

RICARDO BRAINER MARTINS

**SISTEMA ESPECIALISTA PARA DIAGNOSE DE DOENÇAS DA BATATEIRA**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2003

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M386s  
2003  
Martins, Ricardo Brainer, 1976-

Sistema especialista para diagnose de doenças da  
batateira / Ricardo Brainer Martins. – Viçosa : UFV, 2003  
29p. : il.

Orientador: Luiz Antônio Maffia  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de  
Viçosa

1. Fitopatologia. 2. Batata - Doenças e pragas -  
Diagnóstico. 3. Inteligência artificial. 4. Sistemas especia-  
listas ( Computação ). I. Universidade Federal de Viçosa.  
II. Título.

CDD 19.ed. 632.3

CDD 20.ed. 632.3

RICARDO BRAINER MARTINS

**SISTEMA ESPECIALISTA PARA DIAGNOSE DE DOENÇAS DA BATATEIRA**

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

APROVADA: 10 de março de 2003.

---

Prof. Eduardo Seiti Gomide Mizubuti  
(Conselheiro)

---

Prof. José Luis Braga  
(Conselheiro)

---

Prof. Edson Ampélio Pozza

---

Prof. Robert Weingart Barreto

---

Prof. Luiz Antônio Maffia  
(Orientador)

Aos meus pais, Ramiro (*in memoriam*) e Cely.

Aos meus irmãos, Marcos e Sheyla.

À minha família.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Fitopatologia e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Prof. Dr. Luiz Antônio Maffia, pela paciência, dedicação, orientação e amizade.

Aos conselheiros Prof. Dr. Eduardo Seiti Gomide Mizubuti e Prof. Dr. José Luis Braga, pelo apoio, pela orientação e pelas valiosas sugestões durante o desenvolvimento deste projeto.

Ao Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza (UFLA) e o Dr. Carlos Alberto Lopes (CNPq), pela amizade, pela paciência e pelas valiosas sugestões durante a construção e avaliação do programa.

Ao Dr. Antônio Carlos Ávila (CNPq), Prof. David de Souza Jaccoud Filho (UEPG), Dr. Augusto Carlos dos Santos Pinto (UFLA) e o engenheiro agrônomo Emilson Menarim (Castrolanda-PR), pela participação na construção do programa.

Aos professores do Departamento de Fitopatologia da UFV, pelos ensinamentos.

Ao Prof. Sami Jorge Michereff (UFRPE), pela amizade, pela orientação na Iniciação Científica e pelos esforços em me ensinar os primeiros passos na Fitopatologia.

A minha mãe, Cely, e meu irmão, Marcos, pelo apoio incondicional e pela ajuda durante o curso.

Aos engenheiros agrônomos José Daniel e Getúlio de Souza Franco, pelo auxílio na coleta de plantas doentes em plantios comerciais nos municípios de Pouso Alegre e Ipuina, MG.

Aos funcionários do Departamento de Fitopatologia, pela eficiência e constante ajudas no decorrer do curso.

Aos alunos de graduação e pós-graduação da UFV pela participação na avaliação do sistema especialista SEDDB.

Aos colegas de pós-graduação, em especial a Aderlan, Dani e *Shock*, pelo convívio e amizade.

A todos que, involuntariamente, não foram citados, mas que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

RICARDO BRAINER MARTINS, filho de Ramiro Martins e Maria Brainer Martins, nasceu em 09 de janeiro de 1976, em Carpina-PE.

Em janeiro de 1991, iniciou o curso de Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica, Barreiros-PE, obtendo o título de técnico em agropecuária em dezembro de 1993.

Em setembro de 1994, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal Rural de Recife, Recife-PE, obtendo o título de engenheiro-agrônomo em agosto de 2000.

Em abril de 2001, iniciou o curso de Mestrado em Fitopatologia na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, defendendo a tese em 10 de março de 2003, obtendo o título em setembro do mesmo ano.

## CONTEÚDO

<b>RESUMO</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>ix</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>4</b>
2.1 Desenvolvimento de um sistema especialista	7
2.1.1 Seleção do problema	7
2.1.2. Aquisição do conhecimento	8
2.1.3. Representação do conhecimento	8
2.1.4. Programação	10
2.1.5. Avaliação	11
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>12</b>
3.1. Seleção do problema	12
3.2. Aquisição do conhecimento	12
3.3. Organização do conhecimento e desenvolvimento do protótipo	12
3.4. Desenvolvimento do sistema especialista completo	13
3.5. Avaliação do sistema especialista	13
3.5.1. Análise estatística	14
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>15</b>
4.1. Seleção do problema	15
4.2. Aquisição do conhecimento	15
4.3. Organização do conhecimento e desenvolvimento do protótipo	16
4.4. Validação	18

<b>5. DISCUSSÃO</b>	<b>20</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>25</b>

## RESUMO

MARTINS, Ricardo Brainer, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2003.  
**Sistema Especialista para Diagnose de Doenças da Batateira.** Orientador: Luiz Antônio Maffia. Conselheiros: Eduardo Seiti Gomide Mizubuti e José Luis Braga.

Dentre as aplicações de computadores, em Fitopatologia, destacam-se os Sistemas Especialistas (SE), com ênfase na diagnose de doenças de várias culturas. Na cultura da batata, ocorrem vários problemas fitossanitários, principalmente doenças, que, não raro, são de difícil diagnose. Há deficiência de ferramentas informatizadas para a diagnose destes problemas. Assim, desenvolveu-se um SE para diagnose de doenças da batateira, que objetiva dar suporte a técnicos da extensão, na tomada de decisão, e auxiliar a docentes, como ferramenta educativa. Dividiu-se o desenvolvimento do SE em cinco fases independentes: i) seleção do problema; ii) aquisição do conhecimento; iii) organização do conhecimento e desenvolvimento do protótipo; iv) desenvolvimento do SE completo; e v) avaliação. O SE, denominado Sistema Especialista para Diagnose de Doenças da Batateira (SEDDB), contém 60 perguntas, 104 regras, 150 fotografias, glossário com 45 termos, e auxilia no diagnóstico de 33 doenças. Na construção do protótipo do SE, consultaram-se seis especialistas em doenças da batateira e utilizou-se o *shell* Expert Sinta, para verificação da lógica interna, e o software Delphi® (versão 6.0), para o desenvolvimento da interface. Na fase de validação, participaram 54 estudantes, entre pós-graduandos em Fitopatologia e agronomandos. Os pós-graduandos tiveram índice de acerto médio na diagnose de 57,02% e de 73,00%, sem e com a utilização do SEDDB, respectivamente. Com o uso do SEDDB, os agronomandos obtiveram acerto médio de 69,14%, superior àquele obtido pelos pós-graduandos, sem a utilizarem o SE, na diagnose do mesmo grupo de doenças.

## ABSTRACT

MARTINS, Ricardo Brainer, M.S., Universidade Federal de Viçosa, march 2003.  
**Expert System to Diagnosis Potato Diseases.** Adviser: Luiz Antônio Maffia.  
Committee members: Eduardo Seiti Gomide Mizubuti e José Luis Braga.

Expert Systems (ES) are being used in plant pathology, mostly to diagnosis various crop diseases. Potato plants are subjected to several important health problems, especially diseases that quite frequently are difficult to diagnose. There is few computer tools specially designed to diagnosis potato diseases. Therefore an ES was development to diagnosis potato diseases, aiming to help extension agents, as a decision tool, and plant pathology lecturers, as an educational tool. The development of the ES, planned to help diagnosing of 33 diseases, was divided into five independent phases: i) problem selection; ii) acquisition of the knowledge; iii) organization of the knowledge and prototype development; iv) ES development; and v) ES evaluation. The ES, called Expert System to Diagnosis Potato Plant Diseases (SEDDB), includes 60 queries, 104 rules, 150 photographs, and a glossary with 45 terms. Throughout SEDDB construction, six specialists in potatoes diseases were consulted. The ES internal logic verification was through the *shell* Expert Sinta and the interface development was using the software Delphi<sup>®</sup> (version 6.0). A total of 54 MS students in Plant Pathology and Agronomy undergraduate students participated in the ES validation. The graduate student's accuracy in diagnosing diseases was 57,02% and 73,00%, with and without using SEDDB, respectively. To diagnose the same group of diseases, the undergraduate student's accuracy using SEDDB was 69,14%, which was higher than graduate student's accuracy without using the ES.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a batata ocupa o 4<sup>o</sup> lugar entre os alimentos mais consumidos no mundo, sendo superada apenas pelo milho, arroz e trigo (FAO, 2003). No Brasil, é considerada a principal hortaliça, tanto em área cultivada como em preferência alimentar (Lopes e Buso, 1997). Em 2002, a área plantada no país foi de aproximadamente 171.300 ha, com destaque para as regiões Sul e Sudeste, que juntas somaram 98% da área cultivada (Ministério da Agricultura, 2002). A produção nacional foi superior a 2.500.000 ton/ano e a produtividade média acima de 15 ton/ha (Ministério da Agricultura, 2002).

Mais de 100 doenças já foram relatadas na cultura em todo o mundo (Hooker, 1981). Dentre estas, mais de 30 já foram constatadas no Brasil. Estas doenças podem ser de origem biótica (causadas por fungos, bactérias, vírus, nematóides, viróides, etc.) ou abiótica (induzidas por condições ambientais impróprias ou imperfeições no manejo da cultura), e o seu grande número dificulta a diagnose.

Em fitopatologia, a diagnose inicia-se com a observação das sintomatologias na planta (Amorim e Salgado, 1995; Agrios, 1997). Dependendo do conjunto de sintomas expressos, profissionais experientes (especialistas) podem identificar uma grande variedade de problemas, sem a necessidade de exames laboratoriais. Porém, o número de especialistas em doenças da batateira é reduzido e, em vista da variabilidade e semelhança entre os sintomas de várias doenças, muitas vezes, é difícil a diagnose correta de um problema presente no campo. Como consequência de diagnoses incorretas podem ocorrer indicações ineficientes de medidas de controle, perdas de produtividade e, muitas vezes, o uso irracional de agroquímicos, o que coloca em risco a saúde dos produtores e consumidores, além de agredir o ecossistema (Reifschneider *et al.*, 1989).

Para auxiliar na diagnose correta de doenças, o profissional pode recorrer ao conhecimento disponível na forma escrita, em CD's ou em programas de computador, com destaque para os Sistemas Especialistas (SE's) (Plant *et al.*, 1989; Yialouris e

Sideris, 1996; Yialouris *et al.*, 1997; Pozza, 1998; Lea-Cox *et al.*, 2000). A partir da década de 70, houve uma crescente popularização de recursos computacionais, pois em vista de sua capacidade de processamento de dados, tornaram-se valiosos em vários campos da ciência, inclusive na fitopatologia (Michalski *et al.*, 1983; Ellison *et al.*, 1998a; Prochaska, 2001; Zotti *et al.*, 2001; Jeon e Song, 2002; Langowski e Long, 2002). Essa popularização provocou a disseminação e adoção de novas tecnologias e proporcionou aumento crescente na eficiência e qualidade das atividades de pesquisa, ensino e extensão. Por exemplo, em fitopatologia, trabalhos que envolvem simulação, modelagem e previsão de doenças de plantas seriam de implementação muito mais difícil sem a utilização de microcomputadores (Latin *et al.*, 1987).

Uma tecnologia com grande possibilidade de aplicação nas mais diversas áreas do conhecimento são os SE's, programas de computador destinados a auxiliar na solução de problemas (Latin *et al.*, 1987; Travis e Latin, 1991). Para realizar essa tarefa, os SE's contêm a experiência compilada de um ou mais especialistas em determinado campo do conhecimento e, para resolver problemas de difícil solução, simulam a lógica de decisão do(s) especialista(s), a qual é ordenada em estruturas que recebem tratamento computacional (Latin *et al.*, 1987, e Travis e Latin, 1991; Langowski e Long, 2002; Puñal *et al.*, 2002). Em outras palavras, os SE's são programas de computador que, quando alimentados com os dados referentes ao problema em questão, fornecem informações sobre as possíveis soluções com base no conhecimento e experiência de especialista(s). O auxílio na diagnose de problemas é uma das aplicações mais tradicionais dos SE's nas diversas áreas da ciência (Latin *et al.*, 1987; Doluschitz e Schimisseur, 1988; Jones, 1989; Crasweller *et al.*, 1992, 1993; Travis *et al.*, 1991; Lea-Cox *et al.*, 2000; Jeon e Song, 2002). Na fitopatologia, há vários SE's desenvolvidos para aplicação na diagnose de doenças, como o PLANT/ds, desenvolvido para a cultura da soja (Michalski, 1983), o MDMS, para a cultura do melão (Latin *et al.*, 1990), e o VEGES, para as culturas de feijão, pepino, tomate, alface e pimenta (Yialouris *et al.*, 1997). Dentre os SE's nacionais, destacam-se o TomEx-UFV, desenvolvido para diagnóstico de doenças bióticas e abióticas do tomateiro (Pozza, 1998), e o Doctor Coffee, desenvolvido para diagnose de doenças bióticas, abióticas e injúrias do cafeeiro (Pinto, 2001). Além desses, encontra-se em fase de desenvolvimento, na Universidade Federal de Lavras, um SE para a cultura da macieira (Guimarães *et al.*, 2003).

Em vista da importância sócio-econômica da cultura da batata, do grande número de problemas fitossanitários e da deficiência de informações compiladas para

diagnose e manejo dessas doenças, este trabalho objetivou o desenvolvimento de um SE para auxiliar a diagnose de doenças da batateira.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Sistemas Especialistas (SE's) são programas de computador que simulam a lógica de um especialista humano para resolver um problema. A sua utilização é mais bem sucedida na resolução de problemas específicos, em áreas bem definidas, em que os especialistas podem articular e definir o conhecimento requerido para tal finalidade. Muitas vezes, os SE's interpretam informações complexas e auxiliam os usuários na tomada de decisão, e podem sugerir solução de um problema, mesmo dispondo de informações incompletas (Travis e Latin, 1991; Yialouris e Sideridis, 1996; Yialouris *et al.*, 1997; Zotti *et al.*, 2001).

Alguns SE's interagem com o usuário por meio de perguntas e respostas exibidas e fornecidas usando dispositivos periféricos adequados. A interação por meio do monitor e teclado foi bastante utilizada nos primeiros SE's (Shortliffe, 1976), face às limitações técnicas da época de 70 em se trabalhar com recursos gráficos. Durante a década de 80, incorporaram-se recursos gráficos na apresentação de alguns SE's, o que proporcionou o desenvolvimento de programas mais atrativos e de utilização mais intuitiva, o que aumentou a eficiência dos SE's em resolver problemas (Plant *et al.*, 1989). Atualmente, na maioria dos SE's há recursos gráficos, fotografias, ilustrações organizadas de forma hierárquica, semelhante a um hipertexto, com a possibilidade de o usuário interagir com o programa apenas com o *mouse* (Carrascal *et al.*, 1995; Lea-Cox *et al.*, 2000; Zotti *et al.*, 2001). Todos esses recursos aumentaram a eficiência dos SE's.

Não há um padrão para construir um SE, porém a maioria contém a base de conhecimento (BC), o mecanismo de inferência (MI) e a interface com usuário (IU). Na BC, há o conhecimento factual dos especialistas e as relações estruturais entre eles. Os fatos são informações obtidas em literatura específica ou adquiridas de um ou mais profissionais (os especialistas), cuja experiência determina como os fatos são utilizados para a solução. O conhecimento, conjunto de fatos e as suas relações, é estruturado no programa de forma a resolver um problema de maneira eficiente. O conhecimento do

especialista pode ser expresso de forma causal, e geralmente depositada nas BC's na forma de regras causais [Se (causas) Então (efeitos)]. Essas regras possibilitam o estabelecimento de cadeias causais de raciocínio, levando aos diagnósticos desejados (Latin *et al.*, 1987). Alguns autores preferem chamar “causas” de “premissas” e “efeitos” de “conclusões” ou “resultados” (Latin *et al.*, 1987; Jackson, 1990; Travis e Latin, 1991; Turban, 1995). Maiores detalhes sobre a representação do conhecimento serão fornecidos no tópico 2.1.3.

O MI contém a lógica geral para resolução dos problemas. Esse componente, apesar não visualizado pelo usuário, é crucial para o SE fornecer conclusões (Latin, *et al.*, 1987), pois é ele quem simula a estratégia de um especialista em resolver um problema, pois procura na BC os fatos mais relevantes e deixa em segundo plano os fatos que a princípio não influenciarão na conclusão (Travis e Latin, 1991; Yialouris e Sideridis, 1996). Durante uma consulta ao sistema, o MI procura na BC condições que sejam satisfeitas com os fatos propiciados pelo usuário. O MI encadeia as regras causais em seqüências lógicas de raciocínio, compatíveis com as seqüências usadas pelos especialistas da área. A satisfação da parte “causal” das regras se dá por consulta direta à base “factual” ou então consultando o usuário externo. A conclusão final é o resultado deste processo de encadeamento lógico promovido pelo MI.

A IU conecta o sistema ao usuário. É o componente do SE que o usuário visualiza e por meio do qual ocorrem trocas de informações entre o usuário e o SE. A IU deve ser a mais amigável possível, para que seja possível, de forma simples e intuitiva, o fornecimento ao SE de informações externas atualizadas sobre um problema, bem como ao SE solicitar por mais detalhes e, ou, exibir as suas conclusões. Maiores detalhes sobre a IU serão fornecidos no tópico 2.1.4.

Outros programas ou metodologias de desenvolvimento podem ser empregados na resolução de problemas, mas não utilizam a arquitetura aqui descrita, o que dificulta e limita a sua construção (Stewart, 1992). Em geral, os programas convencionais de computador são desenvolvidos por programadores que mantêm um contato inicial com profissionais experientes na atividade à qual se destinará o programa (Jackson, 1990). Após esse contato, os programadores desenvolvem o aplicativo completo e o disponibilizam aos usuários. No desenvolvimento dos SE's, o profissional é consultado durante todo o processo de criação, o que contribui para eliminar falhas de comunicação do conhecimento entre o especialista e o programador ou engenheiro do conhecimento (Pozza, 1998; Pinto, 2001). Uma distinção entre os SE's e os programas convencionais é a forma como o aplicativo resolve os problemas: programas convencionais utilizam

algoritmos, enquanto a maioria dos SE's utiliza regras de produção (maiores detalhes serão fornecidos no tópico 2.1.3).

Como exemplo de SE's, tem-se o precursor MYCIN, programa desenvolvido para diagnosticar infecções bacterianas do sangue (Shortliffe, 1976). O reconhecimento da sua eficiência em emitir diagnósticos corretos estimulou pesquisadores das mais diversas áreas, sobretudo na medicina, a projetarem SE's específicos para as respectivas áreas de atuação. Dentre os problemas alvo dos SE's, o diagnóstico tem sido a atividade para qual a maioria dos sistemas é desenvolvida. Na área agrícola, um dos primeiros SE's construído, coincidentemente na fitopatologia, foi o PLANT/ds, desenvolvido para diagnose de doenças da soja (Michalski, 1983). Desde então, vários SE's foram desenvolvidos para diagnósticos de doenças de plantas, como o SE destinado a identificar bactérias associadas a doenças de pós-colheita em frutos e vegetais (Wells *et al.* 1993); o TomEx-UFV para diagnóstico de doenças do tomateiro (Pozza, 1998); e o Doctor Coffee para diagnose de doenças e injúrias do cafeeiro (Pinto, 2001).

Como os SE's são dotados de conhecimento, os benefícios advindos da sua utilização são diferentes daqueles obtidos com os sistemas tradicionais. Dentre as vantagens dos SE's, destacam-se: i – o conhecimento dos especialistas pode ser distribuído para ser utilizado por grande número de pessoas; e ii – um SE pode melhorar a produtividade e desempenho dos usuários, pois provê um vasto conhecimento, o qual certamente, sem o seu uso, demandaria mais tempo de assimilação (Latin *et al.*, 1987).

Outra aplicação dos SE's é o treinamento de grupos de profissionais inexperientes, os quais, ao utilizarem os SE's são expostos às estratégias e conhecimento adotados pelo especialista, na resolução de problemas (Pozza, 1998). Para tanto, na maioria dos SE's está disponível ao usuário a opção de questionar sobre qualquer conclusão fornecida, sendo que, na resposta, são apresentadas as “premissas” da conclusão que foram satisfeitas (Expert Sinta, 2003). Dessa forma, os usuários conseguem assimilar as informações mais relevantes para obterem a solução do problema. Geralmente, essas informações e estratégias não estão disponíveis de forma escrita e são apreendidas pelo especialista após solucionarem muitos problemas. Portanto, em pouco tempo, pessoas inexperientes conseguem adquirir estratégias de solução que só seriam alcançáveis após vários anos de atividade profissional. Por exemplo, pessoas inexperiente na diagnose de doenças do cafeeiro e tomateiro conseguiram, com a utilização de SE's, identificar doenças com exatidão próxima à dos especialistas nas culturas respectivas (Pozza, 1998 e Pinto *et al.* 2001).

Em vista do exposto, pode-se afirmar que, com o desenvolvimento de SE's na área agrícola, é possível aumentar a eficiência de professores e, ou extensionistas, os quais poderão dispor de ferramentas computacionais que condensam a lógica e experiência de especialistas em resolver problemas específicos. Assim, os profissionais terão maior suporte na tomada de decisão e na resolução de problemas de manejo de culturas no ensino.

## **2.1. Desenvolvimento de um sistema especialista**

Em geral, o desenvolvimento de sistemas de computador, é baseado em processos compostos por fases. Em particular, para o SE aqui apresentado, as fases sugeridas foram: seleção do problema, aquisição do conhecimento, representação do conhecimento, programação, teste e avaliação (Travis e Latin, 1991), as quais serão descritas a seguir.

### **2.1.1. Seleção do problema**

Etapa crítica no desenvolvimento de um SE, pois nela identificar-se-á um problema passível de ser resolvido com essa tecnologia. Os SE's têm melhor aplicação em problemas que requerem experiência, conhecimento, julgamento e interações complexas para atingir uma solução (Travis e Latin, 1991). Para esses autores, os principais requisitos na seleção do problema são a sua ocorrência sazonal e a existência de especialistas dispostos a cooperar. Para SE's desenvolvidos na fitopatologia, deve-se também considerar a importância da cultura, o número de doenças e a facilidade em adquirir informações (Pozza, 1998). Adicionalmente, é importante considerar se problemas fitossanitários causam perdas consideráveis no campo. Se essa premissa for verdadeira, o sucesso na implementação de um SE para diagnose de doenças é justificável, pois, com o seu auxílio, o usuário aumenta a sua capacidade de identificar corretamente as doenças, e conseqüentemente, de aplicar medidas de manejo mais efetivas e com maior racionalização no uso de agroquímicos. Este fato é verdadeiro porque os SE's são considerados como fontes de apoio na tomada de decisões na agricultura (Travis & Latin, 1991). Ademais, já se demonstrou a eficiência desses programas na diagnose de desordens em várias culturas (Plant *et al.*, 1989; Latin *et al.*, 1990; Pozza, 1998; Pinto, 2001).

### 2.1.2. Aquisição do conhecimento

O componente principal de um SE é a BC, pois contém os fatos e conhecimentos de um domínio específico utilizados na solução dos problemas (Huggins et al., 1986; Turban, 1995; Walker et al., 1997; Zotti, 2001) e, em linguagem de computação, consiste na representação simbólica do conhecimento do especialista humano (Hayes-Roth e Jacobstein, 1994). Em geral, a BC dos SE's para diagnose de doenças incorpora informações extraídas da literatura e de entrevistas com especialistas (Yialouris & Sideridis, 1996; Pozza, 1998; Pinto et al., 2001). A BC é construída pelos engenheiros do conhecimento, treinados para compilar e organizar as informações dos especialistas e idealizar o sistema. Geralmente, o conhecimento é representado em chaves dicotômicas, por árvores de conhecimento hierárquicas, e dividido em módulos e sub-módulos, segundo o raciocínio do(s) especialista(s) (Pozza, 1998).

A construção da BC é crucial durante o desenvolvimento de SE's. A eliciação do conhecimento (extração de todo o conhecimento do especialista) relevante para o problema, e sua transferência para uma BC, é extremamente complexa. Em sua essência, esta fase nunca termina. No máximo, consegue-se transferir pequena parte do conhecimento do especialista, a qual permite lidar com o problema de forma coerente. O desenvolvimento de uma BC completa, é formalmente impossível de se atingir (Jackson, 1990; Turban, 1995).

### 2.1.3 Representação do conhecimento

Uma vez codificado, o conhecimento é disponibilizado ao SE para ser utilizado na tomada de decisão. A base de conhecimento pode ser representada por regras de produção causais, que consistem de uma condição ou premissa (Se) seguida por uma ação ou conclusão (Então) (Travis e Latin, 1991; Yialouris e Sideridis, 1996).

Durante uma consulta ao SE, a base de conhecimento é pesquisada pelo MI à procura de condições que satisfaçam aos fatos fornecidos pelo usuário. Quando todas as condições de uma regra são preenchidas, esta é avaliada e se executa uma ação, que pode ser uma conclusão ou a solicitação de novos fatos. Com base nas conclusões fornecidas e nos fatos obtidos durante a consulta, o MI determina as questões a serem feitas e sua seqüência. Dependendo da complexidade do problema, as regras podem incorporar outros operadores (E, Ou, Não). Os dois exemplos seguintes, adaptados de

Pozza (1998), ilustram o uso de operadores (Se, E, Ou) que conduzem a uma conclusão (Então):

- i – SE um fungo tem micélio apocítico  
E produz basidiósporos  
ENTÃO é um basidiomicota
- ii – SE um fungo de micélio apocítico produz conídios  
OU escleródios  
E não produz esporos sexuados  
ENTÃO é um fungo mitospórico

Inicialmente, pode-se construir a base de conhecimento com poucas regras. Porém, dependendo da complexidade do ambiente e das necessidades de informações variadas, a base pode ser expandida e conter milhares de regras e fatos (Mendes, 2002).

A utilização de regras é uma diferença entre SE's e programas convencionais. Programas convencionais operam de acordo com algoritmos e os SE's aplicam heurística (Latin, 1987). Os algoritmos são procedimentos formais que levam a soluções corretas, com um nível de segurança elevado para as conclusões. Por outro lado, a heurística contém procedimentos que normalmente resultam em conclusões aceitáveis e coerentes, mas não oferecem a mesma segurança de um algoritmo. As regras dos SE's são representações de heurística, pois incorporam o conhecimento para julgar, regras ou simplificações utilizadas pelos especialistas. Tais diferenças são mais distintas quando se compara a diagnose da murcha bacteriana em melão com um algoritmo (Postulados de Koch) à utilização de regras heurísticas (Quadro 1) .

**Quadro 1** – Diagnose da murcha bacteriana do melão por meio de: **A**-algoritmo e **B**-regra heurística (adaptado de Latin *et al.*,1987)

---

**A**

- O patógeno deve estar associado à planta doente
  - O patógeno deve ser isolado, identificado e cultivado em meio de cultura
  - Plantas sadias devem ser inoculadas com o patógeno proveniente da cultura pura
  - Os sintomas observados nas plantas inoculadas devem ser os mesmos da planta da qual se isolou o patógeno
  - O patógeno deve ser reisolado da planta inoculada e preservar as características culturais
- 

**B**

SE o sintoma é murcha  
E a murcha ocorre rapidamente  
E não há amarelecimento associado às folhas murchas  
E se pus bacteriano pode ser observado pelo corte de pecíolos frescos  
ENTÃO a doença é murcha bacteriana

---

Na diagnose representada (Quadro 1), se se seguirem os Postulados de Koch (algoritmo), a conclusão sobre o agente causal será confirmada com certeza próxima a 100%. Entretanto, se a diagnose for efetuada com base nos sintomas expressos pelo material doente (regra heurística) e se a correlação do conjunto de sintomas e a doença for elevada, a sua identificação terá confiabilidade próxima à obtida com o algoritmo.

Outra característica dos SE's é a possibilidade de justificar as suas ações. Esse fato é importante, pois após entrar no sistema, fornecer todos os parâmetros do problema e obter uma solução, o usuário poderá saber as justificativas do programa para a solução apresentada. Para realizar essa ação, o sistema apresenta os parâmetros da regra que foi selecionada para o problema ao usuário (Latin, 1987; Zotti *et al.*, 2001). Em geral, quando se utiliza um programa convencional, não se obtém explicação para as conclusões obtidas.

Uma característica final e marcante dos SE's é a possibilidade de operarem com dados incompletos. Ao ser questionado pelo SE sobre determinada informação, o usuário pode responder “desconheço” e o SE ainda pode fornecer uma conclusão (Yialouris e Sideridis, 1996; Jeon e Song, 2002). Normalmente, programas convencionais não operam com dados incompletos (Latin, 1987).

#### **2.1.4. Programação**

Sistemas especialistas podem ser escritos em linguagens tradicionais de programação como BASIC, C e FORTRAN, ferramentas de desenvolvimento como o DELPHI<sup>®</sup>, KYLIX<sup>®</sup> ou em linguagens desenvolvidas para aplicações em inteligência artificial como LISP e PROLOG (Travis e Latin, 1991). Outra opção para o desenvolvimento de SE's é a utilização de *shell's* como EXPERT (Latin, 1987), KBMS (Hicks, 2003) e EXPERT SINTA (Expert Sinta, 2003). Os *shell's* são “sistemas esqueletos”, com mecanismo de inferência já existente, onde só o conhecimento específico (regras, parâmetros e seus valores) são codificados pelos engenheiros do conhecimento. Estes sistemas facilitam o desenvolvimento de SE's, mas como são “pré-montados”, podem resultar em um SE com pouca flexibilidade (Latin, 1987).

Em paralelo à programação, desenvolve-se a interface do sistema. A interface interage com o usuário, pois coleta e fornece informações, o que corresponde aos processos convencionais de entrada e saída de dados em um sistema de computação (Silva, 1990), e permite que ele descreva o problema ou os objetivos que deseja alcançar (Latin, 1987; Travis e Latin, 1991; Mendes, 2002). Assim, a interface é um dos grandes

condicionantes do sucesso de um SE, pois mesmo os melhores SE's podem não ser usados se demandarem muito esforço do usuário (Travis e Latin, 1991). Na interface podem-se apresentar perguntas em linguagem corrente (“Qual o tipo de sintoma observado?” ou “Qual a parte da planta afetada?”), e se obterem respostas simples (“A doença é a canela-preta”). Assim, a IU deve ser a mais amigável possível, para facilitar a consulta ao sistema (Ormerod, 1991; Thompson e Schmoldt, 2001).

### **2.1.5. Avaliação**

Concluídas as fases anteriores, é necessário avaliar a consistência interna na lógica e confirmar se o protótipo do SE foi construído segundo as especificações (Travis e Latin, 1991; Latin *et al.*, 1987). Não há metodologia estabelecida para validação dos SE's. A verificação do sistema, conduzida pelos seus construtores, deve-se iniciar pela verificação das regras e do comportamento do protótipo (Travis e Latin, 1991). Nesta etapa, verifica-se a consistência das regras da BC, e se procuram eliminar aquelas ambíguas e repetidas. Nesta etapa, os especialistas podem atribuir fatores de confiança às conclusões. O fator de confiança é uma medida informal da confiança ou da certeza de uma conclusão, com base na evidência ou avaliação de um especialista (Harmon e King, 1985; Jackson, 1990). Concluída essa fase, outras pessoas, além dos engenheiros, testam o protótipo do SE para validar o sistema ou determinar se ele tem desempenho similar ao de um especialista humano. Após essa fase, correções são passíveis de execução, com objetivo de aumentar o grau de acurácia do SE (Latin, 1987; Pozza, 1998).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O desenvolvimento do sistema especialista para diagnose de doenças da batateira foi dividido em cinco fases: i) seleção do problema; ii) aquisição do conhecimento; iii) organização do conhecimento e desenvolvimento do protótipo; iv) desenvolvimento do SE completo; e vi) avaliação (Harmon e King, 1985; Whittaker, 1987; Jackson, 1990; Pozza, 1998).

#### **3.1. Seleção do problema**

Utilizaram-se dois critérios na seleção do problema: ocorrência sazonal e a existência de especialistas na área dispostos a cooperar (Travis e Latin, 1991, Pozza, 1998). Considerou-se, também, a importância da cultura, o número de doenças e a disponibilidade de conhecimento sobre a sintomatologia de doenças disponíveis em literatura.

#### **3.2. Aquisição do conhecimento**

Esta fase foi dividida em duas etapas. Na primeira, realizou-se ampla revisão de literatura, para catalogar as doenças de ocorrência no país e compilar os fatores condicionantes e conjuntos de sintomas de cada doença. Na segunda, realizaram-se entrevistas com seis especialistas em doenças da batateira.

#### **3.3. Organização do conhecimento e desenvolvimento do protótipo**

O conhecimento adquirido foi organizado de forma hierárquica e dividido em módulos. No desenvolvimento do protótipo final, construíram-se várias versões do SE.

Em cada uma, realizou-se a confirmação da lógica interna da árvore de conhecimento, na qual utilizou-se a *shell* Expert Sinta (Expert Sinta, 2003). Na revisão do sistema, cada ramo da árvore de conhecimento foi analisado pelos construtores do sistema, visando encontrar possíveis erros quanto à organização do conhecimento (regras análogas, ambíguas, etc).

### **3.4. Desenvolvimento do sistema especialista completo**

O SE completo foi desenvolvido com base na última versão do protótipo e a sua implementação foi realizada na linguagem Object Pascal, com a utilização do programa Delphi<sup>®</sup>, versão 6.0 (Borland Software Corporation). Fotografias (em formato Bitmap com resolução vertical e horizontal de 199 dpi e 221 e 290 pixels de largura e altura, respectivamente), fatores de confiança e glossários de termos foram incorporados nessa fase.

Para atribuição dos fatores de confiança, todas as regras foram analisadas por um dos especialistas. Para cada regra foi estabelecido um valor entre 0 e 100, na qual 0 simbolizou a total incerteza na conclusão fornecida por uma regra e 100 a certeza daquela conclusão. Regras com fator de confiança inferior a 70 foram excluídas do programa.

### **3.5. Avaliação do sistema especialista**

Na avaliação, utilizaram-se plantas doentes provenientes de áreas de plantio comercial dos municípios de Pouso Alegre e Ipuiuna, MG, cuja diagnose foi realizada previamente em laboratório.

O diagnóstico foi realizado por dois grupos de discentes da UFV com diferentes níveis de conhecimento: i) 18 engenheiro-agrônomo e um engenheiro-florestal, pós-graduandos em Fitopatologia e ii) 35 agronomandos que cursavam as disciplinas Fitopatologia I ou Fitopatologia II.

Os membros do grupo “i” diagnosticaram as doenças de um conjunto de plantas por meio de material bibliográfico e de um segundo conjunto por meio do SE. Os membros do grupo “ii” diagnosticaram todas as doenças utilizando apenas o SE.

Comparou-se o aumento no número de diagnósticos corretos obtidos com e sem a utilização do SE e a diferença de acertos entre graduandos e pós-graduandos.

As críticas, sugestões e o número de acertos dos estudantes e do programa foram catalogados, para posterior análise e possível modificação do programa.

### **3.5.1. Análise estatística**

A porcentagem de acerto dos avaliadores e do SE foi submetida ao teste de hipóteses para comparação de duas proporções, utilizando o software Insight, do Programa SAS<sup>®</sup>, Versão 8.0 (SAS Institute, 1995). Avaliaram-se duas hipóteses: i) não há diferença entre a média de diagnósticos corretos obtidos pelos avaliadores com e sem a utilização do SE; e ii) não há diferença entre a média de diagnósticos corretos obtidos pelos graduandos e pós-graduandos com a utilização do SE.

## **4.RESULTADOS**

### **4.1. Seleção do problema**

Desenvolveu-se um SE para diagnosticar doenças da batateira, por ser a cultura importante, as doenças, na mesma, ocorrerem sazonalmente e diminuírem sua produtividade e a existência de especialistas na diagnose destas doenças dispostos a colaborar. O sistema foi denominado “Sistema Especialista para Diagnose de Doenças da Batateira”, com sigla SEDDB.

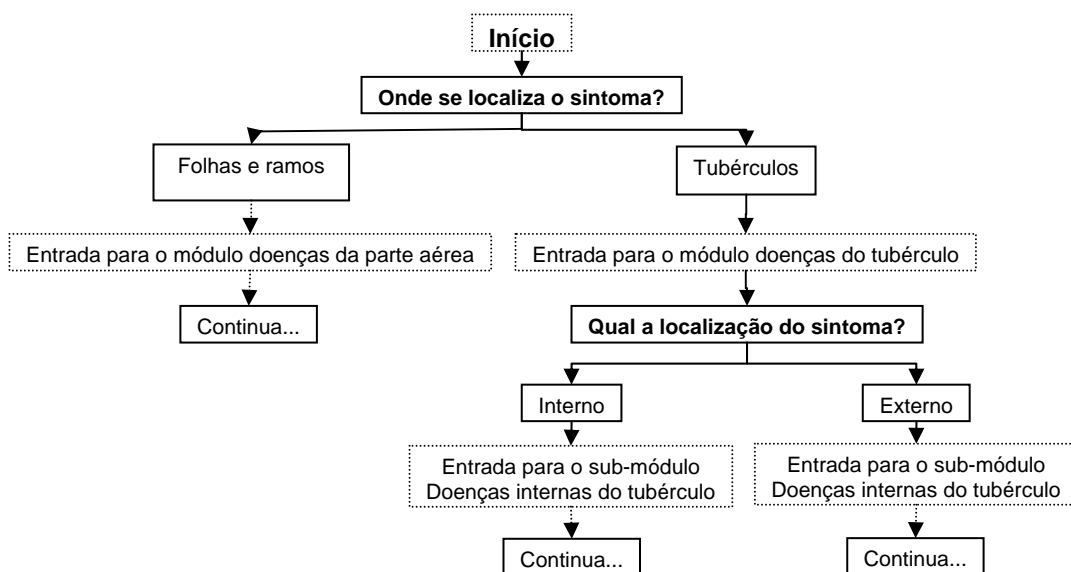
### **4.2. Aquisição do conhecimento**

O conhecimento foi adquirido inicialmente por meio de revisão de literatura, na qual se consultaram periódicos (Fitopatologia Brasileira e Summa Phytopathologica), livros, como o Compêndio de Doenças da Batateira da *American Phytopathological Society* (Hooker, 1981) e manuais de produção de batata e manejo de doenças (Filgueira, 1982; Dias e Iamauti, 1997; Lopes e Quezado-Soares, 1997; Zambolim *et al.*, 2000; Lopes e Quezado-Soares, 2000; Santos, 2000; Fajardo *et al.*, 2000) bem como boletins e circulares técnicas da EMBRAPA (Reifschneider *et al.*, 1989; Lopes e Buso, 1997; Oliveira e Valadão, 1997).

Finda a revisão de literatura, realizaram-se as entrevistas com seis especialistas: Prof. Edson A. Pozza e Dr. Augusto C. S. Pinto (Depto. de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras, MG); Dr. Carlos A. Lopes e Dr. Antonio C. Ávila, (Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, EMBRAPA, Brasília, DF); Prof. David S. Jaccoud Filho (Depto. de Fitopatologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, PR); e o engenheiro agrônomo Emilson Menarim (Cooperativa Castrolanda, Castro, PR).

### 4.3. Organização do conhecimento e desenvolvimento do protótipo

Organizou-se o conhecimento adquirido de forma hierárquica, pela construção de uma árvore de conhecimento (Fig. 1), a partir da qual foram elaboradas as regras que compõem a BC do SE. Essas regras foram utilizadas para criar os protótipos do sistema com a utilização do Expert Sinta (Expert Sinta, 2003). Como o Expert Sinta já contém embutido o MI, foi possível programar, criar as regras, editá-las e verificá-las. O protótipo final do SEDDB foi programado em Delphi® (versão 6.0), e incorpora 60 perguntas, 104 regras, 150 fotografias de órgãos com sintomatologia de doenças, glossário contendo definições de termos e descrição das doenças. Os atributos, regras, glossário e fotografias incorporadas ao sistema auxiliam o usuário na diagnose de 33 doenças bióticas e abióticas (Quadro 2). Nessa fase do desenvolvimento, foi construída a IU (Fig. 2). O sistema foi dividido de acordo com órgão do hospedeiro: inicialmente, o usuário informa onde se localiza o sintoma e, então, pode navegar por dois módulos: i) folha e, ou, ramo; e ii) tubérculos e raízes. A partir daí o usuário é direcionado nos submódulos (Fig. 1).



**Figura 1** – Fluxograma de inicialização do SEDDB.

**Quadro 2 – Doenças bióticas e abióticas diagnosticadas pelo SEDDB.**

<b>Doença</b>	<b>Agente etiológico</b>
Canela-preta	<i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovora</i> , <i>E. carotovora</i> subsp. <i>atroseptica</i> e <i>E. chrysanthemi</i>
Coração-oco	Doença abiótica
Coração-preto	Doença abiótica
Deficiência nutricional	Doença abiótica
Enrolamento-das-folhas	Potato leafroll virus – PLRV
Esverdeamento	Doença abiótica
Fitotoxidez	Doença abiótica
Lesão-em-anel	Potato vírus Y –PVY <sup>NTN</sup>
Mancha-ferruginosa	Doença abiótica
Mosaico-severo	Potato vírus Y – PVY
Mosaico-suave	Potato vírus X – PVX
Murcha-bacteriana	<i>Ralstonia solanacearum</i>
Murcha-de-fusarium	<i>Fusarium</i> spp.
Murcha-de-verticílio	<i>Verticillium</i> spp.
Nematóide-das-galhas	<i>Meloidogyne incognita</i> , <i>M. javanica</i> e <i>M. arenaria</i>
Nematóide-das-lesões	<i>Pratylenchus brachyurus</i> e <i>P. coffeae</i>
Olho-pardo	<i>Cylindrocladium clavatum</i>
Pinta-preta	<i>Alternaria solani</i>
Podridão-aquosa	<i>Pythium ultimum</i> , <i>P. debaryanum</i> e <i>Pythium</i> spp.
Podridão-de-alternaria	<i>Alternaria solani</i>
Podridão-de-sclerotinia	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
Podridão-de-sclerotium	<i>Sclerotium rolfsii</i>
Podridão-Mole	<i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovora</i> , <i>E. carotovora</i> subsp. <i>atroseptica</i> e <i>E. chrysanthemi</i>
Podridão-rosada	<i>Phytophthora erythroseptica</i>
Podridão-Seca	<i>Fusarium</i> spp.
Rachadura	Doença abiótica
Requeima	<i>Phytophthora infestans</i>
Rizoctoniose	<i>Rizoctonia solani</i>
Sarna-comum	<i>Streptomyces scabies</i>
Sarna-prateada	<i>Helminthosporium solani</i>
Sarna-pulverulenta	<i>Spongospora subterrânea</i>
Stress hídrico	Doença abiótica



estatisticamente diferentes entre si ( $P=0,012$ ). Na diagnose realizada apenas com o SEDDB, com os pós-graduandos e os graduandos, obtiveram-se índices de 72,81 e 69,14%, respectivamente, que não diferiram entre si ( $P=0,458$ ).

Considerando-se as 11 doenças diagnosticadas com o SEDDB, obteve-se um incremento médio de 17,79% na frequência de acertos. Maiores percentuais de acerto ocorreram para a sarna-prateada e podridão-seca, 63,64% e 44,32%, respectivamente (Quadro 3). Com a utilização do SEDDB, aumentos significativos na frequência de diagnósticos corretos ocorreram para a: podridão-seca, rizoctoniose e sarna-prateada. Na diagnose do esverdeamento e da rachadura, com o SEDDB obteve-se 100% de índice de acerto. Os índices de acerto nos diagnósticos das demais doenças, com e sem a utilização do SEDDB, não diferiram estatisticamente (Quadro 3).

**Quadro 3** – Proporções de diagnósticos corretos de doenças da batateira realizados com e sem a utilização do SEDDB.

Doença	Proporção de diagnósticos corretos		Incremento na frequência de acerto	z	Prob>Z
	Sem o SEDDB	Com o SEDDB			
Sarna-prateada	0,364	1,000	0,636	- *	-
Podridão-seca	0,375	0,818	0,443	-2,57	0,048
Rachadura	0,727	1,000	0,273	-	-
Rizoctoniose	0,684	0,947	0,263	-2,09	0,036
Sarna-comum	0,500	0,636	0,136	-0,59	0,552
Esverdeamento	0,875	1,000	0,125	-	-
Nematóide-das-lesões	0,250	0,364	0,114	-0,53	0,599
Requeima	0,125	0,182	0,057	-0,34	0,737
Canela-preta	0,727	0,750	0,023	-0,11	0,912
Podridão-mole	0,909	0,875	-0,034	0,24	0,811
PLRV	0,454	0,375	-0,079	0,35	0,729

\* Valores de z não obtidos. O índice de acerto com a utilização do SEDDB foi igual a um.

Considerando-se todas as doenças de tubérculos avaliadas, as proporções de diagnósticos corretos, sem e com o uso do SEDDB foram de 0,628 e de 0,821, respectivamente, estatisticamente diferentes entre si ( $P=0,003$ ). Assim o aumento médio no índice de acerto com o uso do programa foi de 19,3%. Entretanto, para as doenças da parte aérea, não se detectou aumento significativo da proporção de diagnósticos corretos com o uso do SEDDB: sem e com o uso do programa, obtiveram-se 0,316 e 0,263 de proporções de diagnósticos corretos, respectivamente.

## 5. DISCUSSÃO

Etapa crucial na construção de SE's é a aquisição do conhecimento (Harmon e King, 1985; Nurminen *et al.*, 2003), principalmente as entrevistas com os especialistas. Durante as entrevistas, a extração do conhecimento foi facilitada, em vista de o entrevistador (engenheiro do conhecimento) e o entrevistado (especialista) atuarem na mesma área do conhecimento, Fitopatologia. Termos técnicos e a organização da seqüência da diagnose ou do conhecimento eram comuns a ambos, o que ocasionou poucas interrupções durante a explanação do especialista sobre as suas táticas para realizar a diagnose. Esse é um fato relevante, pois para organizar o conhecimento, o especialista demanda concentração e paciência. Interrupções ou discussões profundas devem ser evitadas durante a explanação do especialista, visando amenizar o desgaste e deixar o conhecimento do especialista fluir (Pozza, 1998; Yialouris e Sideris, 1996).

Durante as etapas de construção do SEDDB, todos os especialistas consultados demonstraram disposição em colaborar, empenho e clareza na exposição dos seus conhecimentos, pontos importantes no desenvolvimento de quaisquer sistemas (Edward-Jones, 1992). Yialouris e Sideris (1996) enfrentaram problemas durante a aquisição do conhecimento, como a descrença dos especialistas quanto a diagnósticos realizados por programas de computador (por não entenderem como funcionam) e dificuldades em organizar o conhecimento de forma lógica. Dos seis especialistas consultados para construção do SEDDB, cinco são envolvidos em pesquisa ou ensino e três já participaram no desenvolvimento de SE's para outras culturas. Em vista das atividades que desenvolvem, os especialistas estão acostumados a expor conceitos e idéias de forma clara e objetiva a terceiros. Isso fez com que as entrevistas corressesem sem os problemas enfrentados por Yialouris e Sideris (1996). Conclusões semelhantes, quanto à eficácia das entrevistas, foram descritas por Pozza (1998), que consultou dois especialistas envolvidos em pesquisa e ensino para construir o TomEx-UFV.

Alguns autores desaconselham o uso de mais de um especialista para construir a BC (Jackson, 1990; Turban, 1995). Porém, os relatos quanto à dificuldade de se consultarem especialistas diferentes são conflitantes. Fayet (1987) e Boyd e Sun (1994) tiveram problemas na construção da BC, em vista das diferentes abordagens que os especialistas utilizaram para resolver problemas idênticos. Já Pozza (1998) não encontrou dificuldade em utilizar dois especialistas, pois ambos utilizavam estratégias similares para solução de problemas idênticos. O mesmo fato ocorreu para construir a BC do SEDDB: consultaram-se seis especialistas no desenvolvimento da BC, e todos descreveram estratégias semelhantes. As poucas discordâncias que ocorreram foram dirimidas pelo engenheiro do conhecimento, que comparou as estratégias entre si e utilizou o conhecimento adquirido na revisão de literatura; procedimento sugerido por Jackson (1990) e Turban (1995) quando se opta pela consulta a vários especialistas.

Na construção do SEDDB, organizou-se o conhecimento de forma hierárquica, em fluxogramas, esquema mais empregado na construção de SE's, pois proporciona simplicidade e bons resultados (Yialouris e Sideris, 1996; Pozza, 1998). Simplicidade porque a comunicação entre o engenheiro do conhecimento e o especialista é mais objetiva. O especialista consegue visualizar as seqüências estabelecidas para as diagnoses e organizar de maneira lógica o seu conhecimento, o que gera bons resultados (Yialouris e Sideris, 1996; Pozza, 1998). Nesse contexto, construíram-se vários fluxogramas, até que os especialistas concordassem com o encaminhamento estabelecido. A partir dos fluxogramas, formularam-se as regras e conceberam-se os protótipos. Para construção dos protótipos, a utilização da *Shell ExSinta* (Expert Sinta, 2003) proporcionou rapidez e permitiu verificar, alterar e eliminar de regras ambíguas, contraditórias e repetidas. Assim, foi possível verificar o desempenho do SEDDB a cada nova regra incorporada à BC, isto é, se os diagnósticos fornecidos pelo programa condiziam ao conhecimento fornecido pelo especialista. Essa facilidade em se criar, testa e altera regras foram apontadas como pontos comuns no desenvolvimento de oito SE's implantados e utilizados por longos períodos em diferentes domínios (Nurminen *et al.* 2003). Nesse contexto, para construir o SEDDB, desenvolveram-se 11 versões do protótipo, até chegar à versão final, que foi avaliada por um dos especialistas, o qual concordou com o encaminhamento das consultas.

Durante a programação, procurou-se tornar a IU amigável e intuitiva, o que é desejável para tornar o sistema de fácil uso. Assim, incorporaram-se ao SE um glossário de termos e fotos com a sintomatologia das doenças. Vários construtores de SE's adotaram esse procedimento para obter a versão final (Pozza, 1998; Prado, 2001; Pinto,

2001). Essa incorporação, um dos fatores determinantes no sucesso da adoção dos sistemas (Nurminen *et al.*, 2003), provavelmente será crucial no aumento da interação SEDDB-usuários.

Pronto o SEDDB, procedeu-se à sua validação, etapa ainda tratada com pouca atenção pela maioria dos construtores de SE's. Não existe um padrão estabelecido para o desenvolvimento de SE's, bem como para sua validação. Por exemplo, na validação do SE desenvolvido para o manejo de pulverizações visando o controle de *Botrytis cinerae* em videiras, os critérios não foram bem estabelecidos (Ellison *et al.*, 1998b). Assim, na validação, os autores utilizaram um conjunto histórico de dados e compararam as recomendações do sistema versus àquelas adotadas pelos viticultores. Os autores (Ellison *et al.*, 1998b) concluíram que o sistema foi eficiente porque, pelo seu uso, recomendou-se menor número de pulverizações. Ou seja, embora o SE especialista tenha sido alimentado com dados semelhantes aos que requereria quando implantado, os autores não determinaram o seu sucesso em resolver os problemas. Assim, a indicação de menor número de pulverizações, que no manejo adotado pelos agricultores não implica em menor intensidade de doença no campo e conseqüentemente controle mais eficiente da mesma, objetivo do desenvolvimento do SE. Uma forma de se evitar esse tipo de conclusão é testar o SE nas condições nas quais ele será submetido quando implantado. Bons exemplos de validação foram as adotadas por Pozza (1998) e Pinto (2001). Ambos os autores testaram os SE's desenvolvidos nas condições reais de uso e verificaram a eficiência das soluções sugeridas pelos programas.

Nos testes de validação do SEDDB, cuidou-se para que as condições fossem as mais próximas daquelas nas quais o programa seria submetido quando disponibilizado ao usuário. Nessa perspectiva, os avaliadores analisaram plantas doentes coletadas de campos de plantio comercial, procedimento semelhante ao adotado na validação do TomEx-UFV (Pozza, 1998) e Doctor Coffee (Pinto, 2001).

O índice de acertos do SEDDB foi de 72,8 %, enquanto o de outros SE's para uso em fitopatologia é, em média, acima de 90%. Com o CALEX/Peaches, para diagnose de desordens do pêssigo e nectarina obteve-se freqüência de acertos de 96% (Plant *et al.*, 1989), com o TomEx-UFV, para diagnose de doenças do tomateiro, a freqüência de acerto foi de 95,8% (Pozza, 1998), e com o Doctor Coffee, para diagnose de doenças e deficiências nutricionais do cafeeiro, foi de 96,7% (Pinto *et al.*, 2001). Apesar da aparente menor eficiência do SEDDB, os usuários que testaram os SE's citados não foram expostos a todas as doenças para as quais os SE's foram projetados e,

portanto, nem todo o conhecimento daqueles SE's foi avaliado. Desse modo, não foi possível aos autores validar todos os diagnósticos possíveis de serem emitidos pelos respectivos SE's. O mesmo procedimento ocorreu durante a validação do SEDDB. Como optou-se por realizar a validação com plantas doentes provenientes de campos comerciais, não foi possível dispor de material representativo de todas as doenças as quais o SEDDB destina-se a diagnosticar. Assim, como o índice de acerto não foi estabelecido para os SE's citados e o SEDDB como um todo, não se pode considerar que os demais SE's sejam mais ou menos eficientes. Portanto, apresenta-se o SEDDB como versão Beta (versão operacional de um programa, oferecida a usuários seletos, para que a testem em condições normais de uso e possam reportar defeitos e, ou, dar sugestões) e o mesmo deverá ser alterado e submetido a novas validações, com maior número de doenças, para se assegurar de que se abrangerá toda a sua BC.

Alguns aspectos que, possivelmente, contribuíram para se obter menos de 90% de diagnósticos corretos foram: i-Preservação das plantas utilizadas nas avaliações. Coletaram-se plantas doentes diretamente de campos de cultivo, para tornar as avaliações as mais próximas possíveis das condições que os usuários do programa encontrarão. As plantas e tubérculos foram transportados a UFV e acondicionados em câmara fria (temperatura média de 8°C). As avaliações ocorreram entre dois e cinco dias após a coleta do material. Obtiveram-se os menores índices de acerto na requeima e enrolamento-das-folhas, doenças da parte aérea. Na avaliação, o material já estava senescente, com amarelecimento e murcha, o que pode ter confundido os avaliadores no momento de fornecer informações ao SE. Com os tubérculos, por serem mais resistentes ao armazenamento, não ocorreu este problema; ii-Falhas na sintaxe das perguntas ou no percurso durante o encadeamento das regras. Na avaliação, catalogaram-se perguntas que conduziam a mais de uma interpretação ou falhas no encadeamento das perguntas do sistema para o usuário; iii-Problemas relacionados às fotos. A maioria das fotos do SE enfoca apenas um estágio específico de cada doença, o que gerou dúvidas aos usuários quando respondiam sobre determinados atributos. Esse fato foi notório para a sarna-comum, diagnosticada corretamente em apenas 68% das avaliações. Porém, o sistema foi eficiente em melhorar o desempenho dos avaliadores, proporcionando um aumento médio de diagnósticos corretos de 19,3%.

Durante os testes, questionaram-se os avaliadores quanto as características positivas e negativas do sistema. Um ponto positivo comum levantado foi a facilidade que tiveram em interagir com o programa. Ressaltaram, ainda, a importância das fotos quando precisavam fornecer fatos sobre o material a ser diagnosticado ao programa e a

simplicidade dos comandos utilizados durante a consulta. Curiosamente, o primeiro ponto negativo apontado também foi relacionado às fotos: os avaliadores relataram a necessidade da inclusão de fotos de uma doença em vários estádios de desenvolvimento. O segundo ponto negativo foi relacionado ao glossário, onde os avaliadores apontaram a necessidade de aumentar o número de termos. Ambos os pontos estão sendo alterados e, espera-se, contribuam para aumentar a eficiência do programa.

Obteve-se diferença significativa da frequência de diagnósticos corretos entre usuários com níveis de conhecimento diferentes (graduandos e pós-graduandos), o que indica que o nível de acerto do programa pode ser influenciado pelo nível de conhecimento do usuário.

Efetuar-se-ão modificações no programa e se acrescentarão novas fotos, visando aumentar a precisão nas diagnoses. Novas avaliações serão realizadas, com número maior de doenças, para determinar a melhoria no desempenho do programa. Nestes testes todos os grupos com diferentes níveis de conhecimento realizarão a diagnose com e sem a utilização do programa. Espera-se que, efetuadas as modificações, o SEDDB atinja os objetivos para os quais foi construído.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. 4. ed. San Diego: Academic Press, 1997. 635p.
- AMORIM, L., SALGADO, C. Diagnose. In: BERGAMIN FILHO, A., KIMATI, H., AMORIM, L. Ed. **Manual de Fitopatologia; Princípios e Conceitos**. 3 ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1995. v.1, p.224-235.
- BOYD, D. W., SUN, M. K. Prototyping an expert system for diagnosis of potato diseases. **Computers and Electronics in Agriculture**. Amsterdam, v.10, p. 259-267, 1994.
- CARRASCAL, M. J., PAU, L. F., REINER, L. Knowledge and information transfer in agriculture using hypermedia: a system review. **Computer and Electronics in Agriculture**. Amsterdam, v.12, n.1, p.83-119, 1995.
- CRASWELLER, R. M., TRAVIS, J. W., HEINEMANN, P. H. The future use and development of expert system technology in horticulture. **Horttechnology**, Alexandria, v.3, n.2, p.203-205, 1993.
- CRASWELLER, R. M., TRAVIS, J. W., RAJOTTE, E. G. *et al.* Building expert systems for use by commercial farmers. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.313, p.205-208, 1992.
- DIAS, J. A. C. S., IAMAUTI, M. T. Doenças da batateira (*Solanum tuberosum* L.) In: KIMATI, H., , AMORIM, L., BERGAMIN FILHO, A., CAMARGO, L. E. A., REZENDE, J. A. M. Ed. **Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas**. 3 ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1997. v.2, p.137-164.
- DOLUSCHITZ, R., SCHIMISSEUR, W. E. Expert system. Applications to agriculture and farm management. **Computer and Electronics in agriculture**, Amsterdam, v.2, n.2, p.173-82, 1988.
- EDWARDS-JONES, G. Knowledge-Based Systems for Pest Management: An Applications-Based Review. **Pesticide Science**, v.36, p.143-153, 1992.
- ELLISON, P., ASH, G., McDONALD, C. An Expert System for the Management of *Botrytis cinerea* in Australian Vineyards; I Development. **Agricultural Systems**, v.56, n.2, p.185-207, 1998a.

- ELLISON, P., ASH, G., McDONALD, C. An Expert System for the Management of *Botrytis cinerea* in Australian Vineyards; II Validation. **Agricultural Systems**, v.56, n.2, p.209-224, 1998b.
- EXPERT SINTA. Disponível: site Laboratório de Inteligência Artificial/LIA. URL: <http://www.lia.ufc.br/~bezerra/exsinta/exsintashell.htm>. Consultado em 12 jan. 2003.
- FAJARDO, T. V. M., ÁVILA, A. C., RESENDE, R. O. Doenças causadas por vírus em batata. In: ZAMBOLIM, L., RIBEIRO DO VALE, F. X. COSTA, H. Ed. **Controle de Doenças de Plantas: Hortaliças**. 1 ed. Viçosa, 2000. v. 1, p.269-302.
- FAO. Disponível: site Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <http://www.fao.org>. Consultado em 29 de agosto de 2003.
- FAYET, J. C. An expert system to diagnose carnation diseases. **Acta horticulturae**, Wageningen, n.216, p.141-145, 1987.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de Olericultura**. 1 ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, v.2, 1982. 357p.
- GUIMARÃES, L. S., POZZA, E. A., VALDEBENITO-SANHUEZA, R. M. Desenvolvimento de um sistema especialista para diagnose de doenças da macieira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 36., Uberlândia. **Resumos...**Uberlândia: Associação Brasileira de Fitopatologia, 378p. 2003.
- HARMON, P., KING, D. **Expert systems: artificial intelligence in business**. New York: John Wiley & Sons, 1985. 283p.
- HAYES-ROTH, F., JACOBSTEIN, N. The state of knowledge based systems. **Communications of the ACM**, New York, v.37, n.3, p.26-39, 1994.
- HICKS, R. C. Knowledge base management systems-tools for creating verified intelligent systems. **Knowledge-Based Systems**. v.16, n.3, p.165-171, 2003.
- HOOKER, W. J. **Compendio de enfermedades de la papa**, Lima – Peru, 1981. 125p.
- HUGGINS, L.F., BARRET, J. R., JONES, D. D. Expert systems: concepts and opportunities. **Agricultural Engineering**, St Joseph, v.67, n.1, p.21-23, 1986.
- JACKSON, P. **Introduction to expert System**. California: Addison Wesley Publishing Company, 1990, 526p.
- JEON, W. S., SONG, J. H. An expert system for estimation of fatigue properties of metallic materials. **International Journal of Fatigue**. v.24, p.658-698, 2002.
- JONES, P. Agricultural applications of expert systems concepts. **Agricultural systems**, Oxford, v.31, n.1, p.3-18, 1989.
- LANGOWSKI, J.; LONG, A. Computer systems for the prediction of xenobiotic metabolism. **Advanced Drug Delivery Reviews**. V. 54, p. 407-415, 2002.

- LATIN, R. X., MILES, G. E., RETTINGER, J.C. Expert systems in plant pathology. **Plant Disease**, St. Paul, v.71, n.10, p.866-871, 1987.
- LATIN, R. X., MILES, G. E., RETTINGER, J. C., *et al.* An expert system for diagnosing muskmelon disorders. **Plant Disease**, St. Paul, v.74, n.1, p.83-87. 1990.
- LEA-COX, J. D., MICHAELS, T. D., SINDERMAN, A. B., *et al.* Diagnostic database development - towards expert systems on the web. **Acta Horticulturae**, n.519, p.563-568, 2000.
- LOPES, C. A., BUSO, J. A. Cultivo da Batata (*Solanum tuberosum* L.). **Instruções Técnicas da Embrapa Hortaliças**, Brasília, n.8, 1997, 36p.
- LOPES, C. A., QUEZADO-SOARES, A. M. **Doenças Bacterianas das Hortaliças: Diagnóstico e Controle**. Embrapa Hortaliças, Brasília, 1997, 70p.
- LOPES, C. A., QUEZADO-SOARES, A. M. Doenças causadas por bactérias em batata. In: ZAMBOLIM, L., RIBEIRO DO VALE, F. X. COSTA, H. Ed. **Controle de Doenças de Plantas: Hortaliças**. 1 ed. Viçosa, 2000. v. 1, p.209-250.
- MENDES, R. D. Disponível: Ciência da Informação. URL: <http://dois.mimas.ac.uk/dois/data/juljqbfch.html>. Palavra-chave: inteligência artificial. Consultado em 4 de Janeiro de 2002.
- MICHALSKI, R. S., DAVIS, J. H., BISHT, V. S., *et al.* A computer-based advisory system for diagnosing soybean disease in Illinois. **Plant Disease**, v.67, n.4, p. 459-463, 1983.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Disponível: site Ministério da Agricultura. URL: <http://www.agricultura.gov.br/spa>. Consultado em 25 de junho de 2002.
- NURMINEN, J. K., KARONEN, O., HATONEN, K. What makes expert systems survive over 10 years: empirical evaluation of several engineering applications. **Expert System with Applications**. v.24, p.199-211, 2003.
- OLIVEIRA, C. A. S, VALADÃO, L. T. Manejo da água do solo no cultivo da batata. **Comunicado Técnico da Embrapa Hortaliças**, Brasília, n.3, 1997, 8p.
- ORMEROD, T. C. Marketing of models: the development of usable computer-based systems in applied biology. **Aspects of Applied Biology**, v.26, p.163-174, 1991.
- PINTO, A. C. S. **Sistema especialista para diagnóstico e manejo de problemas fitossanitários e redes neuronais para descrever epidemias da ferrugem do café**, Tese de doutorado, UFLA, Lavras, 2001. 91p.
- PLANT, R. E., ZALOM, F. G., YOUNG, J. A., *et al.* CALEX/peaches, an expert system for the diagnosis of peach and nectarine disorders. **HortScience**, v.24, n.4, p.700, 1989.
- POZZA, E. A. **Desenvolvimento de Sistemas Especialistas e Redes Neuronais e suas Aplicações em Fitopatologia**, Tese de doutorado, UFV, Viçosa, 1998. 139p.

- PRADO, E. V. **Sistema especialista para dimensionamento e seleção de equipamentos para pré-processamento de café**, Tese de mestrado, UFV, Viçosa, 2001, 76p.
- PROCHASKA, J. O., VELICER, W. F., FAVA, J. L., *et al.* Evaluating a population-based recruitment approach and a stage-based expert system intervention for smoking cessation. **Addictive Behaviors**, v.26, p.583-602, 2001.
- PUÑAL, A., ROCA, E., LEMA, J. M. An expert system for monitoring and diagnosis of anaerobic waster treatment plants. **Water Research**, v.36, p.2656-2666, 2002.
- REIFSCHNEIDER, F. J. B., LOPES, C. A., COBBE, R. V. Manejo integrado das doenças de batata. **Circular Técnica do CNPHortaliças**, Brasília, n.7, 1989. 16p.
- SANTOS, M. A. Doenças causadas por nematóides em batata. In: ZAMBOLIM, L., RIBEIRO DO VALE, F. X. COSTA, H. Ed. **Controle de Doenças de Plantas: Hortaliças**. 1 ed. Viçosa, 2000. v. 1, p.251-268.
- SAS Institute. SAS/Insight User's guide. Version 6. 3<sup>rd</sup> ed. Cary, NC, SAS Institute Inc., 1995. 582 p.
- SHORTLIFFE, E. H. **Computer based medical consultation, Mycin**, New York: Elsevier publications, 1976. 264p.
- SILVA, C. A. B. Sistemas especialistas para economistas rurais: potencial e relevância. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.28, n.2, p.155-174, 1990.
- STEWART, T. M. Diagnosis, a microcomputer-based teaching aid. **Plant disease**, St. Paul, v.76, n.6, p.644-647, 1992.
- THOMSON, A. J., SCHMOLDT, D. L. Ethics in computer software design and development. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 30, p.85-102, 2001.
- TRAVIS, J. W., LATIN, R. X. Development, implementation, and adoption of expert systems in plant pathology. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.29, p.343-360, 1991.
- TURBAN, E. **Decision support and expert systems: Management support systems**. New York, Macmillan, 1995. 833p.
- WALKER, D. H., SINCLAIR, F. L. JOSHI, L., AMBROSE, B. Prospects for the use of corporate knowledge bases in the generation, management and communication of knowledge at a frontline agricultural research center. **Agricultural systems**, Oxford, v.54, n.3, p.291-312, 1997.
- WELLS, J. M., BUTTERFIELD, J. E., REVEAR, L. G. Identification of bacteria associated with postharvest diseases of fruits and vegetables by cellular fatty acid composition: An Expert System for personal computers. **Postharvest Pathology and Mycotoxins**, v.83, n.4, p.445-455, 1993.

- WHITTAKER, A. D. JONES, D. D., THIEME, R. H. *et al.* Guidelines for getting start with expert systems. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v.68, n.5, p.24-27, 1987.
- YIALOURIS, C. P., PASSAM, H. C., SIDERIDIS, A. B., *et al.* VEGES - A multilingual expert system for the diagnosis of pests, diseases and nutritional disorders of six greenhouse vegetables. **Computers and Electronics in agriculture**, v.19, p.55-67, 1997.
- YIALOURIS, C. P., SIDERIDIS, A. B. An expert system for tomato diseases. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.14, p.61-76, 1996.
- ZAMBOLIM, L., RIBEIRO DO VALE, F. X. COSTA, H. Doenças causadas por fungos em batata. In: ZAMBOLIM, L., RIBEIRO DO VALE, F. X. COSTA, H. Ed. **Controle de Doenças de Plantas: Hortaliças**. 1 ed. Viçosa, 2000. v. 1, p.173-208.
- ZOTTI, M., ZAPPATORE, S., CAVIGLIA, A. M., *et al.* A decision support system for the management of accidental mushroom and plant poisoning. **IL Farmaco**, v.56, p.391-395, 2001.