

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE
APOIO À DECISÃO PARA A DIAGNOSE DE
DOENÇAS, PRAGAS E DISTÚRBIOS
ABIÓTICOS DOS CITROS**

CLEILSON DO NASCIMENTO UCHÔA

2007

CLEILSON DO NASCIMENTO UCHÔA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA
A DIAGNOSE DE DOENÇAS, PRAGAS E DISTÚRBIOS ABIÓTICOS
DOS CITROS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Fitopatologia, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2007

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Uchôa, Cleilson do Nascimento.

Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para a diagnose de doenças, pragas e distúrbios abióticos dos citros / Cleilson do Nascimento Uchôa. -- Lavras : UFLA, 2007.

44 p.: il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2007

Orientador: Edson Ampélio Pozza

Bibliografia.

1. Citrus. 2. Doença. 3. Praga. 4. Diagnóstico. 5. Suporte à decisão. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD–634.30494

CLEILSON DO NASCIMENTO UCHÔA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA
A DIAGNOSE DE DOENÇAS, PRAGAS E DISTÚRBIOS ABIÓTICOS
DOS CITROS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Fitopatologia, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADO em 25 de julho de 2007

Dr. Pedro Takao Yamamoto

FUNDECITRUS

Prof. Dr. Eduardo Alves

UFLA

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
UFLA
(ORIENTADOR)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2007

Aos meus pais, Francisco e Luzia.
Aos meus irmãos, Cleyton, Cleidiane e Cleisiane.

OFEREÇO

“Sou de uma terra que o povo padece, mas não esmorece e procura vencer.
Da terra da linda cabocla, que de sorriso na boca zomba do sofrer.
Não nego meu nome, não nego meu sangue.
Olho para fome e pergunto: o que há?
Sou brasileiro, filho do Nordeste.
Sou cabra da peste, sou do Ceará.”
Patativa do Assaré
AO POVO CEARENSE, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Fitopatologia, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Fundo de Defesa da Citricultura, pelo apoio.

Ao Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza, pela amizade e a orientação.

Ao Dr. Renato Beozzo Bassanezi, pela preciosa contribuição na elaboração do sistema e pela co-orientação.

Ao Dr. Marcel Bellato Spósito e Dr. Pedro Takao Yamamoto, pela contribuição e paciência na construção da base do conhecimento do sistema.

Aos eternos amigos, Regina, Marcos, Cynthia, Renata, Heliel, Kleber, Alexandre, Antonio Dimas, Luis Carlos, Alisson Galeno, Fábio Costa, Beatriz, Leandro de Paula e Tomil, pela amizade.

Aos amigos, conterrâneos, aqui em Lavras: Keline, Helena, Jean, Aníbal Coutinho, Lívia, César, Virna e Niná, pela amizade.

Aos amigos e bolsistas Alexandre e Jorge, pela grandiosa colaboração durante a execução dos trabalhos.

Aos amigos do curso de pós-graduação, Franklin, Hermínio, Leonardo Girão, Janine, Regiane, Luciane, Renata, Grazielle, Márcia, Eudes, Jadir, Deila, Alex, Ângelo e Juliano, pelas sugestões e amizade.

A todos que fazem o Departamento de Fitopatologia da UFPA, obrigado.

A todos que participaram da avaliação do sistema, obrigado.

Ao povo mineiro e à cidade de Lavras, pela hospitalidade, obrigado.

A toda a minha família, pelo carinho e paciência, obrigado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE TABELAS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1. Principais problemas com doenças nos citros	3
2.2. Sistemas de apoio à decisão	6
2.3 Sistemas de apoio à decisão na fitopatologia	9
2.4 Sistemas de apoio à decisão no Brasil.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1. Desenvolvimento do protótipo	14
3.1.1. Aquisição, organização e codificação do conhecimento.....	14
3.1.2. Teste e revisão do protótipo	14
3.2. Desenvolvimento do sistema de apoio à decisão.....	15
3.3. Avaliação do sistema de apoio à decisão	15
3.4. Análise estatística.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 Aquisição do conhecimento	17
4.2 Organização do conhecimento	18
4.3 Desenvolvimento do SAD completo.....	24
4.4 Avaliação	28
4.4.1 Verificação	28
4.4.2 Validação	31
5 CONCLUSÕES	35
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Exemplo da “árvore do conhecimento” do “Dr. Citrus”.....	18
FIGURA 2 Fluxograma da página inicial de diagnose do SAD “Dr. Citrus”.....	19
FIGURA 3 Tela inicial da diagnose do “Dr. Citrus”, com seis opções.	25
FIGURA 4 Imagem ampliada.	26
FIGURA 5 Detalhe da barra de ferramentas do ‘Dr. Citrus’.....	26
FIGURA 6 Tela inicial do "Dr. Citrus".	27
FIGURA 7 Tela de diagnose do "Dr. Citrus".	27
FIGURA 8 Gráfico da avaliação dos usuários na validação do "Dr. Citrus".	34

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 Exemplos de SAD desenvolvidos em fitopatologia.	10
TABELA 2 Doenças diagnosticadas com o auxílio do “Dr. Citrus”.	20
TABELA 3 Pragas diagnosticadas com o auxílio do “Dr. Citrus”.	21
TABELA 4 Distúrbios abióticos diagnosticadas com o auxílio do “Dr. Citrus”.	22
TABELA 5 Verificação do programa “Dr. Citrus”, realizado por cinco especialistas em citros.	29
TABELA 6 Porcentagem de diagnósticos corretos e teste Qui-quadrado para a verificação e validação do “Dr. Citrus”.	33

RESUMO

UCHÔA, Cleilson do Nascimento. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para a diagnose de doenças, pragas e distúrbios abióticos dos citros.** 2007. 42 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. *

A produtividade média na citricultura é de 22 t/ha, considerada baixa se comparada com outros países produtores. Entre os fatores responsáveis por essa produtividade estão principalmente, às doenças e às pragas. O diagnóstico preciso e confiável é fundamental para o controle das doenças, além de evitar aplicações desnecessárias de defensivos agrícolas, pois o tratamento fitossanitário representa a maior parte dos gastos na produção. A informática oferece algumas soluções, entre elas o emprego de sistemas de apoio à decisão (SAD), um ramo da inteligência artificial, para disponibilizar o conhecimento e reduzir possíveis erros de diagnose e manejo. Para disponibilizar o conhecimento acumulado e divulgá-lo de forma eficiente, este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos: i) construir uma base de conhecimentos para diagnóstico de doenças bióticas e abióticas; ii) desenvolver e implementar o SAD e iii) avaliar o sistema. O conhecimento foi adquirido por meio de entrevistas, com especialistas do Fundo de Defesa da Citricultura (FUNDECITRUS) e, para complementar, foram consultadas literaturas específicas sobre os citros. No desenvolvimento do SAD foi construída a interface em ambiente atual (Windows XP Home Editor), com fotografias e um comando de ajuda e termos técnicos na área, para possibilitar o uso amigável do programa. O SAD foi construído utilizando-se a ferramenta 'Borland Delphi' versão 5. Foram formuladas 562 perguntas, 322 regras e anexadas fotografias para facilitar o diagnóstico de 34 doenças, 40 pragas e 34 distúrbios abióticos. A avaliação do SAD foi dividida em três fases: verificação, validação e análise de sensibilidade. Na verificação, o SAD foi submetido a uma análise por meio de questionário a especialistas em citros. A validação do programa foi realizada por quatro grupos, de diferentes níveis de conhecimento (10 pessoas/grupo), tentando diagnosticar corretamente. Obteve-se um acerto de 45,6% dos usuários e 93,6% do SAD. O sistema foi denominado Dr. Citrus.

* Comitê Orientador: Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza – UFLA (Orientador); Dr. Renato Beozzo Bassanezi – Fundecitrus (Co-orientador).

ABSTRACT

UCHÔA, Cleilson do Nascimento. **Development of decision support system for diagnosis of citrus diseases, pests, and abiotics factors**. 2007. 42 p. Dissertation (Master in Phytopathology) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

The Citrus average of yield is 22 ton/ha, which is considered low when compared to other producer countries. This is mainly due to the effects of plagues and diseases. A precise and liable diagnosis is therefore fundamental for the citrus disease control, besides avoiding unnecessary applications of pesticides, which one of the highest components in the total production cost. Computerized systems offer some solutions, is the use of a Decision Support System (DSS), a branch of the artificial intelligence, used to provide knowledge and reduce possible errors in diagnosis and management. In order to provide the knowledge and experience accumulated and disseminate it, in an efficient manner, the objectives in this research work were: i) Construct a solid knowledge basis to be used in the diagnosis of abiotic a biotic plant diseases; ii) Develop and implement a Decision Support System (DSS) and iii) Test and evaluate the system. The basic knowledge and experience was acquired by means of interviews with specialists from Fund for Citrus Plant Protection (FUNDECITRUS), and to complement the necessary information, specific literature about Citrus diseases were also consulted. For the development of the Citrus DSS, an interface in actual environment was constructed (Windows XP Home Editor), with photographs and a help command with technical terms in the specific area, to enable an easy access to the program. The DSS was made with the aid of the 'Borland Delphi' tool version 5. A total of 562 questions were formulated, with 322 rules, besides including photographs to help in the diagnosis of the 34 diseases, 40 pests and 34 abiotics factors. The evaluation of DSS was divided in three distinct phases: verification and validation. In the verification phase, DSS was submitted to an analysis by means of a questionnaire submitted to citrus specialists. The validation phase of the program was conducted by four groups of people, with different knowledge levels (10 people/group), trying to provide the correct diagnosis. The results accounted for a 45,6% of correctness of the interviewed people and a 93,6% when using the DSS. The system was nominated Dr. Citrus.

* Guidance Committee: Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza – UFLA (Adviser); Dr. Renato Beozzo Bassanezi – Fundecitrus (Co-adviser).

1 INTRODUÇÃO

A citricultura é uma das principais atividades agrícolas no mundo, são encontradas plantas cítricas em uma ampla faixa compreendida entre os paralelos 44° N e 41° S, concentrando a maior produção nas regiões subtropicais (Donadio et al., 2005). A laranjeira é a principal planta cítrica, sendo as variedades mais plantadas a Pêra, Natal, Valência e Hamlin.

O Brasil e os Estados Unidos são os principais produtores mundiais, seguidos pelo México e a China. Atualmente, os maiores produtores no país estão na região Sudeste, principalmente o estado de São Paulo com cerca de 73,5% da produção nacional. O estado de Minas Gerais produz 4,6% da produção nacional, sendo a região do Triângulo Mineiro a maior produtora, com 15% da área e da produção do estado (Estanislau, 2001).

Apenas a cana-de-açúcar e a pecuária têm rendimento maior que a cadeia produtiva da laranja, que movimentava 3,8 bilhões de dólares e gera 500 mil empregos diretos (IBGE – Censo 2004; Tomazela & Xavier, 2004). O Brasil em 2005, exportou 1.777.599 toneladas de suco concentrado de laranja, gerando 1,1 bilhão de dólares (Parizzi, 2006). Mas, a produtividade de 22 t/ha é considerada baixa, se comparada com outros países produtores (Astua-Monge et al., 2004), sendo essa baixa produtividade devido principalmente aos problemas fitossanitários.

Existem mais de 40 doenças e 70 pragas nessa cultura, além de distúrbios fisiológicas e deficiências nutricionais, responsáveis por causar centenas de sintomas, os quais associados, podem gerar dúvidas sobre a correta diagnose e, conseqüentemente, o melhor manejo. O conhecimento acumulado nos vários anos de pesquisa em diagnose e manejo da cultura dos citros precisa ser disponibilizado de forma estruturada para os profissionais envolvidos no controle de doenças e pragas, para que seja explorado de forma eficiente e não

se perca ao longo do tempo. Os erros de diagnose e manejo da cultura podem proporcionar aplicação indesejável de defensivos agrícolas e outros insumos, com prejuízos para o meio ambiente, além de aumentar os gastos com a cultura, reduzir o lucro e causar perdas para todos os segmentos da sociedade, principalmente pela queda na entrada de divisas no país.

Para que ocorra o diagnóstico correto, são necessários o treinamento e o conhecimento dos principais sintomas das doenças do citros, diferenciando-os dos distúrbios abióticos e de outras doenças que possam apresentar sintomas semelhantes, além de conhecer os insetos vetores dessas doenças. A informática é uma ferramenta capaz de auxiliar na identificação dos principais problemas fitossanitários dos citros.

Os sistemas de apoio à decisão (SAD) podem proporcionar o acúmulo e a estruturação do conhecimento já existente e divulgar as novas pesquisas em andamento na diagnose e manejo de doenças de citros, além de realizar com eficiência o diagnóstico, as recomendações de manejo e incluir um nível de confiança a ser depositado na resposta do programa.

Todo o conhecimento obtido dos especialistas pode ser acessado via CD-ROM e/ou mídia impressa e, dessa forma, ser consultado por profissionais de extensão, alunos de graduação e pós-graduação em agronomia. As informações e as pesquisas desenvolvidas nas universidades e centros de pesquisas tornam-se acessíveis.

Diante do exposto este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos:
i) construir uma base de conhecimentos para diagnóstico de doenças bióticas e abióticas; ii) desenvolver e implementar o SAD e iii) avaliar o sistema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Principais problemas com doenças nos citros

Os citros são plantas perenes da família das rutáceas, originárias das regiões tropicais e subtropicais da Ásia e do arquipélago malaio. No Brasil foram introduzidos, na Bahia, pelos colonizadores, formando na região Nordeste os primeiros pomares. Por volta de 1880, o estado do Ceará chegou a exportar algo em torno de 30 a 50 mil caixas/ano de laranja para a Inglaterra (Amaro, 1973). Na mesma época, o United States Department of Agriculture (USDA) levou a primeira muda de laranja do estado da Bahia para Riverside, na Califórnia, sendo mantida até hoje como um monumento nacional e considerada a mais valiosa introdução de uma planta frutífera feita nos Estados Unidos.

Desde o início da sua exploração a citricultura foi acometida de vários e graves problemas devido às doenças. Um dos fatores que interromperam o comércio entre o Ceará e a Inglaterra foi o péssimo estado em que os frutos que chegavam aos portos ingleses (Amaro, 1973), provavelmente por causa de podridões pós-colheita (*Penicillium* sp., etc).

O porta-enxerto laranja-doce (*Citrus sinensis* L. Osbeck) era o mais utilizado nos pomares nacionais até o início do século XX, entretanto, problemas com a sua suscetibilidade à gomose (*Phytophthora* sp.) forçaram o uso de porta-enxertos mais resistentes, como a laranja Azeda (*Citrus aurantium* L.). Mas, no final da década de 1930, com a chegada da tristeza-dos-citros (*Citrus tristeza virus*-CTV), doença à qual a laranja Azeda é suscetível, foi preciso substituí-la por outros porta-enxertos tolerantes (Bergamin Filho & Kimati, 1995).

O cancro cítrico (*Xanthomonas axonopodis* pv *citri* (Hasse) Vauterin) foi responsável por dizimar dois milhões de árvores, só em 1957, quando apareceu. Logo após sua detecção oficial, por não ter controle e pelo histórico da doença em outros países, foi iniciada a campanha nacional de erradicação do

cancro cítrico (CANECC) (Rosseti, 2001; Belasque Júnior et al., 2006). Em 1996, com a introdução da larva-minadora (*Phyllocnistis citrella* Stainton) no Brasil, a dispersão do cancro cítrico nos pomares aumentou, dificultando ainda mais seu controle (Wruck & Oliveira, 2001; Rodrigues Neto et al., 2004). A verrugose (*Elsinoë* sp.) tem sintomas muito semelhantes aos do cancro cítrico, sendo diferenciada por apresentar uma lesão com saliência em uma face da folha correspondendo a uma reentrância na outra face, enquanto o cancro cítrico apresenta lesões salientes nos dois lados da folha.

Em 1980, foi relatada no país a mancha ou pinta-preta dos citros (*Guignardia citricarpa* Kiely), causando lesões em ramos, folhas e frutos. Os frutos com pinta-preta são restringidos para a exportação (Aquilar-Vildoso et al., 2002), além de reduzir o comércio entre os estados da federação em que essa doença é considerada quarentenária. A doença apresenta seis diferentes sintomas que recebe o nome de acordo com sua característica, podendo ser confundida com a presença do ácaro-da-falsa-ferrugem (*Phyllocoptruta oleivora* Ashm.) e com a melanose dos citros (*Diaporthe citri* Wolf.).

Outra doença fúngica importante é a mancha-marrom-de-alternaria (*Alternaria alternata* (Fr.) Kiessler), sendo mais agressiva à variedades de tangerinas, causando queda de folhas e seca de ramos e a formação de pústulas nos frutos. Foi relatada em 2001 no Rio de Janeiro e em 2003 nos outros estados produtores (Spósito et al., 2006). Quando esta doença afeta folhas dos porta-enxertos de limoeiros Rugoso e Cravo, recebe o nome de mancha-foliar-de-alternaria (*A. alternata*).

A clorose variegada dos citros (CVC) (*Xylella fastidiosa* Wells) está presente no Brasil desde do início da década de 1990, provocando perdas anuais de 100 milhões de dólares e, certamente, os danos seriam maiores se não fosse o plantio de mudas saudáveis, a poda ou erradicação de plantas sintomáticas e o controle químico das cigarrinhas (*Acrogonia citrina* Marucci & Cavichioli,

Bucephalagonia xanthophis Berg, *Dilobopterus costalimai* Young, *Oncometopia facialis* Signoret, etc.) que são vetores da bactéria da CVC (Lopes et al., 2004). A leprose (*Citrus leprosis virus*) é uma doença virótica, não sistêmica, que atinge, principalmente, a laranja doce. Está presente no Brasil desde de 1933, sendo sua transmissão realizada pelo ácaro da leprose (*Brevipalpus phoenicis* Geijskes). Ataques severos debilitam a planta e reduzem a sua vida útil. Estima-se que os gastos com o ácaro da leprose (*B. phoenicis*) e com o ácaro-da-falsa-ferrugem (*P. oleivora*) representam 50% dos gastos com o tratamento fitossanitário dos pomares cítricos (Rosseti, 2001).

Um determinado sintoma observado na planta pode ser característico de várias doenças, como é o caso da perda de brilho das folhas, que é um sintoma comum entre o declínio (etiologia desconhecida), a morte súbita (etiologia desconhecida) e a tristeza do citros (CTV). É necessário observar outros sintomas para diferenciar as três doenças.

No ano de 2004, em pomares paulistas foram detectados os primeiros casos de huanglongbing, ou greening (*Candidatus Liberibacter* sp.), considerada a doença mais destrutiva dos citros, podendo afetar todas as cultivares (Colletta-Filho et al., 2004; Lopes, 2006). Os sintomas de huanglongbing podem ser confundidos com deficiência nutricional (zinco, magnésio, manganês ou cobre) e até com outras doenças, como CVC e gomose. A transmissão pode ser por borbulhas e mudas contaminadas ou por psilídeos (*Diaphorina citri* Kuwayama).

Para o controle eficiente dessas doenças é necessário um diagnóstico precoce e confiável, diminuindo, dessa forma, as aplicações de defensivos agrícolas e as perdas na produção. O treinamento para o reconhecimento dos muitos sintomas é imprescindível, já que a semelhança entre algumas doenças pode gerar dúvidas na diagnose. Essas dúvidas podem ser amenizadas com a consulta a um especialista, que pode não estar acessível a todo o momento. A

documentação do conhecimento do especialista é difícil e demorada, mas pode ser resumida e oferecida em forma de um sistema de apoio à decisão.

2.2. Sistemas de apoio à decisão

O sistema de apoio à decisão (SAD) é uma ferramenta para auxiliar os não-especialistas na tomada de decisões. Ele utiliza o conhecimento humano capturado em computador para resolver problemas que requerem especialistas. É um auxiliar inteligente, um consultor para diversos usuários e um meio de preservar o conhecimento, tornando-o acessível a todos (Turban, 1998; Pozza, 1998; Pinto, 2001; Guimarães, 2004).

Os SADs podem utilizar a inteligência artificial (IA) para lidar com informações tanto qualitativas quanto quantitativas, argumentações confusas e métodos empíricos que posam gerar soluções. O matemático Jonh MacCarthy, em 1956, foi o primeiro a utilizar o termo “Inteligência Artificial”, que é uma técnica computacional que executa tarefas realizadas por seres humanos e desempenha atividades associadas à inteligência humana, como a aprendizagem, a adaptação, a autocorreção e o poder de decisão. Entretanto, a inteligência artificial não substitui o homem, pois é uma ferramenta para auxiliar a tomada de decisão (Pozza, 1998; Gonzalez & Dankel, 1993).

Existem três áreas em que a IA pode atuar: a robótica, a compreensão da linguagem natural e os sistemas especialistas (SE) (Luconi et al., 1991). Os SE aplicam a técnica de IA e conhecimento em problemas específicos e simulam a atuação de especialistas. A diferença entre o SE e o SAD está na capacidade do primeiro em empregar o autoconhecimento para raciocinar sobre os seus próprios processos de inferência, providenciando explicações e justificativas para as conclusões apresentadas (Genaro, 1986). Qualquer sistema capaz de dar algum tipo de contribuição ou fornecer informações no processo decisório é considerado um SAD (Binder, 1994; Sprague & Watson, 1991).

Na década de 1960 tentou-se compreender a linguagem do computador como a linguagem do ser humano, sendo obviamente impossível, pois a linguagem do homem não vem apenas da razão, mas de toda a sua percepção sensorial e lógica. Nos anos 1970, concluiu-se que não seria possível a representação, por uma máquina, do pensamento humano. Na mesma época, os computadores alcançavam avanços no armazenamento de dados e na velocidade de processamento; assim, a inteligência artificial (IA) teve suas primeiras aplicações práticas com os sistemas de apoio à decisão (SAD) que, por meio de regras para tomada de decisões, tenta imitar o conhecimento humano. Na década de 1980, houve a consolidação e a ampliação da IA e dos SADs (Gongora, 2007). Atualmente, os SADs são desenvolvidos em computadores pessoais, bem menores, de fácil transporte, como os “notebooks”, facilitando a utilização desses sistemas (Pozza, 1998; Pinto, 2001; Guimarães, 2004).

A estrutura da maioria dos SADs inclui a interface com o usuário, o mecanismo de inferência e a base de conhecimento (Turban, 1998). A interface corresponde aos processos convencionais de entrada e saída de dados nos sistemas computacionais, em linguagem corrente e amigável, apresentando perguntas e respostas simples e diretas, e assim facilitar o seu uso por usuários de vários níveis de conhecimento. O mecanismo de inferência usa a base de conhecimento para as resoluções dos problemas e a base de conhecimento é a representação simbólica do conhecimento do especialista (Pinto, 2004; Pozza, 1998; Silva, 1990).

O uso de SAD é justificável nas seguintes situações: i) para preservar o conhecimento de um especialista, que pode se aposentar, mudar de trabalho ou falecer; ii) disseminar o conhecimento do especialista para não-especialistas em outras regiões geográficas por meio de programa computacional; iii) para enriquecer a conclusão sobre determinada decisão e iv) para treinamento (Edward-Jones, 1993). As limitações são: i) o conhecimento não está

prontamente disponível; ii) é difícil adquirir o conhecimento de humanos; iii) a avaliação da situação, por especialista, pode ser diferente, ainda que correta; iv) usuários do SE têm limites naturais cognitivos, ou seja, são fornecidas mais informações que se pode assimilar e v) o vocabulário dos especialistas pode não ser entendido pelos usuários (Turban, 1998).

No desenvolvimento do SAD devem ser seguidas as seguintes fases: seleção do problema, aquisição do conhecimento, representação do conhecimento, programação, teste e avaliação (Travis & Latin, 1991). O diagnóstico de doenças atende às exigências para construir um SE, pois eles ocorrem sazonalmente no campo e necessitam de um especialista humano.

Selecionado o problema, a aquisição do conhecimento é a fase mais crítica, pois exige que o engenheiro do conhecimento faça entrevistas com especialistas reconhecidos na área de estudo, além de pesquisas em livros, base de dados e arquivos de fotografias (Alves, 2006; Guimarães, 2004; Pinto, 2001).

A representação do conhecimento é feita por meio da confecção da “árvore do conhecimento”, utilizando-se o sistema de regras, que consiste de uma premissa ou condição (SE) seguida de uma ação ou conclusão (ENTÃO) (Travis & Latin., 1991; Pozza, 1998).

Exemplo:

SE a folha apresenta lesão saliente e corticosa

E está nas duas faces da folha

ENTÃO a doença é cancro cítrico

Na avaliação do sistema são observadas a qualidade da interface, a correção do raciocínio e a qualidade da decisão gerada, sendo dividida em verificação e validação. A verificação é feita por especialistas, que procuram confirmar a veracidade da lógica interna do sistema de acordo com seus

conhecimentos, assim garantindo o bom funcionamento do mecanismo de inferência. Na validação do SAD é verificada a sua estrutura e se é apropriado para ser utilizado pelo público alvo.

O SAD é utilizado em diversas áreas, como medicina, exploração mineral, química, na área militar, bancária e agricultura (Liao, 2005; Pasqual & Mansfield, 1988; Huggins et al., 1986).

Na agricultura, a tomada de decisão é complexa, pois envolve fatores como solo, clima, nutrição e sanidade, dentre outros. O conhecimento dos especialistas, especialmente sobre manejo de doenças e pragas, pode ser ordenado e resumido em um sistema de apoio à decisão ou sistema especialista (Pinto, 2001), pois, nem todo agricultor ou técnico tem informação de alta qualidade para tomar decisões no manejo de doenças e pragas.

2.3 Sistemas de apoio à decisão na fitopatologia

Na fitopatologia, a computação estabeleceu-se como importante ferramenta na simulação, modelagem e previsão de doenças. Segundo Canteri et al. (1999), a tecnologia da informação pode ser aplicada na fitopatologia para produzir e interpretar informações para o conhecimento e usá-lo para apoio na tomada de decisão, além de fazer previsões, treinamento, armazenar e disseminar informações.

Nos últimos anos vários SADs foram desenvolvidos para a fitopatologia, principalmente na diagnose de doenças (Tabela 1). O BLITECAST (Krause et al., 1975) foi o pioneiro na área. Baseado nas condições climáticas, esse sistema faz a previsão da ocorrência da sarna da macieira. Já o PLANT/ds (Michalski et al., 1981) foi um dos primeiros SADs construídos para a identificação de doenças, diagnosticando 17 doenças da soja. Esses SADs foram desenvolvidos em computadores de grande porte, o que dificultava sua avaliação e implementação.

TABELA 1. Exemplos de sistemas de apoio à decisão desenvolvidos em fitopatologia. UFLA, Lavras, MG, 2007.

Cultura	Nome do sistema	Referência
Abacaxi	Diana	Perrier (1991)
Abóbora	--	Shipp (1993)
Ameixa	---	Kable (1991)
Avelã	Halzpest	Drapek (1990)
Batata	PDPRO	Boyd & Sun (1994)
Café	Doctor Coffee	Pinto (2001)
Café	CEPEST	Mansingh (2007)
Cereais	--	Battilani (1993)
Cravo	Carnation expert	Fayet (1987)
Frutas/hortaliças	--	Wells et al. (1993)
Floretas	Foreshealth	Nash et al. (1992)
Hortaliças	--	Vandermaas (1992)
Maçã	PSAOC	Travis et al. (1992)
Maçã	POMME	Roach et al. (1987)
Maçã	Apple pest and disease diagnosis	Kemp et al. (1988)
Maçã	AppLES	Guimarães (2004)
Manga	Amrapalika	Prasad et al. (2006)
Melão	MDMS	Latin et al. (1990)
Milho	Maize	Heinemann et al. (1992)
Pêssego/nectarina	Calex/Peaches	Plant et al. (1989)
Milho	--	Hocine & Tamine (1988)
Soja	Plant/DS	Michalski et al. (1983)
Tomate	--	Yalouris et al. (1996)
Tomate	TomEx	Pozza (1998)
Trigo	EPINFORM	Caristi et al. (1987)
Trigo	WDCA	Shtienberg et al. (1990)
Trigo	COUNSELLOR	Jones (1988)
Trigo	MORECROP	Cu & Line (1994)
Videira	UVA	Nardir et al. (1988)
Videira	GRAPES	Saunders et al. (1987)
<i>Botrytis cinerea</i>	--	Ellison et al. (1998)

Com os avanços da tecnologia e o progresso dos SADs a linguagem computacional modernizou-se, permitindo o desenvolvimento de outros sistemas. O sistema MDMS (Latin et al., 1990) para identificação de doenças do meloeiro foi inovador, pois foi um dos primeiros programas a incluir fotografias coloridas e o nível de confiança na conclusão da diagnose. O MoreCrop é um SAD desenvolvido nos EUA para o manejo de doenças do trigo, baseado em mais de 30 anos de dados de manejo da cultura, epidemiologia e controle (Cu & Line, 1994). O CALEX/peaches (Plant, 1989) realiza o diagnóstico, por meio de 600 regras, de 120 desordens do pêssigo e nectarina, representando os problemas que ocorrem na Califórnia. O IPPM (Koumpouros, 2004) é uma ferramenta de diagnóstico interativo para a identificação de pragas e doenças via internet. Esse sistema utiliza fotografias com ótima resolução, para a identificação de 11 problemas com doenças, pragas e deficiências em culturas diversas. O diagnóstico “on-line” pode ser complementado com análise laboratorial, principalmente para as deficiências e fitotoxicidades. O CPEST (Mansingh, 2006) foi desenvolvido para o manejo de doenças e pragas para o café na Jamaica. Por meio de informações de clima, topografia, tipo de solo, práticas agrônômicas, tecnologia de produção, biologia e potencial de ataque das pragas, oferece opções de controle e nível de dano econômico. O AMRAPALIKA (Prasad, 2006) foi desenvolvido na Índia para o diagnóstico de 14 problemas com doenças, pragas e desordens na produção de manga. O sistema executa o diagnóstico a partir das respostas dos usuários, que relatam os sintomas que estão sendo observados.

Para doenças dos citros existem, o CitrEX, o LimEX e o CitPath. Os dois primeiros foram desenvolvidos no Egito pelo Central Laboratory of Agricultural Expert Systems (CLAES), com o objetivo de auxiliar o manejo de doenças e pragas na laranja e no limão, respectivamente, ajudando produtores a tomarem decisões no manejo da irrigação e tratos culturais. O sistema CitPath foi desenvolvido na Flórida, com uma extensa revisão de literatura e

completando as informações com fotos de doenças, desordens e pragas. Nesse sistema fez-se excelente uso da capacidade gráfica, o que auxilia o usuário a entender as questões formuladas pelo SAD e a respondê-las (Ferguson et al., 1995; Travis & Latin, 1991). É exclusivo para problemas naquele estado norte-americano.

2.4 Sistemas de apoio à decisão no Brasil

Poucos SADs foram desenvolvidos no Brasil, apesar das vantagens que eles podem proporcionar. O BRAMA (Lima & Arvanitis, 1994) é um SAD interativo no qual o usuário fornece informações sobre a área florestal (espécie e dimensão, por exemplo), o manejo e os custos. Além disso, o programa estima o tempo da primeira colheita, a mortalidade das árvores por hectare e o valor acumulado das árvores removidas.

Para a pecuária, Souki et al. (1998) desenvolveram o PROFIT 2.0, que auxilia no manejo de rebanhos, na reprodução, além de gerar mapas para a comparação da atividade ano a ano. O SATNER (Miserani, 2002) é um SAD para auxiliar na produção de bovinos de corte da raça Nelore, na tomada de decisão sobre qual a melhor fase para vender um lote de animais com o maior lucro possível.

Na determinação da aptidão agrícola dos solos, Fernandes et al. (1999) desenvolveram um sistema que utiliza SAD e SIG (sistema de informações geográficas) para a confecção de mapas temáticos de uso da terra.

Dos sistemas de apoio à decisão desenvolvidos em fitopatologia no Brasil a primeira aplicação dessa tecnologia foi em 1998, por Pozza (1998). O sistema, denominado 'TomEX', contém 78 perguntas, 116 regras, 87 fotografias e realiza o diagnóstico de 37 doenças do tomateiro.

Em 2001, o 'Doctor Coffee' foi desenvolvido para a diagnose de doenças, deficiência, pragas e nematóides do cafeeiro. O sistema contém 229

regras, 182 fotografias e realiza o diagnóstico de 13 doenças, 8 deficiências nutricionais e 9 pragas. Além disso, o sistema contém glossário com termos técnicos, histórico, filmes e ajuda on-line (Pinto, 2001). Guimarães (2004) desenvolveu um SAD para o diagnóstico de 32 doenças bióticas e 5 abióticas da macieira denominado “ApplES”. Esse sistema é composto por 133 perguntas, 76 regras e fotos em anexo para facilitar a diagnose. Também possui um glossário com termos técnicos.

Alguns sistemas de apoio à decisão estão sendo desenvolvidos e colocados à disposição na internet. A Embrapa Trigo desenvolveu um sistema que permite ao usuário utilizar uma base de conhecimento, a fim de auxiliá-lo no processo de controle de doenças do trigo e da cana-de-açúcar e um *software* hipermídia, disponíveis na página: <http://www.uepg.br/~deinfo/infoagro> (Canteri et al., 1999). A Embrapa Informática Agropecuária, em parceria com a Embrapa Milho e Sorgo, desenvolveu um SAD para o diagnóstico de doenças do milho que pode ser acessado na página: <http://www.cnptia.embrapa.br/projetos> (Massruha et al., 1999).

O Postbloom Fruit Drop of Citrus (PFD-FAD) foi desenvolvido por Peres et al. (2006). É um SAD disponível na rede que prediz a necessidade de aplicar fungicida baseado nos relatos anteriores de podridão floral dos citros (*C. acutatum*) na área, suscetibilidade do hospedeiro, o estágio fenológico da flor, histórico de chuvas, duração do molhamento foliar e o tempo desde a última aplicação de fungicida. Nos testes realizados no estado de São Paulo, utilizando-se o PFD-FAD, obteve-se uma economia de US\$47/ha. Esse programa pode ser acessado no seguinte endereço: <http://it.ifas.ufl.edu/disc/pfd>, na internet.

3 MATERIAL E MÉTODOS

No desenvolvimento do sistema de apoio à decisão, foram utilizadas três fases distintas: i) desenvolvimento do protótipo, ii) desenvolvimento do sistema completo e iii) avaliação (Harmon & King, 1985; Whittaker, 1987; Jackson, 1990).

3.1. Desenvolvimento do protótipo

O sistema foi desenvolvido no Departamento de Fitopatologia (DFP) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e nas instalações do Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus) em ambiente PC.

Para a construção do sistema e da interface foi utilizado o programa DELPHI versão 5.0 client/server[®], além de outros programas de apoio como o pacote Office da Microsoft[®], Corel Draw[®] e Photoimpact[®].

3.1.1. Aquisição, organização e codificação do conhecimento

O conhecimento foi adquirido por meio da literatura especializada sobre os citros e de entrevistas, com três especialistas (dois fitopatologistas e um entomologista) do Fundecitrus (Evans, 1988, Firlej & Helens, 1991). O conhecimento foi organizado de forma hierárquica, dividido e codificado por meio de regras. Ao mesmo tempo, foi construída uma base de dados com fotografias de sintomas de doenças, pragas e distúrbios abióticos de plantas cítricas.

3.1.2. Teste e revisão do protótipo

Após a construção de cada versão do sistema, foi realizado um teste, para confirmar a lógica interna da árvore de conhecimento. Na revisão do

sistema, cada um dos ramos foi averiguado pelos construtores, com o objetivo de encontrar possíveis erros.

3.2. Desenvolvimento do sistema de apoio à decisão.

Nesta etapa, a última versão do protótipo foi utilizada para a construção da interface. Além disso, foi extraído dos especialistas e dos membros da equipe de desenvolvimento o fator de confiança depositado em suas respostas, de acordo com o conhecimento de cada especialista.

As fotografias e o comando de ajuda, com a definição de termos específicos em fitopatologia e entomologia, também foram incorporados ao programa nessa fase.

3.3. Avaliação do sistema de apoio à decisão

Para a avaliação do sistema, foram realizadas a verificação e a validação, segundo as metodologias citadas por Geissman & Schultz (1988) e Harrison (1991), com modificações, segundo os cenários a serem avaliados.

Na verificação, o SAD foi submetido a uma análise por meio de questionário a cinco especialistas em doenças e pragas do citros. O teste para diagnose foi realizado com 18 cenários de plantas doentes, atacadas por pragas ou com sintoma de deficiência. O agente etiológico e as causas da deficiência ou do distúrbio fisiológico foram previamente identificados. Os especialistas realizaram o diagnóstico e imediatamente usaram o programa até obterem uma resposta acompanhada de um nível de confiança. As críticas, as sugestões e o número de acertos do especialista e do programa foram catalogados para análise, modificação e para aprimorar a lógica interna.

A validação do programa foi realizada com quatro grupos (10 pessoas/grupo) de diferentes níveis do conhecimento: i) estudantes de graduação em agronomia que cursaram a disciplina fitopatologia; ii) engenheiros

agrônomos, estudantes de pós-graduação em Fitopatologia; iii) engenheiros agrônomos, estudantes de pós-graduação em outras áreas e iv) citricultores, consultores (engenheiros agrônomos e técnicos agrícolas) e monitores de campo. Cada um dos grupos analisou no mínimo 10 problemas (bióticos e abióticos), previamente identificados. O procedimento do teste foi o mesmo utilizado na verificação.

A validação ainda teve uma segunda fase, que foi realizada por meio de questionário aplicado aos participantes da 29^a Semana de citricultura, no período de 11 a 15 de junho de 2007, realizada na cidade de Cordeirópolis, São Paulo, que visitavam o *stand* do Fundecitrus. Os visitantes foram convidados a utilizar o sistema e a responder três perguntas: “Como você avalia o programa?”, “Qualidade das fotos, painéis e questões elaboradas?” e “Você usaria o programa para realizar a diagnose?”. As respostas para as duas primeiras questões eram: ótimo, bom, regular ou péssimo. Para a terceira pergunta a resposta era sim ou não. Após a consulta, forneceram críticas e sugestões para reestruturar o programa.

3.4. Análise estatística

A porcentagem de acerto do SAD para diagnose de doenças do citros na validação e na verificação foi submetida ao teste de Qui-quadrado:

$$\chi^2 = \sum_i^n \frac{(F_{O_i} - F_{E_i})^2}{F_{E_i}}$$

em que: F_{O_i} = frequência observada ou porcentagem de acerto do SAD,

F_{E_i} = frequência esperada (90% de acerto).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Aquisição do conhecimento

Para o desenvolvimento do SAD, a informação foi adquirida por consulta a livros, boletins de pesquisa, circulares técnicas, consulta à internet e periódicos existentes sobre a cultura dos citros, além de entrevistas com especialistas do Fundecitrus, Dr. Renato Beozzo Bassanezi (Fitopatologista), Dr. Marcel Bellato Spósito (Fitopatologista) e Dr. Pedro Takao Yamamoto (Entomologista). O fato de o entrevistador e os entrevistados pertencerem à mesma área de conhecimento facilitou o procedimento, pois os termos técnicos e a organização da seqüência da diagnose ou do conhecimento foram comuns para ambos (Alves, 2006; Guimarães, 2004; Pinto, 2001; Pozza, 1998).

Uma das dificuldades nessa fase, a mais complexa no desenvolvimento do SAD (Edward-Jones, 1993), é o fato de os especialistas discordarem de alguns termos durante a construção da árvore do conhecimento (Boyd e Sun, 1994; Fayet, 1987). Portanto, as discussões devem ser evitadas para que o conhecimento flua, pois o entrevistado necessita de ambiente favorável para organizar o seu conhecimento (Pozza, 1998). Outra dificuldade é o especialista não conversar ou expor seu conhecimento por meio de vocabulário formulado em regras, podendo ter dificuldades em explicar como chegar à solução de um problema ou ao diagnóstico de uma doença.

Para facilitar a identificação dos sintomas foi preparada uma tabela que separava os sintomas das principais doenças, pragas e distúrbios abióticos dos citros. O engenheiro do conhecimento teve certa dificuldade na identificação das doenças, pragas e distúrbios abióticos dos citros, devido à falta de experiência no manejo dessa cultura. Guimarães (2004) relata que a experiência do engenheiro do conhecimento com a cultura na construção do AppLES foi importante para reduzir o tempo despendido nessa fase da construção do

programa, tendo sido utilizadas 40 horas para a aquisição do conhecimento. Em seu trabalho, Pinto (2001) relata que essa dificuldade é minimizada com a consulta a diversas fontes, como manuais, livros técnicos, revistas e conversas com especialistas. Foram consumidas 120 horas entre entrevistas e aquisição de informação nessa fase.

4.2 Organização do conhecimento

O conhecimento adquirido foi organizado em fluxogramas, formando a árvore dicotômica (Figura 1).

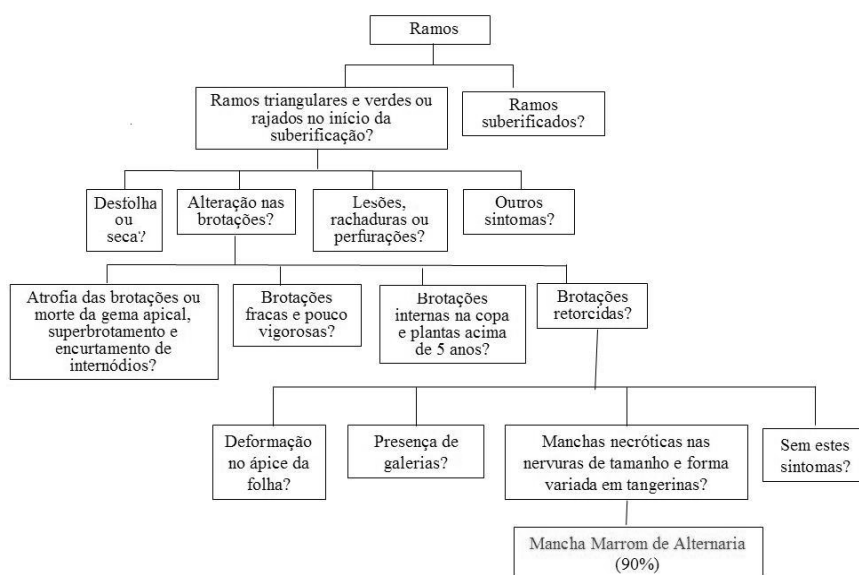


FIGURA 1. Exemplo do módulo ramos da “árvore do conhecimento” do “Dr. Citrus”. UFLA, Lavras, MG, 2007.

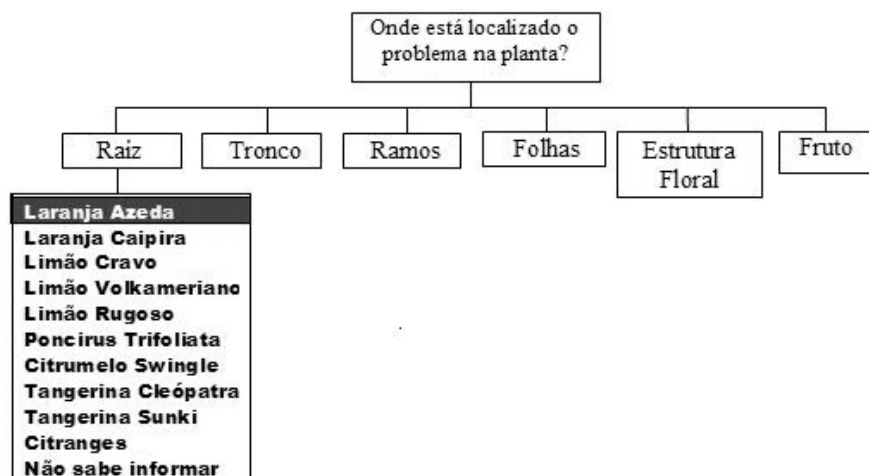


FIGURA 2. Fluxograma da página inicial de diagnose do SAD “Dr. Citrus”. UFLA, Lavras, MG, 2007.

O SAD foi dividido em módulos, de acordo com o órgão vegetativo da planta (Figura 2): raiz, tronco, ramos, folhas, estrutura floral e fruto.

Foram formuladas, aproximadamente, 562 perguntas, 322 regras e anexadas fotografias para facilitar o diagnóstico. Com o uso do programa é possível realizar o diagnóstico de 34 doenças (Tabela 2), 40 pragas (Tabela 3) e 34 problemas abióticos (deficiências nutricionais e distúrbios fisiológicos) (Tabela 4).

O sistema de apoio a decisão foi denominado “Dr. Citrus”.

Para auxiliar a diagnose nos módulos da raiz e do tronco, estes foram divididos em submódulos, de acordo com o porta-enxerto utilizado (Figura 2). A escolha do porta-enxerto tem influência em várias características da planta. Diversas doenças, como gomose, tristeza e declínio, estão relacionadas com a intolerância do porta-enxerto utilizado (Carlos et al., 1997).

TABELA 2. Doenças diagnosticadas com o auxílio do “Dr. Citrus”. UFLA, Lavras, MG, 2007.

Doença (Nome vulgar)
Antracnose (<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>)
Bolor verde e bolor azul (<i>Penicillium</i> sp.)
Cancro citrícola (<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>citri</i>)
Clorose variegada dos citros (<i>Xylella fastidiosa</i>)
Declínio (agente etiológico desconhecido)
Descamamento da casca de tangor murcote (<i>Dothiorella gummosis</i>)
Exocorte (<i>Citrus exocortis viroid-cevd</i>)
Feltro ou camurça (<i>Septobasidium</i> spp.)
Fumagina (<i>Capnodium citri</i>)
Galha-lenhosa (vírus)
Gomose e podridão parda (<i>Phytophthora</i> sp.)
Greening ou huanglongbing (<i>Candidatus liberibacter</i> spp.)
Leprose dos citros (<i>Citrus leproses virus-cilv</i>)
Mancha areolada (<i>Thanatephorus cucumeris</i>)
Mancha graxa (<i>Mycosphaerella</i> sp.)
Mancha marrom de alternaria (<i>Alternaria alternata</i>)
Mancha foliar de alternaria (<i>Alternaria alternata</i>)
Melanose (<i>Diaporthe citri</i>)
Morte súbita dos citros (agente etiológico desconhecido)
Nematóide dos citros (<i>Tylenchulus semipenetrans</i>)
Nematóide (<i>Pratylenchus</i> spp.)
Pinta preta dos citros (<i>Guignardia citricarpa</i>)
Podridão negra (<i>Alternaria alternata</i>)
Podridão amarga (<i>Geotrichum citri-aurantii</i>)
Podridão floral dos citros (<i>Colletotrichum acutatum</i>)
Podridão peduncular (<i>Lasiodiplodia</i> sp.)
Podridão peduncular (<i>Phomopsis</i> sp.)
Podridão peduncular (<i>Diaporthe citri</i>)
Rubelose (<i>Erythricium salmonicolor</i>)
Sarampo (agente etiológico desconhecido)
Sorose (<i>Citrus psorosis virus-CPsV</i>)
Tristeza dos citros (<i>Citrus Tristeza Virus-CTV</i>)
Verrugose (<i>Elsinoe</i> sp.)
Xiloporose ou cachexia (<i>Citrus viroid III-CVd-III</i>)

TABELA 3. Pragas diagnosticadas com o auxílio do “Dr. Citrus”. UFLA, Lavras, MG, 2007.

Praga (Nome vulgar)
Ácaro-branco (<i>Polyphagotarsonemus latus</i>)
Ácaro-da-falsa-ferrugem (<i>Phyllocoptruta oleivora</i>)
Ácaro-da-leprose (<i>Brevipalpus phoenicis</i>)
Ácaro das gemas (<i>Eriophes sheldoni</i>)
Ácaro-mexicano (<i>Tetranychus mexicanus</i>)
Ácaro purpúreo (<i>Panonychus citri</i>)
Ácaro-texano (<i>Eutetranychus banksi</i>)
Besouro das flores (<i>Macroductylus pumilio</i> e <i>Euphoria lurida</i>)
Besouros de raiz (<i>Naupactus tarsalis</i> , <i>N. versatilis</i> e <i>P. fluctuosos</i>)
Broca do tronco e do ramo (<i>T. toracicus</i> , <i>M. accentifer</i> e <i>D. rotundicolle</i>)
Bicho-furão (<i>Ecdytolopha aurantiana</i>)
Cigarrinhas (várias)
Cochonilha (várias)
Escama-farinha (<i>Unaspis citri</i> e <i>Pinnaspis aspidistrae</i>)
Esperança (Orthoptera)
Formigas (<i>Atta</i> spp. e <i>Acromyrmex</i> spp.)
Abelha-cachorro, irapuá ou arapuá (<i>Trigona spinipes</i>)
Lagarta-das-folhas (<i>Heraclides</i> spp. e outras)
Lagarta-das-flores (várias espécies)
Lagarta-dos-frutos (várias espécies)
Minadora dos citros (<i>Phyllocnistis citrella</i>)
Mosca-branca (<i>Aleurothrixus floccosus</i> e <i>Dialeurodes citrifolii</i>)
Mosca-das-frutas (<i>Ceratitis capitata</i> , <i>Anastrepha</i> spp. e <i>Neosilba</i> spp.)
Ortézia (<i>Orthezia praelonga</i>)
Parlatória (<i>Parlatoria cinerea</i>)
Parlatória preta (<i>Parlatoria ziziphus</i>)
Percevejo (<i>Leptoglossus gonagra</i> e <i>Playtylus bicolor</i>)
Psilídeo (<i>Diaphorina citri</i>)
Pulgão-do-algodoeiro (<i>Aphis gossypii</i>)
Pulgão-preto (<i>Toxoptera citricida</i>)
Pulgão-verde (<i>Aphis spiraecola</i>)
Tripes (<i>Frankliniella insularis</i> e <i>Heliothripes haemorrhoidalis</i>)
Vaquinha (<i>Diabrotica speciosa</i>)

TABELA 4. Distúrbios abióticos diagnosticadas com o auxílio do “Dr. Citrus”.
UFLA, Lavras, MG, 2007.

Distúrbios abióticos
Deficiência de boro (B)
Deficiência de cálcio (Ca)
Deficiência de cobre (Cu)
Deficiência de ferro (Fe)
Deficiência de fósforo (P)
Deficiência de magnésio (Mg)
Deficiência de manganês (Mn)
Deficiência de nitrogênio (N)
Deficiência de potássio (K)
Deficiência de zinco (Zn)
Excesso ou fitotoxicidade de manganês (Mn)
Excesso ou fitotoxicidade de boro (B)
Fitotoxicidade
Fitotoxicidade de biureto
Frio ou <i>chilling</i>
Granizo ou chuva de pedra
Incompatibilidade
Salinidade
Colapso do mesófilo
Quimera
Seca ou estresse hídrico
Queda fisiológica
Temperaturas altas
Vento
Queimadura de sol
Adubo
Espinhos
Creasing
Oleocelose
Atraso na colheita
Excesso de produção
Excesso de nitrogênio
Podridão estilar
Porta-enxerto limão-rugoso

Os módulos de ramos, folhas e frutos também foram divididos em submódulos, de acordo com a idade fenológica dos ramos e das folhas e do

estádio de maturação do fruto: “Ramos triangulares e verdes ou rajados no início da suberificação?” ou “Ramos suberificados?”; “Folhas novas ou imaturas?” ou “Folhas maduras?” e “Fruto jovem (até 3cm de diâmetro)?”, “Fruto verde (acima de 3 cm de diâmetro)?” ou “Fruto maduro?”. No submódulo “Fruto maduro?” realizou-se ainda uma divisão, de acordo com a localização dos sintomas: “Sintomas externos nos frutos?” ou “Sintomas internos nos frutos?”.

O módulo “Estrutura Floral” é o menor do “Dr. Citrus”. Sua diagnose é baseada na alteração de cor das pétalas, na retenção do cálice e nos danos provocados por insetos.

Para continuar a diagnose a partir do órgão selecionado, foram considerados os sintomas mais comuns (lesão, mancha, podridão, desfolha, etc.) e as características dessas lesões (cor e forma).

Em diversos SADs, a divisão por módulos, de acordo com o raciocínio do especialista, é utilizada para facilitar o desenvolvimento do programa. Fayet (1987), que desenvolveu um SAD para 50 desordens no cravo, fez a divisão baseada na etiologia do problema: a) doenças causadas por fungos, bactérias ou vírus; b) problemas com insetos, nematóides ou ácaros e c) problemas causados por erros no cultivo. Nesse tipo de divisão, é necessária a identificação prévia do agente etiológico, às vezes somente possível em laboratório, da observação da presença de insetos, nematóides ou ácaros e do histórico do manejo da área.

O “Dr. Coffee” (Pinto, 2001) fez a divisão de acordo com o estágio da cultura, ou seja: a) mudas em viveiro, b) formação da lavoura e c) plantas em produção. Essa divisão restringe doenças que ocorrem somente no viveiro, como o tombamento de mudas (*Rhizoctonia solani*) ou que são predominantes na fase de produção, como a ferrugem (*Hemileia vastatrix*) nas folhas ou frutos. Sanches et al. (1993), para doenças na cultura do arroz, e Boyd & Sun (1994), no diagnóstico de doenças na cultura da batata, também utilizaram a divisão baseada no estágio fenológico da planta.

A divisão em módulos de acordo com o órgão da planta afetado foi utilizada por diversos SADs, como AppLES (2004), TomEX (1998), Diana (1991), CALEX/Peaches (1989), etc. O “Dr. Citrus” utilizou esse tipo de divisão, pois é possível diagnosticar doenças que são específicas a determinado órgão da planta, ou que possam ocorrer em vários órgãos, como os sintomas do cancro cítrico, que podem aparecer nos ramos, folhas e frutos, assim podendo atender a diferentes necessidades do usuário.

Os especialistas participaram integralmente no desenvolvimento e no desenho do “Dr. Citrus”, o que, segundo Guimarães (2004), aumenta a chance de sucesso do programa. O tempo gasto nesta fase foi de 380 horas.

4.3 Desenvolvimento do SAD completo

O “Dr. Citrus” foi desenvolvido em ambiente Windows, com base na árvore do conhecimento. A interface do programa foi desenvolvida para ser o mais amigável possível, o que depende da linguagem escolhida. O DELPHI é uma ferramenta de desenvolvimento que tem uma quantidade de recursos gráficos e de banco de dados (Guimarães, 2004). Por isso esta foi a linguagem utilizada no “Dr. Citrus”, o que possibilitou a incorporação de diversas fotografias associadas à descrição do sintoma e, assim, o usuário faz a sua escolha e clicando em cima da imagem, pode realizar a diagnose. Com o intuito de tornar o programa o mais prático e amigável possível, foram colocadas de duas a seis opções por tela (Figura 3). No canto superior de cada imagem há um ícone, em forma de lupa, que amplia a fotografia (Figura 4), melhorando sua visualização.

A possibilidade de visualizar os sintomas por meio das fotografias torna o SAD uma importante ferramenta de ensino em fitopatologia (Pozza, 1998; Yialouris & Sideridis, 1996; Latin et al., 1990; Plant et al., 1989). A descrição dos sintomas junto com a fotografia procura auxiliar o usuário na realização do

diagnóstico, simulando o raciocínio lógico do especialista. Pozza (1998) resalta que o uso do maior número de fotografias auxilia no entendimento dos conceitos e diminui a margem de erros na diagnose.

O programa oferece uma opção na página inicial (Figura 6) contendo informações sobre características dos principais porta-enxertos utilizados na citricultura nacional, identificação das principais pragas quarentenárias e a história dos citros no Brasil, além da opção com informações das doenças, pragas e distúrbios abióticos dos citros abordados no programa. Também na página inicial tem a barra de ferramenta (Figura 5) tornando mais rápido o uso do SAD.

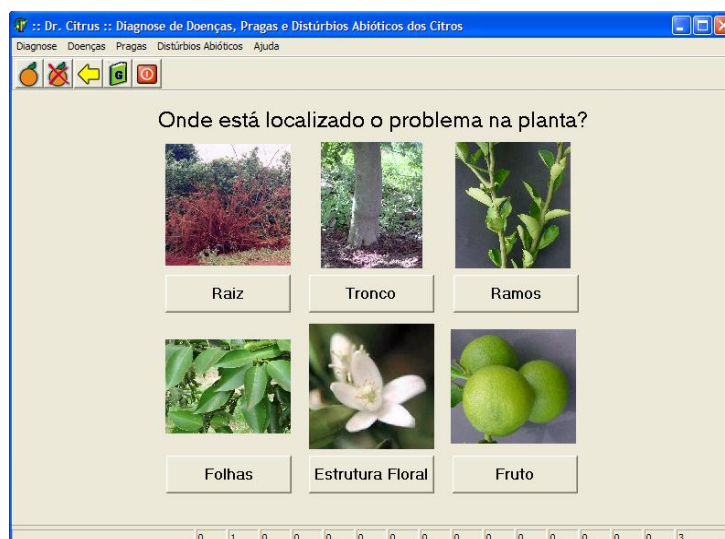


FIGURA 3. Tela inicial da diagnose do “Dr. Citrus”, com seis opções. UFLA, Lavras, MG, 2007.

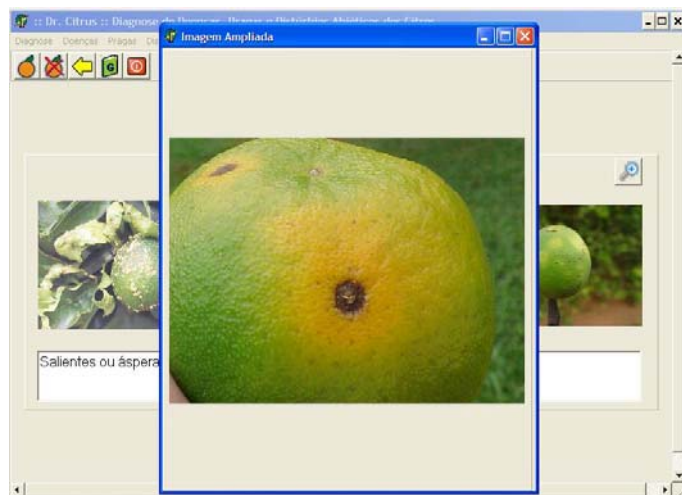


FIGURA 4. Imagem ampliada do sintoma do cancro citríco. UFLA, Lavras, MG, 2007.

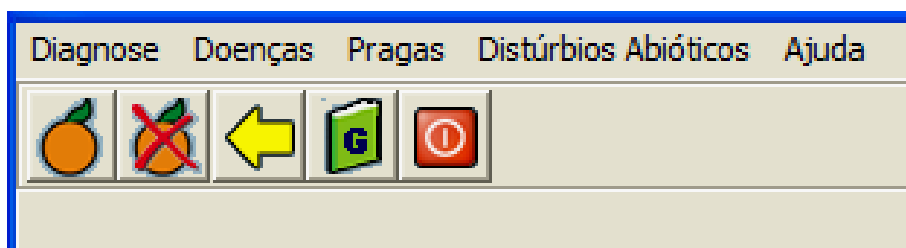


FIGURA 5. Detalhe da barra de ferramentas do 'Dr. Citrus'. UFLA, Lavras, MG, 2007.

Ao chegar ao painel de resposta da diagnose, o usuário, clicando sobre a resposta que lhe for mais apropriada, poderá acessar o banco de dados, que contém informações sobre o agente etiológico, principais sintomas e algumas orientações sobre a doença, praga ou distúrbio abiótico que ele diagnosticou (Figura 7). Esse banco de dados foi elaborado com auxílio dos especialistas e consulta à literatura especializada citada no programa.

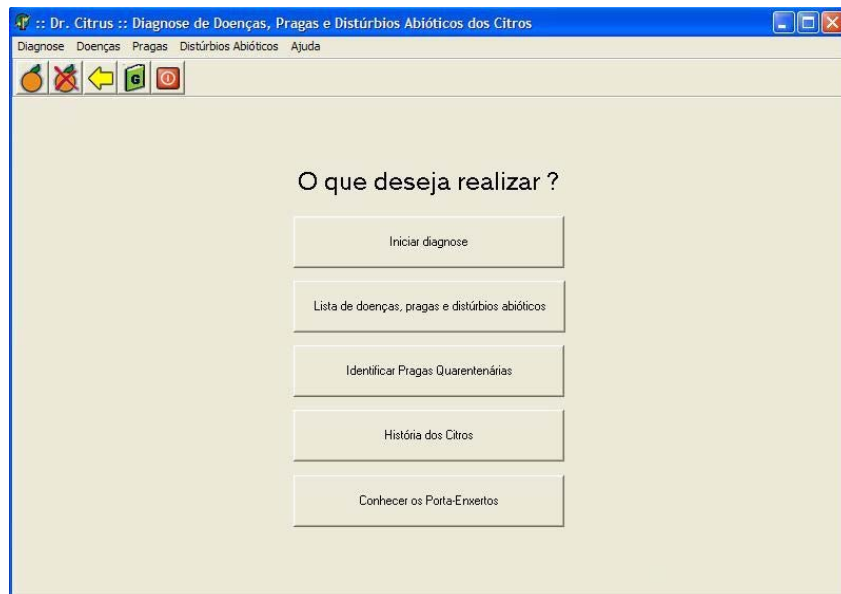


FIGURA 6. Tela inicial do "Dr. Citrus". UFLA, Lavras, MG, 2007.



FIGURA 7 Tela de diagnose do "Dr. Citrus". UFLA, Lavras, MG, 2007.

A inclusão de informações sobre manejo, agente etiológico e epidemiologia é importante para permitir ao usuário obter informações sobre medidas de controle e aumentar a certeza em relação à causa diagnosticada (Pozza, 1998). Segundo Drapek et al. (1990), mudanças no registro e na efetividade dos defensivos agrícolas fazem com que a inclusão dessas informações, com o tempo, caiam em desuso. Portanto, fazer recomendações de defensivos agrícolas é um risco, pois o uso incorreto pode acarretar em sérias conseqüências para o aplicador e ao meio ambiente. Por essas razões, não foram incluídas orientações do uso de agrotóxicos ou adubos químicos, evitando, dessa forma, aplicações sem o auxílio de um engenheiro agrônomo, que é o profissional registrado no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CREA) habilitado a fazer esse tipo de recomendação.

Esta foi a fase que mais consumiu tempo de trabalho, quase 800 horas. Pinto (2001) gastou, nessa fase, 640 horas ou quatro meses de trabalho e Guimarães (2004), 480 horas. O maior tempo gasto nesta fase foi devido ao grande número de doenças, pragas e distúrbios abióticos abordados no “Dr. Citrus”, e da construção dos quadros da interface, editoração das fotos e da elaboração dos textos da diagnose, do glossário, dos porta-enxertos e das pragas quarentenárias, ou seja, a programação propriamente dita.

4.4 Avaliação

4.4.1 Verificação

A verificação do Dr. Citrus foi realizada por cinco especialistas que trabalham ou já tiveram grande contato com doenças, pragas e distúrbios abióticos dos citros. Foram testados 18 problemas, totalizando 90 diagnoses (Tabela 5). O sistema obteve 68 diagnósticos (80,6%) corretos e os especialistas 72 (85%). Poucos programas construídos relatam a fase de verificação, o que

pode ser explicado por esta ser uma fase de ajustes, em que o programa ainda pode sofrer várias modificações para aperfeiçoar o seu funcionamento.

TABELA 5. Verificação do programa “Dr. Citrus”, realizada por cinco especialistas em citros. UFLA, Lavras, MG, 2007.

Diagnóstico	Número de acertos		Porcentagem de acertos	
	Sem o Dr.	Com o Dr.	Sem o Dr.	Com o Dr.
	Citrus	Citrus	Citrus	Citrus
Leprose (ramos)	5	4	100	90
Leprose (fruto)	4	2	90	40
CVC	4	4	90	90
Mosca-das-frutas	4	3	90	60
Ac.-fal.-fer. (fruto)	4	4	90	90
Ac.-fal.-fer. (folha)	3	5	60	100
Def. de zinco	4	4	90	90
Minador dos citros	4	4	90	90
Pulgão	4	3	90	60
Verrugose (folha)	5	3	100	60
Verrugose (fruto)	5	5	100	100
Pinta-preta	5	5	100	100
Ácaro branco	5	4	100	90
Esperança (fruto)	2	3	40	60
Def. de Magnésio	4	4	90	90
Greening (folha)	3	3	60	60
Greening (fruto)	3	4	60	90
Podridão floral	4	4	90	90
% de acertos			85	80,6

Como os índices de acerto do “Dr. Citrus” foram próximos aos índices de acerto dos especialistas, isso leva a crer que a lógica interna está condizente com a realidade. Mas, comparado a outros SAD, esse índice está abaixo do

esperado, devido, principalmente, ao grande número de doenças, pragas e distúrbios abióticos que podem apresentar sintomas semelhantes, tornando mais difícil a diagnose. O TomEX (Pozza, 1998) teve o índice de acerto de 91,4% comparado ao dos especialistas, 86,7%; o Dr. Coffee (Pinto, 2001) obteve 91% de acerto do SAD e 70% dos especialistas e Guimarães (2004) obteve 100% do programa e 81,8% dos especialistas. O Dr. Citrus utilizou a mesma metodologia dos sistemas citados acima para a verificação. Isso sugeriu a necessidade de modificações na base de conhecimento, necessitando de um maior detalhamento para algumas doenças e, principalmente, para deficiências nutricionais, para que o programa possa ser utilizado por outros usuários.

A maioria dos erros de diagnose no sistema foram atribuídos às fotografias, as quais não estavam condizentes com a descrição dos sintomas, ou alguns caminhos seguidos que não chegavam ao diagnóstico correto. Houve dificuldade no momento de responder o questionamento da idade fenológica dos ramos e folhas e do estágio de maturação do fruto. Outros problemas foram os conceitos de tamanho, cor das manchas e formato, o que levou a erros, principalmente no diagnóstico da leprose no fruto e da verrugose na folha. No diagnóstico do “greening”, as dificuldades foram na descrição de amarelecimento e mosqueado. Em seu trabalho, Yialouris et al. (1997) observaram que, na verificação realizada por estudantes, houve dificuldade em distinguir mudanças de cor da folha associada a certas desordens.

Essas dificuldades estão relacionadas à percepção cognitiva do usuário. A divergência de percepção, entre usuários e os que desenvolvem o SAD, podem comprometer o desempenho do programa (Chen & Lee, 2003). Contudo, melhorando seu entendimento a partir dos diagnósticos errados, é possível realizar as mudanças no sistema e o seu aperfeiçoamento. Após a fase de verificação, foram realizadas as modificações sugeridas para a melhoria da base de conhecimento.

Na maioria das vezes, os especialistas utilizados na verificação, por não terem participado da construção do sistema, sugeriram a ampliação da base do conhecimento (Pozza, 1998). Por isso, o engenheiro do conhecimento precisa selecionar as diversas sugestões para não tornar o sistema demasiadamente extenso.

O tempo dedicado para avaliar é muito importante para o sucesso do programa. O PSAOC foi avaliado, durante dois anos, por mais de 140 produtores de maçã. Após essa primeira fase de avaliação, foram selecionados 26 produtores, os quais realizaram a análise de sensibilidade, por mais oito meses. Com a utilização desse SAD, 82,5% dos produtores foram estimulados a aumentar o monitoramento das doenças e pragas e 65,2% fizeram modificações no manejo da cultura, demonstrando a eficiência dos SADs no treinamento e na tomada de decisão.

4.4.2 Validação

Após as modificações realizadas, de acordo com as sugestões dos especialistas na fase de verificação, o Dr. Citrus foi testado por usuários de quatro níveis de conhecimento, cada grupo com 10 pessoas, realizando o diagnóstico de 10 problemas. Onde o índice médio de acerto nesta fase foi de 93,6% do sistema e de 45,6% dos usuários (Tabela 6). Nessa fase também foi realizado o teste Qui-quadrado ($P \leq 0,01$), que demonstrou a confiabilidade do programa (Tabela 6).

O CALEX/Peaches obteve acerto de 96%, sendo utilizado por 12 estudantes, com um cenário de 9 doenças (Plant et al., 1989). No programa TomEX, a diferença obtida entre os usuários e o sistema foi de 35,2% e 95,8% de acerto, respectivamente. O índice médio de acerto do “Dr. Coffee” foi de 96,7% e o dos usuários foi de 35,67%. O AppLES teve 98,4% de acerto, enquanto os usuários não tiveram acerto (Guimarães, 2004). O índice médio de

acerto acima de 90% demonstra a confiabilidade do programa em realizar diagnósticos, mesmo por usuários de diferentes níveis de conhecimento (Guimarães, 2004; Pinto, 2001; Pozza, 1998).

Os estudantes da pós-graduação em fitopatologia tiveram os melhores acertos, o que se deve à familiaridade com os termos utilizados no Dr. Citrus, como lesões salientes ou lesões deprimidas, prateamento ou variegação, etc, bem como o conhecimento prévio de diagnose. Os estudantes de pós-graduação em outras áreas (Fitotecnia, Microbiologia, Engenharia Agrícola, Zootecnia e Ciências dos Solos), todos engenheiros agrônomos e os estudantes de graduação do curso de agronomia, todos estagiários do Departamento de Fitopatologia, obtiveram índice de acerto semelhante, sem e com o uso do programa (Tabela 6). O quarto grupo, composto por citricultores, engenheiros agrônomos, técnicos agrícolas e monitores de campo com experiência na identificação e controle das principais doenças e pragas dos citros, obtiveram índice médio de acerto de 99% usando o Dr. Citrus e 73% sem o uso do programa. Segundo os índices de acertos de todos grupos, o sistema pode ser utilizado por todos os níveis de conhecimento, no apoio à decisão para diagnose. Mas, o uso do SAD e de todo avanço tecnológico é inútil se o usuário não possui especialização para lidar com o problema (Pozza, 1998).

Observou-se redução de acertos do usuário da fase de verificação para a de validação. Essa diferença pode ser explicada pelo conhecimento mais aprofundado dos especialistas para a diagnose.

A diferença encontrada entre a fase de verificação e de validação com o uso do sistema se deve, principalmente, às modificações realizadas no programa, visando aperfeiçoar a sua lógica interna. O submódulo “Folhas cloróticas e com amarelecimento generalizado” foi totalmente reformulado, melhorado os textos e fotografias. O submódulo “Frutos maduros e lesões externas” recebeu novos painéis que aumentaram as opções de diagnose e a confiabilidade do programa.

Também foram acrescentadas imagens com três a quatro fotografias, formando um mosaico, nas opções “Outros sintomas”, porque, comumente, os usuários não selecionavam essa opção, por imaginarem que não haveria continuidade na diagnose a partir daquela opção.

TABELA 6 Porcentagem de diagnósticos corretos e teste Qui-quadrado para a verificação e validação do “Dr. Citrus”.

Fase	Nível de conhecimento	(%)		X ²
		Sem o Dr. Citrus	Com o Dr. Citrus	
Verificação	Especialistas	85	80	0,00
	Graduação	19	99	0,35*
Validação	Pós-graduação/Fitopatologia	37	97	0,45*
	Pós-graduação/outras áreas	14	93	0,11*
	Outros ^a	73	99	0,35*
Média (Validação)		45,6	93,6	0,25*

* Significativo a 1% de probabilidade

^a Citricultores, engenheiros agrônomos, técnicos agrícolas e monitores de campo.

Na segunda fase da validação o Dr. Citrus foi utilizado por 21 pessoas que responderam ao questionário. Quanto à questão sobre a avaliação do uso do programa, obtiveram-se 60% de respostas “ótimo” e 40% de respostas “bom”. A qualidade das fotos, painéis e questões elaboradas obtiveram 80% de “ótimo” e 20% de “bom”. Os itens regular e péssimo não foram citados pelos usuários e todos responderam que “sim”, usariam o Dr. Citrus para realizar uma diagnose (Figura 8). Os usuários sugeriram algumas mudanças na linguagem utilizada, principalmente para facilitar o entendimento de pessoas com diferentes níveis de conhecimento.

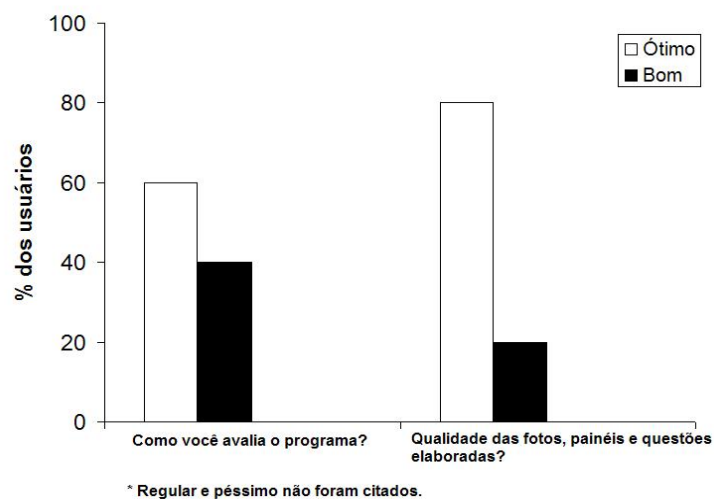


FIGURA 8. Gráfico da avaliação dos usuários na validação do "Dr. Citrus". UFLA, Lavras, MG, 2007.

O interesse dos usuários, durante a validação, demonstrou que a utilização do Dr. Citrus como auxiliar na tomada de decisão da diagnose e do ensino das principais doenças, pragas e distúrbios abióticos dos citros pode ser útil. Entretanto, o programa passará por uma revisão para realizar possíveis correções e aperfeiçoamento.

5 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos é possível afirmar que o conhecimento dos especialistas pode ser extraído, organizado e disponibilizado, de forma simples e em linguagem fácil, para os diferentes níveis de conhecimento, na forma de um sistema de apoio à decisão.

Uma base de conhecimento bem detalhada e organizada, com fotografias de qualidade, pode ser usada no auxílio da diagnose e do ensino.

O Dr. Citrus é uma ferramenta na divulgação e preservação do conhecimento dos especialistas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M. C.; POZZA, E. A.; MACHADO, J. C.; CARVALHO, M. G. G. Desenvolvimento e validação de um sistema especialista para identificar fungos na análise sanitária de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 176-186, 2006.
- AMARO, A. A. **Industrialização da laranja**. São Paulo: IEA, 1973.
- AQUILAR-VILDOSO, C. I.; RIBEIRO, J. B.; FEICHTENBERGER, E.; GOES, A.; SPÓSITO, M. B. **Manual técnico de procedimentos da mancha preta dos citros**. Brasília: MAPA/SDA/DDIV, 2002. 72p.
- ASTUA-MONGE, G.; FREITAS-ASTUA, J.; MACHADO, M. A. Biotecnologia gera produtividade e citros sadios. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. 48-53, 2004.
- BATTILANI, P.; RACCA, P.; RANIERI, R.; ROSSI, V.; STOPPELLI, N. Computerized information system for cereal disease management in Emilia-Romagna (Italy). **Bulletin OEPP/EPPO**, Wageningen, n. 23, p. 557-564, 1993.
- BELASQUE JÚNIOR, J.; BASSANEZI, R. B.; MASSARI, C. A. Situação do cancro cítrico no Brasil. In: ZAMBOLIM, L.; BASSANEZI, R. B. (Ed.). **Doenças quarentenárias dos citros**. Viçosa: UFV/DFP, 2006. 194 p.
- BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H. Importância das doenças de plantas. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de fitopatologia**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v.2, 919 p.
- BINDER, F. B. **Sistemas de apoio à decisão**. São Paulo: Érica, 1994. 104 p.
- BOYD, D. W.; SUN, M. K. Prototyping an expert system for diagnosis of potato diseases. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 10, n. 3, p. 259-267, 1994.
- CANTERI, M. G.; GIGLIOTI, E. A.; VIRGENS FILHO, J. S. das; VAZ, M. S. M. G.; FOLTRAN JÚNIOR, D. C.; ROCHA, J. C. F. da. Tecnologia da informação aplicada à fitopatologia. In: CONGRESSO DA SBI-AGRO-Agrosoft 99, 1999. Disponível em: <<http://agrosoft.softex.br/agrosobr/ver.php?page=ss>>. Acesso em: 05 set. 2006.

CARISTI, T.; SCHAREN, A. L.; SHARP, E. L. Development and preliminary testing of EPIFORM, an expert system for predicting wheat disease epidemics. **Plant Disease**, St. Paul, v. 71, n. 12, p. 1174-1150, 1987.

CARLOS, E. F.; STUCHI, E. S.; DONADIO, L. C. **Porta-enxertos para a citricultura paulista**. Jaboticabal: Funep, 1997. 47 p. (Boletim Citrícola, 1).

CHEN, J. Q.; LEE, S. M. An exploratory cognitive DSS for strategic decision making. **Decision Support Systems**, Oxford, v. 2, n. 36, p. 147-160, 2003.

COLLETTA-FILHO, H. D.; TARGON, M. L. P. N.; TAKITA, M. A.; DE NEGRI, J. D.; POMPEU JR., J.; MACHADO, M. A. First report of the causal agent of Huanglongbing (“*Candidatus Liberibacter asiaticus*”) in Brazil. **Plant Disease**, St. Paul, v. 88, n. 12, p. 1382, 2004.

CU, R. M.; LINE, R. F. An expert advisory system for wheat disease management. **Plant Disease**, St. Paul, v. 78, n. 2, p. 209-215, 1994.

DONADIO, L. C.; MOURÃO FILHO, F. A. A.; MOREIRA, C. S. Centros de origem, distribuição geográfica das plantas e história da citricultura no Brasil. In: MATTOS JÚNIOR, D.; NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JÚNIOR, J. (Ed.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundag, 2005. 929 p.

DRAPEK, R. J.; CALKIN, J. A.; FISHER, G. C. A hazelnut pest management expert system. **Acta horticulturae**, Wageningen, v. 1, n. 276, p. 21-25, 1990.

EDWARD-JONES, G. Knowledge based systems for crop protection: theory and practice. **Crop Protection**, Oxford, v. 12, n. 8, p. 565-578, 1993.

ELLISON, P.; ASH, G.; McDONALD, C. An Expert system for the anagement of botrytis *cinerea* in Australian Vineyards. I. Development. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 56, n. 2, p. 185-207, 1998.

ESTANISLAU, M. L. L.; BOTEON, M.; CANÇADO JÚNIOR, F. L.; PAIVA, B. M. de. Laranjas e sucos: aspectos econômicos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 209, p. 8-20, 2001.

EVANS, J. J. T. The knowledge elicitation problem: a psychological perspective. **Behavior and Information Technology**, Oxford, v. 7, p. 111-130, 1988.

FAYET, J. C. An expert system to diagnose carnation diseases. **Acta horticulturae**, Wageningen, v. 1, n. 216, p. 141-145, 1987.

FERGUSON, J. J.; ZAZUETA, F. S.; VALIENTE, J. I. Citpath: diagnostic and hypertext software for fungal diseases of Citrus foliage and fruit. **HortTechnology**, Alexandria, v. 5, n. 3, p. 277-278, 1995.

FERNANDES, E. N.; FERNANDES FILHO, E. I.; SILVA, E. Integração de sistemas de informações geográficas e sistemas especialistas para avaliação da aptidão agrícola das terras em bacias hidrográficas. **Revista Arvore**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 75-82, 1999.

FIRLEJ, M.; HELENS, D. **Knowledge elicitation, a practical handbook**. New York: Prentice Hall, 1991. 188p.

GEISSMAN, J. R.; SCHULTZ, R. D. Verification and validation of expert systems. **AI Expert**, San Francisco, v. 1, n. 1, p. 26-33, 1988.

GENARO, S. **Sistemas especialistas: o conhecimento artificial**. Rio de Janeiro: LTC, 1986. 192 p.

GONGORA, A. D. **O que é inteligência artificial?** Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/batebyte/edicoes/2002/bb119/estagiario.htm>>. Acesso em: 4 jul. 2007.

GONZALEZ, A. J.; DANKEL, D. D. **The engineering of knowledge-based systems: theory and practice**. New Jersey: Prentice-Hall, 1993. 523 p.

GUIMARÃES, L. S. **Desenvolvimento de sistema especialista para diagnóstico das doenças da macieira no Brasil**. 2004. 54p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

HARMON, P.; KING, D. **Expert systems: artificial intelligence in business**. New York: J. Wiley, 1985. 283 p.

HARRISON, S. R. Validation of agricultural expert systems. **Agricultural systems**, Oxford, v. 35, n. 3, p. 265-285, 1991.

HEINEMANN, P. H.; CALVIN, D. D.; AYRES, J. Maize a decision support system management of field corn. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 8, n. 3, p. 407-414, 2002.

HOCINE, A.; TAMINE, K. Un système à base de connaissances d'aide à la détection de troubles du maïs. In: INTERNACIONAL WORKSHOP APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO AGRICULTURAL, AGRO CHEMICAL, AND FOOD PROCESSING INDUSTRIES, 1988, Caen. **Proceedings...**Caen: Conseil Regional de Basse-normandie & EC2, 1988. p. 278-289.

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.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2004**. Brasília. Disponível em: <www.ibge.br>. Acesso em: 23 abr. 2006.

JACKSON, P. **Introduction to expert systems**. California: A. Wesley, 1990. 526 p.

JONES, P. Agricultural applications of expert systems concepts. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 31, n. 1, p. 3-18, 1989.

KABLE, P. F. An expert system to assist orchardists in the management of rust disease of French prunes. **AI applications**, Idaho, v. 5, n. 3, p. 59-61, 1991.

KEMP, R.; STEWART, T.; BOORMAN, A. Improving the expert system interface. **AI Application Natural Research Management**, Idaho, v. 2, n. 4, p. 48-53, 1988.

KOUMPOUROS, Y.; MAHAMAN, B. D.; MALIAPPIS, M.; PASSAM, H. C.; SIDERIDIS, A. B.; ZORKADIS, V. Image processing for distance diagnosis in pest management. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 44, n. 2, p. 121-131, 2004.

KRAUSE, R. A.; MASSIE, L. B.; HYRE, R. A. BLITECAST: a computerized forecast of potato late blight. **Plant Disease Reporter**, St. Paul, v. 59, n. 2, p. 95-98, 1975.

LATIN, R. X.; MILES, G. E.; RETTINGER, J. C. An expert systems for diagnosing muskmelon disorders. **Phytopathology**, St. Paul, v. 74, n. 1, p. 83-87, 1990.

LIAO, S. M. Rescuing human embryo stem cell research: The blastocyst transfer method. **American Journal of Bioethics**, Pennsylvania, v. 5, n. 6, p. 20-21, 2005.

LIMA, J. P. C.; AVARANTIS, L. G. A computer expert system for managing forests in the Amazon. **Floresta e Ambiente**, Itaguaf, v. 1, n. 1, p. 64-70, 1994.

LOPES, S. A. Situação do Huanglongbing no Estado de São Paulo. In: ZAMBOLIM, L. E BASSANEZI, R. B. (Ed.). **Doenças quarentenárias dos citros**. Viçosa: UFV/DFP, 2006. 194p.

LOPES, S. A.; LARANJEIRA, F. F.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Clorose variegada: perdas anuais de US\$ 100 milhões. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. 20-23, 2004.

LUCONI, F. L.; MALONE, T. W.; MORTON, M. S. S. Sistemas Especialistas: um novo desafio para os gerentes. In: SPRAGUE JR, R. H.; WATSON, H. J. (Ed.). **Sistemas de apoio à decisão**. Rio de Janeiro: Campus. 1991.

MANSINGH, G.; REICHGELT, H.; BRYSON, K. O. CPEST: An expert system for the management of pests and diseases in the Jamaican coffee industry. **Expert Systems with Applications**, Maryland, v. 32, n. 1, p. 184-192, 2007.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; CRUZ, S. A. B. da; SOUZA, N. de. Diagnose virtual: Sistema para diagnóstico de doenças do milho via Web. In: CONGRESSO DA SBI-AGRO-Agrosoft 99, 1999. Disponível em: <<http://agrosoft.softex.br/agrosobr/ver.php?page=ss>>. Acesso em: 05 set. 2006.

MICHALSKI, R. S.; DAVIS, J. H.; BISHT, V. S.; SINCLAIR, J. R. PLANT/ds: an experimental computer consulting system for the diagnosis of soybean diseases. **Phytopathology**, St. Paul, v. 71, n. 2, p. 272, 1981.

MICHALSKI, R. S.; DAVIS, J. H.; BISHT, V. S.; SINCLAIR, J. R. A computer based advisory system for diagnosing soybean diseases in Illinois. **Plant Disease**, St. Paul, v. 67, n. 4, p. 459-63, 1983.

MISERANI, L. J. G.; MOREIRA, R. C.; LOPES, M. A.; MANCIO, D.; CARDOSO, O. N. P. Desenvolvimento de um sistema de apoio à tomada de

decisão no controle de bovinos da raça Nelore. **Revista Brasileira de Agroinformática**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 65-79, 2002.

NARDIR, D.; NARDIR, M.; NARDIR, S. UVA: user-friendly viticulture advisor. Knowledge systems and farming. In: INTERNACIONAL WORKSHOP APLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO AGRICULTURAL, AGRO CHEMIC AND FOOD PROCESSING INDUSTRIES, 1988, Caen. **Proceedings...**Caen: Consil Regional de Basse-normandie & EC2, 1988. p.278-289.

NASH, B. L.; SAUNDERS, M. C.; MILLER, B. J.; BLOOM, C. A.; SKELLY, J. M. Foreshealth, an expert system for assessing foliar and crown health of selected northern hardwoods. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 22, n. 11, p. 1770-1775, 1992.

PARIZZI, P. Pragas quarentenárias da cultura dos citros no Brasil. In: ZAMBOLIM, L. E BASSANEZI, R. B. (Ed.). **Doenças quarentenárias dos citros**. Viçosa: UFV/DFP, 2006. 194p.

PASQUAL, G. M.; MANSFIELD, J. Development of a prototype expert system for identification and control of insects pests. **Computers and Eletronics in Agricultural**, Amsterdan, v. 2, n. 2, p. 263-276, 1988.

PERES, N. A. R.; KIM, S.; BECK, H. W.; SOUSA, N. L.; TIMMER, L. W. A fungicide application decision (FAD) support system for postbloom fruit drop of citrus (PFD). **Plant Health Progress**. Disponível em: <<http://it.ifas.ufl.edu/disc/pfd>>. Acesso em: 10 out. 2006.

PERRIER, X.; LACOEUILHE, J. J. DIANA: a diagnosis aid system for pineapple growing. **Fruits**, Paris, v. 46, n. 4, p. 351-354, 1991.

PINTO, A. C. S. **Sistema especialista para diagnose e manejo de problemas fitossanitários e redes neurais para descrever epidemias da ferrugem do café**. 2001. 91p. Tese (Doutorado em Fitopatologia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PLANT, R. E.; ZALOM, F. G.; YOUNG, T. A.; RICE, R. N. CALEX/Peacher, an expert system for the diagnosis of peach an nectarine disorders. **HortScience**, Alexandria, v. 24, n. 4, p. 700, 1989.

POZZA, E. A. **Desenvolvimento de sistemas especialistas e redes neuronais e suas aplicações em fitopatologia**. 1998. 139 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PRASAD, R.; RANJAN, K. R.; SINHA, A. K. AMRAPALIKA: an expert system for the diagnosis of pests, diseases, and disorders in Indian mango. **Knowledge-Based Systems**, Sydney, v. 19, n. 1, p. 9–21, 2006.

ROACH, J. W.; VIRLAR, R.; DRAKE, C. An expert system for helping apple growers. **Computers and Electronics in Agricultural**, Amsterdam, v. 2, n. 1, p. 97-108, 1987.

RODRIGUES NETO, J.; BELASQUE JÚNIOR, J.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Larva-minadora aumenta incidência do cancro cítrico. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. 14-19, 2004.

ROSSETI, V. V. **Manual ilustrado de doenças dos citros**. Piracicaba: Fealq/Fundecitrus, 2001. 207 p.

SANCHES, L. C.; VEJA, S. A. JARAMILLO, A. A. Development of an expert system to identify diseases in the rice crop (*Oryza sativa* L.) in Colombia. **Acta Agronomica**, Palmira, v. 43, n. 1, p. 134-144, 1993.

SAUNDERS, M. C.; HAESELER, C. W.; TRAVIS, J. W. GRAPES: an expert system for viticulture in Pennsylvania. **AI Application Natural Research Management**, Idaho, v. 1, n. 2, p. 13-20, 1987.

SHIPP, J. L.; CLARK, N. D.; JARVIS, W. R. Expert system for integrated crop management of greenhouse cucumber. **IOBC wprs Bulletin**, Wageningen, v. 16, n. 2, p. 149-152, 1993.

SHTIENBERG, D.; DINNOR, A.; MARANI, A. Wheat disease control advisory, a decision support system for management of foliar diseases of wheat in Israel. **Canadian Journal of Plant Pathology**, Guelph, v. 12, n. 2, p. 195-203, 1990.

SILVA, C. B. A. Sistemas especialistas para economistas rurais: potencial e relevância. **Revista de Economia e Sociedade Rural**, Brasília, v. 28, n. 2, p. 155-174, 1990.

SOUKI, G. Q.; MACHADO, A. C.; LOPES, M. A. PROFIT 2.0 – an expert system to cattle raising. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON

COMPUTERS IN AGRICULTURE, 1998, Orlando. **Proceedings...** Orlando, FL, 1998. p. 910-915.

SPÓSITO, M. B. Mancha ou pinta-preta dos citros. In: Zambolim, L.; Bassanezi, R. B. (Eds.) **Doenças quarentenárias dos citros**. Viçosa: UFV, DFP, 194p. 2006.

SPRAGUE JÚNIOR, R. H.; WATSON, H. J. **Sistemas de apoio à decisão**. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

TRAVIS, J. W.; LATIN, R. X. Development, implementation, an adoption of expert systems in plant pathology. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 29, n. 1, p. 343-360, 1991.

TRAVIS, J. W.; RAJOTTE, E. G.; BANKERT, R. A working description of the Penn State Apple Orchard Consultant, an expert system. **Plant Disease**, St Paul, v. 76, n. 6, p. 545-554, 1992.

TURBAN, E.; AFONSO, J. E. **Decision support systems and intelligent systems**. 5.ed. USA: Prentice-Hall, 1998. 890p.

TOMAZELA, M. S.; XAVIER, N. J. D. Certificação de mudas cítricas, garantia de qualidade. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. 11-13, 2004.

VANDERMAAS, A. A. Development of a decision support system for crop protection in glasshouse horticulture. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF TECHNOLOGY IN AGRICULTURE, 4, 1992, Versailles. **Proceedings...** Versailles, 1992. p. 94-98.

WELLS, S. J.; TRENT A. M.; ROBINSON R. A.; KNUTSON K. S.; BEY, R. F. Association between clinical lameness and *Borrelia burgdorferi* antibody in dairy cows. **American Journal of Veterinary Research**, Oakland, v. 54, n. 3, p. 398-405, 1993.

WHITTAKER, A. D.; JONES, D. D.; THIEME, R. H.; BARRET, J. R. Guidelines for getting start with expert systems. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 68, n. 5, p. 24-27, 1987.

WRUCK, D. S. M.; OLIVEIRA, J. R. Doenças bacterianas dos citros. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 209, p. 84-87, 2001.

YIALOURIS, C. P.; PASSAM, H. C.; SIDERIDIS, A. B. VEGES – A multilingual expert system for the diagnosis of pest, diseases and nutritional disorders of six greenhouse vegetables. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 19, n. 1, p. 55-67, 1997.

YIALOURIS, C. P.; SIDERIDIS, A. B. An expert system for tomato diseases. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 14, n. 1, p. 61-76, 1996.