

EDUARDO VICENTE DO PRADO

**SISTEMA ESPECIALISTA PARA DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO  
DE EQUIPAMENTOS PARA PRÉ-PROCESSAMENTO DE CAFÉ**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2001

EDUARDO VICENTE DO PRADO

**SISTEMA ESPECIALISTA PARA DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO  
DE EQUIPAMENTOS PARA PRÉ-PROCESSAMENTO DE CAFÉ**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 15 de março de 2001.

---

Prof. Aziz Galvão da Silva Júnior

---

Prof. Pedro Amorim Berbert

---

Prof. Francisco de Assis C. Pinto

---

Prof. Adílio F. de Lacerda Filho  
(Conselheiro)

---

Prof. Evandro de Castro Melo  
(Orientador)

A Deus, pela força e amparo nos momentos de dificuldade.

A minha querida mãe Sebastiana, meu modelo de vida, com admiração.

A Fabiana, minha esposa, e ao Dudú, meu querido filho.

A meus irmãos, José, Luís (“in memorian”), Isaura, Marcos, Daniel e Dione.

Ao meu tio Pedro, pelo eterno bom humor e pela ajuda nos momentos difíceis.

A meu amigo Ademir Alves dos Santos (“in memorian”), pela amizade.

## **AGRADECIMENTO**

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Engenharia Agrícola e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, que me concederam a oportunidade de realizar este curso.

Ao Professor Evandro de Castro Melo, a quem devo manifestar meu mais profundo agradecimento, não só pela sua eficaz orientação, mas também pela amizade, pelos conselhos dados além da sua função de orientador e pelo estímulo constantemente prestado para a realização deste trabalho.

Ao Professor Daniel Marçal de Queiroz, pela compreensão, pela amizade, pelas correções e pelas valiosas sugestões apresentadas.

Ao Professor Adílio F. de Lacerda Filho, pela compreensão, pela amizade, pelas correções e pelas valiosas sugestões apresentadas.

Ao Professor Tetuo Hara, pela amizade, pela compreensão e pelas valiosas sugestões e ensinamentos relacionados à pesquisa e à vida.

Aos demais membros da banca examinadora pelas valiosas sugestões.

Aos companheiros e colegas do Departamento de Engenharia Agrícola, Cristiano, Luizinho, Roberta, Roberto Cecílio, Paola, Andressa, Adriana, Marise, Rosana, Rodrigo, Handrey, Solenir, Ivano, Wallisson e Roberto Precci, pela amizade.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, Fernanda, Edna, Chiquinho, Marcos, Zé Mauro, Galinare, Silas, Catitú e Evaristo, pelo carinho e pela disponibilidade constantes.

Ao Luciano Eugênio Castro Barbosa, que muito auxiliou para a efetivação deste trabalho.

Aos meus amigos Agnaldo Alves dos Santos e Marcos Roberto de Camargo, pela amizade e ajuda.

Especial agradecimento a José Mauro Torres, Alcione Monteiro Torres, Jonas e Carolina.

Aos meus eternos mestres, Prof. Vilmar e Prof. Augusto, pelos ensinamentos e conselhos.

E a todos aquele que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

EDUARDO VICENTE DO PRADO, filho de Sebastiana Fernandes Prado e Francisco Vicente do Prado, nasceu em 26 de agosto de 1970, em Santo Antonio de Posse, no estado de São Paulo.

Em março de 1993, ingressou no curso de Física da Universidade Federal de Viçosa.

Em agosto de 1995 transferiu-se para o curso de Engenharia Agrícola, no qual graduou-se em outubro de 1998.

Em outubro de 1998, iniciou o curso de Mestrado na área de concentração de Processamento de Produtos Agrícolas, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Em outubro de 2000, ingressou como professor substituto no Departamento de Matemática da Universidade Federal de Viçosa.

Em março de 2001, submeteu-se à defesa de tese.

## ÍNDICE

RESUMO.....	ix
ABSTRACT .....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1. Inteligência artificial.....	6
2.2.1. Conceitos importantes em inteligência artificial e sistema especialista .....	7
2.2.1.1. Métodos heurísticos .....	7
2.2.1.2. Regras (regras de produção) .....	8
2.2.1.3. Semântica (redes semânticas) .....	8
2.2.1.4. Quadros (“frames”).....	9
2.3. Sistemas especialistas .....	10
2.3.1. Especialista .....	10
2.3.2. Sistema especialista .....	10
2.3.3. Etapas da criação de um sistema especialista .....	10
2.3.4. O processo de criar sistemas especialistas .....	13
2.3.4.1. Aquisição do conhecimento.....	13

2.3.4.2. Seleção da representação em computador .....	14
2.3.4.3. Mecanismo de inferência (máquina de inferência).....	15
2.4. Diferenças entre sistema especialista e programação convencional.....	15
2.5. Processamento do café.....	17
2.5.1. Preparo do café por via seca .....	18
2.5.1.1. Secagem do café em terreiro.....	19
2.5.1.2. Secagem do café em secador mecânico.....	20
2.5.2. Preparo do café por via úmida .....	20
2.6. Dias trabalháveis em terreiro para a secagem de café .....	21
2.6.1. Cadeia de MARKOV.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1. Desenvolvimento do sistema especialista.....	25
3.2. O banco de dados do sistema especialista .....	27
3.2.1. O programa de busca no banco de dados .....	28
3.3. A opção “Ajuda” do sistema especialista .....	29
3.4. Critérios para o dimensionamento dos equipamentos .....	30
3.4.1. Dimensionamento do terreiro .....	30
3.4.2. Dimensionamento do secador .....	30
3.4.3. Dimensionamento da tulha para armazenagem do produto.....	31
3.4.4. Dimensionamento do lavador, descascador e desmucilador .....	31
3.4.5. Característica da fornalha e consumo de combustível.....	32
3.4.6. Volume de água utilizado no pré-processamento.....	32
3.4.7. Modelo de cálculo de probabilidade de ocorrência de período chuvoso.....	33
3.5. Validação do sistema especialista .....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38

4.1. O sistema especialista proposto .....	38
4.2. Apresentação do sistema especialista .....	38
4.2.1. Interface com o usuário .....	38
4.2.2. Funcionamento do sistema especialista .....	40
4.2.3. Informações para o dimensionamento .....	42
4.2.3.1. Atualização do dólar .....	42
4.2.3.2. Cadastro dos equipamentos no sistema especialista .....	43
4.2.3.3. Informações sobre tipos de equipamentos fornecidos pelo sistema especialista .....	44
4.2.4. Resultados fornecidos pelo sistema especialista .....	44
4.2.4.1. Equipamentos dimensionados e selecionados pelo sistema especialista .....	44
4.3. Análise dos resultados por especialistas .....	47
4.4. Probabilidade de ocorrência de quatro dias não trabalháveis em terreiro .....	50
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	52
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
APÊNDICE A.....	58

## RESUMO

PRADO, Eduardo Vicente do, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2001. **Sistema especialista para dimensionamento e seleção de equipamentos para pré-processamento de café.** Orientador: Evandro de Castro Melo. Conselheiros: Daniel Marçal de Queiroz e Adílio Flauzino de Lacerda Filho.

Desenvolveu-se um sistema especialista para dimensionamento e seleção de equipamentos para pré-processamento de café. Este sistema especialista possui um banco de dados contendo cerca de 80 equipamentos cadastrados, um programa de busca que faz a seleção dos equipamentos dimensionados e um módulo de ajuda no padrão de ajuda do WINDOWS<sup>®</sup>, contendo ilustrações e explicações de como usar os equipamentos utilizados pelo sistema especialista.

Uma das constantes preocupações da equipe de desenvolvimento deste trabalho, além da funcionalidade do sistema especialista, foi a interface entre este e o usuário. O sistema especialista foi desenvolvido em CLIPS<sup>®</sup>, que é uma linguagem própria para este fim. No entanto, o ambiente utilizado pelo CLIPS<sup>®</sup> possui uma interface com o usuário pouco interativa. Para resolver este problema, desenvolveu-se uma interface entre o sistema especialista e o usuário utilizando a linguagem de programação PASCAL Orientado

a Objeto em ambiente DEPLHI<sup>®</sup>, versão 5.0, da BORLAND Inc., que trabalha em ambiente WINDOWS<sup>®</sup>, permitindo assim, o uso de telas mais interativas e intuitivas com o usuário.

Como ferramenta de auxílio ao sistema especialista para a tomada de decisão, desenvolveu-se um modelo para a determinação da ocorrência de dias inadequados para a secagem de café em terreiro, tomando-se como referência o índice igual a 1,0 mm. O modelo foi desenvolvido a partir da metodologia proposta por ASSIS (1998). Utilizando-se valores de precipitação foi possível obter a probabilidade de ocorrência de quatro dias consecutivos impróprios para a secagem de café em terreiro para uma determinada região. O modelo de cadeia de MARKOV foi utilizado para obter a distribuição de quatro dias impróprios para secagem de café em terreiro, considerando as variáveis climatológica.

Como resultado, o sistema especialista fornece a lista dos equipamentos dimensionados e selecionados em seu banco de dados, assim como seus respectivos fornecedores, telefones para contato e preços.

Para a validação do sistema especialista foi utilizado o método de validação externa. Os avaliadores foram especialistas da área de café da Universidade Federal de Viçosa, que responderam a um questionário com perguntas relativas à interatividade sistema especialista/usuário e à funcionalidade do programa.

Com base nas respostas dos especialistas, concluiu-se que o sistema especialista elaborado permite:

- estimar o custo para a implantação do sistema dimensionado;
- a interface com o usuário se apresenta de fácil interação, facilitando a entrada de dados e o entendimento dos dados de saída;
- o modelo desenvolvido estima a ocorrência de quatro dias consecutivos impróprios para a secagem de café em terreiro;
- o sistema especialista desenvolvido neste trabalho, além de permitir acesso a um nível de conhecimento numa área onde há escassez de recursos

humanos, reduz de maneira sensível o tempo de dimensionamento e de seleção de equipamentos para pré-processamento de café.

## ABSTRACT

PRADO, Eduardo Vicente do, M.S., Universidade Federal de Viçosa, march 2001. **Expert system for designing and selection of equipments to pre-process of coffee.** Adviser: Evandro de Castro Melo. Committee members: Daniel Marçal de Queiroz and Adílio Flauzino de Lacerda Filho.

Developed and expert system for designing and selection of equipments to pre-process of coffee. This expert system has a data base containing approximately 80 equipments registered, a search program which does the selection of the equipments designed and a help module in the WINDOWS<sup>®</sup>'s standard containing pictures and explanations of how to use the equipments used by the expert system.

One of the constant preoccupation of the development team this project, further the functionality of the expert system, was the interface between the expert system and the user. The expert system was developed in CLIPS<sup>®</sup>, which is a language for development of the expert systems. However, the environment used by the CLIPS<sup>®</sup> has an interface with the user less interactive. To solve this problem, developed an interface between the user and the expert system using the programming language PASCAL object oriented in DELPHI<sup>®</sup> environment, version 5.0, from the BORLAND Inc., which works in WINDOWS<sup>®</sup>

environment, allowing this way, the use of windows more interactive and intuitive with the user.

As a assistance tool to the expert system to its decision made, developed a model to determinate the event of the bad working days for drying of coffee on paved terrace, or days with precipitation above 1,0 mm. The model was based in the methodology proposed by ASSIS (1988). Using values of precipitation it was possible to determinate the probability of occurring four bad working days consecutive to the drying of coffee on paved terrace to a determinate region. The model of MARKOV's chain was used to determinate the distribution of four bad working days, or days not workable on paved terrace, considering the climatologic variables.

Concluding, the expert system provides a list of the designed and selected equipments in its data base, and their respective suppliers, telephone numbers to contact and prices.

To the validation of the expert system was used the extern method validation. The evaluators were expert in the coffee area of the Federal University of Viçosa that answered a questionnaire with questions relative to interactivity between the expert system/user and the functionality of the program.

Based in the experts' answered, concluded that the expert system developed allows:

- to estimate the cost to the implantation of the designed system;
- the interface with the user presents of easy interactivity with the user, facilitating the input data and the understanding of the output data;
- the developed model estimates the occurrence of the four bad working days consecutive to the drying coffee on paved terrace;
- the expert system developed in this project, further to allow the access to level of knowledge where there is less resource human, decreases of sensible manner the time of designing and selection of equipment to pre-processing of coffee.

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de decisão se tomada pelo homem, envolve o raciocínio simbólico. Este procedimento não resolve conjuntos equações e tão pouco executa cálculos matemáticos complexos. Em substituição, símbolos são usados para representar conceitos de problemas e então, várias estratégias são aplicadas e métodos heurísticos são envolvidos para manipular estes símbolos. Isto está em contraste com valores que são medidos e quantificados numericamente.

Especialistas seguem muitos desses mesmos processos, possuindo possuem mais experiência e conhecimento do que os “leigos” no assunto. Quando especialistas humanos tomam decisões inteligentes, eles sistematicamente consideram o conhecimento que tem sido experimentalmente adquirido juntamente com as informações observadas e adquiridas durante o processo de solução de um problema.

Alguns problemas podem ser resolvidos ou descritos usando algoritmos ou usando métodos de avaliação estatística. Outros problemas que não estão bem definidos e que estão mal estruturados necessitam da ajuda de um especialista humano para encontrar uma solução. No entanto, podem ser resolvidos por um tipo específico de programa de computador.

Técnicas avançadas da informática possibilitam o desenvolvimento de programas de computadores que imitam o raciocínio de seres humanos. Para tanto, são utilizadas metodologias e instrumentos de inteligência artificial (IA), que permitem transferir para programas de computador regras e procedimentos utilizados por especialistas na solução de problemas difíceis em domínios restritos (SILVA JÚNIOR, 1993). Um dos resultados de pesquisas em inteligência artificial foi o desenvolvimento de técnicas que permitem a modelagem de informações de alto nível de abstração (CLIPS, 2000). Conhecidos como sistemas especialistas (SE), estes programas podem também explicar perguntas e justificar a linha de raciocínio utilizada na solução de cada problema (SILVA JÚNIOR, 1993).

A produção agrícola faz parte de um complexo produtivo que requer a integração e acúmulo de conhecimentos e informações de diferentes fontes. Para tornar-se competitivo, o produtor moderno conta geralmente, com especialistas e conselheiros em agricultura para fornecer informações e auxiliar na tomada de decisão. No entanto, estes especialistas nem sempre estão à disposição quando o produtor necessita. Para solucionar este problema, sistemas especialistas estão sendo usados como uma poderosa ferramenta para auxiliar os produtores nestas ocasiões, (CENTRAL LABORATORY FOR AGRICULTURAL EXPERT SYSTEMS, 2000). Muitos dos conhecimentos necessários para resolver problemas agrícolas, têm sido obtidos através de experiências anteriores. Os sistemas especialistas são apropriados para resolver partes deles. Alguns elementos do problema podem de forma mais adequada serem resolvidos usando outro programa computacional, geralmente escrito em linguagens tradicionais como FORTRAN, PASCAL ou C. Além disso, outras partes do problema podem requerer informações de um ou mais bancos de dados (ENGEL et al., 1990).

É indispensável que produtores agrícolas, engenheiros e extensionistas disponham de informações e instrumentos de análise que os auxiliem no processo de tomada de decisão. A utilização de métodos e técnicas de engenharia permite ao produtor avaliar situações alternativas, analisar antecipadamente os resultados possíveis e optar assim pelo sistema mais adequado às suas condições. A solução

de muitos problemas encontrados na agricultura requerem o conhecimento de especialistas de diversas áreas. Este conhecimento pode ser numérico ou qualitativo, pode expressar o relacionamento existente entre objetos ou, então especificar a ordem na qual o conhecimento deveria ser aplicado na solução do problema (ENGEL et al., 1990).

A agricultura é uma atividade econômica complexa e de alto risco. Os produtos agrícolas são, geralmente, perecíveis e variações climáticas determinam prazos restritos e definidos para a execução dos trabalhos de campo, afetando também o armazenamento, a qualidade e a comercialização da produção (SILVA JÚNIOR, 1993). O café, quando comparado com grão, é um dos produtos que mais perde em qualidade devido aos fatores citados anteriormente, já que grande parte da produção é seca em terreiro.

De acordo com SILVA e BERBERT (1999), o café é produzido e exportado por mais de 50 países em desenvolvimento, mas a maior parte dos consumidores são de países industrializados como os Estados Unidos da América e países europeus e, mais recentemente, o Japão. Globalmente, o café é o segundo produto mais comercializado e, em consequência, é de vital importância para a balança comercial entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Portanto, o produto representa, para estes últimos países, uma importante fonte financeira para pagar suas importações de bens de consumo. O Brasil produziu aproximadamente, 26,6 milhões de sacas de café em 2000 (LEITE, 2000).

SILVA e BERBERT (1999) relataram que a qualidade do café está relacionada às características dos grãos quanto à cor, número de defeitos, aroma e gosto da bebida, e depende de vários fatores como:

- composição química do grão, determinada por fatores genéticos, sistemas de cultivo e ambientes;
- processo de preparo e armazenamento, e
- torração e preparo da bebida.

Deste modo, considera-se que o produtor brasileiro de café deveria se esforçar para se adaptar às tecnologias modernas para implantação ou adaptação de sistemas de secagem, armazenagem e beneficiamento, tendo como critério principal a obtenção da eficiência máxima com o mínimo de custo visando obter um produto de excelente qualidade.

Segundo Silva (1995), citado por LEITE (1998), em regiões consideradas produtoras de café de baixa qualidade, pode-se também produzir café do tipo superior, desde que sejam observadas técnicas de colheita, preparo e secagem, bem como as técnicas agrônômicas.

Os agricultores brasileiros têm condições para produzir café de boa qualidade. O crescente número de produtores de café cereja “descascado” ou “despolpado” poderá colocar o país, no futuro próximo, como produtor de café de qualidade igual ou superior à dos países concorrentes (LEITE, 1998).

As grandes perdas de qualidade do café brasileiro decorrem do planejamento inadequado dos sistemas de pré-processamento, devido principalmente, à ausência de um especialista para orientar o produtor. A utilização de técnicas da inteligência artificial, como os sistemas especialistas, constitui um instrumento de grande potencial para suprir a ausência de um especialista na propriedade agrícola.

Outro fator importante em qualquer programa computacional e que tem recebido extrema atenção de pesquisadores, é a interface entre o usuário e o programa computacional. Tão importante quanto o cálculo executado pelo programa, a interface usuário-programa representa a comunicação entre o problema a ser resolvido e o programa que pode resolvê-lo, facilitando a entrada, saída e o entendimento dos dados. A interação usuário-programa pode ser definida como o processo relativo ao projeto, avaliação e implementação de programas computacionais interativos para uso humano.

Conhecendo a importância do café de qualidade para a balança comercial do país, buscou-se, com o presente trabalho, desenvolver um sistema especialista para dimensionar e selecionar equipamentos para pré-processamento de café, visando orientar o usuário a obter um produto final de boa qualidade,

além de desenvolver uma interface interativa com o usuário, para o sistema especialista proposto, em ambiente WINDOWS<sup>®</sup>.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Inteligência artificial**

Inteligência artificial é um ramo da ciência da computação voltada para o estudo e criação de sistemas computacionais que exibem alguma forma de inteligência. Por exemplo, sistemas que aprendem novos conceitos e tarefas; sistemas que podem raciocinar e tirar conclusões úteis sobre o mundo real; sistemas que podem entender uma linguagem natural ou perceber e compreender uma cena visual e sistemas que executam outros tipos de atividades que requerem padrões de inteligência humana (PATTERSON, 1990).

Como outras definições de tópicos complexos, o entendimento de inteligência artificial requer a compreensão de termos como inteligência, conhecimento, raciocínio, pensamento, aprendizagem, e um número de termos utilizados em ciência da computação. Enquanto nos falta uma definição científica precisa para muitos desses termos, podemos dar apenas uma definição geral do assunto (PATTERSON, 1990).

Segundo LEVINE et al. (1988), a inteligência artificial é simplesmente uma maneira de fazer o computador pensar inteligentemente. Isto é conseguido estudando o processo de raciocínio das pessoas na tentativa de tomar decisões e resolver problemas, dividindo esses processos de pensamento em etapas básicas e

desenvolvendo um programa de computador que solucione problemas usando essas mesmas etapas. Inteligência artificial então fornece mecanismos complexos e estruturados de se projetar programas de tomada de decisão.

Muitos pesquisadores em inteligência artificial estão tentando determinar quais tipos de tarefas os computadores estão aptos a executar. Alguns pesquisadores concentram suas pesquisas na exploração da natureza da inteligência humana ou conhecimento, mas muitos estão interessados em determinar como os computadores podem ser usados para resolver problemas específicos. Um dos resultados obtidos no campo da inteligência artificial que tem recebido atenção especial são os sistemas especialistas. Estes sistemas de solução de problemas específicos, como o próprio nome sugere, funcionam efetivamente como um especialista humano em sua área de atualização (HARMON et al., 1988).

### **2.2.1. Conceitos importantes em inteligência artificial e sistema especialista**

#### **2.2.1.1. Métodos heurísticos**

De acordo com PASSOS (1989), os métodos heurísticos de soluções de problemas são aqueles em que se usa a tentativa e o erro, isto é, tenta-se um caminho para a solução, se não der certo, tenta-se outro, até se conseguir chegar ao objetivo.

Para resolver de maneira eficiente aquele problema considerado de difícil solução, geralmente é necessário comprometer as exigências de mobilidade e sistematicidade e construir uma estrutura de controle de forma a garantir a obtenção da melhor resposta, ou alternativamente uma resposta muito boa. O método heurístico é uma técnica que melhora a eficiência de um processo de busca. Este método é válido no sentido de apontar para direções geralmente interessantes; é impróprio no sentido de que pode deixar de fora pontos de interesse para determinados indivíduos (RICH e KNIGHT, 1993).

Em resumo, métodos heurísticos em inteligência artificial são estudos de estratégias que encurtam o espaço-solução de um problema (PASSOS, 1989).

### **2.2.1.2. Regras (regras de produção)**

Regra de produção é uma maneira de representar o conhecimento, sendo aquela mais utilizada nos diversos sistemas especialistas existentes atualmente. Na representação do conhecimento utilizando regras de produção, ou simplesmente regras, os conhecimentos são representados por meio de pares “CONDIÇÃO - AÇÃO”. As regras, base do conhecimento, têm duas partes: uma antecedente, “SE”, e outra conseqüente “ENTÃO”. Por exemplo: um sistema especialista aplicado em determinada área da Engenharia Agrícola.

#### **Regra N**

***(se) processamento do café “Via Úmida”***

***(então) sistema precisa “Descascador”***

Durante a execução do sistema, se a parte esquerda de uma produção for satisfeita, ela pode “disparar”, isto é, a ação indicada pelo lado direito pode ser “disparada” (PASSOS, 1989).

### **2.2.1.3. Semântica (redes semânticas)**

Segundo PASSOS (1989), a representação do conhecimento, por meio de redes semânticas é uma tentativa de simular o modelo psicológico de memória associativa humana. Esse tipo de rede modela o conhecimento como um conjunto de pontos chamados “NÓS” ou “NODOS”, conectados por ligações chamadas “ARCOS” que descrevem as relações entre NÓS.

A Figura 1 mostra um exemplo para representar que “Todo carro tem rodas e um veículo é meio de transporte”.

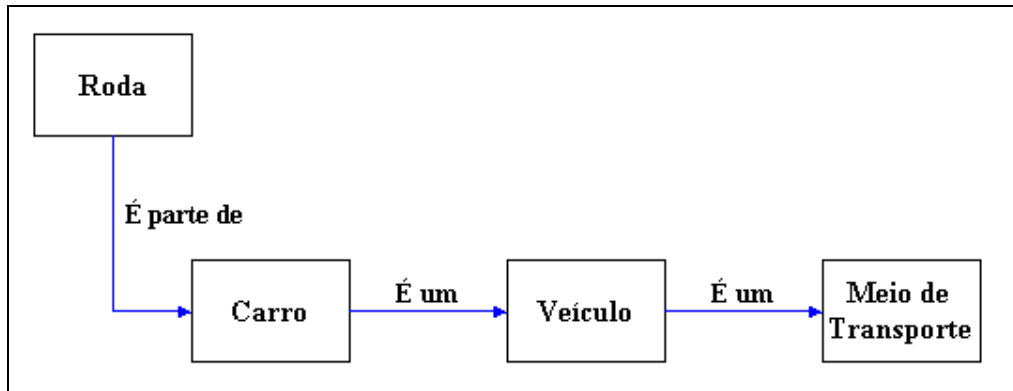


Figura 1 - Redes Semânticas. Fonte: PASSOS (1989).

#### 2.2.1.4. Quadros (“frames”)

De acordo com PASSOS (1989), os seres humanos usam conhecimentos adquiridos em experiências prévias ao interpretar situações novas, certos objetos e seqüências. A atividade cognitiva do ser humano, que usa experiências anteriores para interpretar nova situação, seleciona da memória uma estrutura chamada “QUADRO”, que será adaptada à nova situação, pela mudança de detalhes, quando necessário. O “QUADRO” é uma maneira de se representar o conhecimento, e tem sido utilizado em inteligência artificial para representar expectativas que são construídas na mente humana.

Um “QUADRO” é uma estrutura de dados para representar um conceito ou uma situação comum, como entrar em uma sala de estar ou ir a uma festa de aniversário. Junto a cada “QUADRO” existem vários tipos de informações. Algumas destas informações são sobre como usar o “QUADRO”, outras sobre o que se pode esperar que aconteça a seguir e ainda sobre o que fazer se estas expectativas não forem confirmadas. O mecanismo representacional que possibilita o tipo de raciocínio baseado em expectativas é o campo, o local onde o conhecimento ajusta-se ao contexto criado pelo “QUADRO” (PASSOS, 1989).

## **2.3. Sistemas especialistas**

### **2.3.1. Especialista**

Especialistas são pessoas competentes na solução de tipos específicos de problemas. A competência deles provém de larga experiência e dos conhecimentos adquiridos e especializados dos problemas com que lidam (WEISS e KULIKOWSKI, 1988).

### **2.3.2. Sistema especialista**

Sistemas especialistas são programas de computadores que procuram imitar o processo de raciocínio ou performance de um especialista humano de uma maneira específica no domínio para o qual o especialista humano existe (AMINZADEH e JAMSHIDI, 1994).

Segundo RICH e KNIGHT (1993), os sistemas especialistas solucionam problemas que normalmente são solucionados por especialistas humanos. Para solucionar tais problemas, os sistemas especialistas precisam acessar uma base substancial de conhecimentos do domínio de aplicação, que precisa ser criada do modo mais eficiente possível. Eles também precisam explorar um ou mais mecanismos de raciocínio, para aplicar seu conhecimento aos problemas que têm diante de si. Uma maneira de ver os sistemas especialistas é considerar que eles representam a inteligência artificial aplicada em um sentido bem amplo.

### **2.3.3. Etapas da criação de um sistema especialista**

De acordo com WEISS e KULIKOWSKI (1988), temos que reconhecer que a chave do sucesso na criação de um SE é começar de maneira simples e crescer, por incrementos, até um sistema consistente e significativo. A validação

empírica deve ser consumada à medida que as várias etapas do aperfeiçoamento prosseguem.

Várias fases do desenvolvimento de um sistema especialista podem ser abstraídas segundo nossa experiência. Elas representam orientações gerais e não devem ser interpretadas como uma seqüência obrigatória no desenvolvimento de todos os sistemas especialistas.

**A – Etapa inicial do projeto da base de conhecimento:** compreende três subetapas principais:

a.1 – **Definição do Problema:** especificação dos objetivos, imposições, recursos, participantes e suas respectivas funções;

a.2 – **Conceituação:** descrição detalhada do problema e como dividi-lo em subproblemas; quais são os elementos de cada um deles em termos de hipóteses, dados e conceitos de raciocínios intermediários; como estas conceituações afetam a implantação em potencial;

a.3 – **Representação do Programa em Computador:** escolher especificamente uma representação para os elementos identificados durante a fase de conceituação; definir a primeira fase a ser implantada no computador. As considerações sobre o fluxo das informações e a articulação dos conceitos e das informações serão levantadas mais completamente nesta etapa.

**B – Etapa de Desenvolvimento e Teste do Protótipo:** uma vez escolhida a representação, pode-se começar a implantação do protótipo de um subconjunto do conhecimento necessário para o sistema completo. A seleção do subconjunto é de fundamental importância; deve incluir uma amostra representativa do conhecimento que seja típica de todo o modelo, embora deva compreender subtarefas e raciocínios que sejam suficientemente simples de testar. Uma vez que o protótipo produza um raciocínio aceitável, pode ser expandido de modo a incluir variantes mais pormenorizadas do problema que deve interpretar. Em seguida, ele será testado com casos mais complexos, os quais serão usados como um conjunto normal de teste nos refinamentos

subseqüentes da base de conhecimento. Muitos ajustes dos elementos iniciais e das respectivas relações serão reunidos a fim de constituírem a resultado deste teste.

**C – Refinamento e Generalização do Banco de Conhecimentos:** esta etapa pode tomar um tempo considerável se desejar alcançar níveis muitos altos de desempenho. Contudo, é possível obter desempenho satisfatório em SE em poucos meses de trabalho.

LUCENA (1987) considera que é desejável, embora não seja comum, a existência de uma interface amigável em linguagem natural para facilitar o uso do sistema nos seus três modos básicos: desenvolvimento, solução de problemas e instrução. Interfaces gráficas ou dirigidas por “menus” são usadas freqüentemente. Em sistemas mais completos, um módulo de explicação também é incluído, permitindo ao usuário o exame do processo de raciocínio subjacente às respostas do sistema. A Figura 2 apresenta o diagrama de um sistema especialista hipotético. Quando o domínio do conhecimento é representado por regras de produção, a base de conhecimento é chamada base de regras e a máquina de inferência de interpretador de regras.

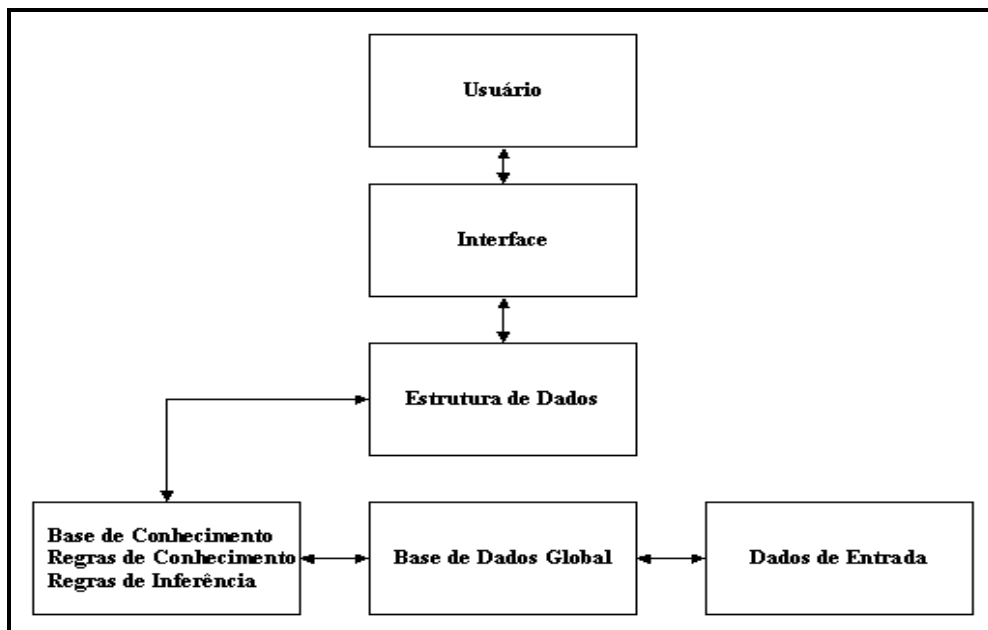


FIGURA 2 – Diagrama de sistema especialista hipotético. Fonte: LUCENA (1987).

## **2.3.4. O processo de criar sistemas especialistas**

### **2.3.4.1. Aquisição do conhecimento**

Para o desenvolvimento de um sistema especialista, a parte mais relevante é a implementação da aquisição do conhecimento, onde se desenvolve o modelo de domínio do problema em questão e, posteriormente, decodifica o conhecimento para se alcançar a solução do problema. Segundo SCHUCHNER (1999), o desenvolvimento do modelo de domínio é muito importante para os processos de sistemas de engenharia. É a “função núcleo” na fase de análise de desenvolvimento de sistemas de software. Na inteligência artificial, a fase de aquisição de conhecimento no desenvolvimento de sistemas especialistas geralmente envolve custos elevados.

Segundo WEISS e KULIKOWSKI (1988), um especialista humano tem tipos diferentes de informações para fornecer ao criador de um modelo de raciocínio especialista, incluindo:

- experiência pessoal na solução de problemas;
- perícia pessoal ou métodos para a solução de problemas;
- conhecimento pessoal sobre as razões da seleção dos métodos utilizados.

Relacionar a experiência pessoal com a solução de problemas, estabelecendo regras resumidas de habilidade, raramente constitui-se tarefa fácil para os especialistas humanos. Com frequência, eles são severamente pressionados, não só para descrever sua perícia de maneira sistemática mas, também, sob forma racionalmente estruturada. É muito difícil fazê-los fornecer uma estreita ligação com o conhecimento científico formal.

Uma pergunta importante na obtenção do conhecimento é quem criará o banco de conhecimento. Para os sistemas atuais é necessário um “engenheiro do conhecimento”, familiarizado com os métodos para criação de sistema especialista.

Ao construir um sistema especialista, um “engenheiro do conhecimento” entrevista um especialista no domínio da aplicação para elucidar o conhecimento especialista, que é então traduzido para regras. Depois que o sistema inicial estiver pronto, ele precisa ser iterativamente refinado até aproximar-se do nível de desempenho de um especialista (RICH e KNIGHT, 1993).

O problema básico do conhecimento é o desenvolvimento de um modelo que possua alto poder de representação, permitindo expressar adequadamente as diferentes características apresentadas pelo conhecimento, em um determinado domínio. O modelo deve possuir uma notação eficaz, com recursos para descrever, com clareza e uniformidade, todos os tipos necessários de conhecimento, apresentando-os de forma concisa e de fácil modificação (AKHRAS e MELNIKOFF, 1992). Em resumo, o processo de obtenção do conhecimento é uma das fases mais difíceis da criação de um sistema especialista. Se o problema for identificado como de interpretação ou de diagnóstico, pode ser proveitoso o uso de uma das ferramentas gerais existentes que fornecem uma estrutura básica para o “engenheiro do conhecimento” testar e refinar o sistema especialista.

#### **2.3.4.2. Seleção da representação em computador**

Segundo WEISS e KULIKOWSKI (1988), a seleção da representação em computador deve ter dois atributos:

- capacidade para expressar o conhecimento especializado;
- simplicidade para descrever, atualizar e explicar o conhecimento no modelo.

O poder de uma representação pode ser medido de várias maneiras. A principal preocupação é que o conhecimento especializado relevante, necessário para solucionar um problema, seja representável com relativa facilidade. Com frequência, há uma troca entre a facilidade de representação do conhecimento em um computador e a riqueza de estrutura das possíveis relações semânticas que podem ser descritas na estrutura de um sistema especialista.

Uma consideração importante na seleção de uma representação deve ser a facilidade com que o conhecimento pode ser modificado e atualizado. A representação de um sistema especialista que não seja fácil de manejar ou necessite de estruturas complexas não facilmente lembradas pelo especialista ou pelo engenheiro do conhecimento, certamente dificultará o desenvolvimento de um sistema eficiente de raciocínio (WEISS e KULIKOWSKI, 1988).

#### **2.3.4.3. Mecanismo de inferência (máquina de inferência)**

Para PASSOS (1989), a máquina de inferência, é um método formal (no caso da lógica formal) ou heurístico (no caso de representação de conhecimento por regras de produção, rede semântica, quadros) que podem ser programados para serem usados como manipuladores de “bases de conhecimento” com o fim de deduzirmos algo que não está armazenado naquela base de fatos e conhecimento.

De acordo com PATTERSON (1990), a máquina de inferência aceita que o usuário introduza perguntas e respostas para questões utilizando a interface de entrada e saída (I/O) e usa estas informações dinâmicas junto com o conhecimento estático (regras e fatos) armazenado na base de conhecimento. O conhecimento na base de conhecimento é usado para derivar conclusões sobre um caso corrente ou situações como as apresentadas pela entrada feita pelo usuário.

#### **2.4. Diferenças entre sistema especialista e programação convencional**

Segundo PASSOS (1989), são duas as principais diferenças entre sistema especialista e a programação convencional:

1 – Sistemas especialistas usam métodos heurísticos, ou seja experiência nas soluções de problemas análogos.

Sistemas especialistas não são meramente aplicadores das regras de produção, onde estão representados os conhecimentos da área específica. Eles têm experiência anterior, intuição e criação. Às vezes, esse conhecimento resolve um problema rapidamente, mas também pode falhar e logo outro conhecimento será tentado. É a ferramenta tentativa-e-erro (métodos heurísticos) sendo usada na resolução de problemas. Isso não acontece quando se resolve um problema usando programação convencional, onde um único algoritmo é programado para resolver determinado programa, não sendo necessário pesquisar o espaço das soluções possíveis, pois os passos da solução do problema estão explicitados nos algoritmos.

2 – Sistemas especialistas são dirigidos por dados e não por procedimentos.

O sistema especialista usa um tipo de programação que enfatiza a estrutura lógica de um determinado problema, isto é, os dados do problema geram um conjunto finito de sentenças que descrevem tal problema ou situação (programação declarativa – que engloba programação funcional). Assim, um sistema especialista enfatiza a estrutura lógica de um problema e não a construção de um procedimento para resolvê-lo (programação procedimental) como na programação convencional. Linguagens de programação convencional, como FORTRAN e C, são projetadas e otimizadas para a manipulação de dados e cálculos envolvendo equações (como números e estruturas de dados). Seres humanos, no entanto, geralmente resolvem problemas complexos usando raciocínio abstrato e simbólico, os quais não são muito assimiláveis para implementação em linguagens convencionais (CLIPS, 2000).

As diferenças são ressaltadas, atualmente, pelo crescimento dos sistemas especialistas. Em geral, a maioria dos sistemas especialistas que obtêm sucesso, tem sido aqueles com objetivos modestos, que consomem, em média, seis meses para serem produzidos. Sistemas especialistas são mais adequados do que programações convencionais em duas áreas, a saber:

1 – problemas com grande número de combinações possíveis, nas quais seria necessário dispendir muito tempo para verificar todas as possibilidades numa programação convencional;

2 – interpretação de grande quantidade de dados ou necessidade da utilização e recuperação da informação com rapidez.

## **2.5. Processamento do café**

De acordo com SILVA (1999), o café é um produto cujo preço está vinculado a parâmetros qualitativos. Partindo-se do valor obtido por um produto de máxima qualidade, este sofre descontos proporcionais à medida que são reduzidas as características desejáveis quanto ao tipo de bebida.

A qualidade do café depende principalmente da forma como ele é cultivado, colhido e processado. As operações de colheita, preparo, armazenagem na fazenda, beneficiamento e armazenagem comercial devem ser realizadas de forma a manter a qualidade do grão obtida no campo (SILVA, 1999).

De acordo com LEITE (1998), o café é um produto de extrema importância para muitos países e caracteriza-se por problemas específicos, principalmente relacionados às perdas de qualidade durante o período de pós-colheita. É de extrema importância que se realizem trabalhos científicos que relacionem os diferentes métodos de pré-processamento com a qualidade final do produto.

Segundo SILVA e BERBERT (1999), no Brasil, em virtude do método de colheita empregado, o material colhido é constituído por uma mistura de frutos verdes, maduros, passas e secos, folhas, ramos, torrões e pedras, que deve ser limpo e separado nas suas diversas frações para que possam ser secados separadamente. O conjunto dessas operações é denominado de preparo ou pré-processamento do café.

De acordo com BÁRTHOLO et al. (1989), são consideradas duas formas de preparo ou pré-processamento de café, por via seca e via úmida. Na

forma de preparo por via seca, atualmente o mais comum no Brasil, o fruto é seco na sua forma integral (com casca), enquanto no preparo por via úmida, obtém-se o café despulpado.

### **2.5.1. Pre paro do café por via seca**

Neste tipo de preparo, logo após a colheita, o café deve ser submetido aos processos de separação das impurezas, o que segundo SILVA e BERBERT (1999), pode ser feito por peneiramento manual, ventilação forçada ou ainda por separadores que utilizam ar e peneira. Assim que os frutos de café estiverem livres das impurezas mais grosseiras, o próximo estágio será a lavagem dos mesmos.

O lavador, segundo BÁRTHOLO et al. (1989), é uma das estruturas mais importantes na fase de preparo do café, uma vez que proporciona a separação não só das impurezas como também dos frutos nos seus diferentes estágios de maturação. A lavagem proporciona uma pré-limpeza do produto ao separar as impurezas, aumentando conseqüentemente a vida útil dos secadores e máquinas de beneficiar por diminuir a abrasão, excluindo pedras, folhas e paus, que vêm da lavoura com os frutos colhidos.

Depois dos processos de separação das impurezas e lavagem, o próximo estágio do preparo por via seca é a secagem. O café pode ser secado completamente em terreiro, em secadores mecânicos, ou ainda, efetuar apenas a meia-seca em terreiro e completar a secagem em secadores mecânicos. A meia-seca consiste na pré-secagem dos frutos de café, reduzindo-se a sua umidade até aproximadamente 30% b.u.. Ela pode ser efetuada em terreiro ou em secadores do tipo camada fixa e rotativo horizontal. A secagem deve ser interrompida quando o teor de umidade médio do produto, segundo BÁRTHOLO et al. (1989), estiver entre 10 e 12% b.u..

Segundo SOUZA (1997), a finalidade da secagem é a retirada da água contida nos produtos agrícolas depois da colheita, a um nível que não permita o desenvolvimento de fungos e bactérias, para que possam ser armazenados em

segurança, preservando a aparência, a qualidade nutritiva e a viabilidade como semente.

De acordo com BÁRTHOLO et al. (1989), no processo de secagem é aconselhável trabalhar com lotes homogêneos, considerando-se a época de colheita, estágio de maturação e o teor de umidade dos grãos, para a obtenção de um produto final uniforme e de boa qualidade.

De acordo com SILVA et al. (1995), na escolha de um sistema de secagem de café é necessário atender, com o máximo de eficiência, as necessidades do produtor. A seguir são descritos alguns sistemas de secagem de café abordados neste trabalho.

#### **2.5.1.1. Secagem do café em terreiro**

O terreiro caracteriza-se pelo espaço destinado ao recebimento do produto úmido, cuja área pavimentada permite o seu espalhamento em camadas delgadas e a sua total exposição à radiação solar. A energia utilizada para o aquecimento dos grãos e remoção da água é proveniente da radiação solar e da entalpia do ar. Como usa a energia solar, a secagem em terreiro tem a desvantagem de depender dos fatores climáticos da região, os quais, se desfavoráveis, retardam o processo de secagem e podendo propiciar a contaminação dos grãos por microorganismos reduzindo a qualidade final do produto.

SILVA e BERBERT (1999) citaram que, no Brasil, ainda é predominante a secagem de café em terreiros, que podem ser construídos de cimento, tijolos ou terra batida. O uso exclusivo do terreiro por muitos cafeicultores deve-se, principalmente, a não preocupação com as características qualitativas do produto depois da secagem, ou ao baixo poder aquisitivo e nível técnico da propriedade. Pesquisa feita por LACERDA FILHO (1986), em que avaliou-se a qualidade do café seco em terreiros com pisos de terra batida, tijolos, asfalto e cimento, concluiu que a variação nos materiais de construção do piso, influenciaram a qualidade da bebida do produto. Os terreiros com piso de terra

batida e de tijolos não proporcionaram ao produto as características necessárias para análise de bebida.

Em relação a construção do terreiro, deve-se evitar solos úmidos, como baixadas e áreas próximas a lagos, represas ou rios. Deve-se também, evitar locais sombreados e próximos de construções adjacentes, para permitir circulação do ar através dos grãos que estão expostos aos raios solares.

### **2.5.1.2. Secagem do café em secador mecânico**

De acordo com SILVA e BERBERT (1999), a secagem em secadores mecânicos, além de acelerar o processo e permitir que o agricultor não dependa das condições climáticas, visa principalmente manter a qualidade do produto por meio de melhor controle do processo de secagem.

Para o funcionamento adequado de grande parte dos secadores mecânicos fabricados no Brasil, a massa de frutos de café não deve apresentar alto teor de umidade, por isso, deve-se fazer a pré-secagem em terreiro, em secador rotativo horizontal ou de camada fixa.

Terminada a secagem, o café deve ser armazenado. No Brasil os produtores usam tulhas para armazenar a granel ou armazéns convencionais para sacarias.

### **2.5.2. Preparo do café por via úmida**

É o processo no qual, depois da lavagem, o café cereja é despulpado. Este processo dá origem ao café lavado e despulpado, bastante comuns entre os produtores da América Central, México, Colômbia, Quênia e demais países da África (BÁTHOLO et al., 1989).

Os frutos, depois de lavados e separados, são encaminhados ao despulpamento, que despulpamento consiste na retirada da polpa do fruto de café maduro por meios mecânicos. Em seguida ocorre a fermentação e lavagem dos grãos, retirando-se a mucilagem, que é um substrato adequado para o

desenvolvimento de microorganismos que podem provocar a ocorrência de fermentações prejudiciais à qualidade final do produto. No mercado brasileiro existem vários equipamentos destinados a remoção mecânica da mucilagem dos frutos de café.

A secagem, considerando o preparo por via úmida, tal qual por via seca, pode ser realizada utilizando terreiros ou secadores mecânicos, ou sistemas combinando terreiros para meia-seca e secadores mecânicos para a complementação da secagem, conhecido este último como sistema misto.

Segundo BÁRTHOLO et al. (1989), o café despulpado é sensível às variações das condições psicométricas do meio ambiente e, por isso, o seu armazenamento, como o do café em coco, deve ser feito em boas condições que, se satisfeitas, permitem a estocagem por períodos superiores a um ano.

Guimarães citado por LEITE (1998), relatou que na América Central, México, Colômbia e no Quênia, onde é produzido café despulpado, o produto tem alcançado boas cotações no mercado, por ser de bebida suave.

Segundo BÁRTHOLO et al. (1989), o preparo por via úmida é utilizado para a obtenção de produtos de melhor qualidade, visando o mercado externo ou indicado para regiões que apresentem problemas quanto à qualidade do produto, como é o caso da Zona da Mata de Minas Gerais.

## **2.6. Dias trabalháveis em terreiro para a secagem de café**

Como comentado anteriormente neste trabalho, a secagem do café em terreiro depende de vários fatores climáticos da região onde a propriedade se localiza. No presente trabalho foi considerado como dia impróprio para a secagem em terreiro aquele com precipitação acima de 1,0 mm. Com o auxílio deste modelo, o sistema especialista proposto terá em sua base de conhecimento o comportamento do clima da região em estudo, e assim, uma ferramenta eficaz em sua tomada de decisão.

Para o modelo proposto foi utilizado o processo de cadeia de MARKOV.

### **2.6.1. Cadeia de MARKOV**

Muitos dos processos que ocorrem na natureza e na sociedade podem ser estudados, pelo menos em primeira aproximação, como se o fenômeno estudado passasse, a partir de um estado inicial, por uma seqüência de estados, onde a transição de um determinado estado para o seguinte ocorreria segundo uma certa probabilidade. No caso em que esta probabilidade de transição depende apenas do estado em que o fenômeno se encontra e do estado a seguir, o processo será chamado processo de MARKOV e uma seqüência de estados seguindo este processo será denominado uma cadeia de MARKOV (BOLDRINI et al.,1986).

De acordo com ASSIS (1988), o fato de as condições climáticas em um certo dia não serem estatisticamente independentes das condições climáticas no dia precedente tem sido analisado de diversas formas. Uma forma, para essa análise é a utilização de um modelo onde a seqüência de dias é considerada como uma cadeia de MARKOV, em dois estados sucessivo s: “dia bom” e “dia ruim”.

De acordo com ASSIS (1988), o planejamento agrícola que tenha influência da precipitação pluviométrica pode ser obtido por meio do uso da cadeia de MARKOV, calculando a probabilidade do início das chuvas. O evento que determina o início das chuvas foi definido como o primeiro dia. Neste dia considerou-se que a precipitação total era maior do que uma quantidade anteriormente conhecida.

Um sistema é denominado de cadeia de MARKOV, se a probabilidade de passar para o estado seguinte é completamente determinada pelo seu estado presente. ASSIS (1988) citou que a teoria de LIPSCHUTZ (1972) considera uma seqüência de tentativas cujos resultados  $x_1, x_2, \dots, x_n$  satisfazem as seguintes propriedades:

a) cada resultado pertence a um conjunto finito de resultados  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ , chama-se de espaço do sistema;

b) o resultado de qualquer tentativa depende mais do resultado da tentativa imediatamente precedente e não de qualquer outro resultado prévio;  
e

c) imediatamente após a ocorrência de  $a_j$  em cada par de estado  $(a_i, a_j)$ , existe a probabilidade de ocorrência  $P_{ij}$ .

Para uma cadeia de MARKOV de  $n$ -estados (onde  $n$  é um número inteiro fixo), a matriz  $n \times n$ ,  $P[p_{ij}]$  é a matriz de transição ou estocástica, associada ao processo. Desse modo, a matriz de transição pode ser representada da seguinte maneira:

$$P^{(n)} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & P_{2n} \\ \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & P_{nn} \end{bmatrix}$$

Hoel citado por ASSIS (1988), explicou o processo da cadeia de MARKOV do seguinte modo: a seqüência  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ , também será chamada de cadeia de MARKOV, se para qualquer seqüência de estados  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n+1}$  obedecer a seguinte probabilidade:

$$P\left(X_{n+1} = \frac{X_{n+1}}{X_0} = X_0, \dots, X_n = X_n\right) = P\left(X_{n+1} = \frac{X_{n+1}}{X_n} = X_n\right) \quad \text{Eq. 1}$$

Em outras palavras, a probabilidade de mudar do  $n$ -ésimo estado  $x_n$  para o  $(n+1)$ -ésimo estado não depende de  $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}$ .

Quando se consideram dois estados, tem-se como dia bom (B) aquele que oferece condições climatológicas favoráveis a secagem de café em terreiro, e dia ruim (R) aquele que não oferece tal condição. Se as condições de tempo são ruins no início de  $n$ -ésimo dia, a probabilidade é  $P(B/R)$  de que haverá melhora

no período e que a secagem em terreiro poderá ocorrer no início do  $(n+1)$ -ésimo dia.

Considera-se também, que se o dia é bom no início do  $n$ -ésimo dia, a probabilidade de que haverá condições desfavoráveis, não permitindo a secagem de café em terreiro no início do  $(n+1)$ -ésimo dia é igual a  $P(R/B)$ .

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Para a implementação do programa foi usado um micro computador K6 II 400 MHz, com 32 Mbytes de memória RAM.

#### **3.1. Desenvolvimento do sistema especialista**

O sistema especialista foi desenvolvido usando a linguagem para desenvolvimento de sistemas especialistas CLIPS<sup>®</sup>, versão 6.10, desenvolvida pelo "Software Technology Branch" (STB), "NASA/Lindon B. Johnson Space Center" (GIARRATANO, 1998).

A linguagem CLIPS<sup>®</sup> usa regras baseadas, compatibilidade-padrão e máquina de inferência com encadeamento para frente (MOTZ e HAGHIGHI, 1990), ou seja, por meio de sucessivas regras implementadas em estruturas do tipo "SE - ENTÃO", o sistema especialista executa as regras seguindo a inferência adquirida através do conhecimento codificado nessas regras. A máquina de inferência decide quais regras e quando devem ser executadas. Um sistema especialista típico escrito em CLIPS<sup>®</sup> seria estruturado como na Figura 3.

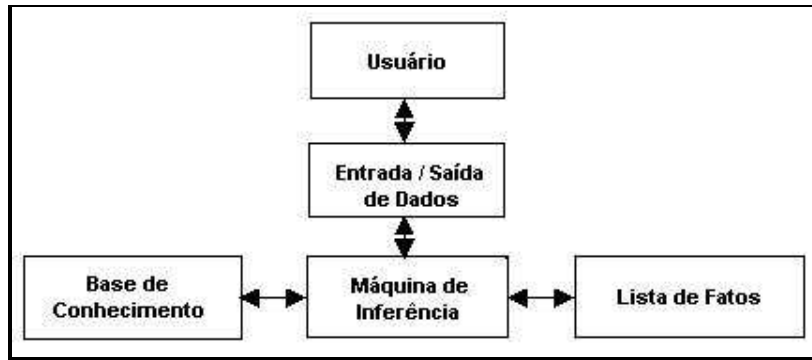


Figura 3 – Estrutura de um sistema especialista escrito em CLIPS<sup>®</sup>. Fonte: MOTZ e HAGHIGHI (1990).

Observa-se, na Figura 4, que a linguagem CLIPS<sup>®</sup> possui uma interface com o usuário sem interatividade. Para resolver este problema, o presente trabalho utilizou a linguagem de programação Pascal Orientado a Objeto em ambiente DELPHI<sup>®</sup>, versão 5.0, um produto da Borland/Inprise Corporation, que foi usada no desenvolvimento da interface entre a linguagem CLIPS<sup>®</sup> e o usuário.

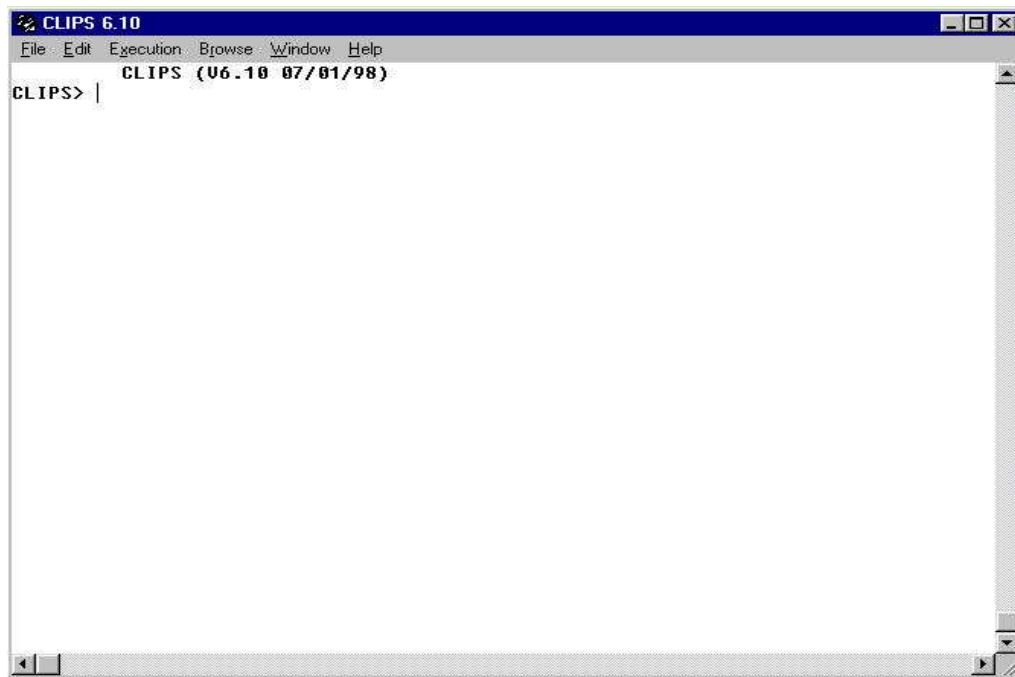


Figura 4 – Ambiente para execução de sistemas especialistas em CLIPS<sup>®</sup>.

Com o uso do ambiente DELPHI<sup>®</sup>, versão 5.0, para o desenvolvimento da interface com o usuário, o sistema especialista em questão trabalha em

ambiente WINDOWS<sup>®</sup>, oferecendo, assim, uma interface mais interativa com o usuário, tanto para entrada como para saída de dados. Segundo SOUSA (1997), hoje, as interfaces gráficas de comunicação com o usuário estão presentes em mais de 80% do mercado de microcomputadores, e a quase totalidade das novas máquinas já saem da fábrica com um sistema operacional acompanhado desse tipo de interface. Os grandes fabricantes de “software” praticamente abandonaram seus esforços no desenvolvimento e lançamento de programas para ambiente tipo DOS, concentrando seus esforços no lançamento de versões cada vez mais sofisticadas para o ambiente WINDOWS<sup>®</sup>.

O sistema especialista desenvolvido dimensiona e seleciona em seu banco de dados os seguintes componentes de um sistema para o pré-processamento de café:

- secador de camada fixa ou barçaça (modelo UFV);
- secador rotativo horizontal;
- secador vertical (com fluxos cruzados);
- terreiro;
- lavador mecânico;
- descascador mecânico;
- desmucilador para a retirada da mucilagem;
- fomalha a lenha ou gás (GLP);
- tulha para o armazenamento do produto.

### **3.2. O banco de dados do sistema especialista**

Para a implementação do banco de dados do sistema especialista, primeiramente, foi feita uma pesquisa junto as principais empresas que fabricam equipamentos para pré-processamento de café no País. O banco de dados atual contém 80 tipos de equipamentos para pré-processamento de café. Todos os equipamentos estão apresentados segundo seus modelos, capacidades, preços e fornecedores.

Os preços dos equipamentos estão cadastrados em dólares americanos (US\$) e em reais (R\$). Uma vez atualizado o valor do dólar, automaticamente é atualizado o preço dos equipamentos constantes no banco de dados.

Há componentes no banco de dados que não são comprados, e sim fabricados como, por exemplo, o terreiro. Esses componentes são cadastrados no banco de dados do sistema especialista com seu respectivo custo de fabricação. A Figura 5 mostra a janela para cadastramento desse tipo de equipamento.



Figura 5 – Janela para cadastro de equipamento construído na propriedade e seu custo de fabricação.

### 3.2.1. O programa de busca no banco de dados

O sistema especialista, uma vez terminado um dimensionamento, executa o programa de busca em seu banco de dados. O programa de busca compara os equipamentos armazenados em seu banco de dados com os dimensionados pelo sistema especialista. Os parâmetros de comparação são: a capacidade requerida e o menor preço. O programa de busca quando não encontra um equipamento com a mesma capacidade dimensionada pelo sistema especialista, escolhe automaticamente um equipamento com a capacidade imediatamente superior a dimensionada. No entanto, procura o modelo com o

menor preço, não importando o fabricante. O resultado da pesquisa é disponibilizado ao usuário em uma lista contendo a característica do equipamento e seu respectivo custo. Este programa de busca foi desenvolvido em linguagem Pascal Orientado a Objeto em ambiente DELPHI<sup>®</sup>, versão 5.0.

### **3.3. A opção “Ajuda” do sistema especialista**

O sistema especialista dispõe de um sistema de ajuda que esclarece e instrui o usuário sobre sua utilização. Este sistema de ajuda fornece ilustrações e informações de como os equipamentos dimensionados pelo sistema especialista devem ser usados. Cada questionamento feito ao usuário pelo sistema especialista pode ser esclarecido através deste sistema.

O sistema de ajuda do sistema especialista foi desenvolvido com a ferramenta “Help WorkShop”, da MICROSOFT<sup>®</sup>. Para a criação deste sistema de ajuda, digitou-se um arquivo texto no formato “.rtf”, obtendo-se informações sobre o café em literatura específica. Em seguida, compilou-se este arquivo “.rtf”, gerando-se o arquivo de ajuda “.hlp” correspondente.

As imagens utilizadas pelo sistema de ajuda do sistema especialista foram digitalizadas a partir de arquivos, livros, folhetos explicativos e catálogos cedidos por fabricantes de equipamentos.

Os textos explicativos foram retirados do acervo bibliográfico da Universidade Federal de Viçosa, onde foram pesquisados conceitos, características e funcionamento de cada equipamento dimensionado pelo sistema especialista.

### **3.4. Critérios para o dimensionamento dos equipamentos**

#### **3.4.1. Dimensionamento do terreiro**

As opções de materiais para a construção do piso do terreiro são o asfalto e o cimento, recomendados por LACERDA FILHO (1986). A área do terreiro foi calculada pela equação 2 proposta por BÁRTHOLO et al. (1989):

$$S = \frac{0,02 Q_c T}{N} \quad \text{Eq.2}$$

em que

S = área de terreiro necessária, m<sup>2</sup>;

Q<sub>c</sub> = quantidade média de café colhida anualmente, litros;

T = tempo médio para a secagem, dias;

N = número de dias de colheita, dias.

#### **3.4.2. Dimensionamento do secador**

O sistema especialista faz o dimensionamento dos seguintes secadores: (a) secador de camada fixa (modelo Viçosa); (b) secador rotativo horizontal e (c) secador vertical com fluxos cruzados. Estes tipos de secadores, segundo BÁRTHOLO et al. (1989), possuem características operacionais distintas. Entretanto, as características finais do produto podem ser semelhantes.

Para o secador de camada fixa, o sistema especialista dimensiona apenas a área de secagem (ou câmara de secagem). E de acordo com SILVA e BEBERT (1999), o secador de camada fixa deve ser construído em área coberta, permitindo que se realize a operação de secagem mesmo em condições atmosféricas desfavoráveis.

Quaisquer dos tipos de secadores são dimensionados para trabalhar 24 horas por dia, diminuindo assim seus custos adicionais.

### **3.4.3. Dimensionamento da tulha para armazenagem do produto**

Para o dimensionamento da tulha, o sistema especialista utiliza à equação proposta por BARTHULO et al. (1989), que é a seguinte:

$$V_t = \frac{Q_c}{1500} \quad \text{Eq.2}$$

em que

$V_t$  = volume da tulha, em  $m^3$ .

### **3.4.4. Dimensionamento do lavador, descascador e desmucilador**

O lavador, descascador e desmucilador são dimensionados para funcionar em jornada de trabalho diária superior à jornada de trabalho dos colhedores dos grãos na lavoura.

A jornada diária dos trabalhadores que colhem os grãos foi estimada em oito horas e a jornada de trabalho diária dos equipamentos para o pré-processamento dos grãos foi estimada em dez. Admitindo-se que o último lote vindo da lavoura, ao final do dia, será processado em no máximo duas horas.

As capacidades do lavador, descascador e desmucilador, podem ser calculadas através da equação 4, mostrada abaixo.

$$C_E = \frac{Q_c}{J_T T_c 1000} \quad \text{Eq.4}$$

em que

$C_E$  = capacidade do equipamento,  $m^3 \cdot h^{-1}$ ;

$J_T$  = jornada de trabalho diária do equipamento, h;

$T_c$  = período de colheita, dias.

### 3.4.5. Característica da fornalha e consumo de combustível

De acordo com MELO (1987), a fornalha acoplada a secadores agrícolas, tem como função aquecer o ar ambiente, para que o mesmo reduza a umidade dos grãos a serem secos no interior do secador.

O sistema especialista recomenda dois tipos de fornalhas de aquecimento indireto: a lenha ou a gás (GLP). Optou-se pela fornalha de aquecimento indireto, pelo fato de o ar de secagem não entrar em contato direto com os gases de combustão. Assim, não contamina o produto com odores indesejáveis provenientes de fumaça e cinza, depreciando a qualidade do produto.

Para o consumo de combustível, utilizou-se a equação proposta por OLIVEIRA (1996):

$$m_c = \frac{d_{ar} \cdot Q_s \cdot c_p \cdot (T_{secagem} - T_{ambiente})}{\eta \cdot PCI} \quad \text{Eq.5}$$

em que:

$m_c$  = consumo de combustível,  $m^3 \cdot h^{-1}$ ;

$Q_s$  = vazão de ar de secagem,  $m^3 \cdot h^{-1}$ ;

$c_p$  = calor específico do ar,  $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ;

$T_{secagem}$  = temperatura do ar de secagem, K;

$T_{ambiente}$  = temperatura do ar ambiente, K;

$\eta$  = rendimento da fornalha, adimensional;

$d_{ar}$  = massa específica do ar ambiente,  $kg \cdot m^{-3}$ ;

PCI = poder calorífico inferior, depende do tipo de combustível,  $kJ \cdot kg^{-1}$ .

### 3.4.6. Volume de água utilizado no pré-processamento

O sistema especialista calcula a quantidade de água necessária à lavagem, descascamento e a desmucilagem durante toda a safra.

Optou-se o consumo de água recomendado por SILVA e BERBERT (1999), um litro de água para cada 30 litros de café. Optou-se por dimensionar o lavador mecânico pelo fato de que, além de consumir menos água e demandar menos mão de obra, os lavadores mecânicos ocupam menor espaço e podem ser remanejados ou comercializados em caso de desistência da atividade cafeeira (SILVA e BEBERT, 1999).

Para calcular a quantidade de água utilizada com o descascamento e a desmucilagem, optou-se por utilizar os coeficientes dos equipamentos listados por BARTHOLLO et al. (1989), nos quais os consumos do descascador, batedor e do desmucilador são da ordem de dois litros de água para cada litro de café processado.

#### **3.4.7. Modelo de cálculo de probabilidade de ocorrência de período chuvoso**

No sistema especialista proposto, foi incorporado um modelo para o cálculo da probabilidade de ocorrência de períodos chuvosos a partir das informações climatológicas da região. O usuário deverá munir o sistema destas informações.

O modelo considera como referência à ocorrência de quatro dias consecutivos com precipitação igual ou superior a 1,0 mm. Isto porque, a partir do quarto dia consecutivo de chuva, ocorrerão perdas significativas na qualidade do café no terreiro devido à fermentação.

A base de dados utilizada deve ser de no mínimo 30 anos e o período do ano analisado deve estar compreendido entre 1 de maio e 30 de setembro, dependendo da época de colheita da região estudada.

Os registros foram divididos em períodos de sete dias correspondentes à semana climatológica. Esta semana tem o seu início no dia primeiro de maio e atende a seguinte contagem:

1 – 7 de maio	semana nº 1
8 – 14 maio	semana nº 2
.	.
.	.
.	.
10 – 17 de setembro	semana nº 20
18 – 24 de setembro	semana nº 21

Utilizando o modelo de cadeia de MARKOV foi possível calcular a probabilidade de ocorrência de dias trabalháveis em terreiro, propício à secagem de café. De acordo com ASSIS (1988), através do processo de MARKOV e da teoria da probabilidade condicional, pode-se estimar as seguintes fórmulas:

- a) A probabilidade do primeiro dia ser bom, ou dia trabalhável em terreiro:

$$P(B) = \frac{NP}{Tp} \quad \text{Eq.6}$$

em que

NP = número de anos em o 1º dia foi bom no período estudado;

Tp = número de anos do período.

- b) A probabilidade de dois dias consecutivos serem bons:

$$P(B/B) = \frac{NPS}{NP} \quad \text{Eq.7}$$

NPS = número de anos em que os 1º e 2º dias foram bons.

c) Probabilidade de um dia ser ruim ou não trabalhável em terreiro:

$$P(R) = 1,0 - P(B) \quad \text{Eq.8}$$

d) Probabilidade de um dia ser ruim, dado que o anterior foi bom:

$$P(R/B) = 1,0 - P(B/B) \quad \text{Eq.9}$$

e) Probabilidade de um dia ser bom, dado que o anterior foi ruim:

$$P(B/R) = \frac{[P(B).P(R/B)]}{P(R)} \quad \text{Eq.10}$$

f) Probabilidade de um dia ser ruim, dado que o anterior foi ruim:

$$P(R/R) = 1,0 - P(B/R) \quad \text{Eq.11}$$

Como o intervalo especificado foi o correspondente à semana climatológica, consideram-se, no período de sete dias, todos os dias como bons para a secagem de café em terreiro e, a partir daí, calculou-se a probabilidade de ocorrência de quatro dias ruins consecutivos dentro desse período especificado. Dessa forma obteve-se a seqüência correspondente à probabilidade e o respectivo cálculo.

Obteve-se a probabilidade de ocorrência de três dias bons consecutivos até nenhum dia bom, como mostrado a seguir:

PROBABILIDADE	SEQUÊNCIA	CÁLCULO
P(3 dias bons)	BBBRRRR	$P(B).P(B/B)^2.P(R/B).P(R/R)^3$
.....	.....	.....
P(2 dias bons)	BBRRRRR	$P(B).P(B/B).P(R/B).P(R/R)^4$
.....	.....	.....
P(1 dia bom)	BRRRRRR	$P(B).P(R/B).P(R/R)^5$
.....	.....	.....
P(0 dia bom)	RRRRRRR	$P(R).P(R/R)^6$

Levando-se em consideração os valores obtidos através dos cálculos das probabilidades de dias bons dentro de um período especificado, foi possível, dentro do período de sete dias, obter a probabilidade de quatro dias ruins consecutivos, como mostrado a seguir:

PROBABILIDADE	CÁLCULO
P(4 dias ruins)	$P(3 \text{ dias bons}) + P(2) + P(1) + P(0)$

Os cálculos das probabilidades, citados nos dois últimos itens, foram feitos para cada semana climatológica.

### **3.5. Validação do sistema especialista**

A validação de sistemas especialistas é um processo que pode ser complexo e demorado, o que é explicado pela escassez de literatura específica sobre o assunto (Fernandes, 1994), citado por MACEDO (1995).

O processo de validação de um sistema especialista pode ser classificado em validação interna, onde as regras que constituem a base de conhecimento são devidamente avaliadas por um grupo multidisciplinar, mas no caso do SEcafé, isto se torna um pouco difícil, devido ao grande número de regras que constituem a base de conhecimento; ou a validação externa, onde se avalia as conclusões ou

laudos técnicos finais gerados pelo sistema especialista (Hiurne et al., 1990) citados por MACEDO (1995).

Para validação do sistema especialista desenvolvido foi utilizado o método de validação externa. O SEcafé foi avaliado por quatro professores especialistas na área de café e sete estudantes da pós-graduação da Universidade Federal de Viçosa.

Juntamente com o sistema especialista foi enviado um questionário (Apêndice A), o qual os avaliadores responderam a perguntas relativas à interatividade SEcafé / usuário, módulo de ajuda e sobre o ambiente de trabalho do SEcafé.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. O sistema especialista proposto**

Como dito anteriormente, o sistema especialista foi elaborado para o ambiente WINDOWS<sup>®</sup>, pois, de acordo com GRIEBELER (1998), esse ambiente permite uma interface simples e interativa com o usuário. Desta forma, mesmo os usuários com conhecimentos limitados em informática e em sistemas de pré-processamento de café, podem utilizar o sistema com relativa facilidade.

Na Figura 5 é apresentada a tela para a escolha do produto final (café simples ou café fino), onde, também, solicita-se ao usuário que informe a área da propriedade cultivada com café (em ha), a produtividade máxima (em sacas/ha) e o período de colheita (em dias).

### **4.2. Apresentação do sistema especialista**

#### **4.2.1. Interface com o usuário**

Apresenta-se, a seguir, os diversos tipos de menus que compõe a interface com o usuário.

Figura 5 – Tela para a entrada de dados.

- Menu *Arquivo*, contendo opções para se trabalhar com arquivos provenientes de informações fornecidas pelo usuário e/ou geradas pelo software;
- Menu *Cadastro*, contendo os seguintes itens: “**Valor do Dólar**”, que permite informar ao sistema cotação do dólar referente ao real; “**Tipos de Equipamentos**”, que permite cadastrar no banco de dados os diferentes tipos de equipamentos, e “**Lista de Equipamentos/Fornecedores**”, que permite especificar, para os equipamentos previamente cadastrados, vários dados adicionais como, por exemplo: custo (em reais e/ou em dólar), fornecedor e maneiras de se contatar o fornecedor;
- Menu *Ajuda*, que dá acesso ao sistema de ajuda “on-line” do SE, com suas seções de conteúdo, índice e localizar. Esse menu, permite também pesquisas por tópicos e palavras chave.

Apresenta-se, na Figura 6, a tela principal do sistema especialista, onde pode-se notar a interface amigável com o usuário. Na Figura 7, mostra-se a reprodução da tela com a exibição do “Menu Cadastro”.

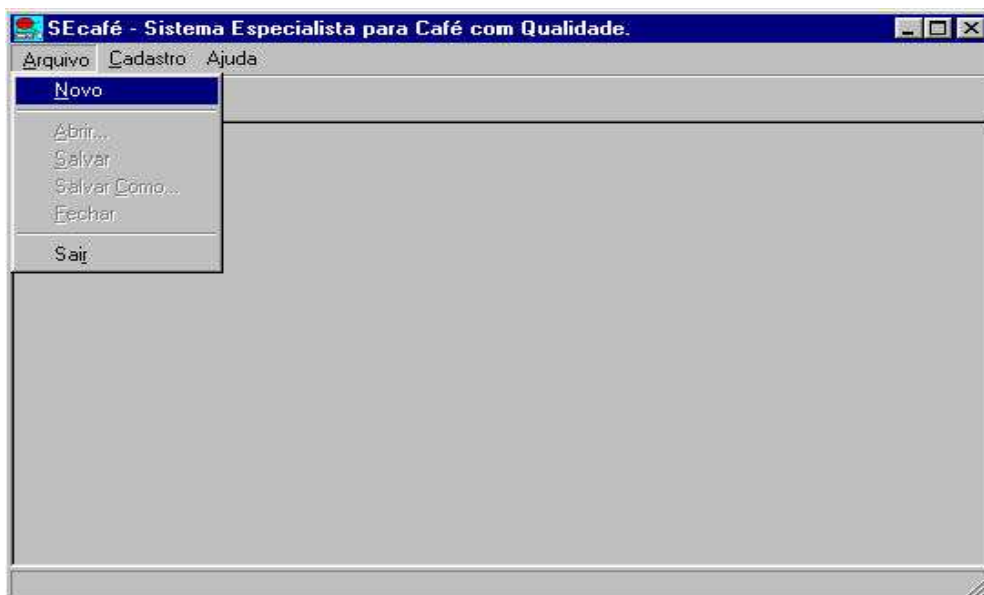


Figura 6 – Tela principal onde pode se notar a interface com o usuário.

Na Figura 8 apresenta-se o módulo “Ajuda” do sistema especialista, onde é possível observar-se o padrão de ajuda do WINDOWS<sup>®</sup>. Na Figura 9 apresenta-se a tela com um exemplo do módulo “Ajuda” do sistema especialista.

#### 4.2.2. Funcionamento do sistema especialista

O código fonte do sistema especialista, em linguagem CLIPS<sup>®</sup>, possui mais de 2.700 linhas. Seu funcionamento ocorre em duas etapas: (1) gera-se um arquivo texto, com extensão “.clp”, a partir das informações obtidas nos questionamentos feitos ao usuário, na interface do programa, e (2) ativa-se o programa na linguagem CLIPS<sup>®</sup>, através de uma DLL (Dynamic Link Library), e o mesmo processa as informações do arquivo texto.

O resultado do sistema especialista, que são as recomendações para sistema de pré-processamento de secagem de café, é obtido em um arquivo texto com extensão “.txt”, no entanto, não o exibe diretamente para o usuário. O sistema especialista faz um processo inverso, ele lê este arquivo texto, com extensão “.txt”, e apresenta ao usuário o resultado em interface gráfica, o qual pode ser impresso pelo usuário.

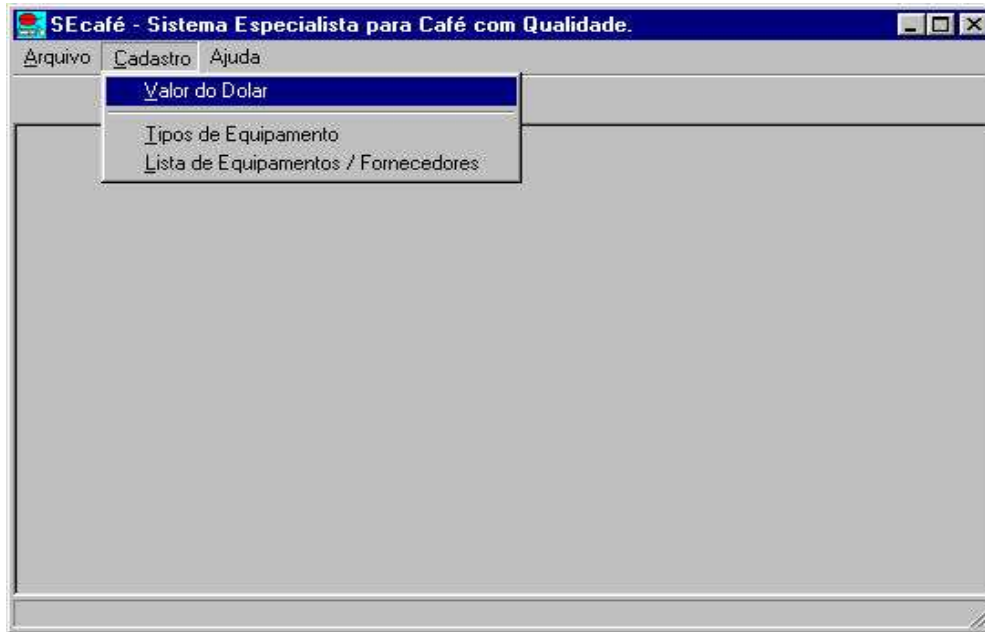


Figura 7 – Tela mostrando o “Menu Cadastro” dos equipamentos armazenados.



Figura 8 - Tela mostrando módulo de “Ajuda”, seguindo o padrão WINDOWS®.

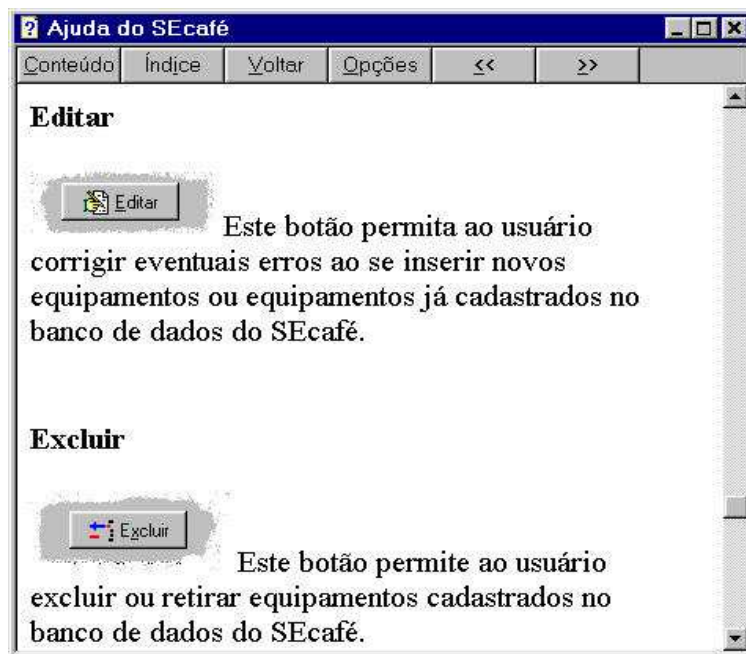


Figura 9 – Tela mostrando um exemplo do módulo “Ajuda”.

### 4.2.3. Informações para o dimensionamento

#### 4.2.3.1. Atualização do dólar

Recomenda-se, primeiramente, que o usuário atualize o valor do dólar para que os valores dos equipamentos armazenados no banco de dados do sistema especialista sejam representativos. A Figura 10 mostra a tela do sistema especialista para o cadastro do valor do dólar.



Figura 10 – Tela para a atualizar o valor do dólar.

Outra maneira de atualizar o preço dos equipamentos armazenados no banco de dados do sistema especialista é editar novamente as informações sobre o item desejado.

#### 4.2.3.2. Cadastro dos equipamentos no sistema especialista

Sempre que o usuário for utilizar o sistema especialista para o dimensionamento de um sistema de pré-processamento de café é aconselhável verificar os equipamentos disponíveis no banco de dados do sistema especialista. Nas Figuras 11 e 12 são apresentadas as telas para cadastro de equipamentos e seus fornecedores. Nessas telas, o usuário pode inserir, editar ou excluir equipamentos e, ou fornecedores. Para o cadastro dos equipamentos, com seus respectivos preços e fornecedores, criou-se um banco de dados com três tabelas, no padrão “Paradox 7.0”.

Nome	Modelo	Capacidade	Unidade	Preço (US\$)	Preço (R\$)	Fornecedor
Descascador	DC-1	1	m <sup>2</sup> /h	500,00	915,00	Pinhalense S/A - Esp. Santo do
Descascador	DC-3	3	m <sup>2</sup> /h	800,00	1.464,00	Pinhalense S/A - Esp. Santo do
Descascador	DC-6	6	m <sup>2</sup> /h	1.200,00	2.196,00	Pinhalense S/A - Esp. Santo do
Descascador	DECER-12	4	m <sup>2</sup> /h	1.000,00	1.830,00	Pinhalense S/A - Esp. Santo do
Descascador	DECER-24	7,75	m <sup>2</sup> /h	1.800,00	3.294,00	Pinhalense S/A - Esp. Santo do
Desmucilador	DFA-0	2,75	m <sup>2</sup> /h	1.000,00	1.830,00	Pinhalense S/A - Esp. Santo do
Desmucilador	DFA-1	4,8	m <sup>2</sup> /h	1.800,00	3.294,00	Pinhalense S/A - Esp. Santo do
Lavador	LSC-2P	1,8	m <sup>2</sup> /h	500,00	915,00	Pinhalense S/A - Esp. Santo do
Lavador	LSC-10P	8	m <sup>2</sup> /h	1.850,00	3.385,50	Pinhalense S/A - Esp. Santo do
Lavador	LSC-10P/AB	8	m <sup>2</sup> /h	1.950,00	3.568,50	Pinhalense S/A - Esp. Santo do
Lavador	LSC-20P	18	m <sup>2</sup> /h	2.200,00	4.026,00	Pinhalense S/A - Esp. Santo do
Lavador	LSC-20P/AB	18	m <sup>2</sup> /h	2.300,00	4.209,00	Pinhalense S/A - Esp. Santo do
Lavador	LSC-10P/AQ	8	m <sup>2</sup> /h	1.800,00	3.294,00	Pinhalense S/A - Esp. Santo do
Lavador	LSC-10P/FL	8	m <sup>2</sup> /h	1.850,00	3.385,50	Pinhalense S/A - Esp. Santo do
Lavador	LSC-20P/AQ	18	m <sup>2</sup> /h	2.250,00	4.117,50	Pinhalense S/A - Esp. Santo do

Figura 11 – Tela para verificar os equipamentos cadastrados no banco de dados.

The screenshot shows a window titled "Cadastro de Equipamentos e seus Fornecedores" with a sub-header "Equipamentos e Fornecedores". Inside, there is a form titled "Editar registro de Equipamento". The form contains the following fields and values:

Tipo	Modelo	Capacidade	Unidade	Preço [ US\$ ]
Descascador	DC-1	1	m³/h	US\$ 500,00

Below this table, there are three more fields:

Preço [ R\$ ]	Fornecedor, local e data da aquisição dos preços	Contato
R\$ 915,00	Pinhalense S/A - Esp. Santo do Pinhal - 25/05/1999.	(0xx19) 651 - 9280

At the bottom of the form are two buttons: "OK" (with a green checkmark) and "Cancelar" (with a red X). At the bottom of the window are four buttons: "Inserir", "Editar", "Excluir", and "Sair".

Figura 12 – Tela para cadastro de equipamentos e fornecedores no banco de dados.

#### 4.2.3.3. Informações sobre tipos de equipamentos fornecidos pelo sistema especialista

As informações inseridas no sistema especialista pelo usuário, através de um questionamento, fornecem instruções suficientes para o dimensionamento e seleção dos equipamentos necessários para um sistema de pré-processamento de café.

#### 4.2.4. Resultados fornecidos pelo sistema especialista

##### 4.2.4.1. Equipamentos dimensionados e selecionados pelo sistema especialista

Na Figura 13 é apresentada a tela de recomendações do sistema especialista. Nela estão exibidos todos os equipamentos dimensionados e selecionados pelo sistema especialista. Para visualizar todos os equipamentos dimensionados e selecionados é necessário utilizar a barra de rolagem lateral da tela. Também é possível exibir a tabela com as probabilidades de ocorrência de

quatro dias consecutivos de chuva para a região, o que auxiliará o usuário em na tomada de decisão.

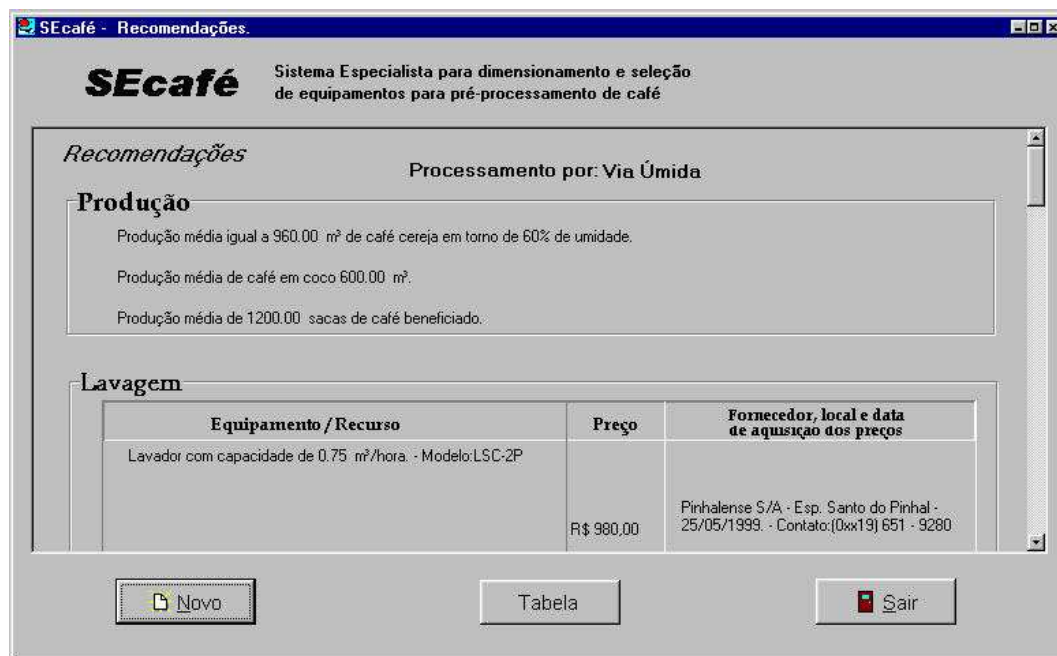


Figura 13 – Tela de recomendações do sistema especialista.

Para a recomendação mostrada na Figura 13, como estudo de caso, considerou-se o seguinte:

- Uma propriedade hipotética com 100 ha, na região de Varginha, em Minas Gerais, com uma produtividade máxima de 12 sacas por hectare, período de colheita de 24 de abril a 4 de outubro (totalizando 164 dias de colheita);
- produção de café fino, e;
- com fácil aquisição de lenha como combustível para a secagem.

No Quadro 1 é apresentada a recomendação proposta pelo sistema especialista. Neste relatório estão impressos todos os equipamentos dimensionados e selecionados pelo sistema especialista, juntamente com os respectivos preços, fornecedores, data e local das aquisições dos preços.

Quadro 1 – Quadro com os equipamentos dimensionados e selecionados pelo sistema especialista, apresentando seus preços e fornecedores

<b>SEcafé Sistema Especialista para dimensionamento e seleção de equipamentos de pré-processamento de café</b>		
<b>Produção</b> <b>Processamento por: Via Úmida</b>		
Produção média igual a 960,00 m <sup>3</sup> de café cereja com teor de umidade em torno de 60%.		
Produção média de café em coco 600,00 m <sup>3</sup> .		
Produção máxima de 1.200,00 sacas de café beneficiado.		
<b>Lavagem</b>		
Componentes ou Recursos	Preço	Fornecedor, local e data de aquisição dos preços
Lavador com capacidade de 0,75 m <sup>3</sup> /hora. Modelo: LSC-2SP	R\$ 980,00*	Pinhalense S/A – Esp. Santo do Pinhal. 25/05/1999 - Contato: (0xx19) 651-9280
Quantidade média de água necessária para a lavagem do café para toda a safra 32,00 m <sup>3</sup> , ou seja, 1,0 litro para cada 30,00 litros de café.	R\$ 14,40	(Não se aplica)
Total desta categoria:		R\$ 994,40
<b>Despolpamento</b>		
Desmucilador com capacidade de 0,75 m <sup>3</sup> /hora. Modelo: DFA-0	R\$ 1.960,00*	Pinhalense S/A – Esp. Santo do Pinhal. 25/05/1999 - Contato: (0xx19) 651-9280
Descascador com capacidade de 0,75 m <sup>3</sup> /hora. Modelo: DC – 1	R\$ 980,00*	Pinhalense S/A – Esp. Santo do Pinhal. 25/05/1999 - Contato: (0xx19) 651-9280
Quantidade de água necessária para o despolpamento 1.920,00 m <sup>3</sup> .	R\$ 864,00*	(Não se aplica)
Total desta categoria:		R\$ 3.804,00
<b>Secagem</b>		
Um secador de camada fixa com área de 8,48 m <sup>2</sup> e diâmetro de 3,38 m. Modelo:	R\$ 0,00**	(Não se aplica: Custo refere-se apenas à construção)
Fornalha a lenha com consumo médio de 39,14 kg de lenha por hora. Modelo: M42	R\$ 535,52*	CASP S/A – Amparo (SP).20/06/1999.Contato: (0xx19) 870 – 8022
Total desta categoria:		R\$ 535,52
<b>Armazenamento</b>		
Tulha: Volume: 640,00m <sup>3</sup>	R\$ 12.800,00	(Não se aplica: Custo refere-se apenas à construção)
Total desta categoria:		R\$ 12.800,00

**Preço Total: R\$ 18.133,92**

\* Valor é um valor fictício, válido somente para efeito de cálculo no trabalho. A empresa fornecedora não forneceu o preço do equipamento.

\*\* Não havia no banco de dados do sistema especialista um secador com a capacidade requerida.

### **4.3. Análise dos resultados por especialistas**

O sistema especialista desenvolvido neste trabalho foi avaliado por especialistas na área de pré-processamento de café e por estudantes do curso de pós-graduação do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

Em relação as perguntas referentes à interface SEcafé/usuário, como a que ressalta o modo como as perguntas são apresentadas ao usuário, os avaliadores foram unânimes em suas respostas ao considerar como ótima a maneira como as perguntas são apresentadas e que as mesmas facilitam as a entrada de dados do usuário.

Com relação à interatividade SEcafé/usuário, a análise dos especialistas referente ao módulo de ajuda do sistema foi feita levando em consideração a maneira como a ajuda é apresentada ao usuário, ou seja, se os textos explicativos estão coerentes e em linguagem de fácil entendimento, e se as figuras exibidas são adequadas ao texto. Obteve-se um índice igual a 100% das respostas dos avaliadores concordando que o módulo de ajuda do SEcafé esclarece as perguntas e dúvidas dos usuários.

Observa-se na Figura 14, que 64 % dos avaliadores responderam “ótima” e 27 % “boa” em relação a maneira como as recomendações feitas pelo SEcafé são apresentadas ao usuário. No entanto, 9 % das repostas foram regulares e 0% ruim. Assim, faz-se necessária reformulação no modo de apresentação das recomendações ao usuário visando facilitar a análise final.

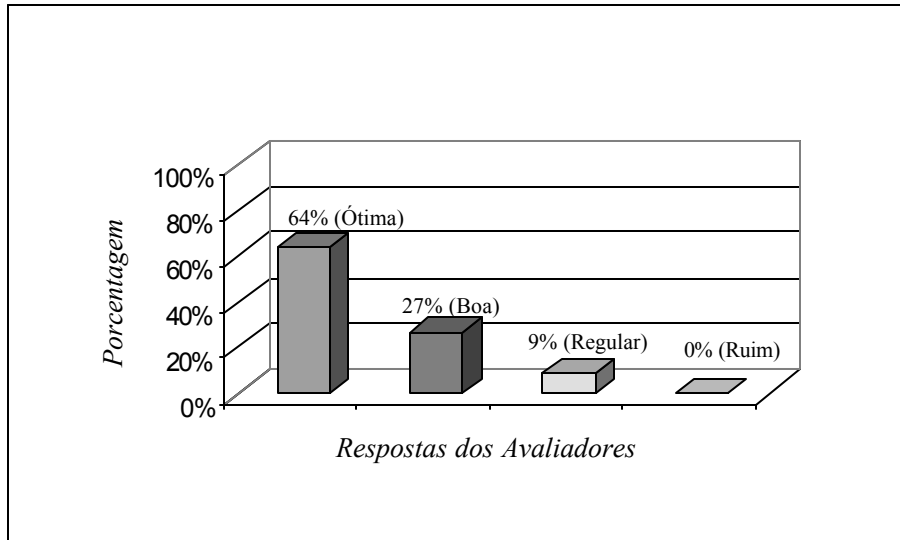


Figura 14 – Gráfico com o percentual de respostas referentes a pergunta: “O modo como as recomendações feitas pelo SEcafé® são apresentadas ao usuário, na sua opinião é?”.

Por meio da análise dos resultados referente à interface SEcafé/usuário, percebe-se que o sistema especialista desenvolvido pode auxiliar o usuário em seu processo de tomada de decisão. Durante o desenvolvimento deste trabalho teve como ponto primordial a obtenção de uma interface interativa e de fácil entendimento por parte do usuário. Considera-se que a aceitação da interface proposta neste trabalho, por parte dos avaliadores, deve aos recursos utilizados e a linguagem simples para expor os conteúdos.

Apresenta-se, na Figura 15, o resultado da pesquisa referente à aceitação, por parte dos avaliadores, das recomendações apresentadas pelo SEcafé. Como pode ser notado, 45 % dos avaliadores concordam com as recomendações feitas pelo sistema especialista, no entanto, 55 % não sabem informar se concordam ou não. Acredita-se que esse resultado seja devido principalmente à falta de um parâmetro de comparação das recomendações.

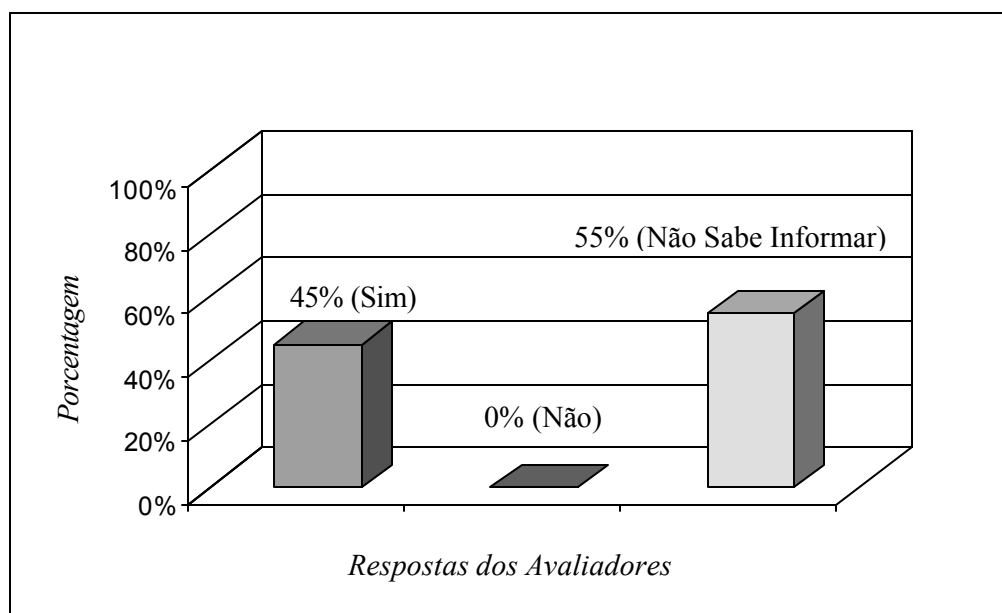


Figura 15 – Gráfico apresentando as respostas referente à pergunta a: “Você concorda com as recomendações apresentadas pelo SEcafé?”.

Em relação ao ambiente do SEcafé, apresenta-se, no Quadro 2, as perguntas feitas aos avaliadores do SEcafé e suas respectivas respostas. Com relação à apresentação do SEcafé, 91% dos avaliadores acharam que o sistema especialista se auto-apresenta.

Quadro 2 – Perguntas e respostas dos analisadores referente ao ambiente do SEcafé

Ambiente do SEcafé <sup>®</sup>	Sim	Não	Não Sabe Informar
O SEcafé <sup>®</sup> se auto apresenta ?	<b>91%</b>	<b>9%</b>	<b>0%</b>
As perguntas feitas pelo SEcafé <sup>®</sup> são claras ?	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
O SEcafé <sup>®</sup> facilita o trabalho ou estudo de um profissional da área de pré-processamento de café ?	<b>91%</b>	<b>9%</b>	<b>0%</b>
A maneira como a ajuda é fornecida ao usuário, com ilustrações e explicações, facilita sua compreensão por parte do usuário ?	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>

Em relação à clareza das perguntas feitas aos usuários, os avaliadores foram unânimes em suas respostas, concordando com a elaboração e formato das perguntas.

Como opção de auxílio ao estudo e trabalho de profissionais da área de pré-processamento de café, 91% dos avaliadores acreditam que o SEcafé<sup>®</sup> pode contribuir como ferramenta de suporte à decisão para estes profissionais.

Na opinião de 100% dos avaliadores, a maneira como a ajuda é fornecida ao usuário, com ilustrações e explicações em linguagem simples, facilitam a compreensão do usuário.

#### **4.4. Probabilidade de ocorrência de quatro dias não trabalháveis em terreiro**

Apresentam-se, no Quadro 3 os resultados referentes à probabilidade de ocorrência de quatro dias consecutivos não trabalháveis em terreiro para a secagem de café, no período correspondente a cada semana climatológica, contados a partir de 1<sup>o</sup> de maio e finalizando em 24 de setembro para a região de Varginha, no Estado de Minas Gerais.

O número de dias não trabalháveis em terreiro foi obtido por meio dos valores de precipitação, observando os parâmetros climáticos dos dias anteriores e posteriores.

Os resultados foram decorrentes das somas das probabilidades de dias bons, como por exemplo, probabilidade da ocorrência de quatro dias ruins é obtida somando-se  $P(3 \text{ dias bons})$ ,  $P(2 \text{ dias bons})$ ,  $P(1 \text{ dia bom})$  e  $P(0 \text{ dia bom})$ .

QUADRO 3 – Probabilidade de ocorrência de quatro dias ruins consecutivos, referente ao período de 1943 – 1978. Local: Varginha – MG.

Semana Climatológica	P(4 dias ruins) (%)	Divisão Semana	Semana Climatológica	Divisão Semana	P(4 dias ruins) (%)
1	4,7	1...8 maio	12	18...24 agosto	2,4
2	9,4	.	13	.	39,9
3	1,2	.	14	.	4,7
4	4,7	.	15	.	2,4
5	39,9	.	16	.	2,4
6	1,2	.	17	.	39,9
7	5,5	.	18	.	2,4
8	39,9	.	19	.	60,2
9	10,6	.	20	.	34,9
10	2,2	.	21	18...24 setembro	20,3
11	10,0	10...17 julho			

A maior probabilidade de ocorrer quatro dias ruins consecutivos dentro do período estudado é de 60,2 % e ocorre na semana climatológica número 19 e a menor probabilidade de ocorrência é de 1,2 % e ocorrem nas semanas climatológicas números 3 e 6.

A partir dos resultados obtidos com este modelo de precipitação, o sistema especialista desenvolvido neste trabalho tem sólida base de informações para auxiliá-lo em sua tomada de decisão.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

O sistema especialista foi desenvolvido para ser utilizado em microcomputadores pessoais que empregam o sistema operacional WINDOWS<sup>®</sup>. Utilizou-se a linguagem CLIPS<sup>®</sup> para a decodificação da base de conhecimento e confecção do sistema. A interface do sistema especialista com o usuário foi desenvolvida em ambiente de programação DELPHI<sup>®</sup>, versão 5.0, utilizando a linguagem de programação Pascal Orientado a Objeto.

Um modelo para cálculo de probabilidade de ocorrência de períodos chuvosos foi desenvolvido e incorporado ao sistema especialista proposto. O modelo toma como referência a ocorrência de quatro dias consecutivos com precipitação igual ou superior a 1,0 mm. Isto porque, a partir do quarto dia consecutivo de chuva, ocorrerão perdas significativas na qualidade do café no terreiro devido à fermentação.

A validação do sistema especialista proposto foi realizada considerando-se as respostas a um questionário enviado a especialistas da área de pré-processamento de café.

Assim, com base nos resultados obtidos, conclui-se que o sistema especialista elaborado permite:

- estimar o custo para a implantação do sistema dimensionado;

- exibir o módulo de ajuda com o objetivo de facilitar a compreensão do usuário;
- evitar gastos excessivos devido ao superdimensionamento e riscos de subdimensionamentos;
- a interface com o usuário é de fácil interação, facilitando a entrada de informações e o entendimento dos resultados;
- que o SEcafé, além de permitir acesso a um nível de conhecimento técnico numa área onde há escassez de recursos humanos, reduz de maneira sensível, o tempo necessário ao dimensionamento e seleção de equipamentos de pré-processamento de café.

Programas aplicáveis à solução de outros problemas relacionados ao processamento de produtos agrícolas, provavelmente deverão ser desenvolvidos à medida que os profissionais avaliarem e se conscientizarem da importância do uso da inteligência artificial, sendo que sistemas como o SEcafé podem ser utilizados por qualquer produtor que opte em produzir café com qualidade. Neste sentido, o SEcafé pode se tornar um instrumento útil para demonstrar a potencialidade da utilização dessas técnicas para empresas, cooperativas e os serviços de extensão que pretendam atuar na área pré-processamento de café.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

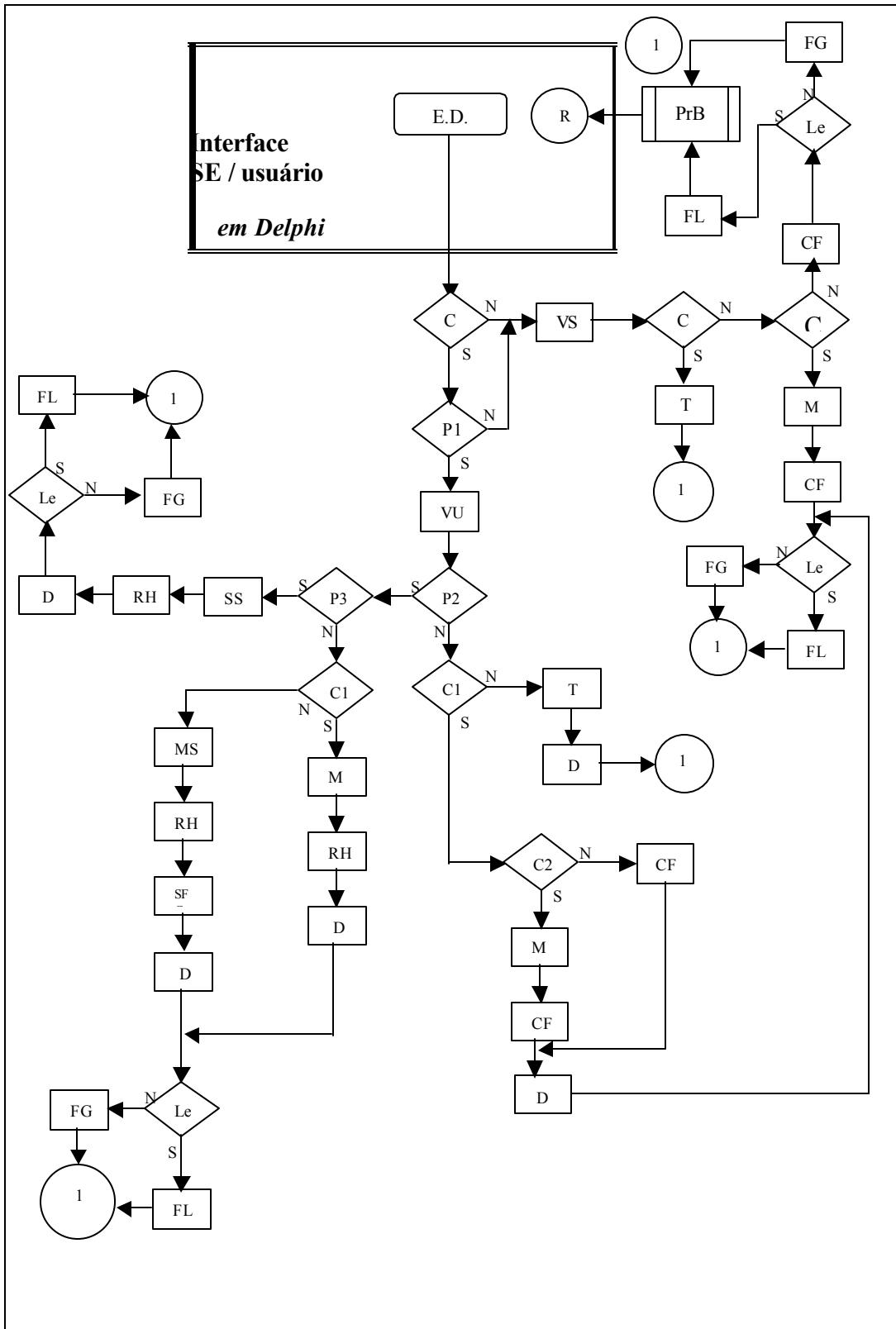
- ASSIS, S. V. **Modelo para estimar o número de dias trabalháveis com tratores agrícolas em função de parâmetros do solo e do clima**. Viçosa. Imprensa Universitária (Tese de Mestrado). 91p. 1988.
- AKHARAS, F. N.; MELNIKOFF, S. S. S. Um modelo de representação de conhecimento para processos de engenharia de software. In:\_\_\_\_\_. IX Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial. **Anais...** Rio de Janeiro. p.117–130. 1992.
- AMINZADEH, F.; JAMSHIDI, M. The evolution of expert systems. In:\_\_\_\_\_. **Soft Computing – Fuzzy Logic, Neural Networks, and Distributed Artificial Intelligence**. Prentice Hall, Inc.. New Jersey. p.1–29. 1994.
- BÁRTHOLO, G. F.; MAGALHÃES FILHO, A. A. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; CHALFOUN, S. M. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. Belo Horizonte. **Informe Agropecuário**. Ano 14, n. 162. p.33–44. 1989.
- BOLDRINI, J. L.; COSTA, S. I. R.; FIGUEIREDO, V. L.; WETZLER, H. G. **Álgebra linear**. 3ª Edição. Editora Harbra Ltda. São Paulo. p. 1 – 28. 1986.

- CENTRAL LABORATORY FOR AGRICULTURAL EXPERT SYSTEMS.  
**Expert systems in agriculture** . [28/03/2000].  
(<http://potato.claes.sci.eg/claes/wes.htm>).
- CLIPS. **What are expert systems?** [28/03/2000].  
(<http://www.ghgcorp.com/clips/ExpertSystems.html>).
- ENGEL, B. A.; NEASLEY, D. B.; BARRET, J. R. Integrating multiple knowledge sources. **Transactions of the ASAE**. v.33, n.4. p.1371–1376. 1990.
- GIARRATANO, J.C. **Clips user's guide**. Nasa. John Space Center. Houston. USA. 154p. 1998.
- GRIEBELER, P. N. **Software para o planejamento e a racionalizaçõa do uso de sistemas de terraceamento em nível** Viçosa. Imprensa Universitária (Tese de Mestrado). 87p. 1998.
- HARMON, P.; MAUS, R.; MORRISSEY, W. Using expert systems to improve performance. In:\_\_\_\_\_. **Expert Systems – Tools and Applications**. John Wiley and Sons, Inc.. New York. p.3–11. 1988.
- LACERDA FILHO, A. F. **Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influências na qualidade do café**. Viçosa. Imprensa Universitária (Tese de Mestrado). 136p. 1986.
- LEITE, J. L. F. Café – Brasil: o gigante do café. In:\_\_\_\_\_. CONVENÇÃO ANUAL DA CÂMARA PERUANA DE CAFÉ, 3, 2000, [S. 1.]. **Palestra**. [S. 1.]: ABECAFÉ, 2000. [24/03/2000].  
(<http://www.café.com.br/trabalho/mercado/gigante/2e.htm>).
- LEITE, R. A. **Qualidade tecnológica do café (*coffea arábica* L.) pré-processada por “via seca” e “via úmida”**. Viçosa. Imprensa Universitária (Tese de Mestrado). 54p. 1998.
- LEVINE, R. J.; DRANG, D. E.; EDELSON, B. Uma visão geral da inteligência. In:\_\_\_\_\_. **Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas – Aplicações e Exemplos Práticos**. McGraw Hill Ltda. p.1–9. 1988.

- LUCENA, C. **Inteligência artificial e engenharia de software**. Publicações Acadêmico – Científicas. Rio de Janeiro. 305p. 1987.
- MACEDO, J. A. B. **Sistema especialista para controle e tratamento de água na indústria de alimentos**. Viçosa. Imprensa Universitária (Tese de Mestrado). 93p. 1995.
- MELO, E.C. **Rendimento térmico de uma fornalha a lenha de fluxos descendentes**. Viçosa. Imprensa Universitária (Tese de Mestrado). 45p. 1987.
- MOTZ, D. S.; HAGHIGHI, K. An integrated approach to knowledge-aided design and optimization of mechanical springs. **Transactions of the ASAE**. v.33, n.5. p.1729–1735. 1990.
- OLIVEIRA, G. A. **Desenvolvimento e teste de uma fornalha com aquecimento indireto e autocontrole da temperatura máxima do ar para secagem de produtos agrícolas**. Viçosa. Imprensa Universitária (Tese de Mestrado). 69p. 1996.
- PASSOS, E. L. **Inteligência artificial e sistemas especialistas ao alcance de todos**. Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. Rio de Janeiro. 192p. 1989.
- PATTERSON, D. W. **Introduction to artificial intelligence and expert systems**. Prentice Hall. Inc.. New Jersey. 441p. 1990.
- RICH, E.; KNIGHT, K. Sistemas Especialistas. In: \_\_\_\_\_. **Inteligência artificial**. McGraw Hill Ltda. São Paulo. p.632–644. 1993.
- SCHUCHNER, B. S. **Investigation of automated techniques for object – oriented analysis of domain normative text (natural language processing, software systems development)**. New York, USA. The George Washington University. (Tese de Doutorado). 97p. 1999.
- SILVA JÚNIOR, A. G. **Sistema de suporte à decisão integrado a sistemas especialistas: uma aplicação para o gerenciamento de fazendas**

- produtoras de leite**. Viçosa. Imprensa Universitária (Tese de Mestrado). 94p. 1993.
- SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; LACERDA FILHO, A. F. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. In:\_\_\_\_\_. **Pré-processamento de Produtos Agrícolas**. Instituto Maria. Juiz de Fora. p.388-447. 1995.
- SILVA, J. S. Colheita, secagem e armazenamento de café. In:\_\_\_\_\_. I Encontro sobre Café com Qualidade. **Livro de Palestras**. Viçosa. Editora Laércio Zambolim. p.39–79. 1999.
- SILVA, J. S.; BERBERT, P. A. **Colheita, secagem e armazenagem de café**. Viçosa. Editora Aprenda Fácil. 146p. 1999.
- SOUSA, F. F. **Sistema multimídia para capacitação de recursos humanos em pós-colheita de produtos agrícolas**. Viçosa. Imprensa Universitária (Tese de Mestrado). 61p. 1997.
- WEISS, S. M.; KULIKOWSKI, C. A. Solução de problemas e consulta a especialistas. In:\_\_\_\_\_. **Guia Prático para Projetar Sistemas Especialistas**. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.. Rio de Janeiro. p.1–5. 1988.

## APÊNDICE A



Fluxograma do sistema especialista (\*)

(\*) Listagem de símbolos na página seguinte.

## LISTAGEM

E.D. = Entrada de dados no sistema especialista (SE) pela interface em Delphi;

CF = Bloco do SE para a opção de produzir café fino;

P1, P2 e P3 = Blocos do SE utilizados para determinar as produções no dimensionamento;

Le = Bloco do SE para opção de utilizar lenha;

FL = Fornalha a lenha;

FG = Fornalha a gás;

D = Desmucilador;

C1 = Bloco do SE para determinar se há condições para a secagem em terreiro;

C2 = Bloco do SE para determinar se há condições para a meia seca;

T = Bloco do SE para determinar a secagem em terreiro;

CF = Bloco do SE para determinar a secagem em secador de camada fixa;

RH = Bloco do SE para determinar a secagem em secador rotativo horizontal;

SFC = Bloco do SE para determinar a secagem em secador de fluxos cruzados;

SS = Bloco do SE para determinar a secagem em secador;

MT = Bloco do SE para determinar a meia seca em terreiro;

MS = Bloco do SE para determinar a meia seca em secador;

PrB = Programa de busca no banco de dados do SE, desenvolvido em ambiente Delphi;

R = Bloco do SE para as recomendações dos equipamentos dimensionados e selecionados pela interface em Delphi.

# QUESTIONÁRIO

Sua avaliação sobre o **SEcafé** é muito importante para nós, pois serve como referência para o nosso trabalho.

Antecipadamente, agradecemos a sua colaboração.

## 1 – Ambiente do SEcafé

O SEcafé se auto apresenta ?

sim       não       não sabe informar

As perguntas feitas pelo SEcafé são claras ?

sim       não       não sabe informar

O SEcafé facilita o trabalho ou estudo de um profissional da área de pré-processamento de café ?

sim       não       não sabe informar

## 2 – Interatividade SEcafé/usuário

O modo como as perguntas são apresentadas ao usuário facilita as respostas ?

sim       não       não sabe informar

O módulo de ajuda esclarece as perguntas e dúvidas do usuário ?

sim       não       não sabe informar

A maneira como a ajuda é fornecida ao usuário, com ilustrações e explicações, facilita sua compreensão por parte do usuário ?

sim       não       não sabe informar

A maneira como as recomendações feitas pelo SEcafé são apresentadas ao usuário, na sua opinião é ?

ótima       boa       regular       ruim

Você concorda com os resultados apresentados pelo SEcafé?

sim       não       não sabe informar

Você concorda com as recomendações apresentadas pelo SEcafé ?

sim       não       não sabe informar

Comentários ou sugestões:

---

---

---