a capacidade de uso da terra.	71
Tabela 24: Usos recomendados pelo sistema e pelos especialistas.	72

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para a gestão da terra, integrando um Sistema Especialista para determinar a capacidade de uso da terra e outro para recomendar usos adequados e as práticas de conservação e manejo do solo, um Sistema de Informações Geográficas (SIG), uma base de dados e uma interface para interpretar a entrada de dados do usuário e as mensagens passadas entre os sub-sistemas. Todos os diálogos entre o usuário e o sistema são realizados pela interface, assim como a comunicação entre os componentes do sistema desenvolvido. Os sistemas especialistas foram desenvolvidos utilizando o “shell” conhecido como CLIPS (C Language Integrated Production System) que provê um ambiente para a construção de sistemas especialistas. O SIG utilizado foi o IDRISI, versão 32, que possui o módulo Applications Programming Interface - API (Interface de Programação de Aplicativos) com um OLE Automation Server, possibilitando o uso de linguagens de alto nível, tais como Visual Basic, para controlar as operações do Idrisi32. A base de dados foi desenvolvida com a utilização do Microsoft Access[®], além disso, é de fácil acesso, pois a maioria dos usuários tem esse aplicativo instalado em seus computadores. O sistema desenvolvido determina a capacidade de uso da terra; recomenda usos adequados para cada classe de capacidade de uso; recomenda práticas de conservação e manejo do solo; e identifica áreas de conflito comparando os mapas de uso da terra da região em estudo com o mapa de capacidade de uso. Todos os resultados podem ser visualizados em janelas do programa, gravados ou impressos em formas de relatórios. A validação do sistema foi feita comparando as saídas do sistema

com os resultados obtidos de quatro especialistas. As divergências encontradas mostraram que o sistema desenvolvido foi mais rigoroso, principalmente no que diz respeito ao risco de erosão, determinando classes de capacidade de uso diferentes das determinadas por alguns especialistas. Quanto ao tipo de uso e às práticas de conservação e manejo do solo, foram poucas as divergências encontradas. A área utilizada para testar o sistema é o Município de Santo Antônio do Jardim - SP. O sistema classificou 36,95% das terras do município como adequadas para a utilização com cultura anual ou perene; 42,69% são adequadas para pastagem e reflorestamento e 19,51% devem ser utilizadas para preservação ambiental. Outro resultado apresentado é o mapa de intensidade de uso, no qual pôde se observar que 48,50% do município está sendo utilizada de forma adequada; 31,82% com uso inadequado e, 14,06% apresenta subutilização. O sistema mostrou ser uma ferramenta poderosa e eficaz, permitindo avaliar uma região, dando suporte para uma tomada de decisão mais fundamentada.

Palavras-chave: sistema de suporte à decisão, sistema especialista, sistema de informações geográficas, capacidade de uso da terra, conservação do solo.

ABSTRACT

The objective of this work was to develop a decision support system for agricultural land environmental planning, which integrates an Expert System to determine the land capability and other to recommend adequate uses and practices for soil conservation and management, Geographic Information System (GIS), a database and an interface to monitor input and output data and the messages passed between the subsystems. The management of all the system is made by an interface developed in Visual Basic, version 5.0. All the dialogues between the user and the system as well as the communication with the components of the system are made through the interface that shows windows, menus, dialog boxes, maps and reports in the screen. It saves the results in files and prints them. The expert systems were developed with a shell known as CLIPS (C Language Integrated Production System), that provides an environment for building expert systems. The GIS was IDRISI, version 32, that has Applications Programming Interface – API with an OLE Automation Server, and makes possible to use high-level languages, such as Visual Basic for controlling the operation of Idrisi32. The database was developed with the Microsoft Access®, because of the majority of the users have this software installed in its computers. The developed system determines land capability from information stored in the database and, also supplied for the SIG, through the soil and slope maps; it recommends adequate uses for land capability class; it recommends practices for soil conservation and management and identifies conflict areas comparing the maps of land use with the land capability. All the results can be visualized by the user through windows of the program, recorded or printed in forms of reports. The validation of the system

was done comparing the system outputs with the results obtained of four experts. The divergences have shown that the system was more rigorous than the experts, specially concerning the erosion risk, leading to different land capability classes from those determined for some experts, in some cases. Concerning to the type of practices for soil conservation and management, the divergences have been few. In order to test the system, the county of Santo Antônio do Jardim – SP was selected. The system classified 36.95% of lands as adequate for the use with annual or perennial cultures; 42.69% are adequate for pastures and reforestation and 19.51% must be used for environmental preservation. Another presented result is the map of intensity use, through which could be observed that 48.50% of the lands are being used of adequate form; 31.82% of the lands presents inadequate use and, 14.06% presents under utilization. The system is a powerful and efficient tool, what makes it possible to evaluate a region and give support to a more adequate decision making.

Key words: decision support system, expert system, geographic information system, land capability, soil conservation.

I – INTRODUÇÃO

Os recursos naturais são de vital importância para a humanidade. Contudo, os mesmos têm sido utilizados de forma indiscriminada, contribuindo para uma rápida e intensa degradação ambiental. Uma das conseqüências disso é a diminuição da capacidade produtiva da terra, comprometendo, por exemplo, a produção agrícola.

O solo é um recurso natural renovável que demora milhares de anos para se formar e que pode se degradar, muitas vezes de forma irreversível, em algumas poucas décadas (ou mesmo em alguns anos) por sua má utilização pelo homem.

Muitas vezes os processos de degradação do solo provocam também a poluição dos recursos hídricos, quer seja pela quantidade de sedimentos produzidos por meio de processos erosivos quer pela movimentação de produtos químicos. É necessário, portanto, evitar que ocorram esses processos de degradação ambiental e onde estes já estiverem instalados, deverão ser interrompidos ou controlados.

Pelas razões expostas, é importante a criação de mecanismos de avaliação e gestão de recursos naturais, promovendo o uso da terra com sustentabilidade, ou seja, obtendo assim máximos benefícios sem degradá-la e garantindo sua conservação para gerações futuras.

O avanço da tecnologia da informação tem disponibilizado uma variedade de ferramentas computacionais que podem ser utilizadas para a gestão de recursos naturais.

O uso de ferramentas como sistemas especialistas, sistemas de informações geográficas e sistemas de gerenciamento de banco de dados são muito úteis, por terem como vantagem a capacidade de armazenar e processar uma vasta quantidade de informações.

Sistemas especialistas são programas computacionais que permitem a sistematização da lógica utilizada por especialistas em suas áreas de domínio. Têm a capacidade de armazenar conhecimentos necessários para avaliar e resolver problemas e também fazer recomendações.

Sistemas de informações geográficas podem armazenar, manipular, transformar, analisar e exibir informações georreferenciadas, contidas em mapas e/ou bancos de dados, gerando novas informações. Podem ser utilizados em estudos de mudança de uso da terra, para a avaliação de terras e em estudos de degradação do solo, entre outros.

Os dados em um sistema de gerenciamento de banco de dados são relacionados entre si para obter uma melhor eficiência das informações armazenadas. Como o processamento de informações necessita de mudanças, novas relações e dados podem simplesmente ser adicionados à base de dados já existente.

Essas ferramentas podem ser integradas, constituindo-se num sistema de suporte à decisão para a gestão de recursos naturais, permitindo que o usuário se concentre apenas na obtenção, no processamento e na análise das informações que são pertinentes ao problema.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi desenvolver um sistema integrado para a gestão de terras, utilizando as técnicas citadas. Tal sistema deve apresentar os usos possíveis para uma determinada região, segundo a capacidade de uso da terra e, então, recomendar práticas conservacionistas e manejos adequados.

Assim, os objetivos específicos são:

- Desenvolvimento de um sistema especialista para indicar adequação de uso, fazer a recomendação de práticas conservacionistas e manejos adequados, e recomendações de sistema de terraceamento de acordo com a capacidade de uso da terra;
- Refinamento do sistema especialista para determinar a capacidade de uso da terra, desenvolvido por GIBOSHI (1999);
- Desenvolvimento de uma interface para integrar os sistemas especialistas com um sistema de informações geográficas e um sistema de gerenciamento de banco de dados.

Com a integração das ferramentas citadas acima, através de uma interface, pode-se obter, então, um sistema de suporte à decisão para a gestão da terra.

Essa tese está organizada da seguinte forma:

Capítulo II – Revisão Bibliográfica. Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica dos conceitos básicos relevantes ao desenvolvimento deste trabalho que envolve diferentes temas. Apresenta a importância do planejamento de uso da terra e como deve ser elaborado. Define uma metodologia para avaliação de terras, a classificação de terras segundo a sua capacidade de uso e mostra a importância da conservação do solo e sistemas de manejo. Descreve e discute as características de Sistemas de Suporte à Decisão. Também define Sistemas Especialistas, discute suas características e seu desenvolvimento. Por último, define Sistemas de Informação Geográfica.

Capítulo III – Material e Métodos. O capítulo descreve como foi conduzido o trabalho. Contém a descrição da área utilizada para testar o sistema, o município de Santo Antônio do Jardim, SP. Apresenta a estrutura do sistema e os seus componentes, como foram desenvolvidos os sistemas especialistas, a interface e a base de dados e também como foram integrados.

Capítulo IV – Resultados e Discussão. Este capítulo apresenta os resultados obtidos com o sistema desenvolvido. Mostra as reflexões que podem ser feitas para o município de Santo Antônio do Jardim, a partir dos resultados gerados pelo sistema, confirmando o potencial de uso do mesmo.

Capítulo V - Conclusões. O capítulo apresenta as conclusões deste trabalho e faz algumas sugestões para futuros trabalhos que poderão ser feitos a partir do sistema desenvolvido.

II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, é apresentada uma revisão bibliográfica dos conceitos básicos relevantes ao desenvolvimento deste trabalho que envolve diferentes temas.

A seção 2.1 descreve sobre o planejamento de uso da terra, sua importância e como deve ser elaborado. Define uma metodologia para avaliação de terras, a classificação de terras segundo a sua capacidade de uso e mostra a importância da conservação do solo e sistemas de manejo.

A seção 2.2 define e discute as características de Sistemas de Suporte à Decisão (SSD). Também define Sistemas Especialistas (SE), discute suas características e seu desenvolvimento. Por último, define Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A seção 2.3 apresenta uma síntese do capítulo.

2.1 - Planejamento do uso da terra

A principal função do planejamento de uso da terra é orientar as decisões sobre seu uso, de modo que os recursos sejam utilizados dentro de uma abordagem conservacionista, ou seja, da maneira mais benéfica ao homem e à comunidade e, simultaneamente, promovendo a conservação dos recursos ambientais para o futuro (FAO, 1976).

A avaliação de terras representa a maior parte das atividades desse planejamento e refere-se ao estabelecimento de critérios do comportamento das terras, quando usadas para propósitos específicos, e requer uma abordagem multidisciplinar (WEILL, 1990).

Este planejamento deve indicar as áreas que deverão ser destinadas aos diferentes tipos de uso que podem ser dados à terra, assim como a forma de fazê-lo sem comprometer os recursos naturais.

2.1.1 - Capacidade de uso da terra

Existem diversas metodologias para a avaliação de terras, entre as quais a classificação de terras segundo a sua capacidade de uso, que pode ser conceituada como a adaptabilidade da terra às diversas formas de utilização agrícola, sem que ocorra o depauperamento do solo pelos fatores de desgaste e empobrecimento.

Segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1990), o primeiro sistema de classificação de capacidade de uso foi apresentado nos Estados Unidos e o trabalho de NORTON (1939) foi fundamental para a implantação desse sistema de classificação em vários países do mundo. No Brasil, a implantação do sistema de capacidade de uso teve início com uma tradução do trabalho original, "Classificação de terras como auxílio às operações de conservação do solo", em 1945 (WEILL, 1990).

Depois, esse sistema sofreu várias adaptações. A primeira foi feita em 1957 por MARQUES et al. (1957). A segunda aproximação foi lançada em 1958, com o título "Manual brasileiro para levantamentos conservacionistas" (MARQUES, 1958) e, em 1971, foi publicada a terceira aproximação, "Manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso" (MARQUES, 1971). A quarta aproximação é uma adaptação feita por LEPSCH et al. (1991) do sistema desenvolvido pelo Serviço de Conservação do solo dos EUA, por KLINGEBIEL & MONTGOMERY (1961), para agrupar solos em classes de capacidade de uso.

Segundo LEPSCH et al. (1991), as categorias do sistema de capacidade de uso estão hierarquizadas em:

- *Grupos de capacidade de uso*: estabelecidos com base nos tipos de intensidade de uso das terras, designados pelas letras A, B e C (Tabela 1);
- *Classes de capacidade de uso*: baseadas no grau de limitação de uso, representam um grupamento de terras com o mesmo grau de limitação, definindo condições de aproveitamento e riscos de degradação semelhantes. São designadas por algarismos romanos de I a VIII, e quanto maior o seu valor, maior é a restrição ao uso. Assim a classe I abrange as terras praticamente sem limitações, cujo número de alternativas é muito grande, enquanto a classe VIII é atribuída às terras com riscos de degradação e/ou restrições em grau muito severo, onde são impossíveis ou extremamente reduzidas as possibilidades de utilização agrícola. São quatro classes de terras de cultura, três de pastagens e reflorestamento, e uma de terras impróprias para a vegetação produtiva, descritas de forma sintética na Tabela 1;
- *Subclasses de capacidade de uso*: representam as classes de capacidade de uso em função da natureza da limitação, tornando mais explícitas as práticas conservacionistas a serem adotadas;
- *Unidades de capacidade de uso*: baseadas nas condições específicas que afetam o uso ou manejo da terra, tornando mais explícita a natureza das limitações e facilitando o processo de estabelecimento das práticas de manejo.

Para a determinação da capacidade de uso devem ser inventariados os fatores que têm maior influência sobre o uso da terra. Estes deverão ser devidamente interpretados e analisados em conjunto, para determinação e separação das classes, subclasses e unidades de capacidade de uso.

Tabela 1: Caracterização dos grupos e das classes de capacidade de uso da terra.

Grupos de capacidade de uso	Classes de capacidade de uso
<p>A – Terras que podem ser utilizadas para culturas anuais ou perenes, pastagens, reflorestamento e preservação ambiental</p>	<p>I – terras cultiváveis, aparentemente sem restrições ao uso, não necessitando de práticas especiais de conservação do solo;</p>
	<p>II – terras cultiváveis com ligeiras restrições ao uso, necessitando práticas especiais de conservação, de fácil execução;</p>
	<p>III – terras cultiváveis com severas restrições ao uso, apresentando problemas complexos de conservação;</p>
	<p>IV – terras cultiváveis apenas ocasionalmente ou em extensão limitada, apresentando sérios problemas de conservação.</p>
<p>B – Terras impróprias para culturas intensivas, mas adaptadas para pastagens, reflorestamento e preservação ambiental</p>	<p>V – terras sem restrição para uso com pastagens, reflorestamento ou preservação ambiental, não necessitando de práticas especiais de conservação, podem ser cultivadas em casos especiais;</p>
	<p>VI – terras com restrições moderadas ao uso, com problemas simples de conservação, cultiváveis em casos especiais de algumas culturas permanentes protetoras do solo;</p>
	<p>VII – terras com severas restrições ao uso, adaptadas em geral somente para pastagens ou reflorestamento, com problemas complexos de conservação.</p>
<p>C – Terras impróprias para cultivos anuais, perenes, pastagens ou reflorestamento, mas apenas para preservação ambiental ou recreação</p>	<p>VIII – terras impróprias para cultivos anuais, perenes, pastagens ou reflorestamento, servindo apenas como abrigo e proteção da fauna e flora silvestre, como ambiente de recreação, ou para fins de armazenamento de água.</p>

Fonte: LEPSCH et al., 1991

As interpretações para fins agrícolas devem ser feitas segundo critérios que reflitam a maior ou menor adaptabilidade dos solos e do ambiente em que ocorrem, para determinado cultivo ou grupo de cultivos.

Estabelecidas as condições ambientais ideais para a maioria das culturas, qualquer desvio ou afastamento delas representa uma limitação à utilização destas. Logo, a determinação da capacidade de uso consiste em estabelecer a intensidade de variação de cada condição agrícola considerada, atribuindo-lhe graus de limitação em função do maior ou menor afastamento das condições ideais (LEPSCH et al., 1991).

Esse sistema é recomendado para fins de planejamento de práticas de conservação do solo, ao nível de propriedades, de empresas agrícolas ou de pequenas bacias hidrográficas, e trabalha usualmente com nível de manejo médio ou alto (LEPSCH et al., 1991).

2.1.2 - Uso da terra

Uma vez determinada as classes de capacidade de uso da terra, deve-se, então, indicar as áreas destinadas aos diferentes tipos de uso.

Quanto à intensidade o tipo de uso pode ser considerado adequado, moderado, restrito e inadequado:

- Adequado – terras com limitações nulas ou ligeiras que quando manejadas adequadamente permitem obter, sem degradar-se, uma relação custo/benefício expressivamente vantajosa, como consequência das suas qualidades;
- Moderado – terras que apresentam limitações moderadas que podem afetar significativamente o uso em questão quanto à produtividade e conservação do solo e uma relação custo/benefício pouco atrativa.
- Restrito – terras que apresentam limitações fortes que afetam seriamente a conservação e a produtividade para um determinado uso e uma relação custo/benefício desvantajosa.

- Inadequado – quando a terra sofre um processo de degradação superior àquele que teria se estivesse sendo utilizado segundo sua aptidão correta para um uso que proteja mais o solo.

A intensidade de uso da terra é decrescente no sentido das classes I a VIII de capacidade de uso. A Figura 1 mostra as alternativas de uso da terra e a intensidade máxima de utilização sem risco de erosão acelerada em função das classes de capacidade de uso.

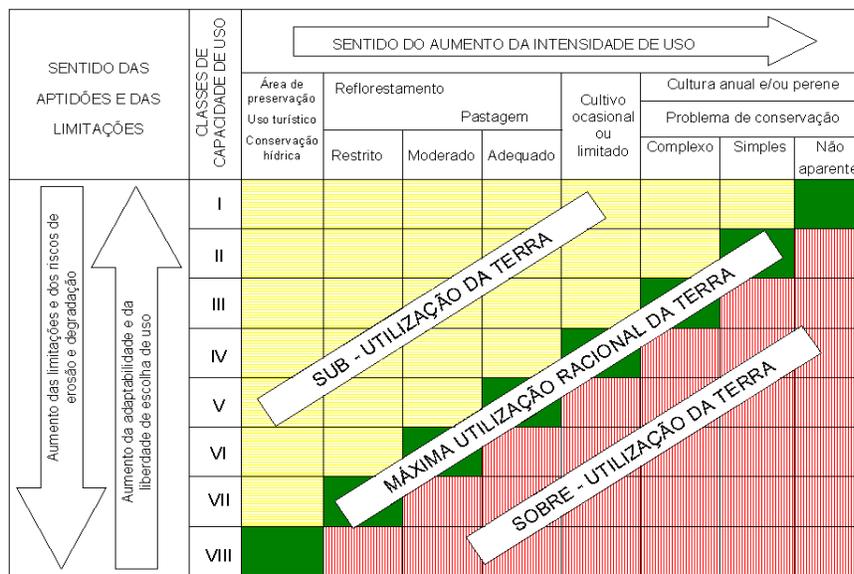


Figura 1: Resumo com alternativas de uso da terra e intensidade máxima de utilização. (Adaptado de LEPSCH et al. 1991).

2.1.3. Conservação do solo e sistemas de manejo

O solo é o principal objeto de estudo no planejamento de uso da terra, pela possibilidade de manejo de grande parte de seus atributos, o que favorece os objetivos das ações humanas (WEILL, 1999). O conhecimento dos principais atributos do solo é de grande importância na orientação do seu manejo e controle da erosão.

A erosão hídrica é um dos fatores de desgaste que mais têm contribuído para a degradação do solo e da água e suas principais implicações são a baixa produtividade do solo, a poluição e o assoreamento dos recursos hídricos, diminuição da disponibilidade de água para irrigação e abastecimento urbano, empobrecimento do meio rural, entre outros.

Algumas das causas do esgotamento do solo podem ser controladas pela aplicação das práticas conservacionistas, que são as técnicas utilizadas para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo. A conservação do solo é todo um sistema de manejo do solo cujas práticas devem ser aplicadas simultaneamente, a fim de abranger com a maior amplitude possível os diversos aspectos do problema (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Procura-se evitar o desgaste e empobrecimento do solo nas suas diversas fases e formas, com a utilização de práticas que aumentam a infiltração da água no perfil do solo, que aumentam a cobertura vegetal e que reduzem o escoamento superficial. Dessa forma, obtém-se como reflexo uma melhoria da quantidade e qualidade das águas, além da preservação da vida silvestre e melhoria do ambiente.

Para o controle da erosão e a redução da degradação do solo, da água e do meio ambiente, BERTOLINI et al. (1994a) recomendam três estratégias:

- *Aumento da cobertura vegetal do solo*, visando à redução da energia de impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo e da velocidade de escoamento superficial, com o aumento da rugosidade do terreno e pela formação de inúmeros pequenos obstáculos formados pela cobertura vegetal;
- *Aumento da infiltração da água no perfil do solo*, visando diminuir o deflúvio superficial e aumentar a capacidade de armazenamento de água;
- *Controle do escoamento superficial* para controlar a erosão na fase de transporte, promovendo a redução do desgaste do solo pelo processo erosivo, com redução da poluição dos mananciais por sedimentos e/ou insumos agrícolas.

O aumento da cobertura vegetal, com culturas ou resíduos culturais, é fundamental para o controle da erosão hídrica, uma vez que atua exatamente no ponto inicial do processo erosivo, evitando distúrbios mais sérios na estrutura do solo, interferindo no impacto das gotas

de chuva sobre a superfície do solo, através da interceptação que reduz a energia de impacto, ou pela redução da velocidade do escoamento superficial (LOMBARDI NETO & DRUGOWICH, 1994).

A redução da energia de impacto da gota de chuva ou de irrigação da velocidade de escoamento superficial contribuem para reduzir ou eliminar a desagregação superficial do solo, além de evitar o selamento superficial, aumentar a infiltração da água no perfil do solo, reduzir o deflúvio superficial e, conseqüentemente, reduzir a capacidade de desagregação e transporte de sedimentos, reduzir a evaporação da água e aumentar a capacidade de armazenamento de água no solo, refletindo na produção agrícola e na quantidade de produção de biomassa.

Na Figura 2 são mostradas algumas práticas disponíveis para se obter uma maior produção vegetal. Dependendo de fatores ambientais, socioeconômicos e dos próprios sistemas de produção, alguns desses meios poderão ter importância diferenciada nos diferentes níveis de planejamento a serem adotados.

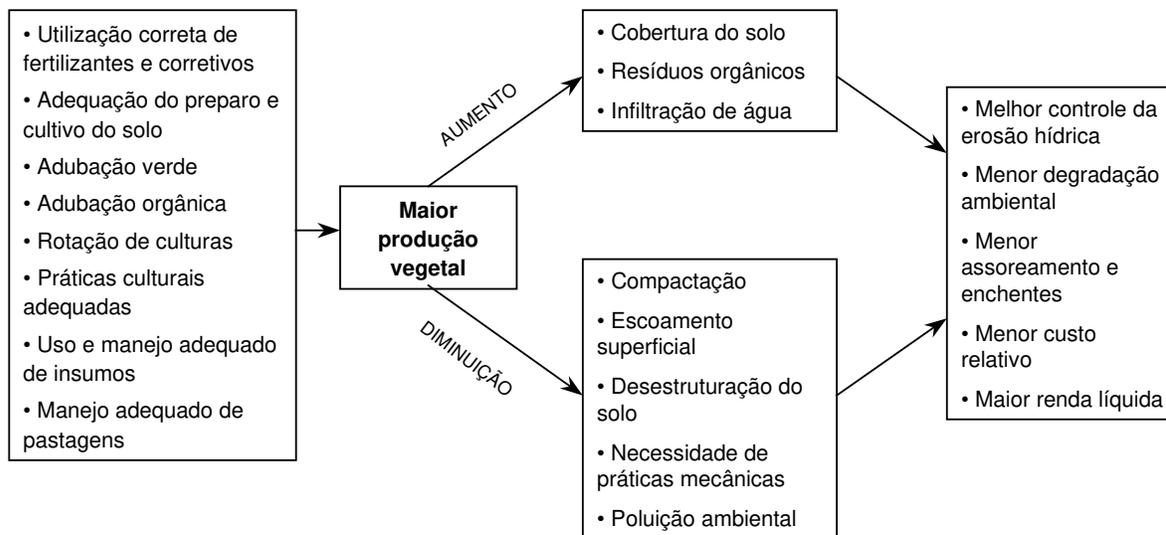


Figura 2: Práticas disponíveis para se obter maior produção vegetal (Adaptado de RAIJ et al., 1994).

Para controlar o escoamento superficial, nem sempre são suficientes as técnicas de aumento da cobertura vegetal e da infiltração, principalmente quando ocorrem chuvas mais

intensas, havendo a necessidade de adoção de barreiras mecânicas, ou seja, estruturas artificiais com a finalidade de quebrar a velocidade de escoamento da enxurrada e facilitar a sua infiltração. Nesse contexto, as práticas mecânicas têm a função de segurança nas ocasiões em que as anteriores não tenham sido suficientes, retendo a água para posterior infiltração ou contenção e condução segura do escoamento superficial até um leito estável (LOMBARDI NETO & DRUGOWICH, 1994).

A seguir estão descritas algumas práticas para conter o escoamento superficial da água, as quais podem ser simples, como o plantio em nível e faixas de vegetação permanente, ou mais complexas, como os terraços, os canais escoadouros ou divergentes:

- Plantio em nível: além de ser uma medida de controle da erosão, facilita o estabelecimento de outras práticas complementares baseadas na orientação em nível;
- Faixas ou cordão de vegetação permanente: uma prática eficiente de controle da erosão, podendo, segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1990), não só substituir os terraços como, também, representar a fase inicial de sua construção;
- Terraceamento: uma das práticas mecânicas mais antigas e eficientes para controlar a erosão em terras cultivadas, porém o seu custo de construção e manutenção é relativamente alto; apesar da grande eficiência, não deve ser utilizado como prática isolada, mas associado a outras práticas complementares, como preparo do solo, plantio e cultivo em nível, manejo de restos culturais, adubação e outras.
- Canais escoadouros: estruturas rasas e largas, com declividade moderada e estabelecidas em leitos resistentes à erosão, com o objetivo de recolher o excesso de água e conduzir a enxurrada até as partes mais baixas do terreno;
- Canais divergentes: estruturas compostas por um canal e um camalhão de terra na parte de baixo, construída no sentido contrário ao maior declive, com um pequeno caimento, para o transporte da enxurrada, em baixa velocidade até um ponto de escoamento desejado.

Segundo BERTOLINI et al. (1994b), os terraços podem ser classificados de acordo com a sua função, dimensão, modo de construção e forma do perfil.

Quanto à função, o terraço pode ser em nível (de infiltração) com a função de reter o deflúvio superficial para posterior infiltração da água no solo; ou com gradiente (de drenagem) que tem a função de interceptar e escoar disciplinadamente o excesso de água. Considerando a dimensão do terraço, ou seja, a largura da faixa de movimentação de terra, este pode ser de base estreita, base média ou base larga.

Na construção dos terraços, a movimentação de terra pode ser feita de duas formas diferentes, dando origem a dois tipos de terraços: “Nichols” e “Mangum”. Quanto à forma do seu perfil, podem ser denominados: “terraço comum” ou “terraço patamar”. O terraço comum pode ser em nível ou com gradiente e o terraço com patamar é utilizado em declividades superiores a 18%.

A seleção do tipo de terraço é feita em função das características do solo, da declividade, do tipo de cultura a ser implantada, do sistema de cultivo utilizado, das condições climáticas e da disponibilidade de máquinas.

Para o dimensionamento de terraços é importante o conhecimento das principais características e qualidades do solo como profundidade, permeabilidade, textura da camada superficial e subsuperficial, relação textural (horizonte A/horizonte B) e resistência à erosão.

LOMBARDI NETO et al. (1989) estabeleceram uma classificação para fins conservacionistas com quatro grupos de solos, considerando essas características e qualidades do solo e embasados em mapas pedológicos existentes para o estado de São Paulo

Segundo SARTORI (2004), essa classificação é muito semelhante à elaborada pelo Serviço Conservação do Solo (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), a qual reúne os solos dos Estados Unidos em quatro grupos, conforme sua capacidade de infiltração e produção de escoamento, sendo a cada um deles atribuído uma letra, A, B, C ou D.

A utilização da terra de acordo com a sua capacidade e a aplicação correta de práticas conservacionistas são primordiais para garantir o seu uso intensivo e permanente sem causar a sua degradação (BERTOLINI et al., 1994a). A conservação do solo não deve ser entendida como uma prática de uso casual, de acordo com a conveniência do momento, mas como parte do próprio processo agrícola.

2.2 – Sistemas de suporte à decisão

Um Sistema de Suporte à Decisão (SSD) é um sistema baseado em computador, projetado para aumentar a efetividade dos tomadores de decisões, fornecendo, para tal fim, mecanismos que facilitam a interação com os modelos de análise e os dados (SPRAGUE & WATSON, 1989). Um SSD deve permitir ao usuário explorar um problema para aumentar seu entendimento e assim chegar à solução por refinamentos sucessivos.

Possui funções específicas que permitem buscar informações e fornecer subsídios para o processo de tomada de decisão, ou seja, além de informações, deve também analisar alternativas, propor soluções, simular situações etc.

O processo de tomada de decisão se desenvolve, portanto, com a interação constante do usuário e um ambiente especialmente criado para dar subsídio às decisões a serem tomadas.

Cada tipo de SSD tem suas características específicas, porém é possível identificar componentes básicos entre eles. Segundo SPRAGUE & WATSON (1989) uma forma de enxergar os componentes de um SSD e a relação entre estes é por meio do paradigma “Diálogo, Dados e Modelos”, pelo qual há um diálogo entre o usuário e o sistema, modelos para prover a capacidade de análise e dados suportando-os.

O diálogo entre o usuário e o sistema é feito pela interface, que, sob a perspectiva do usuário, representa “o sistema”. Por esta razão, é necessário dedicar a esse componente grande parte do projeto e desenvolvimento do sistema.

A interface é responsável pelas imagens exibidas na tela e tratamento de eventos produzidos por ações dos usuários sobre dispositivos de entrada. Também examina a seqüência de pedidos e dados fornecidos pelos usuários e decide a ação a ser tomada e especifica os dados manipulados e as rotinas de comunicação a serem utilizadas entre a interface e a aplicação.

Os dados utilizados em um SSD são de diferentes tipos: internos, externos e estimativas subjetivas do tomador de decisões. Estes dados podem ser acessados diretamente pelo usuário ou inseridos junto aos modelos para serem processados.

Os modelos fornecem capacidade de análise para um SSD. Usando uma representação matemática do problema, algoritmos são utilizados para gerar informações para dar suporte à tomada de decisão.

Existem diferentes tipos de modelos: podem ser de otimização, cujo objetivo é identificar máximos e mínimos, ou de descrição, que permitem descrever o comportamento de um sistema.

Alguns problemas requerem também análises heurísticas além das numéricas. Nesse caso, utilizam-se sistemas inteligentes para representar conhecimento especializado a respeito de problemas particulares.

2.2.1 - Sistemas Especialistas (SE)

Uma das conquistas mais importantes na área de inteligência artificial é o desenvolvimento de sistemas conhecidos como “especialistas” ou “baseados em conhecimento”. Sistemas especialistas são programas computacionais que resolvem problemas com a mesma sistematização da lógica utilizada por especialistas em suas áreas de domínio.

Especialistas são pessoas que têm conhecimento sobre um domínio particular, entendem os problemas dentro desse domínio e têm habilidade para resolvê-los. O conhecimento é usualmente de dois tipos: público e privado. Conhecimento público inclui informações amplamente conhecidas e geralmente publicadas, disponíveis dentro do domínio. Mas os especialistas possuem também o conhecimento privado, que não é encontrado em literatura publicada, e é formado por regras práticas e experiências. Esse conhecimento os torna capazes de fazer suposições, reconhecer problemas e lidar efetivamente com erros ou dados incompletos. Elucidar e reproduzir tal conhecimento é a tarefa central na construção de sistemas especialistas (HAYES-ROTH et al., 1983).

Existem diversas vantagens e desvantagens do “especialista artificial” em relação ao perito humano. Segundo WATERMAN (1986), uma das vantagens é a sua imunidade ao desgaste e à capacidade de produzir atitudes constantes frente a uma situação, uma vez que o ser humano se desgasta facilmente em atividades que requerem muito esforço físico ou mental. A performance do especialista humano pode ser afetada por fatores emocionais ou cansaço, conduzindo a diferentes decisões em situações idênticas.

É difícil obter a opinião conjunta de vários especialistas, e conseguir uma opinião de consenso é quase impossível. Um sistema pode armazenar o conhecimento de mais de um especialista, consultar cada um deles e oferecer diversas opções (HART, 1989).

O especialista artificial tem algumas limitações. Uma delas é a criatividade. O ser humano nesse ponto é imbatível, podendo reorganizar informações e usá-las para sintetizar novos conhecimentos, manusear eventos inesperados, usando a imaginação ou novas abordagens para a solução do problema, criando analogias com situações de um outro domínio completamente diferente.

Outra área onde o especialista humano se sobressai é no aprendizado. Ele se adapta a mudanças de condições, ajustando suas estratégias de acordo com novas situações. Sistemas especialistas não são capacitados para aprender novos conceitos ou regras. Este aprendizado é uma tarefa muito difícil para um SE. Progressos têm acontecido no desenvolvimento de programas que aprendem, mas esses programas trabalham em domínios extremamente simples, não funcionando bem quando confrontados com a complexidade e detalhes de problemas reais.

Especialistas humanos podem usar entradas complexas do sistema sensorial, disponíveis pelos cinco sentidos. Sistemas especialistas manipulam símbolos. Assim, dados sensoriais devem ser transformados em símbolos para que possam ser compreendidos pelo sistema. Uma parte da informação pode ser perdida na transformação. Especialistas humanos vêem o problema de maneira ampla, examinando todos os seus aspectos, selecionando os relevantes. Por outro lado, SEs focalizam-se no problema em si, ignorando informações isoladas que poderiam ser importantes.

Finalmente, os seres humanos, especialistas ou não, possuem o chamado conhecimento do senso comum, que se constitui num largo espectro de conhecimento geral sobre o mundo, acumulado durante toda sua vida e que permeia todas as suas decisões. Devido à enorme quantidade de conhecimento de senso comum, torna-se difícil construir um programa inteligente, particularmente um sistema especialista (WATERMAN, 1986).

Por estas razões, SEs são freqüentemente utilizados no aconselhamento, como um consultor, ou, ainda, como ajuda para um especialista ou usuário iniciante com algum problema.

Segundo DOLUSCHITZ & SCHMISSEUR (1988), muitas das vantagens citadas podem ser benéficas para a agricultura. É de grande interesse a preservação da experiência de especialistas de extensão, de produtores experientes e planejadores agrícolas, a distribuição do conhecimento de pesquisadores altamente qualificados, ou a incorporação de sofisticados modelos de simulação e otimização.

Sistemas especialistas podem ser usados para a recomendação do uso de fertilizantes, de esquemas de irrigação, de práticas de conservação do solo, para avaliar a saúde financeira de uma propriedade agrícola, ou, ainda, para diagnosticar doenças em culturas e criação de animais, além de recomendar o tratamento adequado. Também pode ser desenvolvido para controlar a irrigação e a injeção de nutrientes em estufas, para o planejamento de operações em uma propriedade agrícola, para monitorar e controlar máquinas agrícolas, entre outros.

Como exemplos de sistemas especialistas podemos citar: SOYBUG (JONES et al., 1986), um sistema especialista que faz recomendações a respeito de pragas de insetos; FinARS, um sistema para avaliar a saúde financeira de uma propriedade agrícola (BOGGESS et al., 1989); DELEITE, sistema especialista capaz de emitir diagnósticos sobre problemas relacionados com alimentação, sanidade e manejo reprodutivo de rebanhos leiteiros (BRAGA et al., 1997); TOMEX-UFV, um sistema especialista de diagnóstico de doenças do tomateiro (POZZA et al., 1997); MELO et al. (2001) desenvolveram um sistema para gerar recomendações para aplicação de fertilizantes; SEMEARE, um sistema especialista de apoio à decisão no processo de regulagem de semeadoras, que gera informações, como o índice de enchimento do disco dosador (população de plantas), e os danos físicos e latentes nas sementes (GUIMARÃES et al., 2003).

ROSSITER (1990) desenvolveu o ALES – Automated Land Evaluation System, um programa de computacional para a avaliação de terras segundo a metodologia da FAO (1976). O ALES não é propriamente um sistema especialista, é um “shell”, ou seja, um sistema especialista com a base de conhecimento vazia com a qual o usuário pode construir seu próprio sistema especialista para a avaliação de terras.

Sistemas especialistas também podem ser ligados a outros tipos de sistemas, a modelos matemáticos e ainda a modelos de simulação, e, junto com estes constituir uma ferramenta de grande utilidade para auxiliar produtores e técnicos agrícolas na tomada de decisões. Um exemplo disso é o sistema de suporte a decisão para o planejamento de conservação do solo, desenvolvido no Canadá por MONTAS & MADRAMOOTOO (1992), que integra um Sistema de Informações Geográficas com um sistema especialista para avaliar a quantidade perdida de terra e recomendar práticas conservacionistas para uma microbacia.

LOH et al. (1994) integraram um sistema especialista com um SIG para auxiliar no planejamento e avaliação ambiental. FERNANDES FILHO (1996) também integrou SE com SIG para determinar a aptidão agrícola das terras. Outro exemplo é o EROSYS, desenvolvido por FERNANDES et al. (2002), que integra SIG, SE e modelagem matemática para a avaliação de impacto ambiental das atividades agrícolas sobre o solo, utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e determinando a aptidão agrícola das terras. PLANT & VAYSSIÈRES (2000) utilizaram a tecnologia de SE e SIG integradas para implementar um modelo de "estado-e-transição" de um bosque de carvalho.

2.2.1.1 – Principais componentes de um sistema especialista

Um sistema especialista é formado por três componentes básicos (SAWYER & FOSTER, 1986), mostrados na Figura 3: uma base de conhecimento do domínio, um sistema ou mecanismo de inferência ou estrutura de controle para utilização da base de conhecimento e uma interface com o usuário.

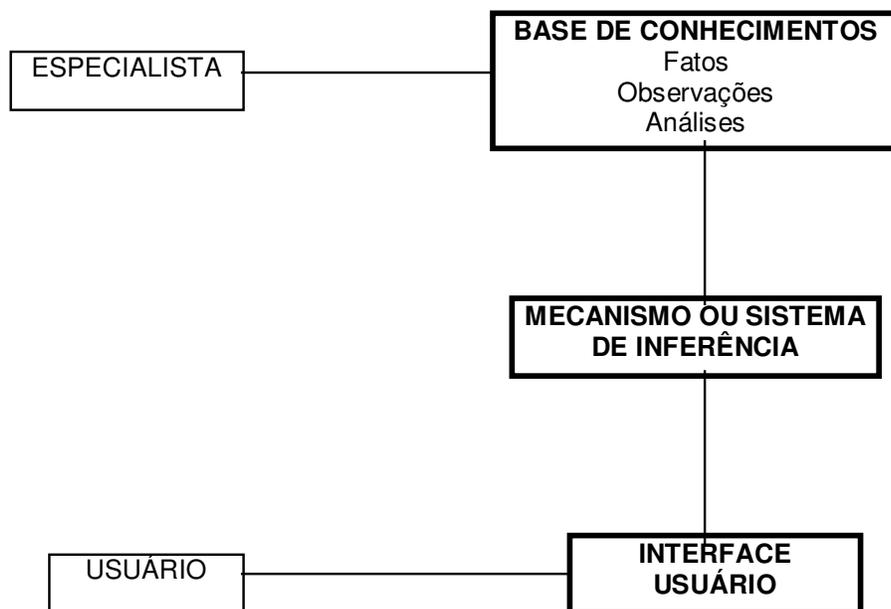


Figura 3: Componentes de um sistema especialista (adaptado de SAWYER & FOSTER, 1986).

A base de conhecimento contém a representação do conhecimento do domínio do problema, isto é, fatos e conhecimentos heurísticos que são desenvolvidos com a ajuda de pelo menos um especialista no domínio.

O conhecimento é codificado na forma de regras do tipo IF-THEN ou SE-ENTÃO, e consiste de duas partes: uma antecedente (ou lado esquerdo), que lista a condição, e uma conseqüente (ou lado direito), que estipula o que concluir ou o próximo passo.

"SE	<i><condições forem verdadeiras></i>	ENTÃO	<i><ação></i> "
	antecedente		conseqüente
	lado esquerdo		lado direito

Segundo SAWYER & FOSTER (1986), O mecanismo de inferência aplica as regras da lógica racional para pesquisar a base de conhecimento em busca de soluções. Como o próprio nome indica, a principal função do mecanismo é obter inferências, isto é, conclusões.

O procedimento é similar ao raciocínio de um especialista, quando avalia um problema e propõe soluções.

A literatura especializada (HAYES-ROTH et al., 1983; WATERMAN, 1986; SAWYER & FOSTER, 1986; PLANT & STONE, 1991) aponta dois tipos de mecanismos de inferência: um, conhecido como *encadeamento para frente (forward chaining)* e o outro, *encadeamento para trás (backward chaining)*. No primeiro, o sistema avalia se as condições da regra são satisfeitas e, caso isso ocorra, ele executa alguma ação ou ativa novas regras até obter a solução. Nesse tipo de mecanismo, o sistema usa os fatos ou dados do lado esquerdo para inferir as informações do lado direito. Essa técnica é conhecida como "*orientada por dados*".

No encadeamento para trás, o sistema parte de uma hipótese (objetivo) e executa as regras que possam confirmá-la. Essa técnica é conhecida como "*orientada por objetivos*".

Para WATERMAN (1986), a maneira como o sistema especialista deve ser estruturado depende da natureza do problema e do modo como o conhecimento é representado e organizado. Muitos sistemas usam linguagens de alto nível que têm o sistema de inferência construído como uma parte da mesma. Outras linguagens de baixo nível requerem o desenvolvimento e a implementação do mecanismo de inferência.

A interface com o usuário é o sistema de entrada e saída que permite a comunicação bidirecional, isto é, a troca de informações entre o usuário e o mecanismo de inferência. Essa interação ocorre através da entrada de fatos e dados e da saída em forma de perguntas, conclusões e explicações.

Segundo KIDD & COOPER (1985), a efetividade e aceitabilidade de um sistema especialista é muito dependente de sua interface homem-máquina, por isso os esforços para se promover cada vez mais essa interface deveriam ser redobrados.

Esses autores avaliaram as comunicações entre usuário e sistema e concluíram que os diálogos do tipo “pergunta e resposta”, amplamente utilizados em diversos sistemas especialistas, exigem muito tempo e dedicação por parte do usuário. Esses diálogos devem ser de tal modo flexíveis, que permitam a intervenção do usuário em qualquer ponto de execução

da tarefa. Finalmente, propõem o uso de dispositivos gráficos de modo que o usuário se comunique mais fácil e diretamente com o sistema.

2.2.1.2 – Desenvolvimento de um sistema especialista

Segundo SAWYER & FOSTER (1986), as pessoas envolvidas no desenvolvimento de um sistema especialista são:

- *Engenheiro de conhecimento*: é a pessoa encarregada de extrair o conhecimento dos especialistas, geralmente por meio de entrevistas, e depois organizá-lo e sistematizá-lo na base de conhecimento;
- *Usuário*: deve dizer como o sistema será usado, que tipos de problemas deverá resolver e como o programa deverá se comunicar com o usuário;
- *Especialista*: ou melhor, um time de especialistas, que estipula o assunto do problema para fornecer conhecimento, informações de fatos e a relação de métodos analíticos que ele usa para resolver problemas do seu domínio.

Para SAWYER & FOSTER (1986), todo sistema especialista deve ser considerado um experimento, cuja obtenção de resultados satisfatórios depende da especificidade do problema e da exatidão da definição do mesmo. O desenvolvimento de sistemas especialistas apresenta três fases especiais: planejamento, aquisição de conhecimento e implementação.

Qualquer experimento deve começar com uma minuciosa análise dos objetivos do projeto. Nessa etapa do desenvolvimento do sistema especialista o engenheiro de conhecimento deve conhecer a natureza do problema a ser resolvido, ser capaz de descrevê-lo assim como os efeitos ou resultados esperados da solução. A idéia é eliminar ambigüidade e facilitar o desenvolvimento de medidas específicas que podem validar, expandir e redefinir o sistema.

Na primeira fase, são necessários dados que devem ser fornecidos pelo usuário final, para assegurar que o sistema será operacionalmente prático e de acordo com a condição na

qual irá operar. O usuário participa na especificação dos problemas, esclarecendo, como os problemas são originados e como suas soluções devem ser implementadas.

Com os objetivos definidos, os problemas a serem resolvidos tornam-se aparentes e também que tipo de ação, evento ou implementação devem ser esperados como resultados de uma consulta ao sistema.

Nessa fase, a necessidade de especificação é grande. A base de conhecimento deve ser completa em detalhes, mas também deve ser limitada aos fatos e regras requeridas para alcançar os objetivos estabelecidos (SAWYER & FOSTER, 1986).

A segunda fase envolve adquirir, estruturar e traduzir o conjunto de experiências necessárias à resolução dos problemas identificados. Envolve a escolha de um ou mais especialistas de acordo com a complexidade do problema.

O passo seguinte é a aquisição do conhecimento necessário para a resolução do problema, apontada pela literatura como o gargalo no desenvolvimento de um sistema especialista. (HAYES-ROTH et al., 1983; WATERMAN, 1986; DOLUSCHITZ & SCHMISSEUR, 1988; HART, 1989; JONES, 1989). Em geral, os especialistas têm grande dificuldade para exprimir qual método ou regras foram usadas para a solução de um determinado problema do domínio.

O conhecimento de um SE provém de vários recursos, tais como: livros textos, publicações científicas, base de dados, casos estudados, dados empíricos e experiência pessoal. Contudo a fonte principal é o conhecimento dos especialistas no domínio, que é obtido com uma série de intensas e sistemáticas entrevistas.

Existem diversas técnicas de extração de conhecimento, que são essencialmente entrevistas de vários tipos e métodos psicológicos. É comum iniciar com entrevistas e então empregar outros métodos.

Segundo a forma de condução, as entrevistas podem ser de dois tipos: estruturada e não estruturada. A entrevista estruturada é feita com questões e objetivos específicos. Já a entrevista não estruturada é mais uma conversação dominada pelo especialista, iniciada com uma questão do tipo “com quais tipos de problema você normalmente lida?” (HART, 1989).

Após a aquisição de conhecimento, este deve ser organizado e sistematizado, na forma de fatos e regras, na base de conhecimento, cuja natureza será determinada pela definição do problema. Nessa fase, o engenheiro de conhecimento inicia o trabalho de implementação do sistema, empregando a representação escolhida para a construção de um protótipo, que deverá ser testado, refinado e validado quantas vezes forem necessárias até obter um sistema eficiente.

Deve-se fazer uma avaliação do SE, que se refere aos procedimentos aplicados para assegurar que o sistema foi desenvolvido de acordo com o seu propósito inicial. Essa etapa pode ser dividida em: verificação, validação e análise de sensibilidade (HARRISON, 1991).

A verificação consiste em checar se não há regras incorretas, se a base de conhecimento está completa se, para toda entrada o sistema especialista produz alguma conclusão e se esta é consistente.

A validação consiste em comparar o resultado obtido com a aplicação do sistema especialista e o resultado esperado. Essa comparação pode ser feita entre as saídas do SE com julgamentos de alta qualidade obtidos de outras fontes, para cenários selecionados.

Para a obtenção desses julgamentos são selecionados diversos especialistas no domínio e é solicitado aos mesmos que resolvam o problema considerando os cenários selecionados.

Segundo WENTWORTH et al. (1995), alguns cuidados devem ser tomados ao pedir para os especialistas participarem da validação. O engenheiro de conhecimento deve deixar bem claro que não são eles que estão sendo testados mas a base de conhecimento do sistema especialista e que a razão para consultar vários especialistas para a validação não é por falta de confiança em nenhum deles, mas a necessidade de validar as suposições feitas na base de conhecimento para estatisticamente obter um nível de confiança significativo.

Essas explicações são importantes para assegurar que não se crie nenhuma situação constrangedora ou de hostilidade entre o engenheiro de conhecimento e os especialistas o que poderia comprometer o desenvolvimento do sistema perdendo contribuições valiosas dos especialistas.

Essa etapa é uma tarefa complexa, pois os SEs, além dos problemas apresentados por sistemas tradicionais, têm problemas causados pelo fato de o domínio de conhecimento ser impreciso, incompleto e às vezes até incorreto (SCHMISSEUR, 1992).

A análise de sensibilidade consiste em analisar a extensão da variação nas saídas do sistema quando são feitas mudanças na base de conhecimento ou nos dados de entrada.

2.2.2 - Sistemas de Informações Geográficas

Um SIG é um sistema constituído por um conjunto de programas capazes de armazenar, manipular, transformar, analisar e exibir dados espacialmente distribuídos. Estes dados descrevem objetos e fenômenos em termos do posicionamento com relação a um sistema de coordenadas, de seus atributos, e das relações topológicas existentes (BURROUGH, 1986).

Segundo CÂMARA et al. (1996), há três grandes maneiras de utilizar um SIG: como ferramenta para produção de mapas; como suporte para análise espacial de fenômenos; ou como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação da informação espacial.

Por estas razões, um SIG pode ser utilizado em estudos relativos ao meio ambiente e aos recursos naturais, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou no apoio a decisões de planejamento, considerando a concepção de que os dados armazenados representam um modelo do mundo real (BURROUGH, 1986).

Numa visão abrangente, pode-se considerar que um SIG tem os seguintes componentes (CÂMARA et al., 1996):

- *Interface com o usuário*: o primeiro tipo de interface utilizado foi a linguagem de comandos, que se torna complexa à medida que aumenta a funcionalidade do sistema, o que dificulta o seu uso. A disponibilidade de ambientes computacionais interativos deu origem a interfaces baseadas em menus, que são mais fáceis de ser operadas.

- Entrada e integração de dados: existem quatro formas principais de entrada de dados, que são a digitalização em mesa, digitalização ótica, leitura de dados na forma digital e a entrada de dados via caderneta de campo.
- Funções de processamento: as funções de processamento dependem dos tipos de dados envolvidos. Podem ser agrupadas, por exemplo, em análise geográfica que engloba funções como superposição, mapas de distância, medidas (área, perímetro) etc.; processamento digital de imagens que envolve funções de filtragem, retificação, contraste, realce, entre outras; modelos numéricos de terreno que permitem gerar mapas de declividade, cálculo de volumes, análise de perfis etc.
- Visualização e plotagem: os ambientes de visualização são consequência direta da interface adotada. Quanto à produção cartográfica, alguns sistemas dispõem de recursos altamente sofisticados de apresentação gráfica, como definição de uma área de plotagem, colocação de legendas, textos explicativos e notas de crédito.
- Armazenamento e recuperação de dados: os dados de um SIG são organizados em um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGDB).

Estes componentes se relacionam de forma hierárquica e em três níveis: nível mais próximo do usuário, nível intermediário e nível mais interno do sistema. O primeiro nível é a interface com o usuário, que define como o sistema é operado e controlado. O segundo nível é constituído pelos mecanismos de processamento dos dados georreferenciados (entrada, edição, análise, visualização e saída). No último nível, um SGDB controla o armazenamento e a recuperação de dados espaciais e seus atributos (CÂMARA, 1998).

O domínio de aplicações que podem ser desenvolvidas com o uso de SIG está crescendo cada vez mais, acompanhando a evolução dos dispositivos de coleta de dados e as facilidades computacionais em geral. De um modo geral, esses sistemas têm sido utilizados em aplicações sócio-econômicas (uso da terra, ocupação humana e atividades econômicas); em aplicações de gerenciamento (planejamento de tráfego, de obras públicas, gerenciamento de recursos, entre outros); e aplicações ambientais (análise do meio ambiente e o uso de recursos naturais).

FORMAGGIO et al. (1992) concluíram que os sistemas de informações geográficas constituem uma das mais modernas e promissoras tendências de armazenamento e manipulação de informações temáticas sobre recursos naturais terrestres. As imagens de satélite, em conjunto com a avaliação de terras e um SIG constituem excelente ferramenta para verificar a adequação de uso das terras de uma região, viabilizando medidas governamentais de estímulo à intensificação de práticas conservacionistas nos locais onde os riscos detectados sejam maiores.

A área de meio ambiente é uma das mais tradicionais na utilização da tecnologia de SIG, devido, principalmente, às grandes extensões territoriais envolvidas e ao dinamismo requerido para que se possa exercer um controle eficaz (FERNANDES, 1997).

São muitas as vantagens da utilização de SIG nessa área, como a rapidez com que os dados podem ser manipulados e a facilidade de atualização dos mesmos; a produção de mapas com rapidez; obtenção de mapas intermediários; a quantificação automática de áreas etc.

As técnicas de sensoriamento remoto e de integração de dados pelo sistema de informação geográfica vêm sendo aplicadas em estudos de mudanças do uso da terra (PINTO et al., 1989; SILVA et al., 1993), avaliação das terras para fins agrícolas (FORMAGGIO et al., 1992; LOPES ASSAD, 1995; HAMADA et al., 1996) e também nos estudos de degradação dos solos (DONZELLI et al., 1992; VALÉRIO FILHO, 1994; CAVALIERI, 1998).

2.3 – Síntese

O capítulo apresentou a importância do planejamento de uso da terra e como deve ser elaborado. O uso da terra deve ser feito segundo a sua Capacidade de Uso e com a adoção de sistemas de manejo que conservam o solo. Também foram apresentadas definições e características de Sistemas de Suporte à Decisão, Sistemas Especialistas e Sistemas de Informação Geográfica, e citados alguns exemplos da utilização destes de forma integrada .

O próximo capítulo descreve como foi desenvolvido o trabalho, apresentando os componentes do sistema e como estes foram integrados.

III - MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo descreve como foi conduzido o trabalho e para uma melhor compreensão foi dividido da seguinte forma:

- A seção 3.1 apresenta a estrutura do sistema e os seus componentes: Sistema Especialista para determinar a capacidade de uso da terra (CAP_USO), Sistema Especialista para fazer as recomendações de uso e manejo (RECOMENDAÇÕES), Interface e Base de Dados;
- A seção 3.2 contém a descrição da área utilizada para testar o SSD desenvolvido;
- Na seção 3.3 é apresentada uma síntese do capítulo.

3.1 - Estrutura do sistema

O sistema é composto por um conjunto de sub-sistemas:

- a) Dois sistemas especialistas, um para determinar a capacidade de uso da terra (CAP_USO) e outro para fazer as recomendações das práticas de conservação e manejo do solo (RECOMENDAÇÕES);
- b) Sistema de Informações Geográficas (SIG);
- c) Base de Dados; e
- d) Interface.

Cada um desses sub-sistemas é um programa individual que pode se comunicar com os outros pela interface. A Figura 4 mostra um esquema com os componentes do sistema e os fluxos das operações.

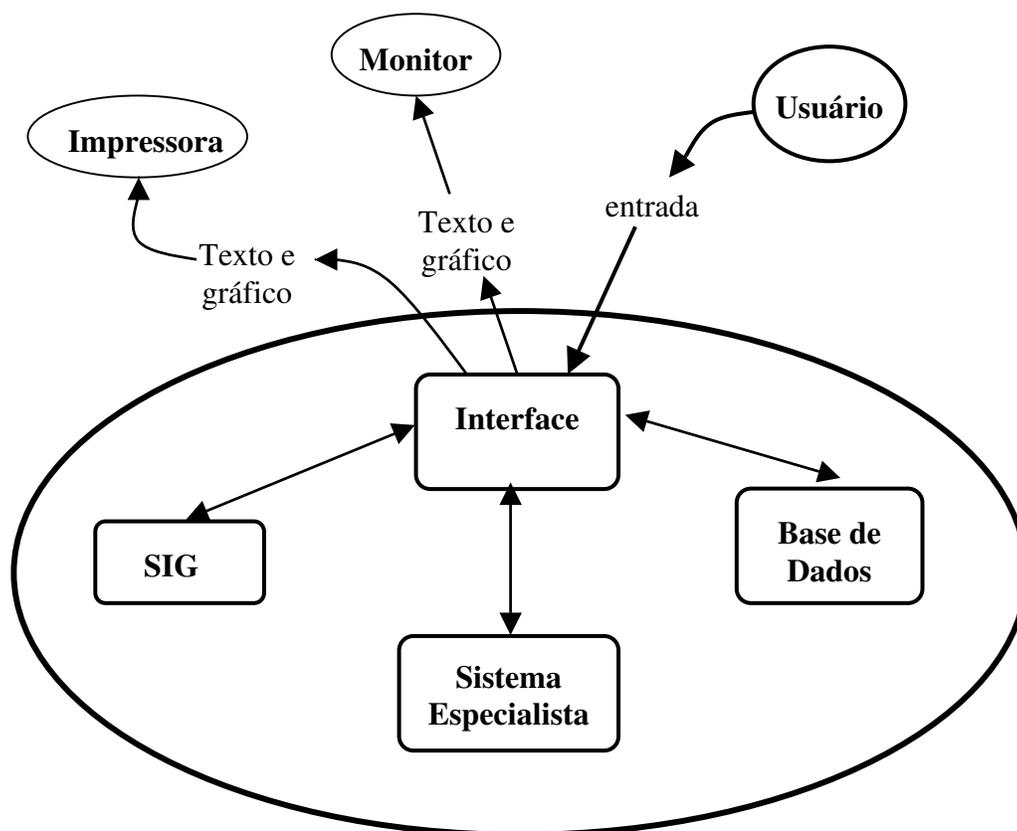


Figura 4: Componentes do sistema e fluxo de operações.

3.1.1 - Sistema Especialista

Todo planejamento de conservação do solo deve se basear no uso da terra de acordo com a sua capacidade e em um tratamento conforme a sua necessidade. A capacidade de uso indica o grau de intensidade de cultivo que pode ser aplicado sem que o solo sofra diminuição de sua produtividade por efeito da erosão. O tratamento é a aplicação dos métodos de proteção do solo.

Dentro desse contexto, o sistema determina primeiro a capacidade de uso da terra e depois recomenda as práticas de conservação e manejo do solo.

3.1.1.1 – Capacidade de uso da terra

Para determinar a capacidade de uso da terra, foi utilizado o sistema especialista, CAP_USO, desenvolvido por GIBOSHI (1999) com algumas alterações. O sistema passou por um refinamento e, em função disso, foram alteradas as regras que determinam o grau de limitação para disponibilidade de água e, também, para fixação de fósforo.

Além dessas modificações, também foram feitas alterações na base de conhecimento para tornar possível a comunicação com a interface e, por sua vez, com os outros componentes do sistema de suporte à decisão desenvolvido.

a) Disponibilidade de água

As regras para determinar o grau de limitação para disponibilidade de água foram modificadas, utilizando a mesma metodologia adotada por PEREIRA (2002).

O autor calculou a água disponível utilizando a equação de ARRUDA et al. (1987), e, a partir de valores de água disponível (até a profundidade de 100 cm), obtidos para diferentes percentuais de soma das frações “silte e argila”, estabeleceu os graus de limitação de acordo com os grupamentos texturais do solo: arenosa, média, argilosa e muito argilosa (Tabela 2).

b) Fixação de fósforo

No sistema desenvolvido por GIBOSHI (1999), a determinação do grau de limitação devido à fixação de fósforo é feita através da cor e da textura do solo e, também, pela sua atração magnética com base no trabalho de OLIVEIRA & SOSA (1995). Como os dados para a sua determinação são muito subjetivos, as regras utilizadas pelo sistema especialista, para esse fim, não se mostraram adequadas para todas as classes de solo.

Tabela 2: Graus de limitação devido à disponibilidade de água

%Silte + % Argila	Grupamentos texturais do solo		
	Textura arenosa	Textura média e Textura argilosa	Textura muito argilosa
	Grau de limitação		
< 5	4	-	-
5 – 10	3	-	-
10 - 15	2	-	-
15 – 25	1	-	-
25 – 30	0	-	-
30 – 60	-	0	-
60 –75	-	0	0
75 – 85	-	1	1
85 – 90	-	2	2
90 –95	-	3	3
> 95	-	4	4

Fonte: Pereira (2002).

Grau de limitação: 0 = nulo 1 = ligeiro 2 = moderado 3 = forte 4 = muito forte

Para resolver esse problema, utilizou-se a relação proposta por CAMARGO et al. (1974) que utiliza dados de fácil determinação e que estão presentes nas análises químicas.

Os solos das regiões tropicais e subtropicais são, de um modo geral, pobres em fósforo. Embora as exigências das plantas em fósforo sejam pequenas, é o elemento cuja carência, no solo, mais limita a produção agrícola nessas regiões (MALAVOLTA, 1980).

A dinâmica do fósforo no solo é peculiar e bem distinta dos outros nutrientes, resultando em carências desse elemento ou em comportamento particular no que concerne a sua disponibilidade às plantas.

Segundo OLIVEIRA & BERG (1985), o tempo gasto para um solo, após a saturação, colocar o fósforo à disposição das plantas por meio da solução, é assunto controvertido. Mas é conhecido que a saturação é transitória e que o solo volta a manifestar carência desse elemento, se não for feita a reposição do fósforo.

Pelas razões expostas acima, a adubação fosfatada constitui uma prática agrícola indispensável para a obtenção de uma boa produção.

Trabalhando com solos que apresentavam variadas quantidades de óxidos de ferro e de alumínio, e de teor de argila, CAMARGO et al. (1974), demonstraram a estreita relação existente entre este último fator e a fixação de fósforo. Os autores comentam que, por ser a determinação do teor de argila fácil e rotineira, pode dar sozinha uma idéia muito boa da relação entre o fósforo e o solo para as condições estudadas.

Os autores utilizaram o índice de Bache e Williams (BACHE & WILLIAMS, 1971, citados por CAMARGO et al., 1974) para verificar a sua relação com algumas propriedades do solo. Usando análise de regressão, correlacionaram o índice com algumas propriedades e a relação encontrada para o teor de argila foi:

$$Y = 0,05 + 0,51X \quad (1)$$

Onde: X = teor de argila em % Y = índice de Bache e Williams

A partir de valores de Y, calculados para 35 solos do estado de São Paulo, foram estabelecidos os graus de limitação para fixação de fósforo de acordo com o teor de argila, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Graus de limitação devido à fixação de fósforo

Grau de Limitação	Teor de argila (%)	Fixação de fósforo
0: nulo	< 15	Nula
1: ligeiro	15 – 30	Baixa
2: moderado	30 – 45	Moderada
3: forte	45 – 60	Alta
4: muito forte	> 60	Muita alta

c) Declividade

As classes de declividade adotadas neste trabalho são as mesmas utilizadas por GIBOSHI (1999) e LAGROTTI (2000), e estão representadas na Tabela 4.

Tabela 4: Classes de declividade

CD	Declividade (%)
A	0 - 3
B	3 - 6
C	6 - 9
D	9 - 12
E	12 - 18
F	18 - 25
G	> 25

Essas classes de declividade têm limites diferentes dos sugeridos por LEPSCH et al. (1991), pois adotou-se o critério que áreas com declividade acima de 25% não devem ser utilizadas para uso agrícola.

d) Fatores Limitantes

Os fatores limitantes ao uso da terra considerados pelo sistema especialista desenvolvido por GIBOSHI (1999) para determinar a capacidade de uso, além da disponibilidade de água e fixação de fósforo, são: pedregosidade, rochosidade, risco de geada, risco de inundação, profundidade efetiva, drenagem interna ou excesso de água, risco de erosão, restrição à mecanização, disponibilidade de nutrientes e toxicidade por alumínio.

Nas tabelas a seguir estão apresentados os critérios utilizados por GIBOSHI (1999) para determinar os graus de limitação ao uso devido a esses fatores.

Tabela 5: Graus de limitação devido à pedregosidade em função da porcentagem de fragmentos grosseiros em relação à massa de solo.

Grau de limitação	Quantidade de fragmentos grosseiros em relação à massa do solo
	(%)
0: nulo	Sem fragmentos
1: ligeiro	< 15
2: moderado	15 a 50
3: forte	50 a 75
4: muito forte	> 75

Fonte: LEPSCH et al.,1991.

Tabela 6: Graus de limitação devido à rochiosidade em função da porcentagem de matacões e afloramentos rochosos em relação à massa do solo.

Grau de limitação	Quantidade de matacões e/ou afloramentos rochosos em relação à massa do solo
	(%)
0: nulo	Sem rochas.
1: ligeiro	< 1
2: moderado	1 a 10
3: forte	10 a 50
4: muito forte	> 50

Fonte: LEPSCH et al.,1991.

Tabela 7: Graus de limitação devido ao risco de geada em função da posição no relevo.

Grau de limitação	Posição no relevo
0: nulo	Terço superior de encostas e de topo de serras com declives superiores a 6%
1: ligeiro	Terço superior de encostas e serras com declives superiores a 6%
2: moderado	Terço inferior das encostas com declives entre 3 e 6%
3: forte	Planícies aluviais com declives não superiores a 3%

Fonte: comunicação pessoal do Dr. Ângelo Paes de Camargo em 17/11/98 do Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agrônomo de Campinas- IAC.

Tabela 8: Graus de limitação devido ao risco de inundação em função da duração e frequência da inundação.

Grau de limitação	Duração	Frequência
0: nulo	Curta	Ocasional
1: ligeiro	Média	Ocasional
	Curta	Frequente
2: moderado	Média	Frequente
	Curta	Muito Frequente
3: forte	Longa	Ocasional
	Média	Frequentes
4: muito forte	Longa	Muito frequentes

Fonte: LEPSCH et al. (1991) e OLIVEIRA & SOSA (1995)

Curta: 1 dia

Média: 2 a 30 dias

Longa: mais de 30 dias

Ocasional: a cada seis anos

Frequente: 1 a 5 anos

Muito frequente: todos os anos ou mais vezes ao ano

Tabela 9: Graus de limitação devido à profundidade efetiva.

Grau de limitação	Classe de profundidade efetiva	Profundidade
0: nulo	Muito profundo	> 2,00m
1: ligeiro	Profundo	1,00 a 2,00m
2: moderado	Moderadamente profundo	0,50 a 1,00m
3: forte	Raso	0,25 a 0,50m
4: muito forte	Muito raso	< 0,25m

Fonte: LEPSCH et al., 1991

Tabela 10: Graus de limitação devido à drenagem interna ou excesso de água.

Grau de limitação	Classe de drenagem*
0: nulo	Excessiva a boa
1: ligeiro	Moderada
2: moderado	Imperfeita
3: forte	Má
4: muito forte	Muito mal drenado

Fonte: OLIVEIRA & SOSA, 1995.

*Classe de drenagem segundo EMBRAPA (1999).

Alguns solos sofrem mais erosão que outros, mesmo sob as mesmas condições devido às propriedades do próprio solo. Essa diferença é denominada erodibilidade do solo, ou seja, é a sua vulnerabilidade ou suscetibilidade à erosão (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Dentro desse contexto, o sistema determina o grau de limitação ao uso devido ao risco de erosão em função do grau de limitação devido à erodibilidade do solo (Tabela 11) e da classe de declividade em que o mesmo se encontra (Tabela 12).

Para o caso de agrupamento de classes de solos em associações, o índice de erodibilidade foi estabelecido calculando-se a média ponderada, de acordo com o seguinte critério¹:

- associação de duas classes de solos: 60% da primeira e 40% da segunda classe;
- associação de três classes de solos: 50% da primeira, 30% da segunda e 20% da terceira classe.

Tabela 11: Graus de limitação devido a erodibilidade

Grau de limitação	Erodibilidade
	(t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹)
0: nulo	0 a 0,005
1: ligeiro	0,005 a 0,020
2: moderado	0,020a 0,030
3: forte	0,030 a 0,040
4: muito forte	> 0,040

Fonte: Comunicação pessoal do Dr. Francisco Lombardi Neto (1999)

¹ Comunicação pessoal do Dr. Francisco Lombardi Neto

Tabela 12: Graus de limitação devido ao risco de erosão em função da erodibilidade e da classe de declividade.

Classe de declividade	Erodibilidade				
	0**	1**	2**	3**	4**
A (0 – 3%)	0	1	1	2	3
B (3 – 6%)	1	1	2	3	4
C (6 – 9%)	1	2	3	4	4
D (9 – 12%)	2	3	3	4	4
E (12 – 18%)	3	4	4	4	4
F (18 – 25%)	4	4	4	4	4
G (> 25%)	4	4	4	4	4

Fonte: Comunicação pessoal do Dr. Francisco Lombardi Neto (1999)

**Grau de limitação devido a erodibilidade

Grau de limitação: 0 = nulo 1 = ligeiro 2 = moderado 3 = forte 4 = muito forte

Tabela 13: Graus de limitação devido à disponibilidade de nutrientes em função da saturação de bases e da capacidade de troca de cátions (CTC).

CTC (e.mg/100gtfSA)	Faixas de saturação de bases (%)			
	50 - 100	25 – 50	10 – 25	0 – 10
> 5	0	1	3	4
3 – 5	1	2	3	4
2 – 3	2	2	4	4

Fonte: OLIVEIRA & BERG, 1985.

Grau de limitação: 0 = nulo 1 = ligeiro 2 = moderado 3 = forte 4 = muito forte

Tabela 14: Graus de limitação devido à toxicidade por alumínio em função da capacidade de troca catiônica (CTC) e da saturação de alumínio.

CTC (e.mg/100gtfSA)	Faixas de saturação de alumínio (%)				
	0 - 10	10 - 30	30 - 50	50 - 70	70 – 100
5 – 10	0	1	2	3	4
1 – 5	0	1	1	2	3

Fonte: OLIVEIRA & BERG, 1985.

Grau de limitação: 0 = nulo 1 = ligeiro 2 = moderado 3 = forte 4 = muito forte

Tabela 15: Graus de limitação devido à drenagem interna ou excesso de água.

Grau de limitação	Classe de drenagem*
0: nulo	Excessiva a boa
1: ligeiro	Moderada
2: moderado	Imperfeita
3: forte	Má
4: muito forte	Muito mal drenado

Fonte: OLIVEIRA & SOSA, 1995.

*Classe de drenagem segundo EMBRAPA (1999).

Tabela 16: Graus de limitação devido à mecanização em função da classe de declividade, risco de inundação e/ou pedregosidade.

Grau de limitação	Classe de declividade	Risco de inundação e/ou pedregosidade
0: nulo	A	Nulo
1: ligeiro	B	Ligeiro
2: moderado	C	Moderado
3: forte	D e E	Forte
4: muito forte	F e G	Muito forte

Fonte: Comunicação do Dr. Francisco Lombardi Neto, 1997.

Classe de declividade - A: 0 a 3%; B: 3 a 6%; C: 6 a 9%; D: 9 a 12%; E: 12 a 18%; F: 18 a 25%; G: maior que 25%.

e) Classes de capacidade de uso

As classes de capacidade de uso da terra são determinadas pelo sistema especialista em função dos graus de limitação dos fatores limitantes, das classes de declividade e classe de solo. A Tabela 17 os graus de limitação dos fatores limitantes e as classes de declividade considerados na determinação da classe de capacidade de uso da terra.

Tabela 17: Classe de declividade e graus de limitação dos fatores limitantes para determinação das classes de capacidade de uso da terra

CCU	CD	Fatores limitantes											
		g	i	d	p	w	pd	r	v	a	f	re	m
I	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
II	A ou B	1	1	1	1	1	1	1	1-3	1-3	1-3	1-2	1
III	B	1	2	2	2	2	2	2	3-4	1-3	1-3	3	2
IV	C	2	3	3	3	3	3	3	3-4	3-4	3-4	4	3
V	A ou B	-	3-4	2-4	3	-	3	3	-	-	-	-	-
VI	D	4	3	3	4	4	4	4	3-4	-	-	4	3
VII	E ou F	4	4	4	4	4	4	4	3-4	-	-	4	4

Para casos de classes de solos em associações, a capacidade de uso é determinada considerando as informações do primeiro solo, por este ser predominante na associação, com exceção do grau de limitação para o risco de erosão que considera a média ponderada do fator erodibilidade dos solos da associação.

A classe VIII corresponde a terras impróprias para qualquer tipo de cultivo, pastagens ou reflorestamento, que devem ser utilizadas para proteção e abrigo da fauna e flora silvestre, para fins de recreação e turismo. Em geral são áreas que devem ser preservadas por fragilidade ambiental, decorrente de condições especiais de solo e/ou relevo e/ou clima.

Nesse trabalho, adotou-se a simbologia “**VIIIff**” para essas áreas que devem ser preservadas por fragilidade ambiental, e “**VIIIfF**” para áreas de preservação ambiental, protegidas por Lei, de forma semelhante à adotada por PEREIRA (2002) em “Aptidão Agrícola das Terras e Sensibilidade Ambiental: proposta metodológica”.

As classes de capacidade de uso são apresentadas de forma diferente do “Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso” de LEPSCH et al. (1991). São representadas por algarismos romanos, seguidas dos símbolos dos fatores limitantes acompanhados dos seus respectivos graus de limitação ao uso da terra e em ordem decrescente. Quando o fator não aparece, significa que o grau de limitação é nulo.

O exemplo a seguir ilustra melhor como é apresentada a classe de capacidade de uso.

Exemplo 1:

- Solo: **LATOSSOLO VERMELHO** (LEd3/so - Limeira)
- Classe de declividade: B (3 a 6%)
- Capacidade de uso: **III v3 a3 f2 re1 m1**
 - Classe III de capacidade de uso da terra, com fator:
 - disponibilidade de nutrientes (v) com limitação forte
 - toxicidade por alumínio (a) com limitação forte;
 - fixação de fósforo com grau moderado;
 - risco de erosão (re) moderado; e
 - impedimentos à mecanização (m) com grau ligeiro.

f) Alterações no sistema especialista para integrá-lo ao SSD

O sistema especialista para determinar a capacidade de uso da terra foi desenvolvido, por GIBOSHI (1999), com o uso de uma linguagem de programação de alto nível conhecida como CLIPS (C Language Integrated Production System), desenvolvido por Software Technology Branch (STB), NASA/Lyndon B. Johnson Space Center (GIARRATANO & RILEY, 1993).

O CLIPS consiste em uma ferramenta que provê um ambiente para a construção de sistemas especialistas, dispõe de um mecanismo de inferência e de uma interface com o usuário, mas sem a base de conhecimento: esta deve ser incorporada pelo programador com o uso da linguagem de programação própria do CLIPS (RILEY, 2002).

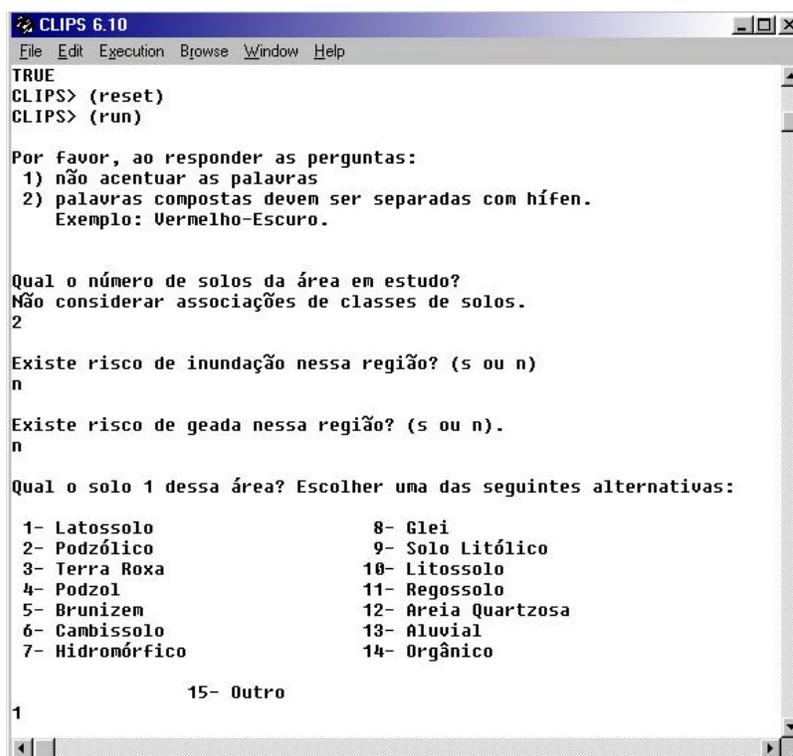
É amplamente difundido e utilizado como "shell"² de um sistema especialista, tem alta portabilidade, isto é, pode ser utilizado em diversos tipos de computadores e sistemas, tais como Unix e Windows. É um programa gratuito, disponibilizado na Internet, juntamente com uma vasta documentação (Guia do Usuário e Manual de Referência).

² "Shell" é um sistema especialista "vazio", sem a sua base de conhecimento, mas com o sistema de inferência e a interface do usuário.

A interface do CLIPS, como a maioria das ferramentas desse tipo utilizadas para a construção de sistemas especialistas, é simples, ou seja, permite apenas o diálogo com o usuário por meio de perguntas e repostas, via teclado (Figura 5), não possui uma interface gráfica.

Para integrar o sistema especialista CAP_USO com os componentes do sistema de suporte à decisão foi necessário efetuar algumas modificações na base de conhecimento. Todas as informações necessárias para a determinação da capacidade de uso, que eram obtidas com as perguntas feitas ao usuário pelo SE (Figura 5), passaram a ser fornecidas pela interface, desenvolvida em Visual Basic (VB), que possui muito mais recursos para isso, comparado ao CLIPS.

Assim, todas as regras destinadas a fazer perguntas ao usuário foram retiradas da base de conhecimento, ficando somente as regras necessárias à determinação da capacidade de uso da terra.



```
CLIPS 6.10
File Edit Execution Browse Window Help
TRUE
CLIPS> (reset)
CLIPS> (run)

Por favor, ao responder as perguntas:
1) não acentuar as palavras
2) palavras compostas devem ser separadas com hífen.
Exemplo: Vermelho-Escuro.

Qual o número de solos da área em estudo?
Não considerar associações de classes de solos.
2

Existe risco de inundação nessa região? (s ou n)
n

Existe risco de geada nessa região? (s ou n).
n

Qual o solo 1 dessa área? Escolher uma das seguintes alternativas:

1- Latossolo          8- Glei
2- Podzólico         9- Solo Litólico
3- Terra Roxa        10- Litossolo
4- Podzol            11- Regossolo
5- Brunizem          12- Areia Quartzosa
6- Cambissolo        13- Aluvial
7- Hidromórfico      14- Orgânico
                    15- Outro

1
```

Figura 5: Interface do sistema especialista CAP_USO executado no CLIPS (GIBOSHI, 1999).

O desenvolvimento de interfaces de sistemas especialistas elaborados com o uso do CLIPS, utilizando VB, pode ser feito de duas formas: a primeira consiste na utilização do “CLIPS OCX”, porém este não é gratuito; a segunda opção é fazer uso de outra biblioteca dinâmica do CLIPS, o clipshll.dll (onde dll são as iniciais de “Dynamic Library Link” e hll, as iniciais de “High Level Language”) cuja documentação a respeito de suas funções e seus respectivos comandos de acesso se encontram disponíveis e abertos ao público³ (USBERTI, 2003).

Pelo exposto no parágrafo anterior, nesse trabalho, foram utilizadas as bibliotecas dinâmicas do CLIPS (clips.dll e clipshll.dll), as quais possibilitam exportar suas funções para um ambiente desenvolvido em linguagem de programação de alto nível, como o Visual Basic.

Essa biblioteca dinâmica, o clipshll.dll, contém menos funções que o clips.dll, mas possui todas as funções essenciais para o desenvolvimento de uma boa interface com o usuário de um sistema especialista. Estas funções estão descritas com mais detalhes no ANEXO A.

Como o clips.dll não pode ser acessado diretamente pelo VB, utilizou-se o clipshll.dll para fazer o intercâmbio entre o clips.dll e o Visual Basic. Os procedimentos dessa biblioteca dinâmica chamam automaticamente os procedimentos do clips.dll, sem haver necessidade de declarar esses últimos.

Para o bom funcionamento do programa, os arquivos clips.dll, clips.lib, clipshll.dll e clipshll.lib devem estar no mesmo diretório do programa desenvolvido em Visual Basic.

Os procedimentos da biblioteca dinâmica a serem utilizados em um projeto do VB devem estar declarados em um módulo. A declaração para funções e sub-rotinas deve ser feita utilizando-se, respectivamente, as seguintes sintaxes:

- Declare Function <nome da função> Lib "<diretório onde se encontra a biblioteca dinâmica>" (<argumento1> As <tipo do argumento1>,<argumento2> As <tipo do

³ <http://ourworld.compuserve.com/homepages/marktoml/clipstuf.htm>. Acesso em 14 / 09 / 2001.

argumento2>,...,<argumentoN> As <tipo do argumentoN>) As <tipo da variável de retorno>

- Declare Sub <nome da sub-rotina> Lib "<diretório onde se encontra a biblioteca dinâmica>" (<argumento1> As <tipo do argumento1>,<argumento2> As <tipo do argumento2>,...,<argumentoN> As <tipo do argumentoN>)

Toda programação em Visual Basic para fazer a comunicação entre os componentes do sistema e entre estes e o usuário estão na interface, que será discutida com mais detalhes no item 3.2.4.

Com as modificações efetuadas, todas as informações necessárias para determinar a capacidade de uso são obtidas pela interface com o usuário que faz a comunicação com o banco de dados, que contém informações dos solos, e com o SIG.

3.1.1.2 – Sistema especialista para recomendações de uso da terra e práticas conservacionistas

O sistema especialista para as recomendações de uso da terra e práticas conservacionistas, também foi desenvolvido utilizando o “shell” conhecido como CLIPS, que é o mesmo do sistema especialista para determinar a capacidade de uso da terra desenvolvido por GIBOSHI (1999).

A integração desse sistema com os componentes do SSD também foi feita com o uso das funções das bibliotecas dinâmicas do CLIPS: clips.dll e clipshll.dll.

Esse sistema especialista está composto por três conjuntos de regras (Figura 6):

- a) Regras para determinar o uso adequado para um determinado solo;
- b) Regras para recomendações de práticas conservacionistas e manejo do solo; e
- c) Regras com recomendações para terraceamento, quando for necessário.

Utilizando essas regras, o programa separa os usos adequados e as recomendações de uma lista de fatos que é carregada assim que o programa é executado.

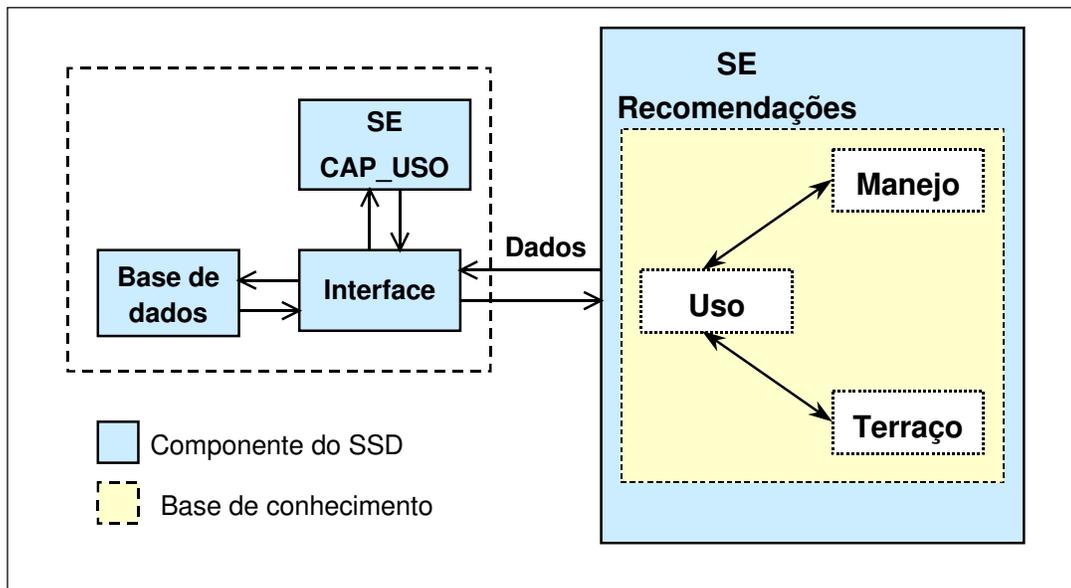


Figura 6: Diagrama com componentes do SSD e fluxo de operações, com destaque para o SE que faz as recomendações de uso e manejo.

A aquisição de conhecimento para desenvolver esses conjuntos de regras para que o sistema possa fazer as recomendações de uso e práticas de conservação e manejo do solo foi feita com base em literatura existente sobre o assunto (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990; LOMBARDI NETO & DRUGOWICH, 1994; LEPSCH, 1991; LOMBARDI NETO & BELLINAZZI JÚNIOR., 1989; SARTORI, 2004) e, também, com entrevistas realizadas com especialistas da área.

As entrevistas realizadas com os especialistas não tinham um padrão determinado quanto à forma de condução, ou seja, eram conduzidas de formas diferentes, dependendo da maneira como cada especialista expressava o seu conhecimento, como fazias inferências sobre o assunto. Sempre que possível as entrevistas eram estruturadas, isto é, com questões e objetivos bem específicos.

Não foi feito uso de gravador durante as entrevistas para não deixar os entrevistados constrangidos, pois notou-se que sem este recurso a maioria dos especialistas ficava mais à vontade para falar. As respostas eram anotadas durante a entrevista e logo após o término da mesma eram feitas outras anotações que não foram feitas durante o transcorrer da conversa para que nada fosse esquecido.

Este trabalho contou com a colaboração de um especialista “principal” com muita experiência no domínio do SE desenvolvido. Além de contribuir com sua experiência para o desenvolvimento da base de conhecimento, também sempre era consultado em casos de divergência durante a aquisição de conhecimento como por exemplo, quando dois ou mais especialistas entrevistados tinham opiniões diferentes sobre um mesmo tema, o consenso era obtido consultando esse especialista.

Os tipos de uso indicados pelo sistema, assim como as recomendações, não fazem parte da base de conhecimento, ou seja, estão em arquivos separados do sistema especialista, o que facilita modificações, como acrescentar outros tipos de uso e/ou recomendações aliado ao fato das regras estarem divididas em três conjuntos distintos dentro da base de conhecimento. Em resumo, para cada conjunto de regras existe um arquivo correspondente com as recomendações que são feitas pelo sistema.

A Interface é o componente responsável pelo fornecimento de dados ao SE RECOMENDAÇÕES. Esses dados são obtidos da Base de Dados e do SE CAP_USO quando este último é ativado pela interface.

As informações recebidas pelo SE RECOMENDAÇÕES são: classe de solo, classe de capacidade de uso; limitações ao uso e o seu respectivo grau e classe de declividade.

Os tipos de uso recomendados pelo sistema são:

- a) Cultura anual;
- b) Cultura perene;
- c) Pastagem;
- d) Reflorestamento;
- e) Área de preservação ambiental;
- f) Área de uso turístico; e

g) Área de conservação hídrica.

Para as classes de capacidade de uso de I a IV, o sistema recomenda o uso de cultura anual e/ou perene e, também, define se o uso é adequado, moderado ou restrito, pois quanto maior for a classe, mais complexos são os problemas de conservação.

O uso com pastagem é recomendado para as classes V, VI e VII; reflorestamento, para as classes VI e VII; e a classe VIII é recomendada para área de preservação e/ou uso turístico e/ou área de conservação hídrica.

As recomendações de práticas conservacionistas e manejo do solo têm como objetivo principal o controle da erosão e a redução da degradação do solo, da água e do meio ambiente, e estão centradas em três pontos básicos: aumento da cobertura vegetal do solo; aumento da infiltração de água no perfil do solo; e controle do escoamento superficial, e, é nesse contexto que o sistema faz as recomendações de manejo em função do uso indicado.

A Figura 7 mostra alguns exemplos de regras do sistema especialista utilizadas para fazer as recomendações de uso e manejo.

A seleção do tipo de terraço é feita em função das características do solo, da declividade, do tipo de cultura a ser implantada, do sistema de cultivo utilizado, das condições climáticas e da disponibilidade de máquinas.

O sistema recomenda terraços quanto a sua função (nível ou com gradiente) e dimensão (base larga, base média e estreita). Quanto ao perfil, o terraço recomendado é sempre o “terraço comum”, pois este é indicado para declividades menores que 18% e, acima desse valor o sistema não recomenda o uso para culturas, somente para pastagem natural, reflorestamento ou área de preservação.

```

; ----- Uso -----
(defrule impr-uso-I
  (CCU I)
  ?Tipo <- (tipo-uso(tipo ?tipo&:(and(neq ?tipo 2)(neq ?tipo 3)))(uso ?uso))
=>
  (printout recomenda ?i "-")
  (printout recomenda ?uso crlf)
  (retract ?I ?Tipo))

; ----- Recomendação -----
(defrule ccu-I-rec-man_1b
  (CCU I)
  (impr-rec 1)
  (recomendacoes-manejo(rec ?rec) (i 71|70|70a|69|68|67|65|64|64b|27))
=>
  (printout recomenda ?rec crlf))

(defrule ccu-I-rec-man_1c
  (impr-rec 1)
  (CCU I)
  (recomendacoes-manejo(rec ?rec) (i 66a|66))
=>
  (printout recomenda ?rec crlf))

```

Figura 7: Exemplo de regras (em CLIPS) do sistema especialista para recomendações de uso e manejo.

Quanto à construção do terraço, o sistema não faz nenhuma recomendação, pois depende dos tipos de máquinas e implementos disponíveis, além de fatores econômicos, que não são contemplados nesse trabalho.

A partir da aquisição de conhecimento feita por meio de entrevistas com especialistas e de literatura, foram elaboradas as regras que depois foram sistematizadas, ou seja, colocadas na forma condicional (IF-THEN) e com a sintaxe da linguagem de programação CLIPS

A Tabela 18 mostra algumas regras para a recomendação de terraços e na Figura 8, algumas regras sistematizadas na forma IF-THEN e em CLIPS.

Tabela 18: Exemplos de regras para recomendações de terraço.

Condições		Recomendação
Função		
Solos dos grupos A e B *		Nível
Solos dos grupos C e D *		Gradiente
Dimensão		
Solos do grupo A e B * Cultura anual ou perene Classe declividade: B e C		Base larga
Solos do grupo A e B * Cultura anual ou perene Classe de declividade: D	Solos do grupo C e D * Cultura anual ou perene Classe de declividade: B e C	Base média
Solos do grupo A e B * Cultura perene Classe de declividade: E	Solos do grupo C e D * Cultura anual ou perene Classe de declividade: D	Cordão em contorno ou base estreita

* Grupo Hidrológico do Solo segundo a classificação hidrológica feita por SARTORI (2004).

```

;*****Sistema de terraceamento *****
(defrule terra_nivel
  (solo-tipo 1|2)
  (recomendacoes-terraço(terra ?terra) (i 1a))
=>
  (assert (impr_rec nivel))
  (printout recomenda ?terra " "))

(defrule terra_gradiente
  (or (solo-tipo 6|9|2)
  (recomendacoes-terraço(terra ?terra) (i 2))
=>
  (printout recomenda ?terra " ")
  (assert (impr_rec grad)))

(defrule terra_base_larga
  (CCU II)
  (impr_rec nivel|grad)
  (CD A|B)
  (recomendacoes-terraço(terra ?terra) (i 3))
=>
  (printout recomenda ?terra crlf)
  (assert (impr_rec base)))

(defrule terra_base_media
  (CCU III|IV|VI|VII)
  (resp 1|2|3)
  (impr_rec nivel|grad)
  (recomendacoes-terraço(terra ?terra) (i 6))
=>
  (printout recomenda ?terra crlf)
  (assert (impr_rec base)))

```

Figura 8: Exemplo de regras (em CLIPS) para recomendações de terraço.

O sistema classifica os solos nos grupos hidrológicos de acordo com a proposta apresentada por SARTORI (2004), resumida na Tabela 19, para os solos registrados no atual Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA et al., 1999).

Tabela 19: Enquadramento das classes gerais de solo do Estado de São Paulo nos grupos hidrológicos do solo segundo SARTOI (2004).

Grupo Hidrológico do Solo	Classes gerais de solo
A	LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso;
B	LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.
C	ARGISSOLOS pouco profundos, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÁPLICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (latossólico); ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO.
D	NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

Fonte: SARTORI (2004).

3.1.1.3 - Validação do sistema especialista

A validação consiste em comparar o resultado obtido com a aplicação do sistema especialista e o resultado esperado. Essa comparação é feita entre as saídas do SE com julgamentos obtidos de outras fontes, para cenários selecionados.

O cenário utilizado para a validação foi o município de Santo Antônio do Jardim. Foi solicitado a quatro especialistas (Tabela 20) que fizessem a recomendação de uso e das práticas de conservação e manejo do solo, em função da capacidade de uso da terra.

Tabela 20: Identificação dos especialistas que participaram da validação⁴.

Especialista	Função	Área de atuação
Dra. Isabella Clérici De Maria	Engenheira Agr ^a , pesquisadora científica do Centro de Solos e Recursos Ambientais, Instituto Agronômico de Campinas.	Manejo e conservação do solo.
Dr. Lauro Charlet Pereira	Engenheiro Agr ^o , pesquisador da Embrapa Meio Ambiente.	Avaliação de uso das terras, zoneamento agroambiental, planejamento rural sustentável e gestão ambiental.
Dra. Mara Marinho Weill	Engenheira Agr ^a , professora da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP	Planejamento, meio físico, manejo e conservação do solo, avaliação de uso das terras e geoprocessamento.
Dr. Pedro Luiz Donzelli	Engenheiro Agr ^o , pesquisador associado do Centro de Solos e Recursos Ambientais, Instituto Agronômico de Campinas. Professor da Escola de Engenharia de Piracicaba.	Uso e conservação do solo, geoprocessamento e sensoriamento remoto.

A princípio foram convidados seis especialistas para participarem da validação, pois segundo WENTWORTH et al. (1995), com esse número de especialistas a possibilidade de ocorrer a concordância unânime apresenta um nível de confiança de 98,48%. Porém dois dos especialistas convidados não puderam participar por razões particulares e a validação foi

⁴ Identificação feita em ordem alfabética.

realizada com quatro especialistas e de acordo com os autores citados anteriormente, o nível de confiança nesse caso é de 94,75%, considerado razoável por estes.

Para que pudessem fazer as recomendações, os especialistas receberam informações relativas aos solos da região, classes de declividade e a capacidade de uso da terra determinada pelo sistema especialista. Não foi pedido que determinassem a capacidade de uso para o município, pois o sistema especialista, CAP_USO, utilizado para esse fim, já foi validado por GIBOSHI (1999); apenas foi solicitado que se não concordassem com a classificação, poderiam mudá-la e explicar a razão da mudança.

As análises obtidas pelos especialistas foram confrontadas com o resultado fornecido pelo sistema, observando-se a concordância entre os especialistas e o sistema.

3.1.2 - Sistema de Informações Geográficas

O SIG utilizado neste trabalho é o IDRISI, desenvolvido por Clark Labs dentro da Graduate School of Geography at Clark University com o intuito de ser acessível e de baixo custo. Reúne uma gama de módulos e ferramentas e se tornou um dos mais utilizados pela comunidade de usuários, principalmente para o desenvolvimento de aplicações em monitoramento ambiental e gerenciamento de recursos naturais.

O IDRISI é formado por um programa principal que atua como uma interface para uma coleção de aproximadamente 200 módulos de programa, que provêem facilidades para a entrada, apresentação e análise de dados geográficos (EASTMAN, 1999).

Neste trabalho foi utilizado o IDRISI versão 32, que possui o módulo Applications Programming Interface - API (Interface de Programação de Aplicativos) com um OLE (Object Linking and Embedding – Aninhamento e Ligação de Objetos) Automation Server, possibilitando o uso de linguagens de alto nível, tais como Visual Basic, Visual Basic para Aplicações (VBA), Delphi ou Visual C++, como linguagens macro para controlar as operações do Idrisi32 (CLARK LABS, 2000).

O SIG IDRISI foi integrado ao SSD por meio da interface, para gerar o mapa com a classificação da capacidade de uso da terra, separar as áreas de preservação ambiental (classe VIIF de capacidade de uso da terra), e, também, calcular a área, em hectares, correspondente a cada classe de capacidade de uso determinada.

Um mapa mostrando a adequação de uso, resultado do cruzamento entre o mapa de capacidade de uso da terra e uso atual, também é obtido utilizando o SIG.

Para isso, foram utilizados diversos módulos do Idrisi32, os quais estão descritos a seguir:

- CROSSTAB: produz uma nova imagem baseada em todas as combinações de valores de duas imagens de entrada.
- ASSIGN: cria uma nova imagem associando novos valores ao conjunto de dados da imagem de entrada com os novos atributos definidos em um arquivo de valores.
- DISTANCE: dada uma imagem que representa um conjunto de feições, produz uma nova imagem na qual o valor armazenado em cada célula é a menor distância entre ela e a feição mais próxima. O resultado é, portanto, uma superfície de distâncias.
- RECLASS: classifica ou atribui novos valores aos dados de uma determinada imagem.
- OVERLAY: operação de sobreposição que produz uma nova imagem como resultado de uma operação matemática entre duas imagens existentes.
- BMPIDRIS: converte imagens do Idrisi em arquivos com extensão *.bmp* e vice versa.
- AREA: determina a área associada a cada classe de uma imagem. O resultado pode ser apresentado na forma de uma nova imagem, em um arquivo de valores ou em uma tabela.

A comunicação do sistema com o Idrisi32, é feita através da DLL “*idrisi32 Library*” (biblioteca dinâmica do Idrisi32). Para tanto, é necessário habilitar o programa em VB para fazer a leitura da DLL, deve-se ir até o menu **Project/References** e selecionar “*idrisi32 Library*” (Figura 9).

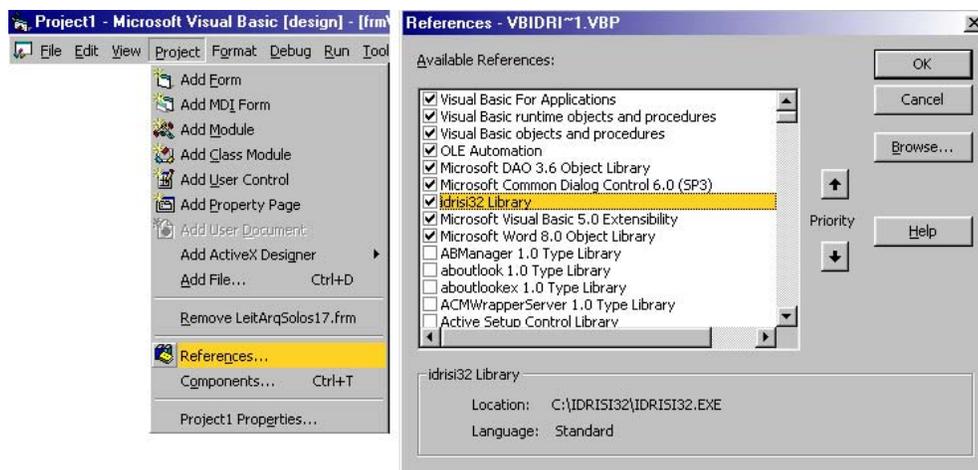


Figura 9: Como selecionar a DLL “idrisi32 Library” (CLARK LABS, 2000).

Para ter acesso às funções dessa DLL basta digitar o comando *idrisi32* seguido por um ponto (“.”) e pelo nome da função e seus parâmetros. Os módulos citados anteriormente foram acessados por meio da função “*RunModule*” (os módulos que podem ser acessados por essa função são aqueles mostrados com letras maiúsculas no menu do Idrisi32).

A Figura 10 mostra o diagrama com os mapas intermediários, as operações efetuadas pelo sistema para se obter o mapa final com as classes de capacidade de uso da terra determinadas pelo sistema, e também o arquivo com as áreas de cada classe.

O mapa intermediário CROSS_1 é obtido com a operação *crostab* e contém todas as combinações de solos e classes de declividade da área, ou seja, é possível saber em quais declividades ocorre cada solo. O sistema desenvolvido determina a classe de capacidade de uso e cria um arquivo de valores chamado CAPUSO, relacionando essas combinações com as suas respectivas classes de capacidade de uso.

O mapa CROSS_1 é reclassificado utilizando a operação *assign*, segundo o arquivo de valores CAPUSO, gerando um mapa com as classes de capacidade de uso da terra. Paralelamente o SIG separa as áreas classificadas como VIIIFF, de preservação ambiental, que neste trabalho, são as áreas com 30m ao longo dos cursos d’água e de 50m ao redor das nascentes, definidas pelo Código Florestal vigente como Área de Preservação Permanente. Essas áreas são adicionadas ao mapa de capacidade de uso, gerando o MAPA FINAL que é

apresentado pelo SDD juntamente com uma tabela que mostra a área em hectares para cada classe de capacidade de uso da terra.

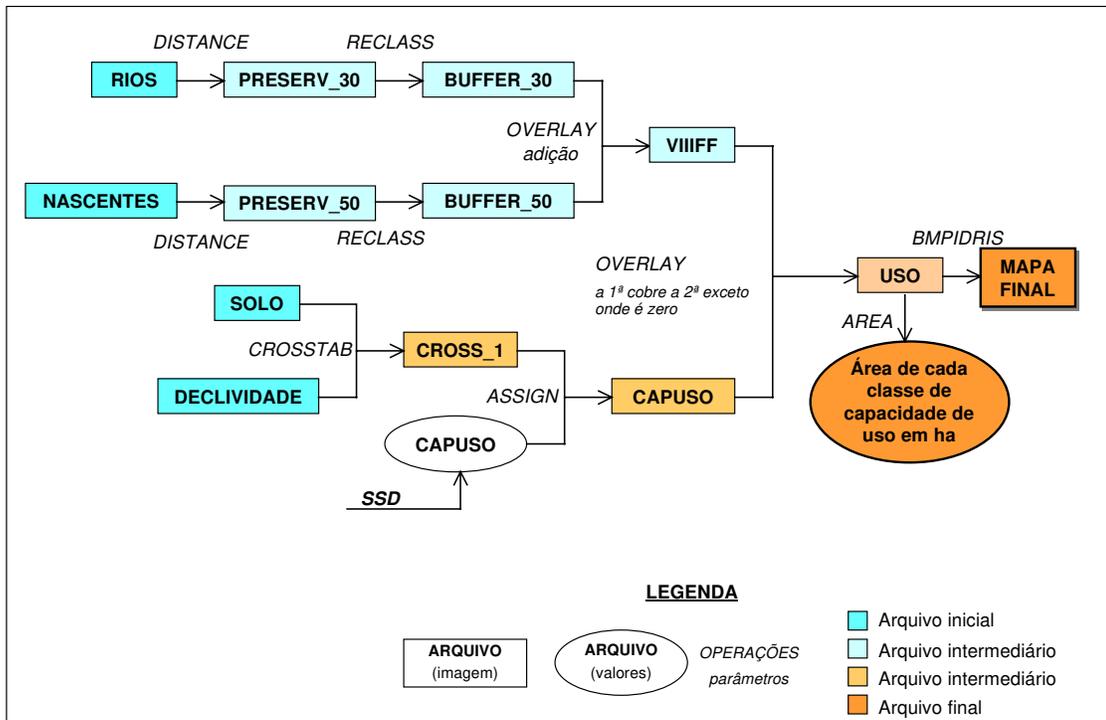


Figura 10: Diagrama com as operações efetuadas pelo Idrisi32 e os mapas intermediários gerados para a obtenção do mapa com a classificação da capacidade de uso da terra.

O SSD também compara o mapa de capacidade de uso da terra obtido com o mapa de uso atual da área-teste, por meio do SIG, gerando um mapa com a intensidade de uso, ou seja, um mapa no qual é possível identificar as áreas que apresentam uso adequado, as quais estão representadas com a cor verde; as áreas que estão subutilizadas, isto é, que poderiam ser utilizadas mais intensivamente, com a utilização de práticas corretas, representadas com a cor amarela e, finalmente, as áreas com uso inadequado, com a cor vermelha.

A Figura 11 mostra o diagrama com os arquivos utilizados, os mapas intermediários e as operações efetuadas pelo Idrisi32 para a obtenção desse mapa.

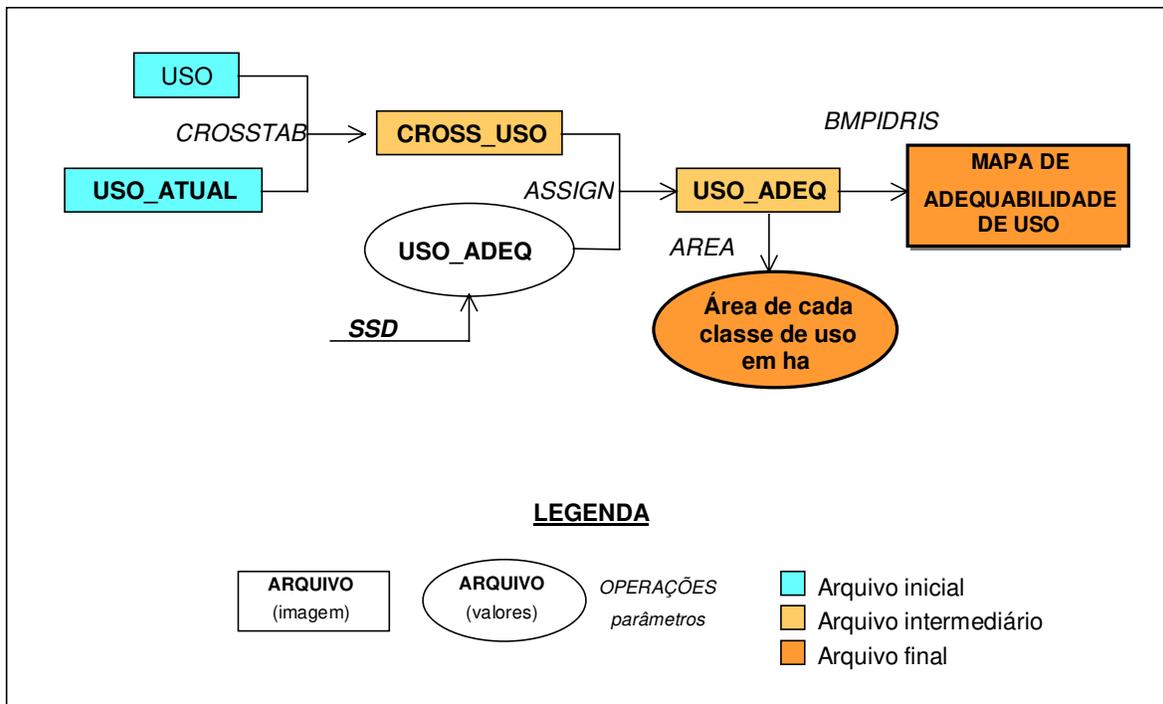


Figura 11: Diagrama com as operações efetuadas pelo Idrisi32 e os mapas intermediários gerados para a obtenção do mapa de adequabilidade de uso.

O mapa com a capacidade de uso (USO) da terra é cruzado com o mapa do uso atual (USO_ATUAL) gerando o mapa CROSS_USO que é reclassificado segundo o arquivo de valores USO_ADEQ obtendo-se o mapa de adequabilidade de uso. O critério adotado para a reclassificação é o seguinte:

- A utilização da terra é adequada
 - se o uso atual for cultura anual ou perene e classe de capacidade de uso entre I e IV;
 - se o uso atual for pastagem e a classe de capacidade de uso igual a V ou VI;
 - se o uso atual for pastagem ou reflorestamento e a classe de capacidade de uso igual a VII;
 - todas as áreas de uso atual com mata;
- A utilização é inadequada
 - se o uso atual for cultura anual ou perene e a classe de capacidade de uso entre V e VII, ou VIIIff ou VIIIFF;

- Subutilizado quando
 - o uso atual for pastagem ou reflorestamento e a classe de capacidade de uso entre I a IV;
 - o uso for reflorestamento e a classe de capacidade de uso entre V e VI
- Não classificado: área urbana e corpos d'água.

O SIG calcula a área de cada classe de adequabilidade de uso em hectares que são mostrados em uma tabela junto do mapa obtido com a reclassificação.

3.1.3 - Interface

A interface foi desenvolvida em Visual Basic, versão 5.0, e é responsável pelo gerenciamento de todo o sistema. Todos os diálogos entre o usuário e o SSD são feitos pela interface, assim como a comunicação entre os componentes do sistema desenvolvido.

Também é responsável pela apresentação de janelas, menus, caixas de diálogo, mapas e tabelas na tela do monitor, além da impressão e/ou gravação dos resultados obtidos. A interface examina a seqüência de pedidos e dados fornecidos pelo usuário para, então, decidir qual ação deverá ser tomada e quais dados serão manipulados, assim como determinar quais rotinas de comunicação deverão ser utilizadas entre a interface e os outros componentes do sistema.

Esse componente interpreta os dados de entrada que estão na base de dados e também nos mapas de solos e de declividade e faz com que o sistema especialista CAP_USO receba essas informações para então determinar a capacidade de uso da terra.

A Figura 12 mostra uma parte da subrotina utilizada para enviar as informações ao SE e fazer com que este determine a capacidade de uso da terra. Os itens que aparecem com a cor verde são comentários explicativos colocados no programa e os escritos na cor preta são as instruções ou comandos em VB

```

'Diretório e nome do arquivo da Base de Conhecimento.
strDir = App.Path & "\capuso_mod22NN.clp"

'Carrega o motor do CLIPS e a Base de Conhecimento.
intVal = HLL_LOAD(strDir, Len(strDir))

'Executa o comando reset do CLIPS.
HLL_RESET

'Abre o Banco de Dados (BD).
Set BancoDeDados = OpenDatabase(App.Path & "\VBIdrisi.MDB")

'Abre a Tabela (TB) "Gerais" do BD.
Set TBGerais = BancoDeDados.OpenRecordset("Gerais", dbOpenTable)

'Define o índice utilizado na TB Gerais.
TBGerais.Index = "Regras"

'Abre a Tabela (TB) "Solos" do BD.
Set TBSolos = BancoDeDados.OpenRecordset("Solos", dbOpenTable)

```

Figura 12: Parte da subrotina que envia informações ao sistema especialista para determinar a capacidade de uso da terra.

A classificação obtida é apresentada em um relatório na tela do monitor, em uma das janelas do programa, como pode ser visto na Figura 13. Também é possível gravar esse conteúdo em um arquivo no editor de textos Microsoft Word[®] e então imprimi-lo. Todos os comandos necessários para que esses eventos aconteçam estão na interface.

A partir dessa janela, o usuário pode escolher se deseja visualizar as recomendações de uso e manejo ou os mapas de Capacidade de Uso e/ou Adequabilidade de Uso.

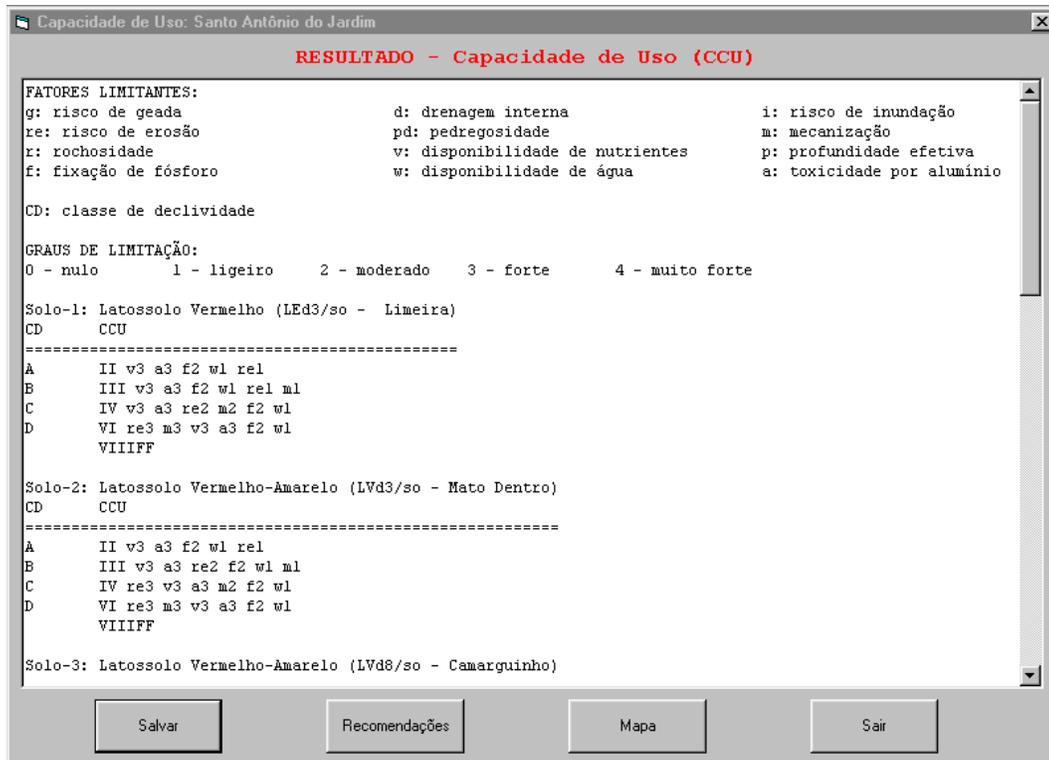


Figura 13: Janela do programa com a capacidade de uso da terra.

Esses mapas também podem ser gravados em um arquivo no editor de textos Microsoft Word[®] e então impressos. A Figura 14 mostra uma parte do programa com alguns dos comandos para que o Idrisi32 realize as operações necessárias para gerar os mapas.

As recomendações de uso e manejo do solo são feitas pelo sistema especialista “RECOMENDAÇÕES”, desenvolvido para esse fim. Com as informações fornecidas pela interface, o SE faz as recomendações de uso e manejo para cada solo, de acordo com a classe de capacidade de uso da terra e as limitações apresentadas pelo outro sistema especialista.

```

'cruzar capacidade de uso com uso atual (usob x uso_atual_ca)
  capuso = prefix + "\" + "usob" + suffix
  UsoAtual = prefix + "\" + "uso_atual_ca" + suffix
  success = idrisi32.RunModule("crosstab", capuso + "*" + UsoAtual + "* 1 *" + prefix + "\" + "cross_uso.rst" + "*" + "n",
    True, "", "", "", "", True)

'subrotina para criar ArquivoAVL
ArquivoAVL

'subortina para criar Arquivo ADC
strArquivo = "uso_adeq"
ArquivoADC (strArquivo)

'reclassifica cross_uso.rst
  cross = prefix + "\" + "cross_uso" + suffix
  uso_adeq = prefix + "\" + "uso_adeq.avl"
  success2 = idrisi32.RunModule("assign", cross + "*" + prefix + "\" + "uso_adeq.rst" + "*" + uso_adeq, True, "", "", "", "",
    True)

'calcula área do mapa de uso adequado
  success3 = idrisi32.RunModule("area", prefix + "\" + "uso_adeq.rst" + "*2*2*" + prefix + "\" + "area_adeq.avl", True, "", "",
    "", "", True)

```

Figura14: Parte do programa da interface para realizar operações no SIG Idrisi32.

A Figura15 mostra uma parte da subrotina que envia informações ao SE e o ativa para fazer as recomendações, utilizando as funções da biblioteca dinâmica do CLIPS (clips.dll e clipshll.dll).

```

strDir = App.Path & "\m8a.clp"

'Carrega o motor do CLIPS e a Base de Conhecimento.
intVal = HLL_LOAD(strDir, Len(strDir))

HLL_RESET

'Gera os fatos
strFato = "(CCU " & strCCU & ")"
intVal = HLL_ASSERTFACT(strFato, Len(strFato))
strFato = "(resp " & (IstTipoUso.ListIndex + 1) & ")"
intVal = HLL_ASSERTFACT(strFato, Len(strFato))
lngVal = HLL_RUN(-1)
strFato = "(retr 1)"
intVal = HLL_ASSERTFACT(strFato, Len(strFato))
lngVal = HLL_RUN(-1)

HLL_CLEAR

HLL_EXIT (intNum)

```

Figura15: Parte da subrotina que envia informações para o sistema especialista e o ativa para que possa fazer as recomendações.

Essas recomendações são apresentadas em um relatório através de uma janela do programa e também podem ser gravadas e/ou impressas (Figura16).

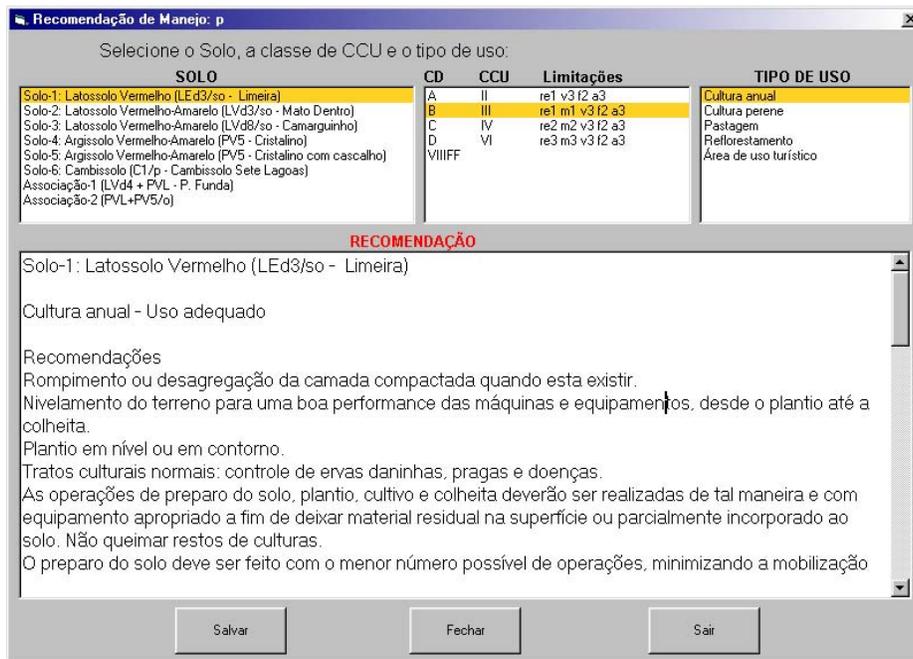


Figura16: Janela do sistema com recomendações de uso e manejo.

3.1.4 – Base de dados

A base de dados do sistema contém informações dos solos, como: textura; teores médios de argila, silte, areia fina e areia grossa; CTC; saturação por bases; saturação por alumínio; erodibilidade, drenagem, presença de pedregosidade e/ou rochosidade, profundidade efetiva etc.

Foram utilizadas as informações do levantamento pedológico feito por OLIVEIRA (1992) e do Boletim Científico 46 do IAC (OLIVEIRA & MENK, 1999). Os dados de erodibilidade foram fornecidos por LOMBARDI NETO⁵.

O aplicativo utilizado para a base de dados foi o Microsoft Access[®], uma vez que o Idrisi32 utiliza este aplicativo como a base para o seu sistema de gerenciamento de banco de dados, e as suas tabelas podem ser utilizadas e/ou modificadas com o Access ou qualquer outro sistema compatível com este (EASTMAN, 1999). Além disso, é de fácil acesso, pois a maioria dos usuários tem esse aplicativo instalado em seus computadores.

3.2. - Área-teste

A área utilizada para testar o sistema desenvolvido é o Município de Santo Antônio do Jardim, no estado de São Paulo, que possui uma área de 10.875 ha, está localizado entre as coordenadas: 22^o 06' - 22^o 11' S e 46^o 36' - 46^o 46' WG, com altitudes entre 776 e 1317m, fazendo divisa, ao norte e a leste, com o estado de Minas Gerais (Rio Jaguarí-Mirim e Serra da Mantiqueira), ao sul e sudoeste, com o município de Espírito Santo de Pinhal – SP (Serra do Bebedouro), e, a noroeste, com o município de São João da Boa Vista (Figura17).

⁵ Comunicação Pessoal do Dr. Francisco Lombardi Neto.

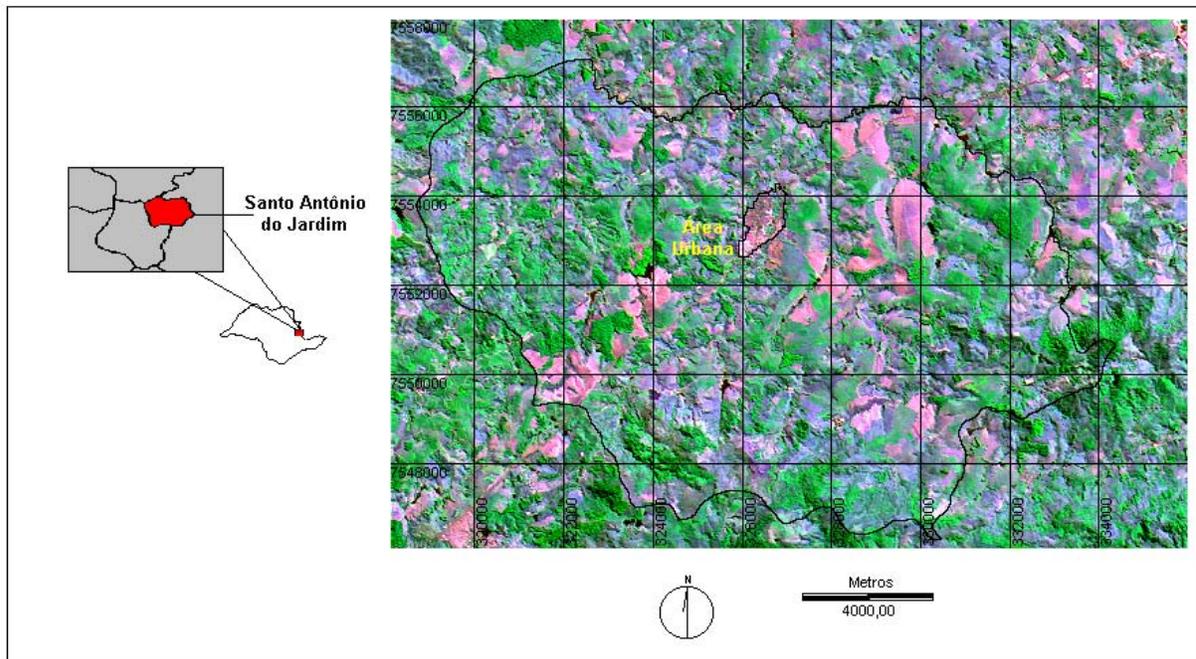


Figura17: Município de Santo Antônio do Jardim, SP (localização e composição colorida RGB 345 da imagem LANDSAT/TM de julho/1997).

A agropecuária é a principal atividade dessa região, associada à agroindústria de transformação de produtos agrícolas. A cafeicultura constitui-se na principal atividade agrícola, ocorrendo em 78% das unidades de produção e, em muitas delas, há uma mescla da cafeicultura com a criação de pequenos animais.

Os mapas utilizados como entrada para o SIG foram os mapas de solos, de declividade, da drenagem, das nascentes e do uso atual do município de Santo Antônio do Jardim. Adotou-se a resolução espacial de 30 metros (pixel de 30 x 30m), estabelecendo como limites as coordenadas UTM: $X_{\text{mínimo}} = 317990$; $X_{\text{máximo}} = 335990$; $Y_{\text{mínimo}} = 7546000$ e $Y_{\text{máximo}} = 7558000$, fuso 23 (meridiano 45°), Datum Córrego Alegre, com representação “raster” de 600 colunas por 400 linhas.

A Figura 18 apresenta a distribuição das classes de declividade do município de Santo Antônio do Jardim. As maiores declividades ocorrem ao sul (Serra do Bebedouro) e leste do município (Serra da Mantiqueira, divisa com o estado de Minas Gerais).

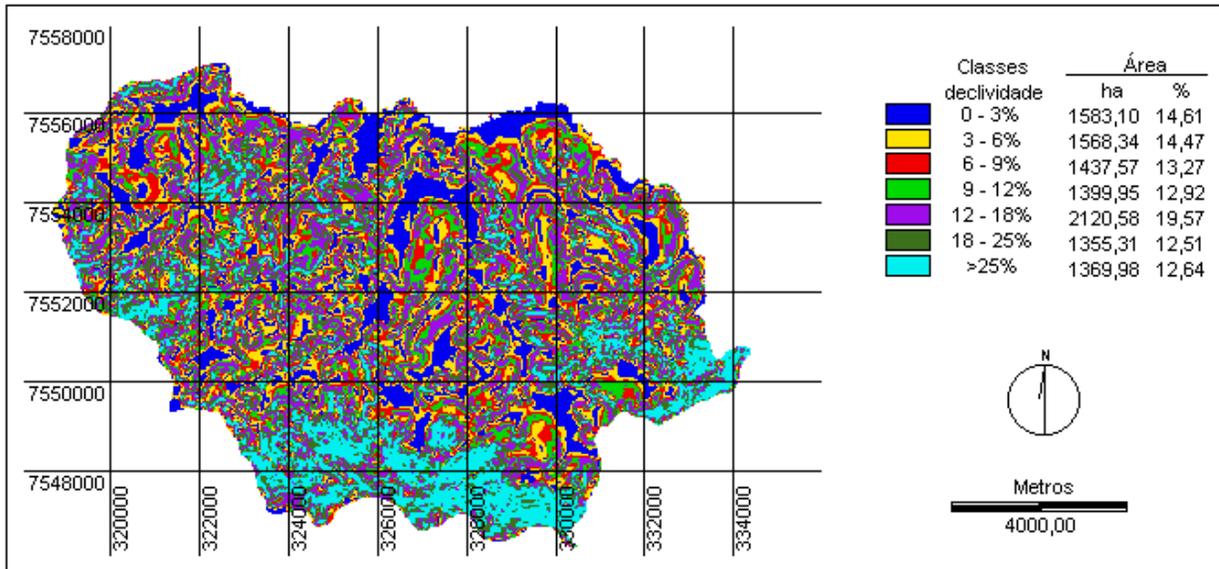


Figura 18: Distribuição das classes de declividade do município de Santo Antônio do Jardim.

A Figura 19 mostra o mapa com o uso da terra do município de Santo Antônio do Jardim, obtido por LAGROTTI (2001).

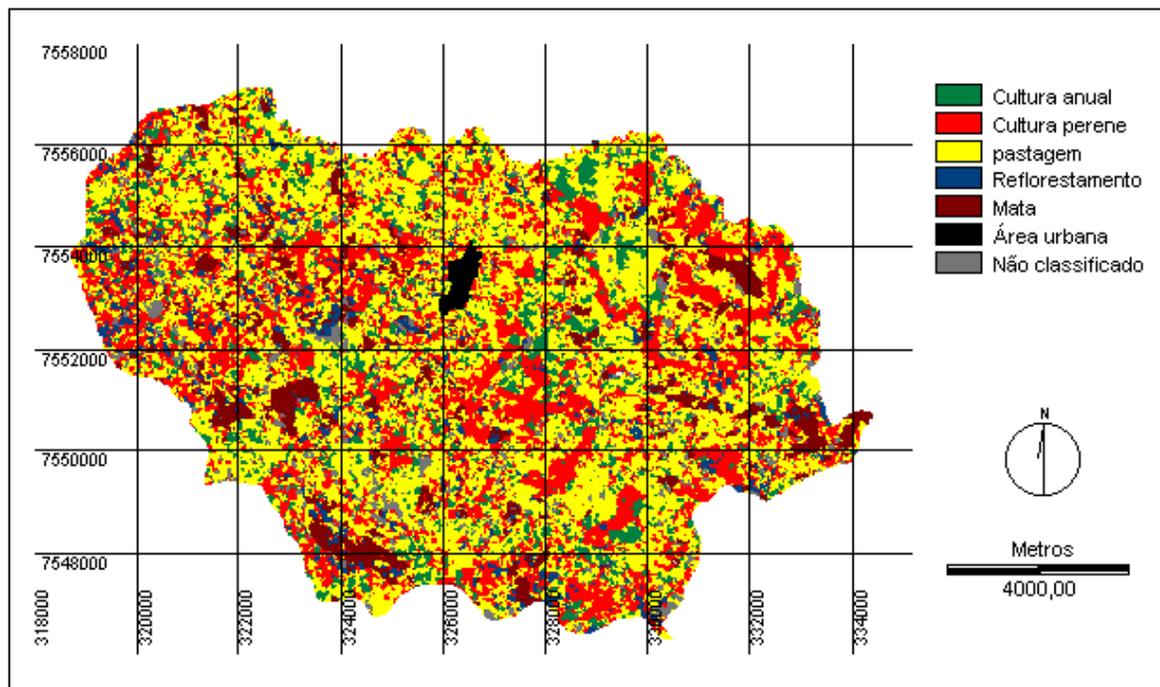


Figura 19: Uso da terra do município de Santo Antônio do Jardim – SP.

3.2.1 - Solos

Os solos encontrados na área-teste foram identificados no levantamento de solos da Folha de Moji Mirim por OLIVEIRA (1992). São 6 unidades simples de mapeamento e duas associações de classes de solos que estão representados na Figura 20.

A região é constituída, na sua maioria, por ARGISSOLOS, com 8205,75 ha, correspondendo a 75,7% do município. Os ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS relacionados ao Complexo Cristalino correspondem a 76,8% desse grupamento de solos.

Os LATOSSOLOS correspondem a 2435,67 ha, representando 22,5% da área do município de Santo Antônio do Jardim. Os LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS (unidades: Mato Dentro, Camarguinho e Ponte Funda) representam 98,7% desse grupamento de solos.

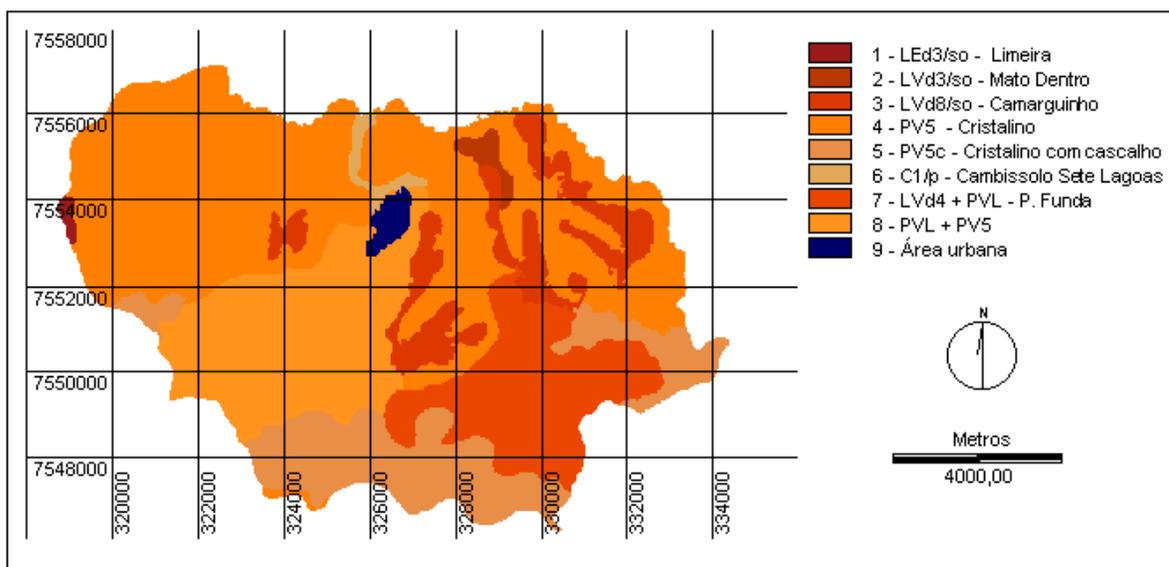


Figura 20: Distribuição das classes de solos do município de Santo Antônio do Jardim (obtido de OLIVEIRA, 1992).

O levantamento de solos também registra a ocorrência de um CAMBISSOLO em planície aluvional com 96,12 ha, correspondendo a 0,9% da área do município. A área urbana ocupa aproximadamente 97,47 ha, o que representa 0,9% de todo o município.

A Tabela 21 mostra a taxonomia dos solos da área-teste, segundo o levantamento semidetalhado feito por OLIVEIRA (1992) e também estão apresentados de acordo com o novo mapa pedológico do estado de São Paulo (OLIVEIRA, 1999), baseado na atual classificação de solos segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). A tabela mostra também a distribuição, em hectares, desses solos no município.

Tabela 21: Taxonomia dos solos do município de Santo Antônio do Jardim.

Semidetalhado (OLIVEIRA, 1992)			SBCS (OLIVEIRA, 1999)		Área (ha)
Classificação	Símbolo	Unidade	Classe	Símbolo	
LATOSSOLO VERMELHO ESCURO	LEd3	Limeira	LATOSSOLO VERMELHO	LV	30,87
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO	LVd3	Mato Dentro	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO	LVA	87,21
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO	LVd8	Camarguinho	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO	LVA	932,49
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO	PV5	Cristalino	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	PVA	4741,11
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO com cascalhos	PV5c	Cristalino com cascalho	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	PVA	1555,56
CAMBISSOLO	C1/p	Sete Lagoas	CAMBISSOLO	C	96,12
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO LATOSSÓLICO	LVd4 + PVL	Ponte Funda + Cristalino	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	LVA + PVA	1385,1
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO LATOSSÓLICO + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO	PVL + PV5	Latossólico + Cristalino	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	PVA	1909,08

3.3 – Síntese

Este capítulo apresentou o sistema desenvolvido de Apoio ao Processo de Decisão para a Gestão da Terra, que é composto por dois Sistemas Especialistas, SIG, Base de Dados e Interface. Foi descrito como foi o desenvolvimento de cada componente do sistema e também como foram integrados através da Interface que é responsável pela comunicação entre os componentes do sistema e com o usuário.

A interface, além de importante no funcionamento do SSD, representa o sistema perante o usuário.

O próximo capítulo apresenta e discute os resultados obtidos com o funcionamento do sistema e também faz uma discussão dos resultados obtidos para a área-teste, o município de Santo Antônio do Jardim.

IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com o sistema desenvolvido para Apoio à Decisão ao Processo de Gestão do Uso Agrícola da Terra, que tem por objetivo fazer recomendações de uso e práticas conservacionistas segundo a capacidade de uso da terra.

A seção 4.1 mostra como os resultados são apresentados ao usuário: relatórios e mapas. A seção 4.2 descreve os resultados encontrados com a utilização do sistema para o município de Santo Antônio do Jardim, SP. Por último, a seção 4.3 resume o capítulo.

4.1 – Sistema de Suporte à Decisão para a Gestão da Terra

As classes de capacidade de uso da terra são apresentadas em um relatório e/ou mapa que podem ser visualizados através de uma das janelas do programa ou podem, ainda, ser gravados e/ou impressos usando o editor de textos Microsoft Word®.

Outro resultado importante apresentado pelo sistema é o mapa denominado “Adequabilidade de Uso”, com a representação, na cor verde, das áreas que estão sendo utilizadas de forma adequada, ou seja, segundo a capacidade de uso da terra; com a cor amarela são representadas as áreas subutilizadas; e as áreas com uso inadequado são representadas com a cor vermelha.

Estes resultados permitem orientar o usuário para um planejamento racional do uso da terra, permitindo que este tome decisões de forma mais fundamentada.

De acordo com a classe de capacidade de uso da terra, o sistema recomenda os diferentes tipos de uso que podem ser dados a um determinado solo, indicando qual é o mais adequado e avisando o usuário que, se este fizer a opção por outro tipo de uso, estará subutilizando a terra. Não há o risco de o usuário escolher uma opção na qual possa ocorrer sobreutilização, ou seja, um tipo de uso inadequado que possa causar a degradação do solo, uma vez que o sistema não faz a recomendação desses tipos de uso.

São feitas recomendações gerais e específicas para cada tipo de uso e solo. Para isso o sistema toma como base o solo, a declividade, as limitações e os seus respectivos graus. Quando for o caso, o sistema também faz recomendações para o sistema de terraceamento: tipos de terraços quanto à sua função e dimensão, além de recomendações para a manutenção dos mesmos.

Por exemplo, para o LATOSSOLO VERMELHO (Led3/so), unidade Limeira, na declividade entre 3 e 6%, com classe de capacidade de uso da terra **III v3 a3 f2 re1 m1**, o sistema recomenda os seguintes tipos de uso: cultura anual, cultura perene, pastagem, reflorestamento e uso turístico. O mais adequado para essa classe é a cultura anual ou perene (Figura 21a). Se for feita a opção por outro tipo de uso, o sistema alerta que a área estará sendo subutilizada (Figura 21b), porém a decisão final cabe ao usuário que, ao tomar sua decisão precisa considerar, também, fatores socioeconômicos, que não foram contemplados nesse trabalho.

4.1.1 - Validação

A validação consistiu na comparação entre as saídas dos sistemas especialistas com os resultados obtidos pelos especialistas para o cenário utilizado, que foi o município de Santo Antônio do Jardim.

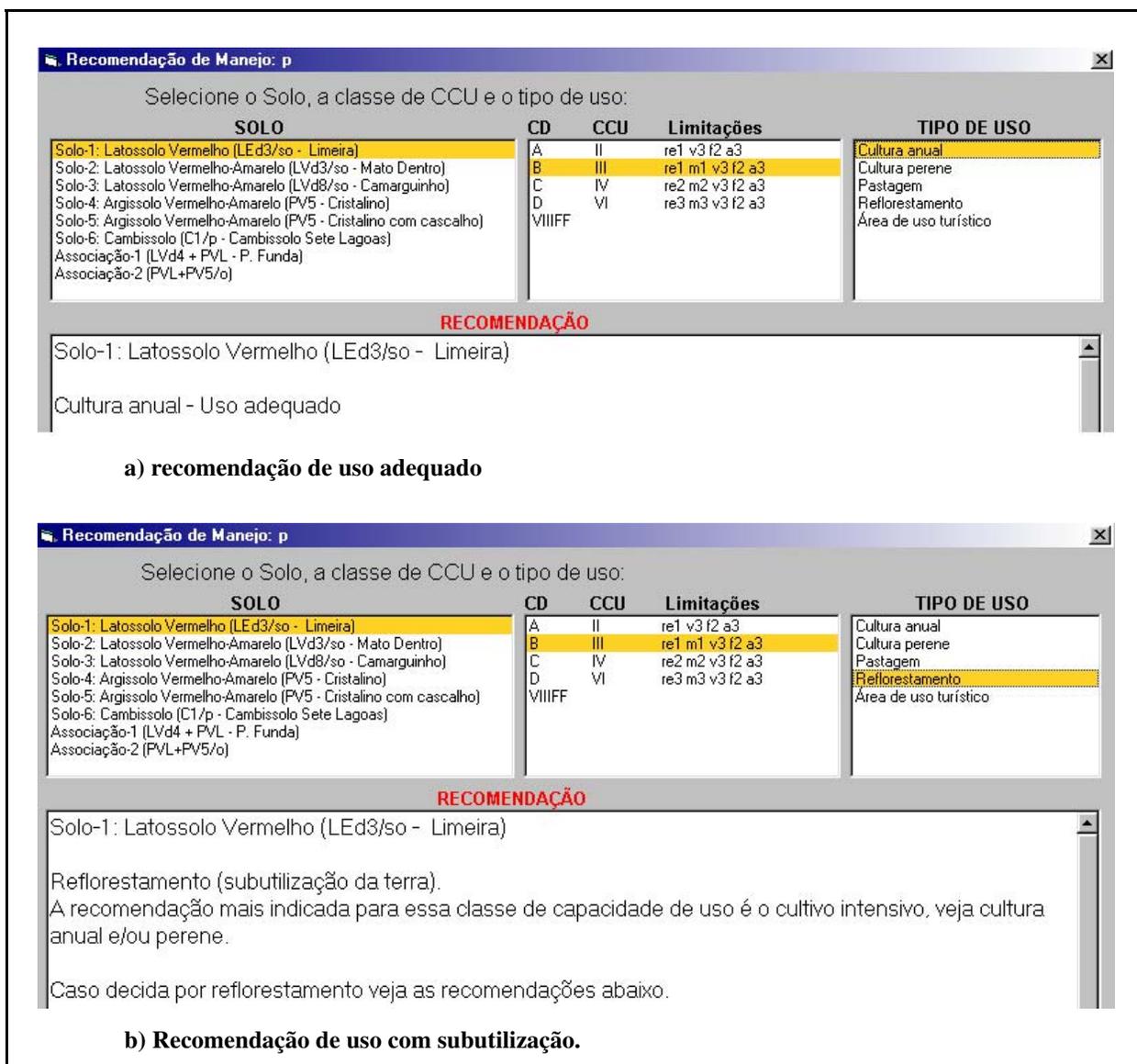


Figura 21: Recomendações de uso do sistema.

Não foi pedido aos especialistas que determinassem a capacidade de uso para o município, apenas foi solicitado, que se não concordassem, poderiam mudá-la e explicar a razão da mudança; não precisariam fazer a sua própria classificação.

Dos quatro especialistas consultados, apenas um fez a sua própria classificação. Os outros especialistas concordaram com as classes de capacidade de uso determinadas pelo sistema.

Foram analisadas as concordâncias para as classes de capacidade de uso e para o grau dos fatores limitantes ao uso da terra. A Tabela 22 mostra a capacidade de uso da terra determinada pelo sistema e, a Tabela 23, um resumo das divergências entre o sistema e os especialistas.

Em relação aos fatores limitantes, apenas um dos especialistas não discordou do grau de limitação determinado pelo sistema.

Apesar de os especialistas **2** e **3** discordarem em relação a algumas limitações, esse fato não implicou em classes de capacidade de uso diferentes. Já, para o especialista **4**, devido aos critérios utilizados por este para determinar a capacidade de uso, esse fato influenciou na classificação, acarretando nas diferenças encontradas tanto no que diz respeito às classes como às limitações.

A não concordância entre o resultado do sistema e dos especialistas **2** e **3**, relacionada às limitações, deve-se ao fato de os critérios adotados por estes serem diferentes daqueles utilizados nesse trabalho. Porém esse fato não significa que o sistema esteja errado, apenas que este foi mais rigoroso em relação a esses critérios, uma vez que houve concordância em relação à classe de capacidade de uso.

Para os LATOSSOLOS, o especialista **4** foi mais rigoroso quanto ao grau de limitação para fertilidade e risco de erosão na classe de declividade A, e devido ao critério adotado por este para determinar a classe de capacidade de uso, ocorreu a divergência para esse caso.

Ainda para esses solos, nas classes de declividade C e D, a discordância para a classe de capacidade de uso deve-se ao fato do sistema ser mais rigoroso em relação ao risco de erosão.

Tabela 22: Capacidade de uso da terra para o município de Santo Antônio do Jardim.

Solo	CD	CCU
Solo 1: LATOSSOLO VERMELHO (LEd3/so – Limeira)	A B C D	II v3 a3 f2 re1 III v3 a3 f2 re1 m1 IV v3 a3 re2 m2 f2 VI re3 m3 v3 a3 f2 VIIIFF
Solo 2: LATOSSOLO VERMELHO- AMARELO (LVd3/so – Mato Dentro)	A B C D	II v3 a3 f2 re1 III v3 a3 re2 f2 m1 IV re3 v3 a3 m2 f2 VI re3 m3 v3 a3 f2 VIIIFF
Solo 3: LATOSSOLO VERMELHO- AMARELO (LVd8/so – Camarguinho)	A B C D	II v4 a4 re1 f1 III v4 a4 re1 m1 f1 IV v4 a4 re2 m2 f1 VI v4 a4 re3 m3 f1 VIIIFF
Solo 4: ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO (PV5 – Cristalino)	A B C D E F G	II re2 v2 p1 f1 a1 III re3 v2 p1 m1 f1 a1 IV re4 m2 v2 p1 f1 a1 VI re4 m3 v2 p1 f1 a1 VII re4 m3 v2 p1 f1 VII re4 m4 v2 p1 f1 VIIIff VIIIFF
Solo 5: ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO (PV5 – Cristalino com cascalho)	A B C D E F G	II re2 v2 pd1 p1 m1 f1 a1 III re3 v2 pd1 p1 m1 f1 a1 IV re4 m2 v2 pd1 p1 f1 a1 VI re4 m3 v2 pd1 p1 f1 a1 VII re 4 m3 v2 pd1 p1 f1 a1 VII re4 m4 v2 pd1 p1 f1 a1 VIIIff VIIIFF
Solo 6: CAMBISSOLO (C1/p – Sete Lagoas)	A B	V v3 a3 d2 re2 f1 V re3 v3 a3 d2 m1 f1 VIIIFF
Associação 1 (LVd4 + PVL – Ponte Funda)	A B C D	II v3 f3 a2 re1 III v3 f3 re2 a2 m1 IV re3 v3 f3 m2 a2 VI re3 m3 v3 f3 a2 VIIIFF
Associação 2 (PVL + PV5/o – Latossólico)	A B C D E F G	II re2 v2 p1 f1 a1 III re3 v2 p1 m1 f1 a1 IV re4 m2 v2 p1 f1 a1 VI re4 m3 v2 p1 f1 a1 VII re4 m3 v2 p1 f1 a1 VII re4 m4 v2 p1 f1 a1 VIIIff VIIIFF

CCU: Classe de Capacidade de Uso

v: disponibilidade de nutrientes

re: risco de erosão

pd: pedregosidade

a: toxicidade por alumínio

m: mecanização

p: profundidade efetiva

CD: Classe de declividade

f: fixação de fósforo

d: drenagem interna

Tabela 23: Resumo das discordâncias entre o resultado do sistema e os especialistas para a capacidade de uso da terra.

Capacidade de Uso da Terra				
Especialistas*	CCU		Limitações	
	Igual ao SE	Diferença	Igual ao SE	Diferença
1	sim	-----	sim	-----
2	sim	-----	não	Restrição à mecanização para declividades acima de 9%, enquanto o SE coloca restrição a partir de 3% Risco de erosão com grau menor que o SE p/ CAMBISSOLO
3	sim	-----	não	Risco de erosão com grau menor que o SE p/ LATOSSOLOS Risco de erosão com grau menor que o SE p/ ARGISSOLOS na classe de declividade C
4	não	LATOSSOLOS 1) CD: A, C e D Especialista: III SE: II, IV e VI	não	Risco de erosão com grau maior que o SE p/ LATOSSOLOS na classe de declividade A e menor nas classes de declividade C e D
		Respectivamente ARGISSOLOS 1) CD: A Especialista: III SE: II		Fertilidade com grau de restrição maior para LATOSSOLOS
		2) CD: D Especialista: IV SE: VI		Fertilidade com grau de restrição maior que o SE p/ os ARGISSOLOS
		3) CD: E Especialista: VI SE: VII		Risco de erosão com grau maior que o SE p/ ARGISSOLOS na classe de declividade A e menor nas classes de declividade C e D
		CAMBISSOLO 1) CD: A e B Especialista: IV SE: V		Fertilidade com grau de restrição menor que o SE p/ o CAMBISSOLO

CCU: Classe de capacidade de uso da terra

CD: Classe de declividade

* A ordem na qual os especialistas são apresentados nessa tabela não é a mesma da Tabela 20.

Para os ARGISSOLOS nas classes de declividade A, D e E, não houve discordância entre os resultados por razões semelhantes aos ocorridos com o LATOSSOLOS.

No que diz respeito ao CAMBISSOLO, o especialista 4 classificou esse solo como classe IV e não V, pois considera que o mesmo pode ser utilizado para certas culturas, se for feita a drenagem artificial desse solo. Nesse caso, a diferença entre o sistema e o especialista

para o grau de limitação da fertilidade não foi o fator determinante para a não concordância em relação à classe de capacidade de uso como ocorreu para os LATOSSOLOS.

De acordo com a classe de capacidade de uso da terra, o sistema recomenda os diferentes tipos de uso que podem ser dados a um determinado solo. Para proceder à análise feita nessa validação considerou-se apenas o tipo de uso adequado, ou seja, aquele no qual a terra pode ser utilizada com a intensidade máxima sem risco de degradação.

Na Tabela 24 estão resumidos os usos recomendados pelo sistema e pelos especialistas. As células em branco indicam que houve concordância entre a saída do sistema e a recomendação dos especialistas.

Tabela 24: Usos recomendados pelo sistema e pelos especialistas.

Solo	CCU	Uso recomendado				
		Sistema	Especialistas			
			1	2	3	4
1	II	Cultura anual				
	III	Cultura anual				
	IV	Cultura perene (restrito)/ Pastagem				
	VI	Pastagem natural / Reflorestamento	Pastagem plantada	Cult. perene (restrito)	Cultura	
	VIIIf	Cons. Hídrica / Preserv. Ambiental				
2	II	Cultura anual				
	III	Cultura anual				
	IV	Cultura perene (restrito)/ Pastagem				
	VI	Pastagem natural / Reflorestamento	Pastagem plantada	Cult. perene (restrito)	Cultura	
	VIIIf	Cons. Hídrica / Preserv. Ambiental				
3	II	Cultura anual				
	III	Cultura anual				
	IV	Cultura perene / Pastagem				
	VI	Pastagem natural / Reflorestamento	Pastagem plantada	Cult. perene (restrito)	Cultura	
	VIIIf	Cons. Hídrica / Preserv. Ambiental				
4	II	Cultura anual				
	III	Cultura anual				
	IV	Cultura perene (restrito)/ Pastagem				
	VI	Pastagem natural / Reflorestamento	Pastagem plantada	Cult. perene (restrito)	Cultura	
	VII	Reflorestamento	Pastagem natural			
	VII	Reflorestamento	Pastagem natural			
	VIIIff	Cons. Hídrica / Preserv. Ambiental / Uso turístico				
	VIIIf	Cons. Hídrica / Preserv. Ambiental				

(continua)

Tabela 24: Usos recomendados pelo sistema e pelos especialistas (continuação).

Solo	CCU	Uso recomendado				
		Sistema	Especialistas			
			1	2	3	4
5	II	Cultura anual				
	III	Cultura anual				
	IV	Cultura perene (restrito) / Pastagem				
	VI	Pastagem natural / Reflorestamento	Pastagem plantada	Cult. perene (restrito)	Cultura	
	VII	Reflorestamento	Pastagem natural			
	VII	Reflorestamento	Pastagem natural			
	VIIIff	Cons. Hídrica / Preserv. Ambiental / Uso turístico				
	VIIFF	Cons. Hídrica / Preserv. Ambiental				
6	V	Pastagem				Cultura anual (restrito)
	VIIFF	Cons. Hídrica / Preserv. Ambiental				
7	II	Cultura anual				
	III	Cultura anual				
	IV	Cultura perene (restrito)/ Pastagem				
	VI	Pastagem natural / Reflorestamento	Pastagem plantada	Cult. perene (restrito)	Cultura	
	VIIIF	Cons. Hídrica / Preserv. Ambiental				
8	II	Cultura anual				
	III	Cultura anual				
	IV	Cultura perene (restrito)/ Pastagem				
	VI	Pastagem natural / Reflorestamento	Pastagem plantada	Cult. perene (restrito)	Cultura	
	VII	Reflorestamento	Pastagem natural			
	VII	Reflorestamento	Pastagem natural			
	VIIIff	Cons. Hídrica / Preserv. Ambiental / Uso turístico				
	VIIFF	Cons. Hídrica / Preserv. Ambiental				

1) LATOSSOLO VERMELHO (LEd3/so – Limeira)

5) ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (PV5 – Cristalino com cascalho)

2) LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (LVd3/so – Mato Dentro)

6) CAMBISSOLO (C1/p – Sete Lagoas)

3) LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (LVd8/so – Camarguinho)

7) Associação 1: LVd4 + PVL – Ponte Funda

4) ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (PV5 – Cristalino)

8) Associação 2: PVL + PV5/o – Latossólico

O especialista **1** concordou com os usos recomendados pelo sistema, discordando apenas da intensidade de uso indicada pelo sistema. Já os especialistas **2**, **3** e **4** fizeram recomendações um pouco diferentes daquelas feitas pelo sistema. A seguir estão detalhados os

resultados da comparação feita entre as saídas do sistema e as recomendações dos especialistas.

Com relação ao uso, o especialista **1** recomenda, para classe VI, uso moderado para pastagem plantada e adequado para pastagem natural; e para classe VII, pastagem natural com uso moderado e restrito para pastagem natural. Já o sistema faz a seguinte recomendação para essas classes: classe VI – uso restrito para pastagem plantada e moderado para pastagem natural; classe VII – uso restrito para pastagem natural e inadequado para pastagem plantada.

Em relação à classe IV, esse especialista concorda com o tipo de uso (cultura perene), porém discorda quanto à intensidade deste. Segundo o mesmo, deveria ser moderado e não restrito. Para ARGISSOLOS classificados como classe III de capacidade de uso, o especialista recomenda cultura anual com intensidade de uso moderado e não adequado, como é a recomendação do sistema.

Os especialistas **2**, **3** e **4** foram menos severos e recomendaram utilizações para algumas classes de capacidade de uso nas quais haveria sobreutilização da terra, isto é, o uso acima da intensidade máxima de utilização proposta nesse trabalho.

O especialista **2** recomendou o uso de cultura perene com restrição para a classe VI, porém o sistema não recomenda o uso de cultura para essa classe. O especialista **3** recomendou o uso de culturas para a classe VI, pois considera que a declividade ainda permite esse tipo de utilização. O especialista **4** classificou o CAMBISSOLO como classe IV, já comentado em parágrafo anterior, e recomendou a utilização de cultura anual com restrição; no caso desse solo o sistema indicou pastagem como uso adequado e classe V de capacidade de uso.

Para recomendar as práticas de conservação e manejo do solo, os especialistas receberam uma lista com todas as recomendações que fazem parte da base de conhecimento do sistema especialista (Anexo C).

Para as recomendações de manejo, houve discordância com relação aos três primeiros especialistas, já que não recomendaram algumas práticas que o sistema recomendou e vice-versa.

O especialista **1** não concordou com a recomendação feita para LATOSSOLOS: “Manutenção ou melhoramento das condições físicas do solo (rotação de culturas com raízes profundas ou que produzam grande quantidade de material residual)”. De acordo com o especialista, essa recomendação deveria ser feita apenas para os ARGISSOLOS os quais apresentam problemas de profundidade efetiva.

O especialista **2** sugeriu que fossem feitas mais recomendações para “Áreas de uso turístico” e também sempre adotar o plantio direto para a classe de capacidade de uso IV. Também recomendou a interdição ao gado para áreas de conservação hídrica.

O especialista **3** sugeriu que as recomendações fossem mais específicas e o especialista **4** fez recomendações parecidas com as do sistema.

Analisando as divergências encontradas na validação têm-se para as classes de capacidade de uso da terra houve 89,1% de concordância para o especialista **4** e para os outros três especialistas a concordância foi total.

Considerando os tipos de usos recomendados pelo sistema e aqueles recomendados pelos especialistas têm-se o seguinte resultado: uma concordância de 71,8% para o especialista **1**, 84,8% para os especialistas **2** e **3** e 97,8 % para o especialista **4**.

Quanto às recomendações, houve concordância de 94% para o especialista **1**, 83,3% para o especialista **2** e 100% para o especialista **4**. Como o especialista **3** apenas sugeriu que as recomendações do sistema fossem mais específicas e não discordou das recomendações feitas, optou-se por não indicar um valor como foi feito em relação aos outros especialistas.

4.1.2 – Requisitos para utilização do programa

A condição para instalação e utilização do sistema é que o usuário disponha do aplicativo Microsoft Access[®], Microsoft Word[®], do SIG Idrisi32 e dos arquivos do CLIPS (clips.dll, clips.lib, clipshll.dll e clips.lib) que podem ser obtidos gratuitamente na Internet.

Também é necessário que o usuário tenha algum conhecimento sobre o assunto para levantar as informações necessárias ao funcionamento do sistema.

4.2 Resultados obtidos para a área-teste

Nesse item serão apresentados e discutidos os resultados obtidos para a área-teste, o município de Santo Antônio do Jardim.

A classificação obtida para a área está apresentada na Tabela 22, na qual podemos observar que a principal restrição ao uso para os LATOSSOLOS está relacionada à fertilidade, com disponibilidade de nutrientes e toxicidade por alumínio com grau forte e muito forte, e restrição ligeira e moderada para fixação de fósforo. Outra limitação para esses solos diz respeito à erosão e restrição à mecanização, ambos com grau variando de ligeiro a forte, de acordo com a declividade.

Para o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO sem cascalho (Solo 4), a principal limitação está relacionada ao risco de erosão, com grau de restrição variando de moderado a muito forte. A restrição à mecanização varia entre ligeiro e muito forte.

No que diz respeito à fertilidade, esse solo apresenta restrição moderada para a disponibilidade de nutrientes e, ligeira para fixação de fósforo e toxicidade por alumínio. Além dessas restrições, apresenta também limitação ligeira relacionada à profundidade efetiva.

O ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO com cascalho (Solo 5), apresenta as mesmas limitações que o solo anterior, com mais uma restrição devido à presença de cascalho, e, como consequência disso, temos restrição ligeira relacionada ao fator pedregosidade.

O CAMBISSOLO apresenta limitação moderada para a drenagem interna devido à sua localização em planície aluvional. Em relação à fertilidade, o grau de restrição é forte para disponibilidade de nutrientes e toxicidade por alumínio e, ligeiro para fixação de fósforo.

Para casos de classes de solos em associações, a capacidade de uso é determinada considerando as informações do primeiro solo, por este ser predominante na associação. Por essa razão, a Associação 1 (LVd4 + PVL) que é constituída por um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (unidade Ponte Funda) e um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO LATOSSÓLICO, teve sua capacidade de uso determinada considerando os dados do primeiro solo.

Essa associação apresenta como principal limitação a fertilidade, com grau forte para disponibilidade de nutrientes e fixação de fósforo, e restrição moderada para toxicidade por alumínio. A restrição à mecanização e ao risco de erosão apresenta grau variando entre ligeiro e forte.

A Associação 2 (PVL + PV5/o) é constituída por dois ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS. A principal limitação está relacionada ao risco de erosão com grau de restrição variando entre moderado e muito forte. A restrição à mecanização varia de ligeiro a muito forte. Quanto à fertilidade, tem limitação moderada para disponibilidade de nutrientes e restrição ligeira para fixação de fósforo e toxicidade por alumínio. Também apresenta limitação ligeira para profundidade do solo.

O sistema gera um mapa com as classes de capacidade de uso da terra que é apresentado juntamente com uma tabela que mostra a área em hectares para cada classe (Figura 22). A Figura 23 mostra a parcela de cada classe na área total do município de Santo Antônio do Jardim.

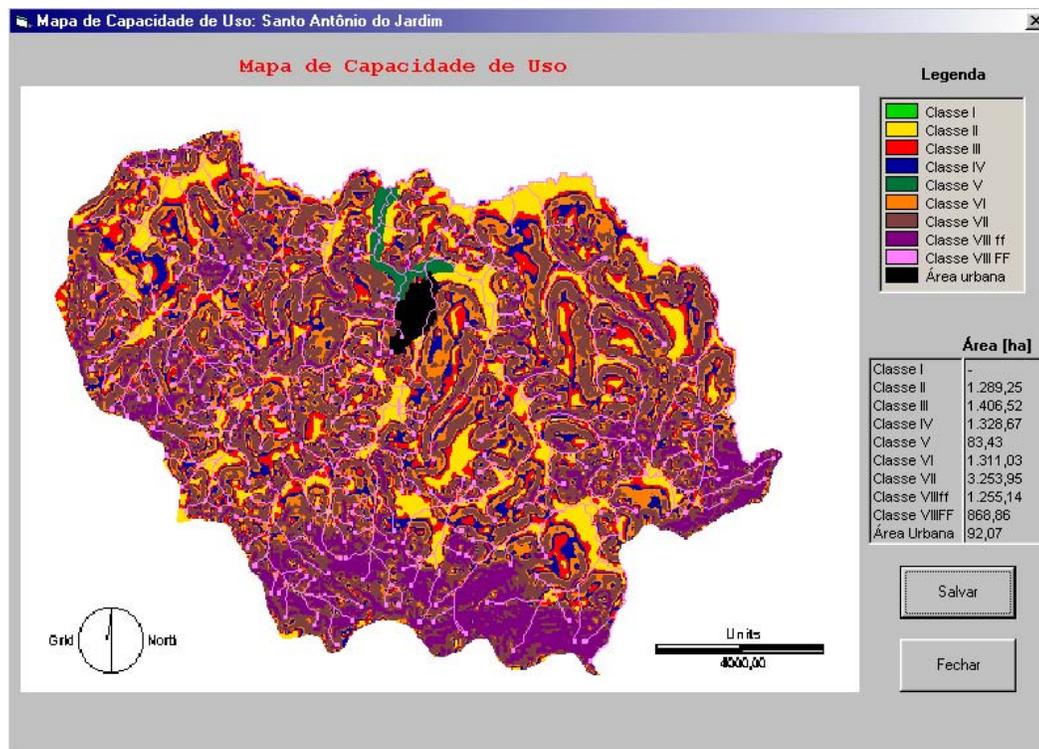


Figura 22: Mapa com a capacidade de uso da terra apresentado pelo sistema desenvolvido.

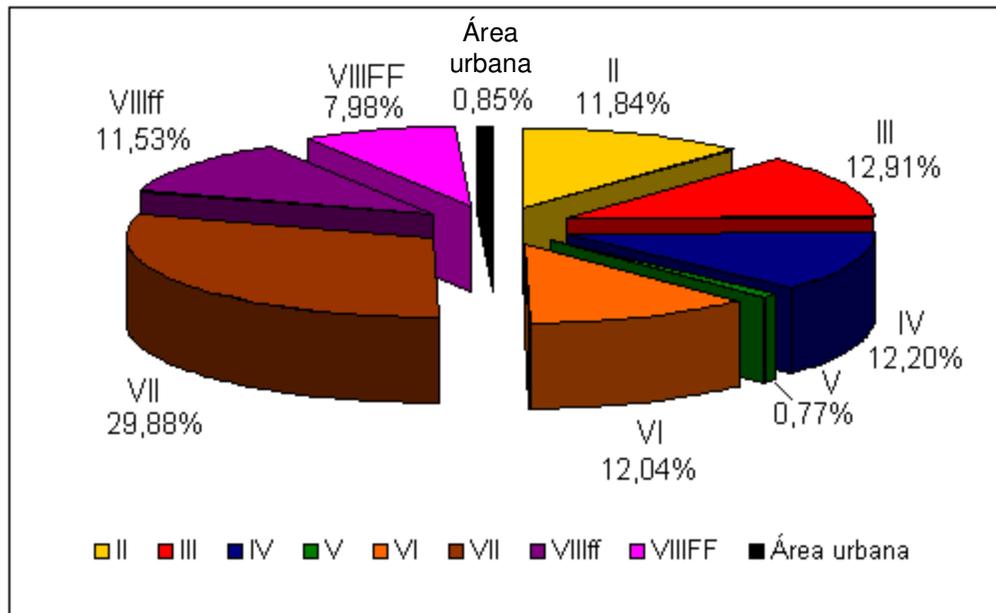


Figura 23: Parcelas das áreas das classes de capacidade de uso da terra em relação à área total do município de Santo Antônio do Jardim.

As terras passíveis de utilização com cultivo (anual e/ou perene), pastagem e reflorestamento representam 37% do município e correspondem às classes II, III e IV de capacidade de uso.

O município possui 42,7% de terras impróprias para cultivo, mas adaptadas para pastagem ou reflorestamento, que correspondem às classes V, VI e VII de capacidade de uso. Também há uma área correspondente às classes VIIIff e VIIIFF, representando 19,5% do município, com terras impróprias para qualquer tipo de cultivo, pastagem ou reflorestamento, e que devem ser utilizadas como áreas de preservação ambiental ou de conservação hídrica ou, ainda para uso turístico.

Outro resultado apresentado pelo sistema é o mapa denominado “Adequabilidade de Uso”, obtido através do cruzamento entre o mapa de capacidade de uso e o mapa com o uso atual da região. Foram identificadas quatro classes de adequação de uso: adequado, inadequado, subutilizado e não classificado. As áreas com uso adequado são representadas com a cor verde, as áreas subutilizadas com a cor amarela e as áreas com uso inadequado com

a cor vermelha (Figura 24). Junto desse mapa também são apresentadas as áreas correspondentes a cada classe de adequação.

A Figura 25 mostra a parcela, em porcentagem, que cada classe de adequação ocupa em relação à área total do município de Santo Antônio do Jardim.

Através desse resultado, pode-se observar que 48,5% (5254,74 ha) das terras do município estão sendo utilizadas de forma adequada, são áreas ocupadas com cultura anual e/ou perene, pastagem, reflorestamento e mata nativa. Há uma parcela que representa 31,82% (3447,18 ha) da região com uso inadequado e, 14,06% (1523,07 ha) apresenta subutilização, ou seja, a terra está sendo utilizada com intensidade menor do que a sua capacidade de uso.

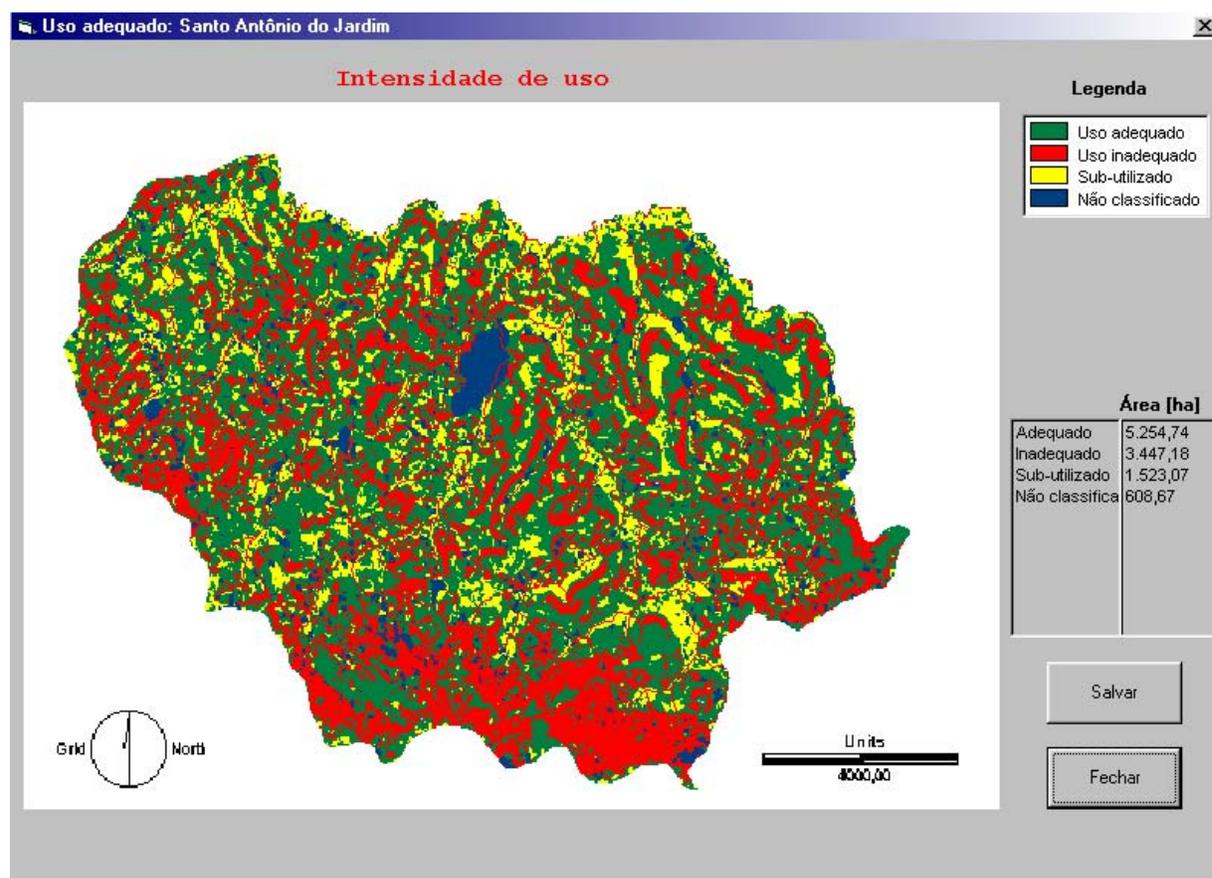


Figura 24: Mapa de adequabilidade de uso apresentado pelo sistema.

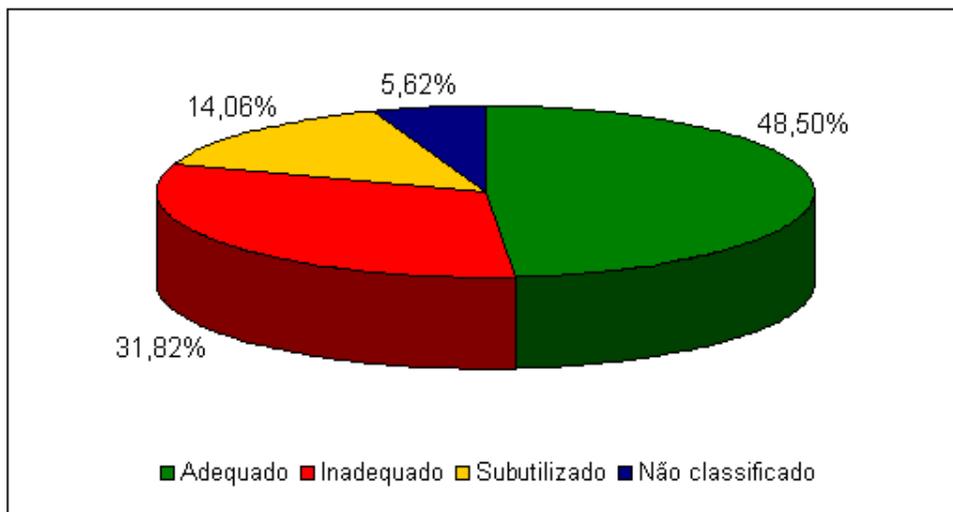


Figura 25: Parcelas das áreas das classes de adequação de uso em relação à área total do município de Santo Antônio do Jardim.

A parcela representada por 5,62% (608,67 ha), com a nomenclatura “Não classificada”, corresponde à área urbana, corpos d’água e áreas que não puderam ser identificadas pela metodologia utilizada por LAGROTTI (2000) para obter o mapa de uso atual.

Diante dos resultados apresentados, verifica-se a existência de uma área razoável do município com intenso processo de exploração, sendo utilizada de forma inadequada sem a adoção de critérios de capacidade de uso.

Observando a capacidade de uso da terra determinada por LAGROTTI (2000), ao fazer o planejamento agroambiental do município de Santo Antônio do Jardim, pode-se notar que as classes de capacidade de uso determinadas por este autor, assim como as restrições ao uso da terra correspondem às obtidas com o uso do sistema desenvolvido.

A seguir são mostrados três exemplos de recomendações feitas pelo sistema para o município de Santo Antônio do Jardim. O primeiro exemplo mostra as recomendações para o LATOSSOLO VERMELHO (unidade Limeira), com declividade entre 0 e 3%, classe II de capacidade de uso e cultura anual. No segundo exemplo são apresentadas as recomendações para o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO com cascalho, com declividade entre 6 e 9%,

classe IV de capacidade de uso e cultura perene. O terceiro exemplo também mostra esse último solo, porém com declividade entre 18 e 25%, classe VII de capacidade de uso e com reflorestamento. Outras recomendações para a região podem ser vistas no ANEXO C.

Exemplos de recomendações feitas pelo sistema:

1) Solo-1: LATOSSOLO VERMELHO (LEd3/so - Limeira)

- Classe de declividade: A CCU: II v3 a3 f2 re1
 - Cultura anual - Uso adequado
 - Rompimento ou desagregação da camada compactada quando esta existir.
 - Nivelamento do terreno para uma boa performance das máquinas e equipamentos, desde o plantio até a colheita.
 - Plantio em nível ou em contorno.
 - Tratos culturais normais: controle de ervas daninhas, pragas e doenças.
 - Culturas em faixas (rotação, retenção ou conjugadas).
 - Manutenção ou melhoramento das condições físicas do solo (rotação de culturas com raízes profundas ou que deixam grande quantidade de material residual).
 - Conservação da umidade através de cobertura morta e/ou controle de ervas daninhas.
 - Adubação verde e/ou orgânica: manter ou aumentar o teor de matéria orgânica do solo.
 - Rotação ou sucessão de culturas.
 - Quebra de crostas superficiais para permitir a germinação normal das sementes.
 - Recomendações para problemas relacionados à fertilidade
 - Utilizar corretivos e fertilizantes em quantidades adequadas após análise do solo, que deve ser repetida com intervalos de no máximo três anos. Manter em arquivo os resultados das análises para acompanhamento da evolução da fertilidade.
 - Risco de erosão: ligeiro
 - Preparo do solo reduzido, com o menor número possível de operações, reduzindo a mobilização dos solos, o tempo e o consumo de combustível necessários, visando sempre a conservação do solo.

2) Solo-5: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (PV5 - Cristalino com cascalho)

- Classe de declividade: C CCU: IV re4 m2 v2 pd1 p1 f1 a1
 - Cultura perene - Uso restrito
 - Rompimento ou desagregação da camada compactada quando esta existir
 - Plantio em nível ou em contorno.
 - Tratos culturais normais: controle de ervas daninhas, pragas e doenças.
 - Proteção contra fogo ou outros agentes destruidores.
 - Controle de voçorocas.
 - Não queimar restos de culturas - incorporar ou manter na superfície do solo com a finalidade de manter ou aumentar o conteúdo de matéria orgânica no solo.
 - Controle do mato no período de chuva com roçadeira.
 - Alternância de capina.
 - Faixas de vegetação permanente.
 - Recomendações para problemas relacionados à fertilidade
 - Utilizar corretivos e fertilizantes em quantidades adequadas após análise do solo, que deve ser repetida com intervalos de no máximo três anos. Manter em arquivo os resultados das análises para acompanhamento da evolução da fertilidade.
 - Adubações químicas e orgânicas: função do solo e cultura.
 - Sistema de terraceamento
 - O terraceamento não deve ser utilizado como prática isolada no controle da erosão, mas associado a outras práticas conservacionistas, como preparo do solo, plantio e cultivo em nível, manejo de restos culturais e outras, protegendo as faixas de terra entreterraços.
 - Terraços com gradiente (em desnível). Base média.
 - Canais escoadouros (complemento de terraços com gradiente).
 - Cuidados que devem ser tomados na construção dos canais escoadouros
 - Reduzir o volume de enxurrada a ser conduzido, dividindo-o para dois ou mais canais.
 - Manter a cobertura vegetal cortada e adubada, quando necessário.
 - Não usar voçorocas, áreas de propriedades vizinhas, estradas, matas ou pastos como locais de deságüe do canal escoadoiro.
 - Não se deve permitir manobras de máquinas agrícolas sobre o canal, pastoreio de gado, plantas invasoras e falhas na vegetação.

- Manutenção
 - Manutenção anual dos terraços e canais escoadouros.
 - Sempre que ocorrerem chuvas intensas, os terraços devem ser inspecionados e restaurados se necessário.
 - Subsolagem no canal do terraço a cada dois ou três anos para melhorar a infiltração.

3) Solo-5: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (PV5 - Cristalino com cascalho)

- Classe de declividade: F CCU: VII re4 m4 v2 pd1 p1 f1 a1
 - Reflorestamento – Uso adequado
 - Preparo do solo.
 - Plantio em nível ou em contorno.
 - Aplicação de corretivos e fertilizantes (manutenção e restituição)
 - Escolha das essências florestais
 - Preparo de mudas.
 - Tratos culturais.
 - Proteção contra fogo ou outros agentes destruidores.
 - Corte sistemático.
 - Interdição ao gado.
 - Remoção dos produtos florestais, segundo curva de nível.

4.3 – Síntese

Nesse capítulo pode-se ver quais são e como são apresentados os resultados gerados pelo sistema desenvolvido. Também foram mostrados os resultados encontrados para o município de Santo Antônio do Jardim e algumas das reflexões que podem ser feitas a respeito da área a partir dos resultados gerados pelo sistema, confirmando o potencial de uso do mesmo.

O próximo capítulo apresenta as conclusões deste trabalho e faz algumas sugestões para futuros trabalhos que poderão ser feitos a partir do sistema desenvolvido.

V – CONCLUSÕES

Pelos resultados apresentados neste trabalho, pode-se concluir que:

- A integração de Sistemas Especialistas, Sistema de Informações Geográficas e Banco de dados mostrou ser uma técnica eficaz para apoio à tomada de decisão no processo de gestão da terra facilitando a manipulação e o processamento das informações.
- Na validação as divergências entre as saídas do sistema e os resultados dos especialistas mostraram que o SSD desenvolvido foi mais rigoroso, principalmente no que diz respeito ao risco de erosão, determinando classes de capacidade de uso diferentes das determinadas por alguns especialistas. Quanto ao tipo de uso e às práticas de conservação e manejo do solo, foram poucas as divergências encontradas.
- Ainda em relação à validação, os níveis de concordância encontrados entre o sistema e os especialistas podem ser considerados satisfatórios.
- A utilização do sistema não é difícil, porém o usuário precisa ter algum conhecimento sobre o assunto, para levantar as informações necessárias ao funcionamento do sistema e fornecê-las corretamente para o bom funcionamento do mesmo.

Em relação ao município de Santo Antônio do Jardim pode-se concluir que:

- Os resultados apresentados mostraram que a partir as saídas fornecidas pelo Sistema de Apoio ao Processo de Decisão para a Gestão Agrícola do Uso da Terra permitem uma

visão geral da área de estudo, facilitando a identificação de áreas de conflito, através do mapa de intensidade de uso. Por exemplo, diante dos resultados apresentados, verificou-se a existência de uma área razoável do município com intenso processo de exploração, sendo utilizada de forma inadequada sem a adoção de critérios de capacidade de uso.

Pelas conclusões apresentadas o SSD desenvolvido pode ser utilizado para a gestão da terra, com segurança, pois mostrou ser uma ferramenta poderosa e eficaz, permitindo através de seus resultados avaliar uma região, dando mais agilidade e apoio a esse processo de tomada de decisão contribuindo para que a terra seja utilizada de acordo com sua capacidade de uso.

Como implementações que poderiam ser feitas para melhorar o desempenho do sistema sugere-se a criação de outros módulos que poderiam ser integrados ao mesmo, como: recomendação para aplicação de fertilizantes; recomendação de sistemas de irrigação; considerar fatores socioeconômicos etc.

O alto grau de subjetividade da classificação de terras segundo a sua capacidade de uso, que deixa esse método sujeito à experiência e ao conhecimento do especialista, sugere o uso de lógica fuzzy para tentar sistematizar de uma maneira mais eficaz a experiência dos especialistas e dessa forma minimizar essa subjetividade.

VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARRUDA, F. B.; ZULLO JR.; J.; OLIVEIRA, J. B. de. Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 11:11-15, 1987.
- BACHE, B. W.; WILIANS, E. G., 1971. A phosphate sorption index for soils. **J. Soil Sci.**, 22:290-301 apud CAMARGO, O. A. de; RAIJ, B. van; GROHMANN, F. Fixação do fósforo em solos avaliada pelo índice de Bache e Williams e sua correlação com outras propriedades. **Ciênc. e Cult**, São Paulo, 26:681-685. 1974.
- BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I.; BELLINAZZI JR., R. Classificação Técnica. **In** LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. (coords.). Manual técnico de manejo e conservação de solo e água. v II CATI. Campinas, SP,1994a. p. 121-156. (Manual Técnico, 39).
- BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B. de; DRUGOWICH, M. I.; ANDRADE, N. de O.; GALETI, P. A.; BELLINAZZI JR., R; DECHEN, S. C. F. Tecnologias para controlar o escoamento superficial do solo. **In** LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. (coords.). Manual técnico de manejo e conservação de solo e água. v IV CATI. Campinas, SP,1994b. 65p.121 (Manual Técnico, 41).
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, SP: Ícone, 1990. 355p.

- BOGGESS, W. G.; BLOKLAND, P. J. van; MOSS, S. D. FinARS: A Financial Analysis Review Expert System. **Agricultural Systems**, 31:19-34.1989.
- BRAGA, J. L.; SOUSA, E. M. de; NASCIF, C.; PEREIRA, N. V. L. DELEITE: Diagnóstico inicial de problemas relacionados ao rebanho leiteiro. In: I CONGRESSO DA SBI-AGRO – AGROSOFT'97. **Anais...** Belo Horizonte, MG, 1997. s.p.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. New York: Oxford University Press, 1986. 193p.
- CÂMARA, G. Princípios básicos em geoprocessamento. In ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (eds.). **Sistema de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura**. 2. ed., Brasília: Embrapa, 1998. p.3-11.
- CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.S.; MAGALHÃES, G.C.; MEDEIROS, C.M.B. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996. 197p.
- CAMARGO, O. A. de; RAIJ, B. van; GROHMANN, F. Fixação do fósforo em solos avaliada pelo índice de Bache e Williams e sua correlação com outras propriedades. **Ciênc. E Cult**, São Paulo, 26:681-685. 1974.
- CAVALIERI, A. **Avaliação da aptidão agrícola das terras e estudo da degradação do solo da quadrícula de Moji Mirim para fins de planejamento agroambiental**. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP. Tese de doutorado. 1998. 112p.
- CLARK LABS. **The Idrisi32: Applications programming interface user's guide**. Disponível em: <<http://www.clarklabs.org>>. Acesso em 17/12/2000.
- DOLUSCHITZ, R.; SCHMISSEUR, W.E. Expert Systems: Applications to Agriculture and Farm Management. **Computers and Electronics in Agriculture**, 2:173-182. 1988.
- DONZELLI, P. L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S. A. F.; NOGUEIRA, F. P.; ROTTA, C. L.; LOMBARDI NETO, F.; Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. In: LOMBARDI

- NETO, F.; CAMARGO, O. A. (coords.). Microbacia do Córrego São Joaquim (Município de Pirassununga). Campinas: Instituto Agrônômico, 1992. P.91-119. (Documentos IAC, 29).
- EASTMAN, J. R. **IDRISI32 Guide to Gis and Image Processing**. Worcester: Clark University. Vol. 1 1999. 193p.
- EMBRAPA/CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- FAO. **A Framework for land Evaluation**. Rome,1976. 72p. (FAO. Soils Bulletin, 32).
- FERNANDES, E. N. **Sistema inteligente de apoio ao processo de avaliação de impactos ambientais de atividades agropecuárias** Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1997. 122p.
- FERNANDES, E. N.; FERNANDES FILHO, E. I.; SILVA, E.; SILVA, C. A. B. da; RICARDO, J. de F. EROSYS: Sistema de apoio ao processo de avaliação de impactos ambientais de atividades agropecuárias. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v. 4, n. 1, p. 1-12,,2002.
- FERNANDES FILHO, E. I. **Desenvolvimento de um sistema especialista para determinação da aptidão agrícola das terras de duas bacias hidrográficas**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1996. 71 p.
- FORMAGGIO, A. R.; ALVES, D. S.; EPIPHANIO, J.C.N. Sistemas de informações geográficas na obtenção de mapas de aptidão Agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 16:249-256, 1992.
- GIARRATANO, J. C.; RILEY, G. **Expert Systems: principles and programming**. 2. ed. Boston: PWS, 1993. 644p.
- GIBOSHI, M.L. **Desenvolvimento de um sistema Especialista para Determinar a Capacidade de uso da terra**. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Desenvolvimento

- Rural Sustentável) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1999. 77p.
- GUIMARÃES, A. M.; CATANEO, A.; WEIRICH NETO, P. H.; MATHIAS, I. M.; RICKLI, L. I. Desenvolvimento de um sistema especialista para apoio à decisão no processo de semeadura. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E À AGROINDÚSTRIA, 1993, Porto Seguro, BA. **Anais...** Lavras: SBIAGRO, 2003 (4.: 2003; Porto Seguro, BA).
- HAMADA, E.; CAVALIERI, A.; ROCHA, J.V.; KÜPPER, R. de B. Classificação das terras no sistema de capacidade de uso utilizando o SIG-Idrisi. In: I SIMPÓSIO DE USUÁRIOS IDRISI. **Anais...** Campinas, 1996, p.75-77.
- HARRISON, S. H. Validation of Agricultural Expert System. **Agricultural Systems**, 35:265-285. 1991.
- HART, A. **Knowledge Acquisition for Expert Systems**. 2. ed. London: Kogan Page, 1989. 196p.
- HAYES-ROTH, F.; WATERMAN; D. A.; LENAT, D. B. **Building Expert Systems**. Massachusetts: Addison Wesley, 1983. 444p.
- JONES, P. H.; EVERETT, J. W.; BECK, H. Knowledge acquisition: A case history of an insect control expert system. **ASAE Tech. Paper No. 86-5041**. St Joseph, USA. 1986.
- KIDD, A. L.; COOPER, M. B. Man-machine interface issues in the construction and use of an expert system. **International Journal of Man-Machine Studies**, 22 (1), 91-102, 1985.
- KLINGEBIEL, A.A.; MONTGOMERY, P. H. **Land – capability classification**. Washington, D. C. USDA, 1961. 21p. (Agriculture Handbook 210) apud LEPSCH, I. F.; BELLINAZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso**. 4a Aproximação. 2a edição. Campinas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

- LAGROTTI, C. A. A. **Planejamento Agroambiental do município de Santo Antônio do Jardim – SP: Estudo de caso da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Jardim.** Tese (Doutorado em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- LEPSCH, I. F.; BELLINAZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso. 4ª Aproximação.** 2ª ed.. Campinas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.175p.
- LOH, D. K.; HSIEH, Y. C.; CHOO, Y. K.; HOLTFREERICH, D. R. Integration of a rule-based expert system with GIS through a relational database management system for forest resource management. **Computers and Electronics in Agriculture**, 11: 215-228. 1994.
- LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. (coords.). **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água.** v III CATI. Campinas, SP,1994. P. 121-156. (Manual Técnico, 40).
- LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R. (coords.). **Simpósio sobre Terraceamento Agrícola.** Campinas: Fundação Cargil, 1989. 266p.
- LOPES ASSAD, M. L. Uso de um sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola de terras. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 19:133-139, 1995.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MARQUES, J. Q. A. Manual brasileiro para levantamentos conservacionistas: 2ª aproximação. Rio de Janeiro: Escritório Técnico Brasil-Estados Unidos (ETA), 1958. 135p.
- MARQUES, J. Q. A. Manual para levantamento da capacidade de uso da terra: 3ª aproximação. Rio de Janeiro: Escritório Brasil-Estados Unidos (ETA), 1971. 433p.

- MELO, P. de; BERTIOLI, D. J.; CAJUEIRO, E. V. M.; BASTOS, R. C. Recommendation for fertilizer application for soils via qualitative reasoning. . *Agricultural Systems*, 67:21-30. 2001.
- MONTAS, H.; MADRAMOOTOO, C. A. A Decision Support System for soil Conservation planning. **Computers and Electronics in Agriculture**, 7: 87-202. 1992.
- NORTON, E. A., **Soil conservation survey handbook**. Washington, USDA, 1939, 40p. (Miscellaneous Publication, 532) apud BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, SP: Ícone, 1990. 355p.
- OLIVEIRA, J. B. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Mogi Mirim**. São Paulo: IGC, 1992. esc. 1:100.000.
- OLIVEIRA, J. B.,. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico**. Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, SP, 1999. 112p. (Boletim Científico 45).
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: Legenda Expandida. Instituto Agronômico de Campinas e Embrapa Solos. Campinas, SP, 1999. 64p. e mapa.
- OLIVEIRA, J. B.; MENK, J. R. F. **Solos da Folha de Moji-Mirim**. Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, SP, 1999. 119p. (Boletim Científico 46).
- OLIVEIRA, J. B.; BERG, M. van den. **Aptidão Agrícola das Terras do Estado de São Paulo: quadrícula de Araras. II Memorial Descritivo**. Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, SP, 1985. 60p. (Boletim Técnico n.º 102).
- OLIVEIRA, J. B.; SOSA, S. M. **Sistema de Classificación de la Aptitude Agro-ecologica de la Tierra (S.C.A.A.T.) para la Region Oriental del Paraguay. 1a aproximación**. Asunción, Paraguay: UNA.FCA.CIF.GTZ. 1995. 77p.
- PEREIRA, L. C. **Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: proposta metodológica**. Tese (Doutorado em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável) –

- Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. 122p.
- PINTO, S. A. F.; VALÉRIO FILHO, M. ; GARCIA, G.J. Utilização de imagens TM/Landsat na análise comparativa entre dados do uso da terra e de aptidão agrícola. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 13: 101-110, 1989.
- PLANT, R. E.; VAYSSIÈRES, M. P. Combining expert system and GIS technology to implement a state-transition model of oak woodlands. **Computers and Electronics in Agriculture**, 27 (2000) 71-93.
- POZZA, E. A.; MAFFIA, L. A.; SILVA, C. A. B. da; BRAGA, J. L.; CERQUEIRA, F. G. TOMEX-UFV: Um sistema especialista para diagnose de doenças do tomateiro. In: I CONGRESSO DA SBA-AGRO – AGROSOFT'97. **Anais...** Belo Horizonte, MG, 1997 s.p.
- PRADO, H. do. **Solos Tropicais: potencialidades, limitações manejo e capacidade de uso**. Piracicaba, SP, 1995. 166p.
- RAIJ, B. van; LOMBARDI NETO, F.; SARTINI, H. J.; KHUN NETO, J.; MOURA, J. C. de; DRUGOWICH, M.; CORSI, M.; CASTRO, O. M.; BERTON, R. Tecnologias para aumentar a cobertura vegetal e a infiltração de água no solo. **In** LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M.I. (coords.). Manual técnico de manejo e conservação de solo e água. v III CATI. Campinas, SP, 1994. p. 85. (Manual Técnico, 40).
- RILEY, G. **Clips: A Tool for Building Expert Systems**. Disponível em: <<http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html>>. Acesso em 07/07/2002.
- ROSSITER, D. G. ALES: a framework for land evaluation using a microcomputer. **Soil Use and Management**. v. 6, n. 1, march, 1990.
- SARTORI, A. **Avaliação da classificação Hidrológica do Solo para a determinação do excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. 161p.

- SAWYER, B.; FOSTER, D. L. **Programming Expert Systems in Pascal**. New York: John Wiley & Sons, 1986. 186p.
- SCHMISSEUR, E. Validation of expert systems. **In: Advanced Computer Applications In Animal Agriculture**. Dallas, 1992.
- SILVA, J. R.C.; DEGLORIA, S.D.; PHILIPSON, W.R.; McNEIL, R. J. Estudo da mudança de uso da terra através de um sistema de análise georreferenciada. **R. Bras.Ci. Solo**, Campinas, 17: 451-457, 1993.
- SPRAGUE, R. H.; WATSON, H. J. **Decision Support systems: putting theory into practice**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 2 ed., 1989. 419p.
- USBERTI, F. L. **Coleta e organização dos procedimentos de acesso às funções de CLIPS em ambiente Windows para melhoria de interface com o usuário de sistemas especialistas**. Relatório final de iniciação científica – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas. **In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (eds.). Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal, FCA/UNESP/SBCS. 1994. P. 223-242.
- WATERMAN, D. **A Guide to Expert Systems**. Massachusetts: Addison - Wesley, 1986. 419p.
- WEILL, M. de A. M. Metodologias de avaliação para fins agrícolas. **Revista bras. Geografia**. Rio de Janeiro, RJ, 52:127-160. 1990.
- WEILL, M. de A. M. **Estimativa da erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP), através do Índice de Tempo de Vida**. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ, USP. Piracicaba, SP, 1999. 100p.

WENTWORTH, J. A.; KNAUSS, R.; AOUGAB, H. Verification, Validation and Evaluation of Expert Systems. v. 1., McClean: FHWA 1995. 146p. Disponível em: <<http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html>>. Acesso em 27/12/.

ANEXOS

ANEXO A : Manual de acesso às funções essenciais do CLIPS pelo VB (USBERTI, 2003)

' Declaração dos Procedimentos Essenciais do CLIPSHLL.DLL:

Declare Sub HLL_INIT Lib "clipshll.dll" ()

' HLL_INIT (sub-rotina): Inicializa o motor do CLIPS. Não é necessária pois a inicialização é automática, mas é segura.

Declare Function HLL_LOAD Lib "clipshll.dll" (ByVal FileName As String, ByVal FileNameLen As Integer) As Integer

' HLL_LOAD (função): Carrega a construção, que representa a base de conhecimento.

' Parâmetros:

' FileName: String que contém o diretório e nome do arquivo CLP, ou seja, da base de conhecimento.

' FileNameLen: Length da variável FileName (por exemplo, para FileName = "c:\rules.clp" esse parâmetro valeria 12).

' Valor de Retorno:

' -2: O diretório e/ou nome do arquivo está/estão incorretos.

' -1: Variável FileName é inválida.

' 0: Ocorreu falha no carregamento.

' 1: A análise da variável FileName falhou.

' 2: Carregamento com sucesso.

' 3: O diretório e/ou nome do arquivo está/estão incorretos.

' 4: Erro de inicialização do CLIPS (se ocorrer, vide parágrafo 1 do Anexo 1).

Declare Sub HLL_RESET Lib "clipshll.dll" ()

' HLL_RESET (sub-rotina): Retira todas as ativações da Agenda do CLIPS assim como todos os fatos da Lista de Fatos, com exceção do "Initial-Fact".

Declare Function HLL_ASSERTFACT Lib "clipshll.dll" (ByVal Buffer As String, ByVal BufferLen As Integer) As Integer

' HLL_ASSERTFACT (função): Insere um fato da lista de fatos do CLIPS;

' Parâmetros:

' Buffer: String que contém o fato a ser inserido para a lista.

' BufferLen: Length da variável Buffer (por exemplo, para Buffer = "(fato exemplo)" esse parâmetro valeria 14).

' Valor de Retorno:

- ' -1: O parâmetro Buffer é nulo.
- ' 0: Ocorreu falha na inserção do fato.
- ' 1: Inserção do fato com sucesso.

Declare Function HLL_RETRACTFACT Lib "clipshll.dll" (ByVal Buffer As String, ByVal BufferLen As Integer) As Integer

- ' HLL_RETRACTFACT (função): Retira um fato da lista de fatos do CLIPS.
- ' Parâmetros:
- ' Buffer: String que contém o fato a ser retirado da lista.
- ' BufferLen: Length da variável Buffer (por exemplo, para Buffer = "(fato exemplo)" esse parâmetro valeria 14).
- ' Valor de Retorno:
- ' -2: O fato especificado não existia na lista.
- ' -1: O parâmetro Buffer é nulo.
- ' 0: Ocorreu falha na retirada do fato.
- ' 1: Retirada do fato com sucesso.

Declare Sub HLL_REMOVEALLFACTS Lib "clipshll.dll" ()

- ' HLL_REMOVEALLFACTS (sub-rotina): remove todos os fatos da lista de fatos do CLIPS.

Declare Function HLL_RUN Lib "clipshll.dll" (ByVal Iterations As Long) As Long

- ' HLL_RUN (função): Inicia a execução das regras da base de conhecimento.
- ' Parâmetros:
- ' Iterations: Número de iterações para serem executadas. Se Iterations = -1, o motor do CLIPS roda até não haver mais regras para serem ativadas.
- ' Valor de Retorno:
- ' -1: Ocorreu falha na execução.
- ' #: Número de iterações que o motor do CLIPS rodou.

Declare Function HLL_GETNUMBEROFFACTS Lib "clipshll.dll" () As Long

- ' HLL_GETNUMBEROFFACTS (função): Retorna o número de fatos da lista de fatos do CLIPS.
- ' Parâmetros: nenhum.
- ' Valor de Retorno:
- ' -1: Ocorreu falha na execução.
- ' #: Número de fatos presentes na lista (inclui "(initial-fact)")

Declare Function HLL_NEXTFACTSTRING Lib "clipshll.dll" (ByVal Buffer As String, ByVal length As Integer) As Integer

' HLL_GETNEXTFACTSTRING (função): Retorna o fato que se encontra na última posição da lista de fatos em uma string.

' Parâmetros:

' Buffer: String que irá conter a string (fato) a ser retornada.

' Length: Length máximo da string a ser retornada.

' Valor de Retorno:

' -2: O string Buffer não é válido para o Length especificado.

' 0: Falha na coleta do fato da lista, possivelmente por não haver mais fatos.

' #: Número de bytes utilizados para preencher a variável Buffer.

Declare Function HLL_SAVEFACTS Lib "clipshl.dll" (ByVal Buffer As String, ByVal BufferLen As Integer) As Integer

' HLL_SAVEFACTS (função): Salva a lista de fatos do CLIPS em um arquivo com formato texto;

' Parâmetros:

' Buffer: String contendo o diretório e o nome do arquivo a ser salvo (preferencialmente em formato txt).

' BufferLen: Length da variável Buffer (por exemplo, para Buffer = "c:\vbprogramas\fatos.txt" esse parâmetro valeria 24).

' Valor de Retorno:

' -2: Nome de arquivo inválido.

' -1: O string Buffer é inválido.

' 0: Ocorreu falha na gravação do arquivo.

' 1: A gravação foi feita com sucesso.

Declare Function HLL_LOADFACTS Lib "clipshl.dll" (ByVal Buffer As String, ByVal BufferLen As Integer) As Integer

' HLL_LOADFACTS (função): Carrega uma lista de fatos de um arquivo com formato texto. Não é necessário colocar os fatos entre aspas. Sugere-se escrever um fato, dar um espaço, escrever outro fato, mais um espaço, e assim sucessivamente.

' Parâmetros:

' Buffer: String contendo o diretório e o nome do arquivo de fatos a ser carregado (preferencialmente em formato txt).

' BufferLen: Length da variável Buffer (por exemplo, para Buffer = "c:\vbprogramas\fatos.txt" esse parâmetro valeria 24).

' Valor de Retorno:

' -2: Nome de arquivo inválido.

- ' -1: O string Buffer é inválido.
- ' 0: Ocorreu falha no carregamento do arquivo.
- ' 1: O carregamento foi feito com sucesso.

Declare Sub HLL_CLEAR Lib "clipshll.dll" ()

' HLL_CLEAR (sub-rotina): Retira todas as construções e todas as estruturas de dados do CLIPS;

Declare Function HLL_BUILD Lib "clipshll.dll" (ByVal theConstruct As String, ByVal theConstructlen As Integer) As Integer

' HLL_BUILD (função): Cria uma construção.

' Parâmetros:

' theConstruct: String contendo a construção a ser criada pelo CLIPS (por exemplo: "(deftemplate Pessoa (slot nome) (slot peso))" ou "(defrule Regra (fato 1) => (assert (fato 2)))")

' theConstructlen: Length da variável theConstruct (por exemplo, para theConstruct = "(deftemplate Pessoa (slot nome) (slot peso))" esse parâmetro valeria 44).

' Valor de Retorno:

- ' -1: O string theConstruct é nulo ou não possui um valor válido.
- ' 0: Erro do CLIPS (possivelmente uma construção mal formada).
- ' 1: Construção feita com sucesso.

Declare Function HLL_DRIBBLE Lib "clipshll.dll" (ByVal theFile As String, ByVal theFilelen As Integer, ByVal iOnOff As Integer) As Integer

' HLL_DRIBBLE (função): Versão HLL do comando Dribble (vide página 227 do Guia de Programação Básica do CLIPS).

' Parâmetros:

' theFile: String contendo o diretório e o nome do arquivo onde serão descarregadas as informações (formato txt).

' theFilelen: Length da variável theFile (por exemplo, para theFile = "drib.txt" esse parâmetro valeria 8).

' iOnOff : 1 para iniciar o dribble, 0 para finalizar.

' Valor de Retorno:

- ' -1: O string theFile é nulo ou não possui um valor válido.
- ' 0: Erro do CLIPS.
- ' 1: Sucesso.

Declare Sub HLL_SETROUTE Lib "clipshll.dll" (ByVal route As String, ByVal routelen As Integer)

' HLL_SETROUTE (sub-rotina): Captura um route I/O (input/output) do CLIPS para a memória (vide página 158 do Guia de Programação Básica do CLIPS).

' Parâmetros:

' route: Nome do route do CLIPS para ser capturado

' routelen: Length do parâmetro route

Declare Function HLL_GETROUTESTRING Lib "clipshll.dll" (ByVal route As String, ByVal Routelength As Integer, ByVal Buffer As String, ByVal BufLength As Integer) As Integer

' HLL_GETROUTESTRING (função): Captura o conteúdo de um route I/O (input/output) do CLIPS (vide página 158 do Guia de Programação Básica do CLIPS).

' Parâmetros:

' route: Nome do route a ser capturado.

' RouteLength : Length do parâmetro route (por exemplo, para route = "stdout" esse parâmetro valeria 6)

' Buffer: Variável para armazenar o conteúdo do route.

' BufLength: Length máximo da variável Buffer.

' Valor de Retorno:

' -5: Nome do route inválido.

' -4: O string route é nulo ou não possui um valor válido.

' -3: A função HLL_SETROUTE ainda não foi chamada para o route em questão.

' -2: O Buffer não é válido para o Length especificado.

' -1: O fim do route foi alcançado.

' #: Número de bytes copiados para o parâmetro buffer.

Declare Sub HLL_CLEARROUTE Lib "clipshll.dll" (ByVal route As String, ByVal routelen As Integer)

' HLL_CLEARROUTE (sub-rotina): Limpa o conteúdo de um route I/O (input/output) do CLIPS

' Parâmetros:

' route: Nome do route do CLIPS para ser limpo.

' routelen: Length do parâmetro route.

Declare Sub HLL_UNSETROUTE Lib "clipshll.dll" (ByVal route As String, ByVal routelen As Integer)

' HLL_UNSETROUTE (sub-rotina): Libera da memória um route I/O (input/output) do CLIPS anteriormente capturado .

' Parâmetros:

' route: Nome do route do CLIPS para ser liberado.

' routelen: Length do parâmetro route.

Declare Sub HLL_EXIT Lib "clipshll.dll" (ByVal theReturnCode As Integer)

' HLL_EXIT (sub-rotina): Finaliza o motor do CLIPS.

' Parâmetros:

' theReturnCode: Um valor numérico inteiro qualquer que será passado para o CLIPS.

' Valor de Retorno: nenhum.

**ANEXO B: Recomendações que fazem parte da base de conhecimento do sistema
especialista RECOMENDAÇÕES.**

Uso	Recomendações
Uso turístico	Interdição ao gado.
	Criação de parques dotados de infra-estrutura adequada para receber visitantes.
	Criação de áreas de lazer em locais apropriados.
Conservação hídrica	Manutenção da vegetação ciliar nativa ou recomposição da mesma onde esta não mais existir.
	Essa vegetação deve estar situada ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal, com largura mínima segundo o Código Florestal vigente.
	Nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados olhos d'água, qualquer que seja a sua situação topográfica, deve ter um raio mínimo de 50 metros de largura.
	Ao redor de lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais recomenda-se no mínimo um raio de 30 metros
Preservação ambiental	Em áreas de proteção de mananciais hídricos, tomar medidas ligadas ao controle de agrotóxicos, lançamento de esgotos, impermeabilização do solo ou uso inadequado da terra.
	Plantio e manutenção de vegetação permanente e apropriada para fornecer ambiente para desenvolvimento da fauna.
	Aproveitamento das áreas limites das florestas para refúgio da fauna.
	Manutenção de áreas de reflorestamentos (nativas ou exóticas), submetidas ao manejo previsto no Código Florestal.
Reflorestamento	Preservação da cobertura vegetal natural.
	Recompor áreas com vegetação de pasto sujo ou com coberturas residuais utilizando espécies nativas.
	Remoção dos produtos florestais, segundo curva de nível.
	Corte sistemático.
Reflorestamento	Aplicação de corretivo e fertilizantes (manutenção e restituição): função do solo e espécie.
	Tratos culturais.
	Preparo de mudas.
	Escolha das essências florestais de acordo com as condições do solo, clima e finalidade visada.
	Preparo do solo.
	Interdição ao gado.
	Conservação das florestas protetoras.
	Viveiros em locais apropriados.
	Regeneração.
	Locação e construção de estradas segundo as curvas de nível.
Cultura anual, perene, pastagem e reflorestamento	Controle de voçorocas quando estas existirem.
	Sulcos de retenção.
	Proteção contra fogo ou outros agentes destruidores.
	Tratos culturais normais: controle de ervas daninhas, pragas e doenças.
	Plantio em nível ou em contorno.
	Nivelamento do terreno para uma boa performance das máquinas e equipamentos, desde o plantio até a colheita.
Reflorestamento	Rompimento ou desagregação da camada compactada quando esta existir.

Recomendações que fazem parte da base de conhecimento do sistema especialista
RECOMENDAÇÕES (continuação).

Pastagem	Conservação e manejo dos pastos excedentes.
	Proteger pequenas barragens e sangradouros com cerca.
	Locação de cercas segundo normas conservacionistas. As cercas de maior comprimento devem acompanhar a linha de nível do terreno, facilitando o deslocamento dos animais.
	Fazer a divisão de pastagens de forma retangular, com o maior comprimento no sentido perpendicular ao maior declive.
	A disposição dos bebedouros e cochos no pasto deve ser feita de forma adequada para evitar a formação de trilhos morro abaixo. Recomenda-se a sua colocação em extremidades opostas ao piquete e na mesma cota.
	Distribuição mais conveniente de árvores para sombra: em média cinco árvores por hectare, com perda de no máximo 3% da área de pastagem; distanciadas dos bebedouros e cochos de minerais; com distância razoável das cercas (20m); acomodação, com folga, para todos os animais em pastejo.
	Controle de pragas e doenças.
	Pastoreio rotacional, para favorecer a revegetação natural e aumentar o vigor da vegetação herbácea.
	Dotação adequada de animais por unidade de área.
	Aplicação de corretivo e fertilizantes (manutenção e restituição) função do solo e capim.
	Limpeza de pasto utilizando técnicas manuais (evitar queimadas).
	Utilização e trato das pastagens de acordo com o tipo de exploração pecuária.
	Rotação de pastos com culturas.
	Fenação e capineira.
	Plantio de gramíneas associadas com leguminosas.
Cuidados especiais no preparo do terreno.	
Cultura anual e perene	Controle do mato no período de chuva com roçadeira.
	Utilização de culturas de cobertura entre fileiras de plantas.
	Embaciamento.
	Não queimar restos de culturas - incorporar ou manter na superfície do solo com a finalidade de manter ou aumentar o conteúdo de matéria orgânica no solo.
	Faixas de vegetação permanente.
	Alternância de capinas.
	Adubações químicas e orgânicas: função do solo e cultura.
	Calagem.
	Quebra de crostas superficiais para permitir a germinação normal das sementes.
	Rotação de culturas.
	Adubação verde e/ou orgânica: manter ou aumentar o teor de matéria orgânica do solo.
	Conservação da umidade através de cobertura morta e/ou controle de ervas daninhas.
	Manutenção ou melhoramento das condições físicas do solo (rotação de culturas com raízes profundas ou que deixam grande quantidade de material residual).
	Culturas em faixas (rotação, retenção ou conjugadas).
	Sucessão de culturas: incluir cultura de inverno e culturas que produzam alta quantidade de material residual.
	Manter o solo coberto durante todo o tempo com cultura ou com restos de cultura.
	O preparo do solo deve ser feito com o menor número possível de operações, reduzindo a mobilização dos solos, o tempo e o consumo de combustível necessários, visando sempre a conservação do solo.
	As operações de preparo do solo, plantio, cultivo e colheita deverão ser realizadas de tal maneira e com equipamento apropriado a fim de deixar material residual na superfície ou parcialmente incorporado ao solo. Não queimar restos de culturas.
Se o desenvolvimento de culturas de inverno for satisfatório, pode-se adotar o sistema de plantio direto.	

Recomendações que fazem parte da base de conhecimento do sistema especialista
RECOMENDAÇÕES (continuação).

Cultura anual e perene	Manutenção dos drenos.
	Instalação e manutenção de sistema de drenagem.
	Diques contra inundação.
	Utilizar corretivos e fertilizantes em quantidades adequadas após análise do solo, que deve ser repetida com intervalos de no máximo três anos. Manter em arquivo os resultados das análises para acompanhamento da evolução da fertilidade.
	Aplicação de corretivo e fertilizantes (manutenção e restituição): função do solo e cultura.

Recomendações para o sistema de terraceamento

Terraços quanto à função e dimensão	1. Terraços em nível
	2. Terraços em nível com as pontas fechadas não necessitam de canais escoadouros, porém se forem mantidos com as pontas abertas, deve ser construído um canal escoadouro
	3. Terraços com gradiente (em desnível)
	4. Base larga
	5. Base estreita ou cordão em contorno
	6. Base média
	7. Para áreas pequenas onde não for possível instalar terraços de base média ou larga podem ser utilizados terraços de base estreita ou cordão em contorno
Terraços com gradiente ou em nível com as pontas abertas	8. Construir canais escoadouros como complementos de terraços em nível com as pontas abertas
	9. Canais escoadouros (complemento de terraços com gradiente)
Canais escoadouros - cuidados que devem ser tomados ao se construírem os canais escoadouros	10. Não se deve permitir manobras de máquinas agrícolas sobre o canal, pastoreio de gado, plantas invasoras e falhas na vegetação
	11. Não usar voçorocas, áreas de propriedades vizinhas, estradas, matas ou pastos como locais de deságue do canal escoadouro
	12. Manter a cobertura vegetal cortada e adubada, quando necessário
	13. Reduzir o volume de enxurrada a ser conduzido, dividindo-o para dois ou mais canais
	14. Evitar o escoamento contínuo e prolongado de excesso de água no canal (ex.: mina de água), drenando-o por subsuperfície, ou, então, protegendo a parte central do canal com pedra ou concreto
	15. A cobertura vegetal deve ser estabelecida de acordo com recomendações técnicas, isto é, proteger a sementeira com uma camada de esterco, palha, redes de juta, etc. Colocar placas vegetativas no centro do canal e irrigar a vegetação no início, para facilitar pegamento
	16. Desvio de toda enxurrada durante o estabelecimento da vegetação
Manutenção	17. Sua construção deve ser anterior a qualquer sistema de captação e condução de excesso de água
	18. Subsolagem no canal do terraço a cada dois ou três anos para melhorar a infiltração
	19. Manutenção anual dos terraços e canais escoadouros
	20. Sempre que ocorrerem chuvas intensas, os terraços devem ser inspecionados e restaurados se necessário

ANEXO C: Resultados obtidos para a área-teste, o município de Santo Antônio do Jardim.

Recomendações de uso e manejo para o LATOSSOLO VERMELHO (LEd3/so - Limeira), ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (PV5 - Cristalino com cascalho) e CAMBISSOLO (C1/p - Sete Lagoas)

Santo Antônio do Jardim

Solo-1: LATOSSOLO VERMELHO (LEd3/so - Limeira)

CD	CCU	LIMITAÇÕES
A	II	re1 v3 f2 a3

Cultura anual - Uso adequado

Recomendações

Rompimento ou desagregação da camada compactada quando esta existir.

Nivelamento do terreno para uma boa performance das máquinas e equipamentos, desde o plantio até a colheita.

Plantio em nível ou em contorno.

Tratos culturais normais: controle de ervas daninhas, pragas e doenças.

As operações de preparo do solo, plantio, cultivo e colheita deverão ser realizadas de tal maneira e com equipamento apropriado a fim de deixar material residual na superfície ou parcialmente incorporado ao solo.

Não queimar restos de culturas.

O preparo do solo deve ser feito com o menor número possível de operações, reduzindo a mobilização dos solos, o tempo e o consumo de combustível necessários, visando sempre a conservação do solo.

Culturas em faixas (rotação, retenção ou conjugadas).

Manutenção ou melhoramento das condições físicas do solo (rotação de culturas com raízes profundas ou que deixam grande quantidade de material residual).

Conservação da umidade através de cobertura morta e/ou controle de ervas daninhas.

Adubação verde e/ou orgânica: manter ou aumentar o teor de matéria orgânica do solo.

Rotação de culturas.

Quebra de crostas superficiais para permitir a germinação normal das sementes.

Faixas de vegetação permanente.

Recomendações para problemas relacionados à fertilidade

Utilizar corretivos e fertilizantes em quantidades adequadas após análise do solo, que deve ser repetida com intervalos de no máximo três anos. Manter em arquivo os resultados das análises para acompanhamento da evolução da fertilidade.

Risco de erosão: ligeiro

Utilizar preparo de solo reduzido.

Se o desenvolvimento de culturas de inverno for satisfatório, pode-se adotar o sistema de plantio direto.

CD	CCU	LIMITAÇÕES
B	III	re1 m1 v3 f2 a3

Cultura anual - Uso adequado

Recomendações

Rompimento ou desagregação da camada compactada quando esta existir.

Nivelamento do terreno para uma boa performance das máquinas e equipamentos, desde o plantio até a colheita.

Plantio em nível ou em contorno.

Tratos culturais normais: controle de ervas daninhas, pragas e doenças.

As operações de preparo do solo, plantio, cultivo e colheita deverão ser realizadas de tal maneira e com equipamento apropriado a fim de deixar material residual na superfície ou parcialmente incorporado ao solo. Não queimar restos de culturas.

O preparo do solo deve ser feito com o menor número possível de operações, reduzindo a mobilização dos solos, o tempo e o consumo de combustível necessários, visando sempre a conservação do solo.

Manter o solo coberto durante todo o tempo com cultura ou com restos de cultura.

Sucessão de culturas: incluir cultura de inverno e culturas que produzam alta quantidade de material residual.

Culturas em faixas (rotação, retenção ou conjugadas).

Adubação verde e/ou orgânica: manter ou aumentar o teor de matéria orgânica do solo.

Quebra de crostas superficiais para permitir a germinação normal das sementes.

Recomendações para problemas relacionados à fertilidade

Utilizar corretivos e fertilizantes em quantidades adequadas após análise do solo, que deve ser repetida com intervalos de no máximo três anos. Manter em arquivo os resultados das análises para acompanhamento da evolução da fertilidade.

Risco de erosão: ligeiro

Utilizar preparo de solo reduzido.

Se o desenvolvimento de culturas de inverno for satisfatório, pode-se adotar o sistema de plantio direto.

Sistema de terraceamento

O terraceamento não deve ser utilizado como prática isolada no controle da erosão, mas associado a outras práticas conservacionistas, como preparo do solo, plantio e cultivo em nível, manejo de restos culturais e outras, protegendo as faixas de terra entreterraços.

Terraços em nível. Base larga.

Construir canais escoadouros como complementos de terraços em nível com as pontas abertas.

Cuidados que devem ser tomados ao se construírem os canais escoadouros

Sua construção deve ser anterior a qualquer sistema de captação e condução de excesso de água

Evitar o escoamento contínuo e prolongado de excesso de água no canal (ex.: mina de água), drenando-o por subsuperfície, ou, então, protegendo a parte central do canal com pedra ou concreto.

Reduzir o volume de enxurrada a ser conduzido, dividindo-o para dois ou mais canais.

Manter a cobertura vegetal cortada e adubada, quando necessário.

Não usar voçorocas, áreas de propriedades vizinhas, estradas, matas ou pastos como locais de deságüe do canal escoadouro.

Não se deve permitir manobras de máquinas agrícolas sobre o canal, pastoreio de gado, plantas invasoras e falhas na vegetação.

Manutenção

Sempre que ocorrerem chuvas intensas, os terraços devem ser inspecionados e restaurados se necessário.

Manutenção anual dos terraços e canais escoadouros.

Subsolagem no canal do terraço a cada dois ou três anos para melhorar a infiltração.

CD	CCU	LIMITAÇÕES
C	IV	re2 m2 v3 f2 a3

Pastagem - Uso adequado

Recomendações

- Rompimento ou desagregação da camada compactada quando esta existir.
- Proteção contra fogo ou outros agentes destruidores.
- Sulcos de retenção.
- Controle de voçorocas quando estas existirem.
- Fenação e capineira.
- Rotação de pastos com culturas.
- Utilização e trato das pastagens de acordo com o tipo de exploração pecuária.
- Aplicação de corretivo e fertilizantes (manutenção e restituição) função do solo e capim.
- Dotação adequada de animais por unidade de área.
- Pastoreio rotacional, para favorecer a revegetação natural e aumentar o vigor da vegetação herbácea.
- Controle de pragas e doenças.
- Distribuição mais conveniente de árvores para sombra: em média cinco árvores por hectare, com perda de no máximo 3% da área de pastagem; distanciadas dos bebedouros e cochos de minerais; com distância razoável das cercas (20m); acomodação, com folga, para todos os animais em pastejo.
- A disposição dos bebedouros e cochos no pasto deve ser feita de forma adequada para evitar a formação de trilhos morro abaixo. Recomenda-se a sua colocação em extremidades opostas ao piquete e na mesma cota.
- Fazer a divisão de pastagens de forma retangular, com o maior comprimento no sentido perpendicular ao maior declive.
- Locação de cercas segundo normas conservacionistas. As cercas de maior comprimento devem acompanhar a linha de nível do terreno, facilitando o deslocamento dos animais.
- Proteger pequenas barragens e sangradouros com cerca.
- Conservação e manejo dos pastos excedentes.

CD	CCU	LIMITAÇÕES
D	VI	re3 m3 v3 f2 a3

Reflorestamento - Uso adequado

Recomendações

- Plantio em nível ou em contorno.
- Proteção contra fogo ou outros agentes destruidores.
- Locação e construção de estradas segundo as curvas de nível.
- Regeneração.
- Viveiros em locais apropriados.
- Interdição ao gado.
- Preparo do solo.
- Tratos culturais.
- Corte sistemático.
- Remoção dos produtos florestais, segundo curva de nível

CCU
VIIIF

Área de conservação hídrica, protegida por Lei (restrição de ordem legal).

Recomendações

Terras impróprias para qualquer tipo de cultivo, pastagens ou reflorestamento.

Em áreas de proteção de mananciais hídricos, tomar medidas ligadas ao controle de agrotóxicos, lançamento de esgotos, impermeabilização do solo ou uso inadequado da terra.

Manutenção da vegetação ciliar nativa ou recomposição da mesma onde esta não mais existir.

Essa vegetação deve estar situada ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal, com largura mínima segundo o Código Florestal vigente.

Nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados olhos d'água, qualquer que seja a sua situação topográfica, deve ter um raio mínimo de 50 metros de largura.

Ao redor de lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais recomenda-se no mínimo um raio de 30 metros

Solo-5: ARGISSOLO Vermelho-Amarelo (PV5 - Cristalino com cascalho)

CD	CCU
G	VIIIff

Área de preservação ambiental

Recomendações

Áreas que devem ser preservadas por fragilidade ambiental, com restrições relacionadas ao solo e/ou relevo. Terras impróprias para qualquer tipo de cultivo, pastagens ou reflorestamento.

Recorpar áreas com vegetação de pasto sujo ou com coberturas residuais utilizando espécies nativas.

Preservação da cobertura vegetal natural.

Manutenção de áreas de reflorestamentos (nativas ou exóticas), submetidas ao manejo previsto no Código Florestal.

Aproveitamento das áreas limites das florestas para refúgio da fauna.

Plantio e manutenção de vegetação permanente e apropriada para fornecer ambiente para desenvolvimento da fauna.

CD	CCU	LIMITAÇÕES
A	II	pd1 p1 re2 m1 v2 f1 a1

Cultura perene - Uso adequado

Recomendações

Rompimento ou desagregação da camada compactada quando esta existir.

Nivelamento do terreno para uma boa performance das máquinas e equipamentos, desde o plantio até a colheita.

Plantio em nível ou em contorno.

Tratos culturais normais: controle de ervas daninhas, pragas e doenças.

Proteção contra fogo ou outros agentes destruidores.

Manutenção ou melhoramento das condições físicas do solo (rotação de culturas com raízes profundas ou que deixam grande quantidade de material residual).

Alternância de capinas.

Não queimar restos de culturas - incorporar ou manter na superfície do solo com a finalidade de manter ou aumentar o conteúdo de matéria orgânica no solo.

Utilização de culturas de cobertura entre fileiras de plantas.

Controle do mato no período de chuva com roçadeira.

Recomendações para problemas relacionados à fertilidade

Aplicação de corretivo e fertilizantes (manutenção e restituição): função do solo e cultura.

Calagem.

Adubações químicas e orgânicas: função do solo e cultura.

CD	CCU	LIMITAÇÕES
B	III	pd1 p1 re3 m1 v2 fl a1

Cultura perene - Uso adequado

Recomendações

Rompimento ou desagregação da camada compactada quando esta existir.

Nivelamento do terreno para uma boa performance das máquinas e equipamentos, desde o plantio até a colheita.

Plantio em nível ou em contorno.

Tratos culturais normais: controle de ervas daninhas, pragas e doenças.

Proteção contra fogo ou outros agentes destruidores.

Manutenção ou melhoramento das condições físicas do solo (rotação de culturas com raízes profundas ou que deixam grande quantidade de material residual).

Alternância de capinas.

Não queimar restos de culturas - incorporar ou manter na superfície do solo com a finalidade de manter ou aumentar o conteúdo de matéria orgânica no solo.

Embaciamento.

Controle do mato no período de chuva com roçadeira.

Recomendações para problemas relacionados à fertilidade

Aplicação de corretivo e fertilizantes (manutenção e restituição): função do solo e cultura.

Calagem.

Adubações químicas e orgânicas: função do solo e cultura.

Sistema de terraceamento

O terraceamento não deve ser utilizado como prática isolada no controle da erosão, mas associado a outras práticas conservacionistas, como preparo do solo, plantio e cultivo em nível, manejo de restos culturais e outras, protegendo as faixas de terra entreterraços.

Terraços com gradiente (em desnível). Base média.

Canais escoadouros (complemento de terraços com gradiente).

Cuidados que devem ser tomados ao se construírem os canais escoadouros

Sua construção deve ser anterior a qualquer sistema de captação e condução de excesso de água

Evitar o escoamento contínuo e prolongado de excesso de água no canal (ex.: mina de água), drenando-o por subsuperfície, ou, então, protegendo a parte central do canal com pedra ou concreto.

Reduzir o volume de enxurrada a ser conduzido, dividindo-o para dois ou mais canais.

Manter a cobertura vegetal cortada e adubada, quando necessário.

Não usar voçorocas, áreas de propriedades vizinhas, estradas, matas ou pastos como locais de deságue do canal escoadouro.

Não se deve permitir manobras de máquinas agrícolas sobre o canal, pastoreio de gado, plantas invasoras e falhas na vegetação.

Manutenção

Sempre que ocorrerem chuvas intensas, os terraços devem ser inspecionados e restaurados se necessário.

Manutenção anual dos terraços e canais escoadouros.

Subsolagem no canal do terraço a cada dois ou três anos para melhorar a infiltração.

CD	CCU	LIMITAÇÕES
C	IV	pd1 p1 re4 m2 v2 f1 a1

**Cultura anual - Uso restrito
Ocasionalmente, em rotações com pastagens**

Recomendações

Rompimento ou desagregação da camada compactada quando esta existir.

Nivelamento do terreno para uma boa performance das máquinas e equipamentos, desde o plantio até a colheita.

Plantio em nível ou em contorno.

Tratos culturais normais: controle de ervas daninhas, pragas e doenças.

As operações de preparo do solo, plantio, cultivo e colheita deverão ser realizadas de tal maneira e com equipamento apropriado a fim de deixar material residual na superfície ou parcialmente incorporado ao solo. Não queimar restos de culturas.

O preparo do solo deve ser feito com o menor número possível de operações, reduzindo a mobilização dos solos, o tempo e o consumo de combustível necessários, visando sempre a conservação do solo.

Manter o solo coberto durante todo o tempo com cultura ou com restos de cultura.

Sucessão de culturas: incluir cultura de inverno e culturas que produzam alta quantidade de material residual.

Culturas em faixas (rotação, retenção ou conjugadas).

Adubação verde e/ou orgânica: manter ou aumentar o teor de matéria orgânica do solo.

Quebra de crostas superficiais para permitir a germinação normal das sementes.

Recomendações para problemas relacionados à fertilidade

Utilizar corretivos e fertilizantes em quantidades adequadas após análise do solo, que deve ser repetida com intervalos de no máximo três anos. Manter em arquivo os resultados das análises para acompanhamento da evolução da fertilidade.

Risco de erosão: muito forte

Utilizar preparo de solo reduzido.

Se o desenvolvimento de culturas de inverno for satisfatório, pode-se adotar o sistema de plantio direto.

Sistema de terraceamento

O terraceamento não deve ser utilizado como prática isolada no controle da erosão, mas associado a outras práticas conservacionistas, como preparo do solo, plantio e cultivo em nível, manejo de restos culturais e outras, protegendo as faixas de terra entreterraços.

Terraços com gradiente (em desnível). Base média.

Canais escoadouros (complemento de terraços com gradiente).

Cuidados que devem ser tomados ao se construírem os canais escoadouros

Sua construção deve ser anterior a qualquer sistema de captação e condução de excesso de água

Evitar o escoamento contínuo e prolongado de excesso de água no canal (ex.: mina de água), drenando-o por subsuperfície, ou, então, protegendo a parte central do canal com pedra ou concreto.

Reduzir o volume de enxurrada a ser conduzido, dividindo-o para dois ou mais canais.

Manter a cobertura vegetal cortada e adubada, quando necessário.

Não usar voçorocas, áreas de propriedades vizinhas, estradas, matas ou pastos como locais de deságue do canal escoadouro.

Não se deve permitir manobras de máquinas agrícolas sobre o canal, pastoreio de gado, plantas invasoras e falhas na vegetação.

Manutenção

Sempre que ocorrerem chuvas intensas, os terraços devem ser inspecionados e restaurados se necessário.

Manutenção anual dos terraços e canais escoadouros.

Subsolagem no canal do terraço a cada dois ou três anos para melhorar a infiltração.

CD	CCU	LIMITAÇÕES
D	VI	pd1 p1 re4 m3 v2 f1 a1

Pastagem plantada - Uso moderado

Pastagem natural - Uso adequado

Recomendações

Proteção contra fogo ou outros agentes destruidores.

Sulcos de retenção.

Controle de voçorocas quando estas existirem.

Cuidados especiais no preparo do terreno.

Utilização e trato das pastagens de acordo com o tipo de exploração pecuária.

Aplicação de corretivo e fertilizantes (manutenção e restituição) função do solo e capim.

Dotação adequada de animais por unidade de área.

Pastoreio rotacional, para favorecer a revegetação natural e aumentar o vigor da vegetação herbácea.

Distribuição mais conveniente de árvores para sombra: em média cinco árvores por hectare, com perda de no máximo 3% da área de pastagem; distanciadas dos bebedouros e cochos de minerais; com distância razoável das cercas (20m); acomodação, com folga, para todos os animais em pastejo.

A disposição dos bebedouros e cochos no pasto deve ser feita de forma adequada para evitar a formação de trilhos morro abaixo. Recomenda-se a sua colocação em extremidades opostas ao piquete e na mesma cota.

Fazer a divisão de pastagens de forma retangular, com o maior comprimento no sentido perpendicular ao maior declive.

Locação de cercas segundo normas conservacionistas. As cercas de maior comprimento devem acompanhar a linha de nível do terreno, facilitando o deslocamento dos animais.

Conservação e manejo dos pastos excedentes.

CD	CCU	LIMITAÇÕES
E	VII	pd1 p1 re4 m3 v2 f1 a1

Pastagem natural - Uso restrito

Recomendações

Proteção contra fogo ou outros agentes destruidores.

Sulcos de retenção.

Controle de voçorocas quando estas existirem.

Limpeza de pasto utilizando técnicas manuais (evitar queimadas).

Dotação adequada de animais por unidade de área.

Distribuição mais conveniente de árvores para sombra: em média cinco árvores por hectare, com perda de no máximo 3% da área de pastagem; distanciadas dos bebedouros e cochos de minerais; com distância razoável das cercas (20m); acomodação, com folga, para todos os animais em pastejo.

A disposição dos bebedouros e cochos no pasto deve ser feita de forma adequada para evitar a formação de trilhos morro abaixo. Recomenda-se a sua colocação em extremidades opostas ao piquete e na mesma cota.

Fazer a divisão de pastagens de forma retangular, com o maior comprimento no sentido perpendicular ao maior declive.

Locação de cercas segundo normas conservacionistas. As cercas de maior comprimento devem acompanhar a linha de nível do terreno, facilitando o deslocamento dos animais.

Proteger pequenas barragens e sangradouros com cerca.

Conservação e manejo dos pastos excedentes.

CD	CCU	LIMITAÇÕES
F	VII	pd1 p1 re4 m4 v2 f1 a1

Reflorestamento - Uso adequado

Recomendações

Plantio em nível ou em contorno.
 Proteção contra fogo ou outros agentes destruidores.
 Locação e construção de estradas segundo as curvas de nível.
 Regeneração.
 Viveiros em locais apropriados.
 Interdição ao gado.
 Preparo do solo.
 Tratos culturais.
 Corte sistemático.
 Remoção dos produtos florestais, segundo curva de nível.

Solo-6: CAMBISSOLO (C1/p - CAMBISSOLO Sete Lagoas)

CD	CCU	LIMITAÇÕES
A	V	d2 re2 v3 f1 a3

Pastagem - Uso adequado

Recomendações

Proteção contra fogo ou outros agentes destruidores.
 Fenação e capineira.
 Utilização e trato das pastagens de acordo com o tipo de exploração pecuária.
 Aplicação de corretivo e fertilizantes (manutenção e restituição) função do solo e capim.
 Dotação adequada de animais por unidade de área.
 Pastoreio rotacional, para favorecer a revegetação natural e aumentar o vigor da vegetação herbácea.
 Distribuição mais conveniente de árvores para sombra: em média cinco árvores por hectare, com perda de no máximo 3% da área de pastagem; distanciadas dos bebedouros e cochos de minerais; com distância razoável das cercas (20m); acomodação, com folga, para todos os animais em pastejo.
 A disposição dos bebedouros e cochos no pasto deve ser feita de forma adequada para evitar a formação de trilhos morro abaixo. Recomenda-se a sua colocação em extremidades opostas ao piquete e na mesma cota.
 Fazer a divisão de pastagens de forma retangular, com o maior comprimento no sentido perpendicular ao maior declive.
 Locação de cercas segundo normas conservacionistas. As cercas de maior comprimento devem acompanhar a linha de nível do terreno, facilitando o deslocamento dos animais.
 Conservação e manejo dos pastos excedentes.
 Preparo do solo.