



LEANDRO ALVARENGA SANTOS

**AVALIAÇÃO DE CONHECIMENTO
ESTRUTURADO NO SISTEMA DE APOIO À
DECISÃO PARA SEMIOLOGIA DO CAFEIEIRO**

LAVRAS - MG

2011

LEANDRO ALVARENGA SANTOS

**AVALIAÇÃO DE CONHECIMENTO ESTRUTURADO NO SISTEMA
DE APOIO À DECISÃO PARA SEMIOLOGIA DO CAFEIEIRO**

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

Orientador

Dr. Paulo Estevão de Souza

LAVRAS – MG

2011

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

Santos, Leandro Alvarenga.

Avaliação de conhecimento estruturado no sistema de apoio a
decisão para semiologia do cafeeiro/ Leandro Alvarenga Santos. –
Lavras : UFLA, 2011.

56 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Paulo Estevão de Souza.

Bibliografia.

1. Café. 2. Diagnose. 3. Manejo. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 633.7393

LEANDRO ALVARENGA SANTOS

**AVALIAÇÃO DE CONHECIMENTO ESTRUTURADO NO SISTEMA
DE APOIO À DECISÃO PARA SEMIOLOGIA DO CAFEIEIRO**

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

APROVADA em 05 de agosto de 2011

Dr. Rubens José Guimarães UFLA

Dr. Edson Ampélio Pozza UFLA

Dr. Paulo Estevão de Souza

Orientador

Coorientador

Edson Ampélio Pozza

LAVRAS – MG

2011

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à minha família (Marli, Gildo, Guilherme e Iranilda) por ser meu porto seguro e por ter me moldado, feito de mim o homem que sou hoje.

Aos meus parentes: tios, tias, primos e primas pelo apoio.

Ao Prof. Paulo Estevão de Souza, responsável por despertar em mim o interesse por fitopatologia e principal incentivador na decisão em cursar Mestrado. Ao Prof. Edson Ampélio Pozza pela confiança depositada em mim e paciência. Ao Prof. Rubens José Guimarães pelo carinho, atenção e disponibilidade, referência de professor para mim. Ao Ednaldo Abrahão que, juntamente ao Professor Rubens, apoiou incondicionalmente a submissão deste projeto.

À FAPEMIG por acreditar e financiar este projeto.

Ao Prof. Dr. Antonio Furtini Neto, Dr. Julio César de Souza e Dra. Adélia Aziz Alexandre Pozza, pela contribuição e paciência na construção da base de conhecimento deste software.

Aos incondicionais amigos da época de graduação (em especial ao quarteto: Stenio, Lucas “Java”, Pedro e Filipe “Chinelo”) e aos amigos de mestrado (em especial a Thais e Willian Zancan) que presentes estiveram nos momentos de estudos e descontração.

Aos companheiros da sala de Informática/Epidemiologia (em especial à Marília e ao Fernando) pela paciência comigo e pela ajuda que me deram sempre que precisei.

E especial agradeço aos meus amigos Marcelo Haro e Peter Görtz que, além de fornecerem inspiração para os momentos difíceis, ainda, colaboraram juntamente com suas namoradas para a validação do programa.

A todos que participaram do teste de validação do programa, em especial ao pessoal do centro de indexação.

A todos os professores, técnicos e funcionários do departamento de fitopatologia de UFLA, obrigado.

RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial de café e o segundo maior mercado consumidor, portanto, a cultura do cafeeiro tem grande importância cultural e socioeconômica para o país. Entre os limitantes na produtividade estão, principalmente, as doenças, as pragas, as deficiências nutricionais e fatores abióticos. O diagnóstico preciso e confiável é fundamental para o controle das doenças, além de evitar contaminações ambientais com a utilização desnecessária de defensivos agrícolas. Muitas pesquisas são realizadas todos os anos gerando novos conhecimentos e técnicas que contribuem para o aumento da produtividade. Todo este conhecimento e técnicas geradas precisam ser difundidos e a informática oferece algumas soluções, entre elas o emprego de sistemas de apoio à decisão (SAD), que atua disponibilizando o conhecimento e reduzindo possíveis erros de diagnose e manejo. Para disponibilizar o conhecimento acumulado nos últimos dez anos 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 a nova versão do SAD e iii) avaliar o sistema. O conhecimento foi adquirido por meio de entrevistas, com especialistas e, para complementar, foram consultadas literaturas específicas sobre a cafeicultura. No desenvolvimento da nova versão do SAD foi construída a interface em ambiente atual (Windows Seven), inteiramente ilustrada. O SAD foi construído utilizando-se a ferramenta 'Borland Delphi'. Foram inseridos 35 novos diagnósticos (3 de doenças, 5 de pragas, 6 de causas nutricionais e 21 de causas abióticas), 34 novos ramos e 66 nós. Foi dada ênfase nas fotografias, inserindo-se 20 novas fotografias de sintomas e 36 ilustrações. A validação do programa foi realizada por três grupos, de diferentes níveis de conhecimento (10 pessoas/grupo), tentando diagnosticar corretamente. Obteve-se um acerto de 23% dos usuários e 91% do SAD. O sistema foi denominado Doctor Coffee v2.0.

Palavras-chave: Café. Diagnose. Manejo.

ABSTRACT

Brazil is the largest producer world's of coffee and the second largest consumer market, so the culture of coffee has great socioeconomic and cultural importance for the country. Among the limiting factors in productivity are mainly diseases, pests, nutritional deficiencies and abiotic factors. The reliable and accurate diagnosis is critical to disease control, and prevent environmental contamination with unnecessary use of pesticides. Many surveys are conducted every year generating new knowledge and techniques that contribute to increased productivity. All this knowledge and techniques need to be generated and distributed so computing offers some solutions, including the use of decision support systems (DSS), which acts providing knowledge and reducing possible errors in diagnosis and management. To make the knowledge accumulated in the last ten years, and disseminate it efficiently, this work was performed with the following objectives: i) building a knowledge base for diagnosis of biotic and abiotic ii) develop and implement the new version of DSS and iii) evaluate the system. The knowledge was gained through interviews with experts and for complementary literatures were consulted on the specific coffee. During the development of the new version of the DSS the interface was built in the current environment (Windows Seven) and fully illustrated. The DSS was built using the tool "Borland Delphi. ". 35 new diagnosis were included (3 diseases, 5 pests, 6 nutritional causes and 21 of abiotic causes), 34 new branches and 66 knots. Emphasis was placed on the photographs, added to 20 new photographs and 36 illustrations of symptoms. The validation program was conducted by three groups, different levels of knowledge (10 people / group), trying to diagnose correctly. We obtained an accuracy of 23% and 91% of users of the DSS. The system was called "Doctor Coffee v2.0"

Keywords: Coffee. Diagnostics. Management

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 A cafeicultura e seus principais problemas.....	12
2.2 A diagnose.....	14
2.3 Sistemas de apoio á decisão (SAD).....	14
2.4 Sistemas de apoio à decisão na agricultura.....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 Aquisição do conhecimento.....	24
3.2 Aquisição de fotografias.....	24
3.3 Desenvolvimento do SAD.....	25
3.4 Validação do SAD.....	25
3.5 Análise estatística.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 Listas de diagnósticos.....	27
4.2 Mudanças na árvore.....	30
4.2.1 Nova árvore do conhecimento.....	30
4.2.1.1 Mudanças no módulo: viveiro.....	31
4.2.1.2 Mudanças no módulo: formação da lavoura.....	33
4.2.1.3 Mudanças no módulo: plantas em produção.....	35
4.2.2 Quantificação do conhecimento inserido.....	39
4.3 Mudanças e inserção de fotografias.....	40
4.3.1 Novas fotografias.....	41
4.3.1.1 Novas fotografias no módulo: viveiro	41
4.3.1.2 Novas fotografias no módulo: formação da lavoura.....	42
4.3.1.3 Novas fotografias no módulo: plantas em produção.....	43
4.3.2 Quantificação das novas fotografias.....	45

<u>4.4 Validação.....</u>	<u>45</u>
<u>4.5 Incremento</u>	<u>48</u>
<u>4.6 Correlação.....</u>	<u>50</u>
<u>5 CONCLUSÃO.....</u>	<u>52</u>
<u>REFERÊNCIAS.....</u>	<u>53</u>

1 INTRODUÇÃO

A primeira estimativa de produção de café (arábica e conilon) para 2011 indicou que o país deverá colher entre 41,89 e 44,73 milhões de sacas de 60 quilos do produto beneficiado. O Brasil é o maior produtor mundial de café e o segundo maior mercado consumidor, portanto, a cultura do cafeeiro tem grande importância cultural e socioeconômica para o país.

Diante de tal importância, milhares de estudos e pesquisas foram realizadas ao longo dos anos para o desenvolvimento de tecnologia e práticas que aumentem a produção e a qualidade do café do Brasil. Graças aos pesquisadores que trabalharam com esta cultura o país é líder em produção e tem seu café altamente valorizado no mercado internacional. O Brasil é reconhecido como um país de ponta nos estudos da cafeicultura e as técnicas desenvolvidas aqui são exportadas para outros países produtores.

No entanto, um dos grandes desafios da ciência atualmente está relacionado com a forma com que se irá tratar a informação acumulada durante anos de pesquisa. A cultura do café apresenta sérios problemas e muito conhecimento acumulado em diagnose e manejo de doenças, pragas, desordens fisiológicas e fitonematóides. No entanto, este conhecimento gerado por anos de pesquisa nem sempre está acessível para ser explorado de forma eficiente, muitas vezes é pouco divulgado e pode até ser perdido ao longo do tempo.

Diante da revolução digital que se enfrenta, uma alternativa válida e pouco explorada é o emprego de sistemas de apoio à decisão (SAD) no auxílio à diagnose. O desenvolvimento do software para diagnosticar anomalias bióticas e abióticas no cafeeiro foi realizado em 2001 em três fases distintas: i) Desenvolvimento do protótipo, ii) Desenvolvimento do SAD completo, iii) Avaliação. Na construção do SAD, a interface foi elaborada em ambiente atual (Sistema operacional - Windows), com fotografias, vídeos, comando de ajuda

com termos técnicos na área, tudo isso para possibilitar o uso amigável do programa. O conhecimento foi disponibilizado de forma estruturada em árvore binária de decisão diferentemente da versão anterior onde se utilizou a estruturação de Sistemas Especialistas. O sistema foi desenvolvido com o intuito de se testar a aptidão de árvores binária de decisão e proporcionar a inserção de novas técnicas de diagnose que foram desenvolvidas, novos conhecimentos adquiridos e novas enfermidades que surgiram nesses dez anos que se passaram desde a primeira versão do software. Diante disto atentou-se para a necessidade da reestruturação do SAD, reestruturando sua árvore de decisão e avaliando nova metodologia de escolha de decisão, adicionando novos conhecimentos, fotos e informações para garantir a atualização e a funcionalidade do programa. Neste trabalho foi construída uma base de conhecimentos e um sistema de apoio á decisão (SAD) para disponibilizar, divulgar e oferecer apoio à decisão na diagnose e manejo de doenças, deficiências nutricionais e nematóides do cafeeiro, por meio do conhecimento adquirido e organizado dos pesquisadores, inclusive, das novas tecnologias desenvolvidas no Consórcio de Pesquisa Café.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cafeicultura e seus principais problemas

O café sempre foi e será importante para o desenvolvimento brasileiro. Desde a sua entrada, há cerca de dois séculos no estado do Pará, passando pela costa nordestina até atingir a região sudeste, onde seu apogeu conquistou liderança na produção nacional, o café chegou a representar oitenta por cento de nossas exportações, criando riquezas não só nas áreas produtoras, mas também por onde passava (GUIMARÃES; MENDES; BALIZA, 2010).

A próxima safra de café do Brasil (2011/12) foi estimada entre 41,9 e 44,7 milhões de sacas, informou a Companhia Nacional de Abastecimento. A produção do café arábica representa 74,6% (30,96 a 33,17 milhões de sacas) da produção do país, e tem como maior produtor o estado de Minas Gerais, com 66,6% (20,98 a 22,45 milhões de sacas) de café beneficiado. O robusta participa da produção nacional com 25,4% de café beneficiado. O estado do Espírito Santo destaca-se como o maior produtor dessa espécie, com 67,8% (7,40 a 7,86 milhões de sacas) (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011).

O parque cafeeiro do Brasil é constituído por cerca de quatro bilhões de plantas suscetíveis a um grande número de doenças, as quais podem causar diversos níveis de perda. No Brasil, dentre as doenças destacam-se, em função das perdas, a ferrugem (*Hemileia vastatrix*), a cercosporiose (*Cercospora coffeicola*), mancha de Phoma (*Phoma tarda*), tombamento (*Rhizoctonia solani*), seca dos ponteiros (complexo de doenças) e a mancha aureolada (*Pseudomonas syringae* pv. *garcae*) entre outras que em certas condições, também, causam sérios prejuízos à lavoura (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010). Dentre as pragas destaca-se: O bicho mineiro (*Leucoptera coffeella*) que ataca o

cafeeiro, onde suas lagartas causam minas nas folhas que se transformam em área necrótica, mortas e, conseqüentemente, uma menor área fotossintetizadora, podendo inclusive causar grande desfolha nos períodos mais secos do ano; a broca do cafeeiro que é um pequeno coleóptero (*Scolytidae*) preto lúzido que causa um orifício na região da coroa do fruto, alimentando-se da semente e causando injúrias diretas nos frutos, com redução quantitativa e qualitativa da produção; as cigarras (*Quesada spp*) são insetos sugadores de seiva, que perfuram o solo sob a “saia” do cafeeiro onde as ninfas sugam as raízes da planta, causando depauperamento, sintomas de deficiências, definhamento, clorose e queda precoce de folhas apicais (SILVA et al., 2010). As deficiências nutricionais podem ser corrigidas com adubações adequadas. Existem alguns nutrientes que são considerados essenciais para as plantas, são eles: carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, níquel e zinco. Para elementos químicos como: sódio, silício, selênio e cobalto a essencialidade está ainda em discussão, mas já foi comprovada em algumas espécies. Os sintomas de deficiências nutricionais estão diretamente ligados ao papel que o nutriente pode exercer na planta (MALAVOLTA, 2006). O nitrogênio atua na expansão da área foliar, no crescimento vegetativo e na formação de botões florais, sendo constituinte de aminoácidos. Dessa forma sua carência acarreta drástica redução no crescimento da planta, presença de folhas amareladas e as folhas permanecem pequenas. O fósforo por sua vez apresenta papel importante nas transformações energéticas como: fotossíntese, respiração, síntese de aminoácidos, lipídeos entre outros. Sendo assim sua carência causa redução de clorofila na folha deixando-a com coloração arroxeada (CARVALHO et al., 2010).

2.2 A diagnose

A grande variedade de condições de manejo, como a irrigação e o adensamento, exploração de novas fronteiras agrícolas como o cerrado brasileiro ou outras regiões, que décadas atrás seriam inimagináveis para o cultivo do cafeeiro, como o nordeste brasileiro, proporciona grande variabilidade nos sintomas das doenças e demais anomalias, dificultando em muitos casos a diagnose. Normalmente, especialistas são necessários para fornecer o conhecimento sobre uma diagnose, entretanto, muitas vezes, um especialista em determinada área é escasso no mercado ou não se encontra disponível para realizar tal diagnose, ou seu conhecimento pode ser perdido no tempo em função de seu falecimento (MAHAMAN et al., 2003).

Para a diagnose de doenças, o conhecimento pode estar disponível aos agricultores e extensionistas na forma de livros, apostilas, fitas de vídeo e, também, na forma de programas de computador (TRAVIS; LATIN, 1991). Portanto com a difusão da informática na sociedade atual os sistemas de apoio à decisão possuem potencial para contribuir na diagnose de anomalias na agricultura, sejam elas por fatores patogênicos ou não.

2.3 Sistemas de apoio à decisão (SAD)

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 inerentes de especialistas. É um auxiliar inteligente, um consultor para diversos usuários e um meio de preservar o conhecimento, tornando-o acessível a todos (GUIMARÃES, 2004; PINTO, 2001; POZZA, 1998; TURBAN; AFONSO, 1998; UCHÔA, 2007). Os SAD's são uma classe de sistemas de inteligência artificial (IA) desenvolvidos

para servirem como consultores na tomada de decisões que envolvam áreas restritas da ciência, normalmente apenas dominadas por especialistas humanos. São sistemas que utilizam o conhecimento de um ou mais especialistas codificado em um programa que o aplica na resolução de problemas (ABEL et al., 1995).

Para um SAD ser considerado uma ferramenta eficaz, as pessoas têm de ser capazes de interagir facilmente com o sistema. Os SAD começaram a surgir comercialmente entre 1980 e 1981. A primeira companhia formada exclusivamente para produzi-los foi a Intelli Genetics®, no campo de engenharia genética e com técnicos oriundos do Projeto de Programação Heurística da Universidade de Stanford. Recentemente, muitas empresas – como a brasileira iLab Sistemas Especialistas®, têm explorado esta tecnologia. Embora sistemas especialistas e peritos reais possam em alguns casos desempenhar tarefas idênticas, as características de ambos são criticamente diversas. Mesmo havendo algumas vantagens evidentes os SAD não poderão substituir os peritos em todas as situações em virtude, obviamente, das limitações inerentes (RIBEIRO, 1987).

A estrutura da maioria dos SAD's inclui a interface com o usuário, o mecanismo de inferência e a base de conhecimento (TURBAN; AFONSO, 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; UCHÔA, 2007).

Segundo Edward-Jones (1993), a utilização de SAD's é justificável pelos seguintes motivos: i) um especialista humano em determinada área é

escasso no mercado, assim, seu conhecimento pode ser preservado no SAD para uso futuro, pois, este especialista poderá aposentar-se, mudar de trabalho ou falecer; ii) o conhecimento do especialista pode ser disseminado por um programa de computador para não-especialistas em outras regiões geográficas onde, até então, não era possível a solução de alguns problemas; iii) para enriquecer as conclusões sobre uma determinada decisão, podendo, desta forma, concentrar-se em outros pontos básicos de um determinado problema; iv) o SAD pode ser utilizado como uma ferramenta de treinamento e, então, proporcionar mais conhecimento ao especialista dentro do seu domínio.

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 SAD, 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 et al., 2006; GUIMARÃES, 2004; PINTO, 2001; UCHÔA, 2007).

No meio científico é comum pesquisadores que deixaram de divulgar seu conhecimento ou não deixaram discípulos para perpetuar suas brilhantes idéias. Com o emprego de SAD's pode-se perpetuar o pensamento destes cientistas e além disto com a rede internacional de computadores divulgar de forma rápida os resultados da pesquisa (POZZA, 1998).

Geralmente, no SAD, o conhecimento é representado em chaves dicotômicas por árvores de conhecimento hierárquicas e dividido em módulos e sub-módulos, de acordo com o raciocínio do especialista, para facilitar o desenvolvimento do sistema.

Pode-se salientar a função do engenheiro do conhecimento que consiste em extrair dos especialistas humanos, seus conhecimentos, estratégias, raciocínios e codificá-los de forma a gerar a base de conhecimentos (MIRANDA, 2006). A arquitetura mais comum de sistemas especialistas é a que envolve regras de produção. Essas regras são simplesmente um conjunto de condições no estilo SE... ENTÃO... com a possibilidade de inclusão de conectivos lógicos relacionando os atributos no escopo do conhecimento e o uso de probabilidades, como se vê no exemplo a seguir :

SE lesão nas folhas = Sim
E queda de folhas = Sim
ENTÃO
Doença = Cercosporiose CNF 100%

O SAD é utilizado em diversas áreas, como medicina, exploração mineral, química, na área militar, bancária e agricultura (HUGGINS; BARRET; JONES, 1986; LIAO, 2005; PASQUAL; MANSFIELD, 1988).

2.4 Sistemas de apoio à decisão na agricultura

Diagnose de doenças, pragas e deficiências nutricionais, geralmente, é o principal questionamento dos produtores aos profissionais de extensão e aos pesquisadores. A tomada de decisão em muitos casos faz-se difícil, pois, para uma correta decisão é necessária informação sobre o que está ocorrendo e sem a diagnose correta à decisão do correto manejo torna-se mera especulação.

Na fitopatologia, a computação estabeleceu-se como importante ferramenta na simulação, modelagem e previsão de doenças (UCHÔA, 2007). Segundo Canteri et al. (2006), 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.

A base de conhecimento dos SAD's desenvolvidos para a diagnose de doenças têm informações provenientes da literatura e de entrevistas realizadas com especialistas na área (POZZA, 1998). Os novos SAD's, sempre que possível, são desenvolvidos em ambiente atual (Windows Seven ou superior), para facilitar a utilização de interfaces gráficas, com fotografias e ilustrações, organizados de forma hierárquica, semelhantes a um hipertexto (CARRASCAL; PAU; REINER, 1995; KEMP; STEWART; BOORMAN, 1988).

Bom exemplo é o sistema para manejo de doenças do trigo, MORECROP®, desenvolvido por Cu e Line (1994), em ambiente Windows. Na construção da interface do MORECROP® foi utilizada uma linguagem orientada ao objeto, flexível e poderosa. Entre os SAD desenvolvidos para a diagnose de doenças, um dos que possuem fotografias coloridas dos sintomas, é o Muskmelon Disease Management System® (MDMS) desenvolvido por Latin et al. (1990) para o diagnóstico e manejo de 17 desordens em melão. Contém 28 fotografias coloridas, as quais auxiliam o usuário na tomada de decisão, em seu diagnóstico final. Outros sistemas utilizam, ao invés de fotografias, desenhos e gravuras de sintomas. É o caso do DIANA® e do FORESHEALTH®, respectivamente, para a diagnose de doenças em abacaxi (PERRIER; LACOEUILHE; DIANA, 1991; PERRIER; LACOEUILHE; MALÉZIEUX, 1993) e para diagnose, avaliação da severidade e manejo de doenças em árvores de florestas de madeira de lei (NASH et al., 1992).

Como mencionado o conhecimento é representado nos SAD's em chaves dicotômicas por árvores de conhecimento hierárquicas e dividido em módulos e sub-módulos, de acordo com o raciocínio do especialista, para facilitar o desenvolvimento do sistema. No SAD construído por Boyd e Sun

(1994), para a diagnose de doenças da batata, a aquisição do conhecimento envolveu dois engenheiros do conhecimento e cinco especialistas. As regras do sistema foram divididas em módulos, de acordo com o estágio de crescimento da planta, e estes em sub-módulos, de acordo com o órgão da planta. O DIANA (PERRIER; LACOEUILHE; MALÉZIEUX, 1993) e o CALEX/Peaches (PLANT et al., 1989), também, utilizaram sub-módulos divididos conforme o órgão da planta, a distribuição da doença no campo e o estágio de crescimento da planta. Fayet (1987), em seu sistema para diagnose de 50 desordens do cravo, dividiu seus módulos, segundo a etiologia: i) doenças causadas por fungos, bactérias ou vírus, ii) problemas causados por insetos, nematóides ou ácaros e iii) doenças causadas por erros de cultivo.

Atualmente, os SAD's para a diagnose e manejo de doenças devem fornecer um nível de confiança a ser depositado na conclusão, como uma alternativa para o tratamento da incerteza, baseado em modelos matemáticos ou na simples intuição do especialista (WATERMAN, 1986). O SAD's, para a diagnose de doenças da soja (MICHALSKI et al., 1983), baseia-se em fatores multiplicativos, ou seja, a cada resposta, o sistema atribui um número, que é multiplicado por outro, da próxima resposta, até uma conclusão, com determinado nível de certeza ou confiança. Nash et al. (1992) utilizaram a teoria da probabilidade bayesiana para o cálculo da incerteza. Porém outros autores preferem a utilização de fatores de confiança atribuídos somente à conclusão final, segundo a intuição do especialista, um modelo mais fácil de ser manejado, que não depende de modelagem matemática e pode se aproximar mais facilmente da realidade na natureza (JACKSON, 1990).

Nos últimos anos vários SAD's foram desenvolvidos para a fitopatologia, principalmente na diagnose de doenças. O BLITECAST (KRAUSE; MASSIE; HYRE, 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.

Entre os sistemas para manejo de doenças destacam-se o PSAOC (TRAVIS; RAJOTTE; BANKERT, 1992) e o MORECROP (CU; LINE, 1994). O Penn State Apple Orchard Consultant (PSAOC) desenvolvido por Travis, Rajotte e Bankert (1992) para o manejo de pomares de maçã, foi construído em computadores Macintosh e emprega um SAD baseado em “Frames”. Atualmente é um dos SAD mais bem construídos e validados para o manejo de uma cultura, por incorporar o conhecimento de várias áreas da ciência agrícola. Para construir a base de conhecimentos consultaram-se especialistas em fitopatologia, entomologia, fruticultura, engenharia agrícola, meteorologia agrícola, economia agrícola e sociologia rural. São oito as doenças incluídas no sistema. Dados climáticos e características das variedades utilizadas no pomar são empregados para determinar o potencial de desenvolvimento da doença.

O “MORECROP” (Managerial Options for Reasonable Economical Control of Rusts and Other Pathogens) foi construído com o objetivo de apoiar a previsão e o manejo de 16 doenças do trigo no noroeste do Pacífico, nos Estados Unidos (CU; LINE, 1994). As informações da base de conhecimentos basearam-se em mais de 30 anos de pesquisa em manejo e epidemiologia de doenças do trigo (LINE, 1993). O sistema, além de possuir ampla base de conhecimentos, tem boa interface com o usuário, em ambiente Windows, fácil de ser manejado.

Existe ainda SAD's online, o IPPM (KOUMPOUROS et al., 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. No Brasil, também, temos alguns exemplos de SAD`s online: 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., 2006). 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> (MASSRUHÁ; CRUZ; SOUZA, 2006).

SAD`s desenvolvidos para manejo pode-se citar o CPEST® (MANSINGH; REICHGELT; BRYSON, 2007) que 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 agronômicas, tecnologia de produção, biologia e potencial de ataque das pragas, oferece opções de controle e nível de dano econômico.

No Brasil, como exemplo de sucesso no desenvolvimento da tecnologia, Pozza (1998) construiu um S.E. para diagnóstico de doenças do tomateiro, o "TomEx". A construção do sistema especialista compreendeu as fases de seleção do problema, desenvolvimento do protótipo, desenvolvimento do SAD completo e avaliação do sistema. Selecionaram-se 37 doenças do tomateiro, para a realização de diagnósticos. Foram consultados dois especialistas para adquirir o conhecimento. O SAD completo contém 78 perguntas, 87 fotografias, 116 regras e possibilita ao usuário acessar um menu de ajuda. Ao chegar ao diagnóstico, o usuário terá disponíveis fotografias dos sintomas, breve descrição da doença e o nível de confiança depositado na resposta. Na avaliação, executaram-se a verificação, a validação e a análise de sensibilidade. Na verificação, realizada por quatro especialistas, avaliou-se a lógica interna do programa. Realizou-se a

validação com 30 usuários de três diferentes níveis de conhecimento, que diagnosticaram 11 doenças. O índice de acerto do SAD foi de 95,8% e o dos usuários de 35,2%. Direcionou-se a análise de sensibilidade para o ensino, utilizando-se quatro grupos com cinco estudantes cada. Aqueles que utilizaram o programa duas ou três vezes foram superiores aos demais e não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ($p=0,05$).

Nos últimos anos podem-se destacar alguns trabalhos que foram publicados descrevendo desenvolvimentos de protótipos de SAD, sendo que entre eles tem-se SEMAÇA® (SILVA; POZZEBON; ALMEIDA, 2002) desenvolvido para auxiliar o diagnóstico de doenças que geralmente atacam macieira e maçãs. Ainda para auxílio a diagnose o Dr. SEED® (ALVES et al., 2006), é um Sistema Especialista para auxiliar na detecção de fungos em análises de sanidade de sementes. Este SAD possui opções que permitem auxiliar a identificação de 46 fungos de importância econômica que ocorrem em sementes de algodão, arroz, cenoura, feijão, girassol, milho, soja, sorgo e trigo, submetidas ao teste de incubação em papel de filtro ('blotter test').

Não só para diagnose os SAD vêm sendo usados na agricultura. Passos, Rissoli e Tenente (2005) desenvolveram um sistema especialista para identificação de espécies de nematóides, do gênero *Ditylenchus*, demonstrando a versatilidade de aplicações dos SAD

O EROSY® (FERNANDES; FERNANDES FILHO; SILVA, 1999) é um sistema de apoio ao processo de avaliação de impactos ambientais de atividades agropecuárias, que na sua validação mostrou-se um instrumento viável para efetuar a avaliação da aptidão agrícola das terras, por apresentar um índice de concordância, em nível de grupo, de aproximadamente 75% com especialistas consultados.

Tendo em vista todos esses fatores, pode-se afirmar que os sistemas especialistas podem proporcionar o acúmulo do conhecimento já existente e

divulgar as novas pesquisas em andamento na diagnose do cafeeiro, além de realizar com eficiência o diagnóstico e incluir um nível de confiança a ser depositado na resposta do programa. Todo o conhecimento extraído dos especialistas poderá ser disponibilizado na INTERNET e, desta forma, ser consultado por profissionais da extensão, alunos de graduação em agronomia e pós-graduação em fitopatologia do Brasil e do mundo, de forma gratuita, proporcionando o acesso às informações e pesquisas desenvolvidas nas universidades e centros de pesquisas. Seria uma maneira de divulgar e disponibilizar o conhecimento de professores e ou pesquisadores para a sociedade e abrir as portas da universidade para o público, mesmo em regiões distantes, que não têm acesso aos centros acadêmicos. Por fim a influência da correta diagnose na recomendação fitossanitária de forma a possibilitar um uso mais racional de produtos fitossanitários evitando problemas graves de poluição ambiental e obtenção de maiores lucros por parte dos agricultores, por si só já justifica este trabalho.

Este trabalho objetiva a reestruturação, revisão e inserção de novos conhecimentos e construção de uma nova interface do software para diagnose de doenças, pragas e deficiências nutricionais do cafeeiro.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em quatro partes. A primeira foi a elaboração da nova árvore de conhecimento do Sistema de apoio à decisão (SAD), a segunda foi a busca por novas fotografias de qualidade superior as já existentes na versão antiga; a terceira foi o desenvolvimento da nova versão do programa e a quarta foi a validação do programa.

3.1 Aquisição do conhecimento

A alteração na árvore do conhecimento foi necessária, pois, novos conhecimentos foram gerados desde a finalização da primeira versão do “Doctor Coffee”. Este novo conhecimento foi adquirido por meio da literatura especializada sobre o cafeeiro e de entrevistas com cinco especialistas (um fitopatologista, um entomologista, um prof. da disciplina de cafeicultura e dois prof(s) da área de nutrição de plantas) (EVANS, 1988; FIRLEJ; HELENS, 1991).

3.2 Aquisição de fotografias

Foi realizada uma verificação de todas as fotografias da primeira versão do programa e as fotografias com baixa qualidade ou que não apresentaram sintomas característicos foram listadas para posterior substituição. E nos ramos ou nós que não haviam fotografias foram obtidas imagens para ilustrá-los. Para as fotografias foi utilizada a câmera Sony Alpha 200® 10.2 megapixels (efetivos). O material para as fotografias foi coletado em lavouras do município de Lavras e em visitas técnicas feitas pelo Prof. Edson Ampélio Pozza em lavouras do estado de Minas Gerais.

3.3 Desenvolvimento do SAD

A nova versão do sistema de apoio à decisão foi desenvolvida no Departamento de Fitopatologia (DFP) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) em conjunto com a empresa contratada WireSpeed – Consultoria e Informática em ambiente PC.

A construção do sistema e da interface foi realizada na plataforma Delphi, para ser utilizado em CD utilizando linguagem HTML e JavaScript.

3.4 Validação do SAD

A validação do sistema foi segundo as metodologias citadas por Geissman e Schultz (1988) e Harrison (1991), com modificações, segundo os cenários a serem avaliados.

A validação do programa foi realizada com três grupos, de diferentes níveis do conhecimento (10 pessoas/grupo): i) estudantes de graduação em agronomia, ii) estudantes de pós-graduação em fitopatologia e entomologia iii) engenheiros agrônomos, estudantes de pós-graduação em outras áreas, com experiência na área agrícola e pouco ou nenhum conhecimento sobre a cultura. Cada um dos grupos analisou 10 anomalias (3 doenças, 3 pragas, 3 causas nutricionais e 1 causa abiótica), previamente identificadas em laboratório. O teste, para diagnose, foi realizado com os sintomas típicos de cada caso. O agente etiológico, causas da deficiência ou distúrbio fisiológico foram previamente identificados em laboratório.

Os participantes da validação realizaram os diagnósticos em três etapas, a primeira observando as plantas sintomáticas, logo após realizaram a diagnose com o auxílio do “Doctor Coffee v1.0” e na última diagnose eles usaram o

“Doctor Coffee v2.0”. As críticas, sugestões e o número de acertos foram catalogados para posterior análise e possível modificação do programa.

3.5 Análise estatística

A porcentagem de acerto do SAD para diagnose de distúrbios do cafeeiro na validação foi submetida ao teste de qui-quadrado:

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

Onde: F_{O_i} = Frequência observada ou porcentagem de acerto do SAD

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

A quantificação das mudanças na árvore de conhecimento do programa e das fotografias inseridas foram submetidas à análise de correlação com a diferença do número de acertos entre as duas versões do programa. Utilizou-se para esta análise o programa SAS®.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o desenvolvimento da nova versão do SAD, a informação foi adquirida por consulta a livros, boletins de pesquisa, circulares técnicas, consulta à internet e periódicos existentes sobre a cultura do cafeeiro, publicados nos últimos 10 anos, além de entrevistas com os especialistas: Dr. Edson Ampélio Pozza (Fitopatologista), Dr. Júlio César de Souza (Entomologista), Dr. Rubens José Guimarães (Fitotecnista, especialista em cafeicultura), Dr. Antonio Furtini Neto e Dra. Adélia Aziz Alexandre Pozza (Nutrição vegetal). 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 sequência da diagnose ou do conhecimento foram comuns para ambos (ALVES et al., 2006; GUIMARÃES, 2004; PINTO, 2001; POZZA, 1998; UCHÔA, 2007).

Uma das dificuldades nessa fase, a mais complexa no desenvolvimento do SAD (EDWARD-JONES, 1993), foi o fato de os especialistas discordarem de alguns termos durante a construção da árvore do conhecimento (BOYD; SUN, 1994; FAYET, 1987). No entanto, a maior dificuldade desta etapa ocorreu em virtude da atribulada agenda do especialista que muitas vezes não permitiu a realização do número de entrevistas desejadas.

4.1 Listas de diagnósticos

Para facilitar a organização das informações que seriam inseridas no programa, foi preparada uma tabela que separa os sintomas das principais doenças, pragas, distúrbios nutricionais e distúrbios abióticos do cafeeiro e nelas foram adicionadas as novas diagnoses (Tabela 1, 2, e 3).

Tabela 1 Diagnósticos de doenças contidos no “Dr. Coffee v2.0”, em negrito os sintomas adicionados na nova versão. UFLA, Lavras, MG, 2011

Nome popular	Nome científico
Antracnose	<i>(Colletotrichum spp.)</i>
Canela seca	<i>(Phoma tarda)</i>
Cercosporiose	<i>(Cercospora coffeicola)</i>
Crestamento bacteriano	<i>(Pseudomonas cichorii)</i>
Ferrugem	<i>(Hemileia vastatrix)</i>
Fusariose	<i>(Fusarium spp.)</i>
Mancha anular	<i>(Virus)</i>
Mancha de phoma	<i>(Phoma tarda)</i>
Mancha manteigosa	<i>(Colletotrichum gloeosporioides)</i>
Nematóides	
Requeima das folhas	<i>(Xylella fastidiosa)</i>
Rizoctoniose	<i>(Rhizoctonia solani)</i>
Roseliniose	<i>(Rosellinia spp.)</i>
Doenças na florada	
Nematóides	<i>(M. exigua)</i>
Nematóides	<i>(M. coffeicola, M. paranaense ou M. incognita)</i>

Tabela 2 Diagnósticos de pragas contidos no “Dr. Coffee v2.0”, em negrito os sintomas adicionados na nova versão. UFLA, Lavras, MG, 2011

Nome popular	Nome científico
Ácaro vermelho	<i>(Oligonychus ilicis)</i>
Bicheira das raízes	<i>(Chiromyza vittata)</i>
Bicho mineiro	<i>(Leucoptera coffeella)</i>
Broca	<i>(Hypothenemus Hampei)</i>
Cigarra do cafeeiro	<i>(Quesada gigas)</i>
Conchinilha das raízes	<i>(Dysmicoccus texensis)</i>
Grilo	<i>(Gryllus assimilis)</i>
Lagarta rosca	<i>(Agrotis ipsilon)</i>
Paquinha	<i>(Neocurtilla hexadactyla)</i>
Cochonilha branca	<i>(Planococcus citri)</i>
Moscas das frutas	<i>(Ceratitis capitata)</i>
Pulgão preto	<i>(Toxoptera spp.)</i>

Tabela 3 Diagnósticos de causas abióticas e de causas nutricionais contidos no “Dr. Coffee v2.0”, em negrito os sintomas adicionados na nova versão. UFLA, Lavras, MG, 2011

Causas abióticas	Causas nutricionais
Alta temperatura e alta umidade	Deficiência de Cu
Condições climáticas anormais	Deficiência de Fe
Dano por enxada	Deficiência de K
Déficit hídrico	Deficiência de N
Descargas elétricas	Deficiência de P
Escaldadura por sol	Deficiência de S
Fitotoxidez	Deficiência Mg
Lesão por vento	Excesso de N
Murcha por falta de água	Alto teor de Al
Sementes com baixa germinação	Deficiência de B
Sistema radicular defeituoso	Deficiência de Ca
Área de depósito de calcário ou gesso	Desequilíbrio nutricional
Bienalidade da cultura	Desfolha por deficiência de anos anteriores
Camada compactada do solo	Lavoura com deficiências múltiplas
Chuvas de granizo	
Dano mecânico	
Deposito de M.O no caule	
Desfolha pela colheita	
Estiolamento por sombreamento	
Excesso de água	
Excesso de M.O	
Excesso de produção nos anos anteriores	
Fitotoxidez por triazol	
Fitotoxidez por herbicida	
Geadas	
Lesões curadas de ferrugem	
Morte do embrião por excesso de água	
pH abaixo de 5	
Queima por adubo	
Queima por herbicida	
Ramos velho	
Resíduo de herbicida	

Os diagnósticos inseridos foram introduzidos em novos nós ou em nós já existentes na árvore do programa, já que não foi alterada a divisão por módulos, que é feita 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 em maior intensidade no viveiro, como o tombamento de mudas (*Rhizoctonia solani*) ou que são predominantes na fase de produção, como a ferrugem (*Hemileia vastatrix*) nas folhas (PINTO, 2001). Apesar da divisão dos módulos ser feita em relação ao estágio da cultura nos sub-módulos, em alguns casos, foi utilizado a divisão por parte da plantas atacadas. Essa divisão pode ser encontrada em diversos SADs, como AppLES (2004), CALEX/Peaches (1989), Diana (1991) e TomEX (1998), por exemplo.

4.2 Mudanças na árvore

4.2.1 Nova árvore do conhecimento

O conhecimento foi organizado de forma hierárquica, mantendo-se a hierarquização em módulos definidos pelos estágios da cultura (Figura 1) e sub-módulos que configuraram tipos de sintomas e partes da planta onde ocorreram.

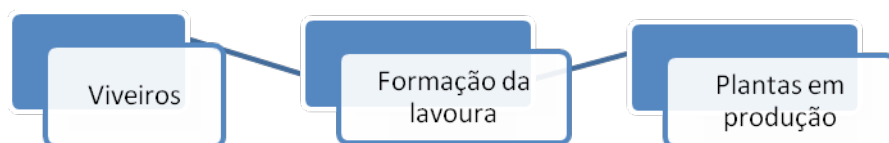


Figura 1 Módulo e ramos da “árvore do conhecimento” do “Dr. Coffee”. UFLA, Lavras, MG, 2011

Os novos conhecimentos selecionados para compor a nova árvore do programa foram distribuídos nos módulos e sub-módulos obedecendo à linha de raciocínio dos especialistas.

Algumas alterações foram realizadas em toda árvore, foram elas:

- a) reorganização dos ramos para que no primeiro nó do sub-módulo, sintomas nas folhas, presentes nos três módulos, aparecessem as opções de diagnose de: Ferrugem, Cercosporiose e Bicho mineiro, que são as doenças e pragas mais comuns;
- b) inserção dos nomes científicos dos agentes causais, patógenos ou pragas no final da diagnose;
- c) substituição do termo: “desbalanço nutricional” por “desequilíbrio nutricional”, pois, segundo os especialistas é um termo mais comumente utilizado;
- d) retirou-se a doença “Ascochyta” de toda árvore e substituiu-a por “Mancha de phoma”, seguindo o trabalho de Salgado e Pfenning (2000).

4.2.1.1 Mudanças no módulo: viveiro

O módulo “Viveiro” anteriormente era chamado de “Mudas no viveiro” e era composto de 4 sub-módulos: falhas na germinação, tombamento de mudas, sintomas nas folhas e mudas com crescimento anormal. Nesse módulo foi acrescido um sub-módulo denominado, “Sintomas no caule (sem tombamento)” (Figura 2).



Figura 2 Detalhamento do módulo “Viveiro” destacando a introdução o novo sub-módulo “Sintomas no caule sem tombamento” no “Dr. Coffee”. UFLA, Lavras, MG, 2011

Este novo sub-módulo possibilita os seguintes diagnósticos: phoma, murcha provenientes de falta d’água, danos por herbicidas e altas temperaturas.

No sub-módulo “Falhas na germinação” foram introduzidos os seguintes diagnósticos: morte do embrião por excesso de água, resíduo de herbicida e rizoctoniose.

No sub-módulo “Tombamento de mudas” foi realizada a pergunta: “Presença de lagarta no substrato?” para “Presença de lagarta no interior do substrato”, em virtude ao hábito da Lagarta rosca (*Agrotis ipsilon*) se esconder no interior do substrato durante o período diurno (SILVA et al., 2010).

No sub-módulo “Sintoma nas folhas” foi acrescentado um nó que resulta no diagnóstico de Bicho mineiro (*Leucoptera coffeella*), um ramo que resulta em crestamento bacteriano (*Pseudomonas cichorri*), patossistema que tem afetado diversos viveiros nos últimos anos (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010). Ainda neste sub-módulo foi inserido um ramo que resultou em diversas deficiências nutricionais como as dos elementos: boro, nitrogênio, magnésio, enxofre, cálcio, potássio e ferro.

No sub-módulo “Mudas com crescimento anormal” foi inserido um ramo que resulta na diagnose de nematóides, patógeno que na versão anterior do programa não foi considerado como possível agente causal de crescimento

anormal em mudas de viveiro. Neste sub-módulo ainda houve a retirada do diagnóstico, “Deficiência de nitrogênio” como fator causal de plantas estioladas.

4.2.1.2 Mudanças no módulo: formação da lavoura

O módulo “Formação da lavoura” é composto de 4 sub-módulos: sintoma de murcha, desfolha ou seca de ramos, sintomas nas folhas e plantas com crescimento anormal. (Figura 3)

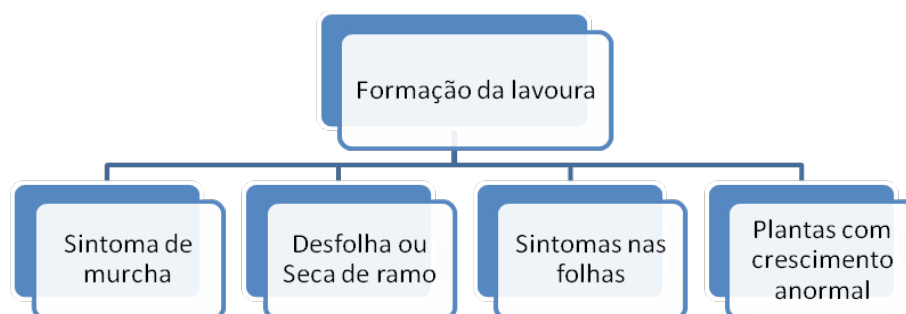


Figura 3 Detalhamento dos sub-módulos de “Formação da lavoura” do “Dr. Coffee”. UFLA, Lavras, MG, 2011

No sub-módulo “Sintoma de murcha” foram adicionadas as seguintes possíveis causas: cochonilhas das raízes, dano por enxada, camada compactada do solo, alto teor de Alumínio no solo “afogamento” do caule e excesso de matéria orgânica (M.O).

Neste sub-módulo houve a inserção do diagnóstico: Deficit hídrico que na versão anterior do programa não foi considerado como possível agente causal de murcha no estágio de formação de lavoura. A introdução de um ramo para diagnóstico de lesões por enxada e “afogamento” do caule também foi realizada neste sub-módulo. A retirada de um ramo que levaria ao diagnóstico de fusariose e a inserção de um ramo que leva ao diagnóstico de cochonilha as raízes

(*Dymicoccus texensis*) que na versão anterior do programa não foi considerado como possível agente causal de sintomas de murcha, foram outras alterações realizadas.

No sub-módulo “Desfolha e seca de ramos” foi inserido um ramo inicial na árvore com a opção: “Seca de ponteiros com brotações laterais” o que resulta nos diagnósticos de deficiência de boro, deficiência de potássio e phoma (*Phoma tarda*). Inserções de outras diagnoses ao longo deste ramo como: excesso de M.O, má formação do sistema radicular, excesso de água, camada compactada no solo, alto teor de Al presente no solo e crestamento bacteriano (*Pseudomonas cichorri*) também foram inseridas ao longo deste sub-módulo.

Neste sub-módulo foi identificada a necessidade de se criar um ramo para diferenciação de ácaro vermelho (*Oligonychus ilicis*) de deficiência de fósforo, pois, ambos têm como sintoma reflexo coloração avermelhada a arroxeadada no limbo foliar.

Diferentemente do que ocorria na versão anterior, por meio do sintoma de galhas formadas em raízes novas conseguiu-se uma diferenciação do nematóide *Meloidogyne exigua* dos demais *Meloidogynes*. Ainda em se tratando de nematóides, eles foram retirados da diagnose final como possíveis causadores de sintomas como: “pontos esbranquiçados na raiz”, “larvas de coloração marrom escura” e “presença de ninfas de cigarras”. A inserção de deficiência de enxofre como possível causa de clorose internerval e de deficit hídrico para folhas amareladas também foram realizadas neste sub-módulo.

No sub-módulo “Sintoma nos folhas” foram adicionadas as seguintes possíveis causas: fitotoxidez por herbicida, crestamento bacteriano e lesões curadas de ferrugem. Na primeira versão do programa para o sintoma de “manchas amareladas pulverulentas” havia como possível causa mancha manteigosa (*Colletotrichum gloeosporioides*) esta opção foi retirada nesta versão do programa deixando assim apenas ferrugem (*Hemileia vastatrix*) como

possível agente causal deste sintoma. Durante a verificação da árvore de conhecimento foi identificado um nó repetido que resulta na deficiência de potássio, esta repetição foi retirada nesta nova versão. Como proposto inicialmente os nós que levam à cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) e ao bicho mineiro (*Leucoptera coffeella*) foram deslocados para o ramo inicial deste sub-módulo.

Novamente foi realizada a criação de um ramo para diferenciação de ácaro vermelho de deficiência de fósforo, assim como a inserção de um ramo que resulta na diagnose de deficiências de magnésio, nitrogênio e fósforo. Um nó com sintomas característicos de fitotoxidez de herbicidas também foi inserido no primeiro ramo deste sub-módulo.

No último sub-módulo de formação da lavoura denominado, crescimento anormal, os seguintes diagnósticos foram adicionados: alto teor de Al no solo, estiolamento por sombreamento, excesso de M.O, excesso de água e pH menor que 5. A retirada de desequilíbrio nutricional como possível causa do sintoma de rachaduras nas raízes e a diferenciação de *M. exigua* das demais espécies de *Meloidogynes* assim como a retirada de nematóides como possível agente causal de: “pontos esbranquiçados na raiz”, “larvas de coloração marrom escura” e “presença de ninfas de cigarras” foram as outras alterações feitas neste sub-módulo.

4.2.1.3 Mudanças no módulo: plantas em produção

O módulo “Plantas em produção” é composto de 5 sub-módulos: sintoma de murcha, desfolha ou seca de ramos, sintomas nas folhas, manchas e/ou lesões nos frutos e plantas com crescimento anormal. (Figura 4)

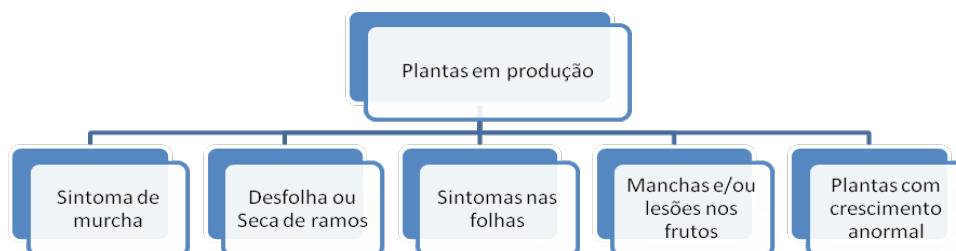


Figura 4 Detalhamento dos sub-módulos de “Plantas e produção” do “Dr. Coffee”. UFLA, Lavras, MG, 2011

No sub-módulo “Sintoma de murcha” foram adicionadas os seguintes possíveis diagnósticos: dano mecânico, camada compactada do solo, alto teor de Al no solo, excesso de produção e déficit hídrico. No primeiro ramo deste sub-módulo foi inserido um nó que resulta em déficit hídrico, um dos principais causadores do sintoma de murcha segundo os especialistas. Outra alteração feita foi a retirada de dois ramos redundantes que levariam ao diagnóstico de fusariose.

No sub-módulo “Desfolha ou seca de ramo” foi inserido, ao longo dos ramos, os possíveis diagnósticos de: deficiência de boro, potássio e enxofre, área de depósito de calcário ou gesso, depósito de M.O no caule a planta, lavoura velha com deficiências múltiplas, desfolha pela colheita, mancha anular, desfolha por deficiências ou doenças nos anos anteriores, lesões de ferrugem curadas e mancha manteigosa. Ao primeiro ramo deste sub-módulo foi inserido um nó com a opção de seca de ponteiros com brotações laterais, que resulta como possíveis causas: deficiência de boro, magnésio ou phoma. A inserção de um ramo para diagnóstico de deficiência de enxofre como possível causa de amarelecimento das folhas em reboleira e nós para que leve m a diagnósticos de mancha manteigosa e mancha anular também foram inseridos. A diferenciação de *M. exigua* das demais espécies de *Meloidogynes* assim como a retirada de

nematóides como possível agente causal de: “pontos esbranquiçados na raiz”, “larvas de coloração marrom escura” e “presença de ninfas de cigarras” foram alterações sugerida pelos especialistas também para este sub-módulo, assim como a criação de um ramo para diferenciação de ácaro vermelho (*Oligonychus ilicis*) de deficiência de fósforo e a tirada de mancha manteigosa (*Colletotrichum gloeosporioides*) como possível agente causal de “manchas amareladas pulverulentas” deixando assim apenas ferrugem (*Hemileia vastatrix*) como possível agente causal deste sintoma. O deslocamento do nó que leva à diagnose de bicho mineiro para os ramos principais também foi realizado.

Neste sub-módulo foi eliminado dois ramos redundantes que levariam à possível diagnose de deficiência de potássio e um ramo que levaria à deficiência de nitrogênio, bem como à eliminação de ramo redundante para a possível diagnose de mancha manteigosa.

No sub-módulo “Sintomas nas folhas” foi acrescentado ao longo dos seus ramos, possíveis diagnósticos de: fitotoxidez por herbicida, fitotoxidez por adubo, fitotoxidez por triazol, geada, chuva de granizo, lesões curadas de ferrugem e deficiências dos nutrientes: fósforo, nitrogênio, boro, magnésio e enxofre. Como em outros sub-módulos o deslocamento dos nós de cercospora e bicho mineiro para o ramo principal assim como a criação de ramo para diferenciação de ácaro vermelho e deficiência de fósforo, foi realizado.

A inserção de um mesmo nó para diagnose de fitotoxidez por herbicida ou por adubo foi sugerida pelos especialistas para diminuir a probabilidade do usuário do programa não encontrar esta opção, visto que um dos ramos em que este nó está inserido é um ramo terciário. Inserção de ramos que resultam na diagnose de deficiências de fósforo, nitrogênio, boro, magnésio e enxofre também foram adicionados ou reformulados.

Agentes causais de possíveis sintomas em folhas como geada e chuva de granizo que, na versão anterior não faziam parte da árvore de conhecimento do

programa nesta versão foram incorporados, utilizando-se ramos específicos para cada um deles. Neste sub-módulo foi eliminado um ramo redundante para a diagnose de deficiência de potássio.

No sub-módulo “Manchas e/ou lesões nos frutos” houve a introdução de nós para: moscas das frutas (*Ceratitis capitata*), cochonilha branca (*Planococcus citri*) e pulgão preto (*Toxoptera spp.*), além da retirada do nó que levaria ao diagnóstico de mancha de phoma em fruto (*Phoma tarda*).

No sub-módulo “Plantas com crescimento anormal” foram adicionadas os seguintes possíveis diagnósticos: doenças na florada, bienalidade da cultura, camada compactada do solo, alto teor de Al no solo, excesso de M.O, ramos velhos, excesso de água, desequilíbrio nutricional e excesso de produção ou doença na safra anterior.

Os diagnósticos de: alto teor de Al e camada compactada foram colocados como possíveis causadores do sintoma de “raízes bifurcadas, tortas ou enroladas”; já os diagnósticos de doenças na florada e bienalidade da cultura foram colocados como possíveis agentes causais dos sintomas de “plantas com muitas folhas e pouca carga pendente” e para o sintoma de “ramos com grande comprimento e folhas apenas na extremidade” inseriu-se como possíveis causas: ramos velhos, desequilíbrio nutricional e excesso de doença ou produção na safra anterior. A diferenciação de *M. exigua* das demais espécies de *Meloidogynes* assim como a retirada de nematóides como possível agente causal de: “pontos esbranquiçados na raiz”, “larvas de coloração marrom escura” e “presença de ninfas de cigarras” foram as demais alterações feitas neste sub-módulo.

4.2.2 Quantificação do conhecimento inserido

Esta versão, diferentemente da anterior, contou com cinco especialistas de diversas áreas (fitopatologista, entomologista, fitotecnista e nutrição vegetal) o que proporcionou um aumento das diagnoses possíveis, tornando o programa mais completo. As novas diagnoses foram inseridas de diferentes maneiras no programa, algumas em novos ramos, outras em novos nós ou até mesmo em nós já existentes.

O maior número de diagnoses de origem abiótica (Tabela 4) inseridas nesta versão se deve à participação de um especialista na cultura do cafeeiro, o que não havia acontecido na versão anterior (PINTO, 2001), e resultou em um aumento de mais de 190%. O alto número de nós inseridos para as novas diagnoses de causas nutricionais se explica pela utilização de dois especialistas nesta versão do programa, que prolongaram os caminhos para os diagnósticos de deficiências, no entanto, isto aumentou o grau de confiança nos diagnósticos.

Tabela 4 Relação das mudanças feitas na árvore de conhecimento do “Dr. Coffee v2.0”. UFLA, Lavras, MG, 2011

	Diagnoses inseridas	ΔX % (*)	Nº de vezes inserido	Ramos inserido	Nós inseridos
Doenças	3	23,08	26	7	17
Pragas	5	55,56	5	5	8
Causas nutricionais	6	75,00	38	15	24
Causas abióticas	21	190,91	51	7	17
Total	35	85,37	120	34	66

(*) ΔX % - Incremento

4.3 Mudanças e inserção de fotografias

A possibilidade de visualizar os sintomas, por meio das fotografias, torna o SAD uma importante ferramenta de ensino em fitopatologia (LATIN; MILES; RETTINGER, 1990; PLANT et al., 1989; POZZA, 1998; YIALOURIS; SIDERILIS, 1996). A descrição dos sintomas junto com a fotografia procura auxiliar o usuário na realização do diagnóstico, simulando o raciocínio lógico do especialista. Pozza (1998) ressalta que o uso do maior número de fotografias auxilia no entendimento dos conceitos e diminui a margem de erros na diagnose. Baseado nisto foram inseridas fotografias para ilustrar todos os módulos e sub-módulos do programa, sendo três fotografias para os módulos (viveiro, formação da lavoura e plantas em produção), cinco fotografias para os sub-módulo “viveiro”, quatro fotografias para o sub-módulo “formação da lavoura” e cinco fotografias para o sub-módulo “plantas em produção”. Totalizou, assim, dezessete novos elementos ilustrativos nesta versão do programa. Além de fotografias dos sintomas ou das fases e partes das plantas, também, foram inseridas ilustrações para as opções “Sim, Não e Não sei informar” (Figura 5) com a finalidade de tornar a utilização do programa mais fácil e intuitiva.



Figura 5 Ilustrações adicionadas ao “Dr. Coffee”. UFLA, Lavras, MG, 2011

4.3.1 Novas fotografias

4.3.1.1 Novas fotografias no módulo: viveiro

Nos ramos do sub-módulo “Falhas na germinação” foram inseridas 2 ilustrações. Já no sub-módulo “Tombamento de mudas” foram inseridas 2 fotografias de sintomas, adicionadas novas fotografias para os sintomas de “estrangulamento na região do colo” e “Depressão na casca”, além de 11 ilustrações (Figura 5).

No sub-módulo “sintomas nas folhas” foram trocadas as fotografias para os sintomas de: manchas escuras circulares, manchas escuras com bordas irregulares, lesões circulares de cor clara parda e centros claros e manchas pequenas irregulares com grande halo amarelado no ramo principal deste sub-módulo. Nos ramos secundários foram inseridas fotografias para os sintomas de: “folhas infectadas com bordas deformadas ou recurvadas” “folhas com bordas necróticas não deformadas ou recurvadas” e “folhas com aspecto rendilhado”. Para o nó que resulta na diagnose de bicho mineiro foi adicionada uma fotografia de sintoma e para o ramo que resulta na diagnose de crestamento bacteriano foram inseridas uma fotografia de sintoma e três ilustrações. Para o ramo secundário inserido nesta versão que resulta na diagnose das deficiências nutricionais foram inseridas oito fotografias de sintomas e 2 ilustrações. Nos demais nós e ramos deste sub-módulo foram inseridas, também, treze ilustrações.

No sub-módulo “mudas com crescimento anormal” foi trocada a fotografia do sintoma de “rachadura longitudinal ao longo da haste” e inserida a fotografia para o novo ramo referente ao sintoma de “raízes com galhas, rachaduras, descascamento ou reduzidas” além de inserção de duas ilustrações.

No sub-módulo “sintomas no caule (sem tombamento)” que foi inserido nesta versão Foram colocadas duas fotografias de sintomas (lesões necróticas no caule e lesões com picnídio) e duas ilustrações.

4.3.1.2 Novas fotografias no módulo: formação da lavoura

No sub-módulo “sintomas de murcha” Foram inseridos, nesta versão, os ramos que resultam nos diagnósticos de déficit hídrico, lesão por enxada e cochonilhas. Na elaboração do ramo que resulta em déficit hídrico foram inseridas duas ilustrações, para o ramo de lesão por enxada foi colocada uma fotografia de sintoma e duas ilustrações e para o ramo de cochonilhas foram uma fotografia de sintoma e outra de ilustração. Além das fotografias inseridas nos novos ramos foram inseridas outras sete ilustrações nos ramos já existentes deste sub-módulo.

No sub-módulo “desfolha ou seca de ponteiro” foram inseridos, nesta versão, os ramos que propiciam as diagnoses de deficiência de boro, ramo de diferenciação de ácaro vermelho e deficiência de fósforo e ramos para crestamento bacteriano. No ramo de deficiência de boro foi inserida uma fotografia de sintoma, assim como no ramo de diferenciação do inseto da deficiência onde foram inseridas duas fotografias e no ramo de crestamento que foi inserida uma fotografia de sintoma e três ilustrações. Nos ramos já existentes da deste sub-módulo foram inseridas cinco fotografias de sintomas (folhas amareladas, amarelecimento em reboleira, deficiência de potássio, folhas deformadas e folhas rendilhadas) além de vinte outras ilustrações. As fotografias referentes de sintomas referentes aos diagnósticos de nematóides (3), cochonilhas (1), bicheira das raízes (1), cigarras (1), cloroses (2), internódios curtos (1), mancha de phoma (2), creosporiose (1), mancha aureolada (1),

bicho mineiro (1), deficiência de potássio (1) e mancha manteigosa (1) foram trocadas por fotos com melhor qualidade e mais características dos sintomas.

No sub-módulo “sintomas nas folhas” os ramos inseridos nesta versão para crestamento bacteriano, diferenciação de ácaro vermelho e deficiência de fósforo, fitotoxidez por herbicida e deficiência de magnésio, nitrogênio e fósforo contam com sete fotografias de sintomas e cinco ilustrações. Nos ramos já existentes deste sub-módulo foram trocadas quinze fotografias de sintomas e adicionadas vinte e uma ilustrações.

No sub-módulo “plantas com crescimento anormal” as fotografias referentes aos sintomas de “galhas, rachaduras e descamamento nas raízes” (1), nematóides (3), cochonilhas (1), bicheira das raízes (1) e cigarras (1) foram trocadas por fotografias mais características dos sintomas e foram acrescentadas sete ilustrações.

4.3.1.3 Novas fotografias no módulo: plantas em produção

No sub-módulo “sintomas de murcha” foi inserida a fotografia de sintoma de roseliniose (*Rosellinia spp.*) em campo e outras seis ilustrações ao longo dos ramos. No sub-módulo “manchas ou lesões nos frutos” foram inseridos, nesta versão, os ramos que propiciam as diagnoses de moscas das frutas e cochonilhas, ambas receberam uma fotografia de sintoma e ao longo dos ramos já existente foram inseridos três ilustrações. Além de fotografias para os sintomas de: cercosporiose (1), mancha anular (1), broca (1) e antracnose (1) totalizando quatro fotografias de sintomas trocados.

No sub-módulo “desfolha ou seca de ponteiro” foi inserido, nesta versão, o ramo propicia a diagnose de deficiência de boro onde foi inserida uma fotografia referente ao sintoma de “seca de ponteiro com brotamentos laterais”. As fotografias referentes aos sintomas de “galhas, rachaduras e descamamento

nas raízes” (1), nematóides (3), cochonilhas (1), bicheira das raízes (1) e cigarras (1) foram trocadas por fotografias mais características dos sintomas e foram acrescentadas sete ilustrações. Para ilustrar os “sintomas de amarelecimento nas folhas” e “amarelecimento em reboleira” foram inseridas duas fotografias de sintomas e neste ramo foi inserida ainda uma ilustração. Para o ramo de diferenciação de ácaro vermelho e deficiência de fósforo foram inseridas duas fotografias de sintomas, assim como para o ramo que resulta em “descargas elétricas” que recebeu uma fotografia de sintoma. No ramo de lesões foliares foram trocadas as fotografias referentes aos sintomas de: mancha de phoma (2), cercospora (1), mancha anular (1), ferrugem (1), mancha anular (1), descoloração das nervuras e queima nos bordos (1), internódios curtos (1), bicho mineiro (1) e mancha maneigosa (1) além da inserção da fotografias de folhas rendilhadas (1) e folhas deformadas (1) e mais 14 ilustrações.

No sub-módulo “plantas com crescimento anormal” foram inseridas fotografias para “muitas folhas e pouca carga pendente”, para “ramos grandes com folhas apenas nas extremidades” e uma ilustração. As fotografias referentes aos sintomas de nematóides (3), cochonilhas (1), bicheira das raízes (1) e cigarras (1) foram trocadas por fotografias mais características e foram acrescentadas sete ilustrações.

No sub-módulo “sintomas nas folhas” foram inseridas fotografias para ramos e nós que dos sintomas de: folhas pequenas recurvadas e finas (2), folhas rendilhadas (1), deficiência de fósforo (1), coloroses (2), deficiência de ferro (1), acostelamento nas folhas, fitotoxidez por herbicida (1), mancha anular (1), mancha manteigosa (1), geada (1) e chuva de granizo (1). Foram trocadas as fotografias referentes à: mancha de phoma (2), cercosporiose (1), mancha aureolada (1), escaldadura (1), ferrugem (1) e bicho mineiro (1). Foram inseridas, ainda, vinte e sete ilustrações ao longo dos ramos deste sub-módulo.

4.3.2 Quantificação das novas fotografias

A descrição dos sintomas junto com a fotografia procura auxiliar o usuário na realização do diagnóstico, simulando o raciocínio lógico do especialista (UCHÔA, 2007). Pozza (1998) ressalta que o uso do maior número de fotografias auxilia no entendimento dos conceitos e diminui a margem de erros na diagnose. Baseado nisso foi realizado uma intensa inserção e troca de fotografias de sintomas e ilustrações nesta versão do programa (Tabela 5), visando diminuir os erros cometidos na diagnose e também aumentar o efeito estético do programa, o que muitas vezes é um fator decisivo na decisão do usuário em utilizar ou não o programa. A baixa qualidade das fotografias da versão anterior já havia sido relatada por Guimarães (2004) que citou que algumas fotografias desta versão encontravam-se fora de foco e sem definição. A versão anterior havia aproximadamente 180 fotografias (PINTO, 2001) destas 84, mais de 45% foram trocadas por fotografias com melhor definição ou com sintomas mais característicos.

Tabela 5 Relação das mudanças feitas nas fotografias contidas no “Dr. Coffee v2.0”. UFLA, Lavras, MG, 2011

	Sub-Módulo I “Viveiro”	Sub-Módulo II “Formação da lavoura”	Sub-Módulo III “Plantas em produção”	Total
Fotografias Inseridas	20	14	24	58
Fotografias Trocadas	11	38	35	84
Ilustrações Inseridas	36	70	67	173
Total	67	122	126	315

4.4 Validação

Após a realização da inserção das novas fotografias, novos ramos, nós e diagnósticos, o Dr. Coffee foi testado por usuários de três níveis de

conhecimento, cada grupo com 10 pessoas, realizando o diagnóstico de 10 problemas. Onde o índice médio de acerto nesta fase foi de 91% do sistema e de 23% dos usuários (Tabela 6). Nessa fase também foi realizado o teste Qui-quadrado ($P < 0,01$ e $< 0,005$), que demonstrou a confiabilidade do programa (Tabela 6). O índice médio de acerto do “Dr. Coffee v1.0” 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). 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 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 graduação em agronomia tiveram a melhor média geral de acertos, com o “Dr, Coffee v2.0” (94%) e sem o programa (34%) que se deve à familiaridade com os termos técnicos e as doenças, pragas e anomalias de causas nutricionais e abióticas. Os estudantes de pós-graduação em fitopatologia e entomologia, por estarem se especializando em uma determinada área de conhecimento, muitas vezes não conseguem interpretar adequadamente as causas dos sintomas que estão relacionados com outras áreas, o que explicaria o baixo percentual de acertos nas diagnoses de causa nutricionais e abióticas.

De modo geral todos os grupos que utilizaram a nova versão do programa obtiveram índices de acertos semelhantes e superiores às diagnoses sem auxílio do programa ou com a primeira versão (Tabela 6). A diferença do número de acertos entre as duas versões do programa comprova a necessidade dos SAD's serem atualizados periodicamente.

Tabela 6 Quantidade de acertos do teste de validação do “Dr. Coffee v2.0” e resultado do teste de qui-quadrado (χ^2) .
UFLA, Lavras, MG, 2011

		DOENÇAS		PRAGAS		DEFICIÊNCIAS		ABIÓTICOS		TOTAL	
		%	χ^2	%	χ^2	%	χ^2	%	χ^2	%	χ^2
Estudantes de pós graduação em fitopatologia	Sem o “Dr. Coffee”	33	35,68	53	14,94	13	65,31	0	90,00	30	40,00
	Com o “Dr. Coffee” v1.0	53	14,94	67	6,05	80	1,11	0	90,00	60	10,00
	Com o “Dr. Coffee” v2.0	87	0,12* *	100	1,11* *	93	0,12* *	80	1,11* *	92	0,04* *
Estudantes de pós graduação em entomologia	Sem o “Dr. Coffee”	0	90,00	73	3,09	0	90,00	0	90,00	22	51,38
	Com o “Dr. Coffee” v1.0	67	6,05	67	6,05	53	14,94	0	90,00	56	12,84
	Com o “Dr. Coffee” v2.0	80	1,11* *	100	1,11* *	80	1,11* *	80	1,11* *	88	0,04* *
Estudantes de graduação em agronomia	Sem o “Dr. Coffee”	26	45,62	63	8,12	19	56,77	20	54,44	34	34,84
	Com o “Dr. Coffee” v1.0	70	4,28	52	16,17	63	8,12	0	90,00	56	13,18
	Com o “Dr. Coffee” v2.0	96	0,44* *	100	1,11* *	93	0,07* *	80	1,11* *	94	0,18* *
Pessoas sem contato com a cultura	Sem o “Dr. Coffee”	0	90,00	19	55,94	0	90,00	0	90,00	6	78,93
	Com o “Dr. Coffee” v1.0	76	2,12* *	52	15,72	81	0,91* *	0	90,00	63	8,19
	Com o “Dr. Coffee” v2.0	100	1,11* *	95	0,30* *	81	0,91* *	70	4,44	90	0,00* *

(**) – Significativo a 0,01 segundo o teste de qui-quadrado

(*) – Significativo a 0,05 segundo o teste de qui-quadrado

4.5 Incremento

Com a análise de incremento pode-se observar o grupo que mais se beneficiou com a utilização de ambas as versões do SAD's: as pessoas que não possuem contato com a cultura (Tabela 7), que obtiveram incrementos de mais de 1000%. Para os estudantes de pós graduação em fitopatologia e pessoas sem contato com a cultura, os maiores incrementos se deram em relação aos diagnósticos de sintomas causados por fatores abióticos, enquanto para os alunos de pós graduação em entomologia os maiores incrementos foram obtidos nas diagnoses de causas relacionados a doenças causadas por microorganismos e para os estudantes do curso de agronomia os maiores incrementos de acertos foram em relação a sintomas provenientes de causas nutricionais. Demonstra a diversidade de auxílio que o programa oferece dependendo do conhecimento do seu utilizador.

A redução no número de acertos (incremento negativo) ocorrido principalmente no grupo de estudantes de agronomia, durante a utilização da primeira versão do programa, pode ser explicada pelo fato desta versão apresentar ramos e nós sem fotografias ou com fotografias com baixa qualidade (GUIMARÃES, 2004). Esse grupo apresentou a característica de ao utilizar o SAD, baseando-se principalmente nas fotografias de sintomas, não dando atenção ao texto com a descrição dos sintomas.

Tabela 7 Incremento (ΔX) do numero acertos com a utilização do “Dr. Coffee v2.0” no teste de validação . UFLA, Lavras, MG, 2011

		DOENÇAS	ΔX	PRAGAS	ΔX	DEFICIÊNCIAS	ΔX	ABIÓTICOS	ΔX	TOTAL	ΔX
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Estudantes de pós graduação em fitopatologia	Sem o “Dr. Coffee”	33	-	53	-	13	-	0	-	30	-
	Com o “Dr. Coffee” v1.0	53	60	67	25	80	500	0	-	60	100
	Com o “Dr. Coffee” v2.0	87	160	100	88	93	600	80	8000	92	207
Estudantes de pós graduação em entomologia	Sem o “Dr. Coffee”	0	-	73	-	0	-	0	-	22	-
	Com o “Dr. Coffee” v1.0	67	6700	67	-9	53	5300	0	-	56	155
	Com o “Dr. Coffee” v2.0	80	8000	100	36	60	6000	60	6000	78	255
Estudantes de graduação em agronomia	Sem o “Dr. Coffee”	26	-	63	-	19	-	20	-	33	-
	Com o “Dr. Coffee” v1.0	70	171	52	-18	63	240	0	-2000	56	67
	Com o “Dr. Coffee” v2.0	96	271	100	59	93	400	80	300	94	182
Pessoas sem contato com a cultura	Sem o “Dr. Coffee”	0	-	19	-	0	-	0	-	6	-
	Com o “Dr. Coffee” v1.0	76	7600	52	175	81	8100	0	-	63	1000
	Com o “Dr. Coffee” v2.0	100	10000	95	400	81	8100	70	7000	90	1475

4.6 Correlação

A análise de correlação permitiu analisar quais alterações tiveram influência no número de acerto de diagnósticos quando se comparado à utilização das suas versões do programa. Foi observada uma correlação positiva de 95% entre todas as mudanças feitas na árvore de conhecimento do programa e o aumento nos acertos, o que significa que as mudanças realizadas contribuíram para que os usuários que testaram o programa realizassem diagnósticos corretos (Tabela 8). De todas as mudanças realizadas na árvore de conhecimento do programa, a única que não apresentou correlação significativa foram as mudanças feitas nos ramos e nós que resultariam em diagnósticos relacionados a causas nutricionais. Isso deve principalmente ao grupo de pessoas sem contato com a cultura ter acertado o mesmo percentual de diagnoses quando utilizaram as duas versões do SAD.

As fotografias inseridas e trocadas apresentaram correlação positiva o que se justifica pela maior facilidade de utilização do SAD quando as fotografias e ilustrações estão sempre disponíveis e em boa qualidade. Ainda pode-se ressaltar a possibilidade de que a visualização dos sintomas por meio das fotografias torna o SAD uma importante ferramenta de ensino em fitopatologia (LATIN; MILES; RETTINGER, 1990; PLANT et al., 1989; POZZA, 1998; YIALOURIS; SIDERIDIS, 1996).

Tabela 8 Correlação entre mudanças na árvore e de fotografias com o aumento de acertos no teste de validação. UFLA, Lavras, MG, 2011

Mudanças	Correlação
Total de mudanças na árvore	0,95 *
Nós e ramos de Doenças	0,83 *
Nós e ramos de Pragas	0,96 *
Nós e ramos de Causas nutricionais	0,44
Nós e ramos de Causas Abióticas	0,98 *
Fotografias e ilustrações	0,95 *

(*) – Significativo a 0,01

5 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos é possível afirmar que o conhecimento extraído dos especialistas e da literatura publicada nestes dez anos pode ser extraído, organizado e inserido no sistema de apoio à decisão “Doctor Coffee v2.0”.

Que o conhecimento estruturado em árvore de decisão binária foi tão eficiente quanto o mecanismo de inferência do sistema especialista na semiologia do cafeeiro.

O sistema “Doctor Coffee v2.0” foi promissor como ferramenta de treinamento e/ou ensino para identificação de doenças do cafeeiro.

Os sistemas de apoio à decisão necessitam de revisões, reestruturações e inserção de novos conhecimentos, periodicamente, para que continuem sendo uma ferramenta para a diagnose.

O “Doctor Coffee v2.0” é uma ferramenta de preservação e divulgação do conhecimento dos especialistas.

REFERÊNCIAS

- ABEL, M. et al. Evaluating case-based reasoning in a geological model. In: INTERNATIONAL CONFERENCE AND WORKSHOP ON DATABASE AND EXPERT SYSTEMS APLICATIONS, 6., 1995, London. **Proceedings...** London: DEXA, 1995. 1 CD-ROM.
- ALVES, M. C. et al. 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, jan./fev. 2006.
- BOYD, D. W.; SUN, M. K. Prototyping an expert system for diagnosis of potato diseases. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 10, n. 3, p. 259-267, 1994.
- CANTERI, M. G. et al. **Tecnologia da informação aplicada à fitopatologia**. Disponível em: <<http://agrosoft.softex.br/agrosobr/ver.php?page=ss>>. Acesso em: 5 set. 2006.
- CARRASCAL, M. J.; PAU, L. F.; REINER, L. Knowledge and information transfer in agriculture using hypermedia a system review. **Computer and Eletronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 12, n. 1, p. 83-119, 1995.
- CARVALHO, J. G. et al. Sintomas de desordens nutricionais em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: UFLA, 2010. p. 31-67.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café safra 2011**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_08_52_41_boletim_cafe_1a_estimativa_safra_2011..pdf>. Acesso em: 29 jul. 2011.
- CU, R. M.; LINE, R. F. An expert advsory system for wheat disease management. **Plant Disease**, Quebec, v. 78, n. 2, p. 209-215, Apr. 1994.
- EDWARD-JONES, G. Knowledge based systems for crop protection: theory and practice. **Crop Protection**, Guildford, v. 12, p. 565-578, Dec. 1993.

EVANS, J. J. T. The knowledge elicitation problem: a psychological perspective. **Behavior and Information Technology**, Oxford, v. 7, n. 1, p. 111-130, Feb. 1988.

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

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, MG, v. 23, n. 1, p. 75-82, jan./fev. 1999.

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

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

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

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. **Semiologia do cafeeiro**: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas. Lavras: UFLA, 2010. 215 p.

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

HUGGINS, L. F.; BARRET, J. R.; JONES, D. D. Expert systems: concepts and opportunities. **Agricultural Engineering**, Saint Joseph, v. 67, n. 1, p. 21-23, 1986.

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

KEMP, R.; STEWART, T.; BOORMAN, A. Improving the expert system interface. **AI Application Natural Research Management**, San Francisco, v. 2, n. 1, p. 48-53, Apr. 1988.

KOUMPOUROS, Y. et al. Image processing for distance diagnosis in pest management. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amesterdam, 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**, Saint Paul, v. 59, n. 2, p. 95-98, 1975.

LATIN, R. X. et al. An expert systems for diagnosing muskmelon disorders. **Phytopathology**, Saint 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**, Lawrence, v. 5, n. 6, p. 20-21, 2005.

LINE, R. F. Integrated pest management for wheat: IPM in a wide-ranging system. **Plant Disease**, Saint Joseph, v. 73, n. 3, p. 303-307, 1993.

MAHAMAN, B. D. et al. DIARES-IPM: a diagnostic advisory rule-based expert system for integrated pest management in Solanaceus crop systems. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 76, n. 3, p. 1119-1135, Mar. 2003.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 683 p.

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. Disponível em: <<http://agrosoft.softex.br/agrosobr/ver.php?page=ss>>. Acesso em: 5 set. 2006.

MICHALSKI, R. S. et al. A computer based advisory system for diagnosing soybean diseases in Illinois. **Plant Disease**, Quebec, v. 67, p. 459-463, Apr. 1983.

_____. PLANT/ds: an experimental computer consulting system for the diagnosis of soybean diseases. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 71, n. 2, p. 272-275, 1981.

MIRANDA, J. C. **Domínios da inteligência artificial**: sistemas especialistas e lógicas não-clássicas. Varginha: Faculdade Cenecista, 2006. 81 p. Apostila.

NASH, B. L. et al. 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, Nov. 1992.

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

PASSOS, A. P.; RISSOLI, V. V.; TENENTE, R. C. V. Identificação de espécies de ditylenchus usando sistema especialista para chave do gênero. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 25., 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2005. 1 CD-ROM.

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

PERRIER, X.; LACOEUILHE, J. J.; MALÉZIEUX, E. An expert system for pineapple disorder diagnosis. **Acta Horticulture**, The Hague, v. 334, n. 1, p. 197-204, 1993.

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

PLANT, R. E. et al. CALEX/Peacher, an expert system for the diagnosis of peach an nectarine disorders. **HortScience**, Alexandria, v. 24, n. 4, p. 700-701, 1989.

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

POZZA, E. A.; CARVALHO, L. V.; CHALFOUN, S. M. Sintomas e injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro**: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas. Lavras: UFLA, 2010. p. 68-106.

RIBEIRO, H. C. S. **Introdução aos sistemas especialistas**. Rio de Janeiro: LTC, 1987. 142 p.

SALGADO, M.; PFENNING, L. H. Identificação e caracterização morfológica de espécies de Phoma do Brasil. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA, 2000. v. 1, p. 183-186.

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.

SILVA, D. R.; POZZEBON, E.; ALMEIDA, M. A. F. **SEMAÇA**: sistema especialista para auxílio no diagnóstico de doenças da maçã e macieiras. Florianópolis: UFSC, 2002. Disponível: <<http://www.inf.ufsc.br/~l3c/artigos/pozzebon02g.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2009.

SILVA, R. A. et al. Sintomas e injúrias causadas pelo ataque de em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro**: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas. Lavras: UFLA, 2010. p. 107-142.

TRAVIS, J. W.; LATIN, R. X. Development, implementation, an adoption of expert systems in plant pathology. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 19, p. 343-360, Sept. 1991.

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

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

UCHÔA, C. N. **Desenvolvimento de sistema de apoio à decisão para diagnose das doenças, pragas e distúrbios abióticos dos citros**. 2007. 44 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

WATERMAN, D. **A guide to expert systems**. Reading: A. Wesley, 1986. 419 p.

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