

# TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE CONHECIMENTOS APLICADAS À MODELAGEM DE OCORRÊNCIA DA CERCOSPORIOSE (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke) EM CAFEEIROS NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS

Vanessa Cristina Oliveira de Souza<sup>1</sup>, Rodrigo Luz da Cunha<sup>2</sup>, Livia Naiara Andrade<sup>3</sup>,  
Margarete Marin Lordelo Volpato<sup>4</sup>, Vicente Luiz de Carvalho<sup>5</sup>, Ahmed Ali Abdalla Esmin<sup>6</sup>

(Recebido: 15 de agosto de 2011; aceito 4 de junho de 2012)

**RESUMO:** O levantamento do progresso da cercosporiose torna-se potencialmente útil e compreensível no entendimento da doença e no processo de tomada de decisão para medidas de controle. Nos últimos anos, programas computacionais têm ajudado a elucidar quais fatores bióticos ou abióticos são mais representativos. Objetivou-se, neste trabalho, investigar, utilizando técnicas de extração do conhecimento, quais atributos ambientais e fenológicos mais influenciam na ocorrência da cercosporiose em cafeeiros no Sul de Minas Gerais, sob dois sistemas de cultivo: convencional e orgânico. Para isso, foram organizados dados de incidência de cercosporiose nos dois sistemas de cultivo, com dados climáticos e fenológicos da cultura, em um período de cinco anos de avaliação. Em seguida, um algoritmo de extração do conhecimento baseado em árvore de decisão foi utilizado para obter os atributos que mais favorecem a ocorrência da cercosporiose. Os modelos gerados tiveram 60% de taxa de acerto e mostraram que a temperatura média foi o atributo de maior influência na totalidade dos dados e para o sistema convencional de cultivo. No manejo orgânico, a precipitação mensal e a fenologia são os fatores que mais interferem na ocorrência da doença.

**Termos para indexação:** *Coffea arabica*, mineração de dados epidemiológicos, epidemiologia de doenças de plantas.

## TECHNICAL KNOWLEDGE EXTRACTION APPLIED TO MODELING OF OCCURRENCE (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke) COFFEE IN THE SOUTHERN REGION OF MINAS GERAIS

**ABSTRACT:** The survey of the progress of *Cercospora leaf spot* becomes potentially useful and understandable in understanding the disease process and in decision making for control measures. In the last years, computer programs have helped to elucidate what factors are biotic or abiotic more representative. The aim of this work was to investigate, using knowledge extraction techniques, which phenological and environmental attributes most influence on the occurrence of *Cercospora leaf spot* on coffee trees in southern Minas Gerais, under two tillage systems: conventional and organic. For this, data were organized incidence of *Cercospora leaf spot* in both cropping systems, with climatic data and phenological crop in a period of five years of evaluation. Then an algorithm based on knowledge extraction decision tree was used to obtain the attributes that most favor the occurrence of *Cercospora leaf spot*. The generated models were 60% hit rate and showed that the average temperature of the attribute was greater influence on the entire data and the conventional culture system. In organic management, the precipitation and phenology are the factors that most influence the occurrence of disease.

**Index terms:** *Coffea arabica* L., epidemiological data mining, epidemiology of plant diseases.

### 1 INTRODUÇÃO

A cercosporiose, também conhecida como mancha-de-olho-pardo, olho pardo, mancha parda

ou olho de pombo, é uma das doenças mais antigas do cafeeiro, causada pela *Cercospora coffeicola* Berk & Cook. Os sintomas característicos, que conferem essas denominações à doença nas folhas

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá/UNIFEI - Instituto de Ciências Exatas - Departamento de Matemática e Computação (ICE/DMC) - Cx. P. 50 - 37500-903 - Itajubá - MG - vanessa.vcos@gmail.com

<sup>2</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG - Unidade Regional do Sul de Minas (URESMS) - Cx. P. 176 - 37200-000 - Lavras -MG - rodrigo@epamig.ufla.br

<sup>3</sup>Universidade Federal de Lavras /UFLA - Departamento de Ciência da Computação/DCC - Cx. P. 3037 37200-000 - Lavras - MG - livia.naiara.andrade@ufla.br

<sup>4</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG - Unidade Regional do Sul de Minas (URESMS) - Cx. P. 176 - 37200-000 - Lavras - MG - margarete@epamig.ufla.br

<sup>5</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG - Unidade Regional do Sul de Minas (URESMS) - Cx. P. 176 - 37200-000 - Lavras - MG - vicentelc@epamig.ufla.br

<sup>6</sup>Universidade Federal de Lavras /UFLA - Departamento de Ciência da Computação/DCC - Cx. P. 3037 37200-000 - Lavras - MG - aesmin@gmail.com

são manchas circulares de coloração castanho-claro a escuro, com o centro branco acinzentado, quase sempre envolvido por um halo amarelado; e nos frutos são lesões deprimidas alongadas no sentido dos polos (CARVALHO; CHALFOUN; CUNHA, 2010).

A doença está amplamente disseminada por todas as regiões cafeeiras brasileiras, causando prejuízos tanto na fase de viveiro como no campo, em plantas novas e adultas, atacando folhas e frutos (CARVALHO; CHALFOUN, 2000). O período de maior incidência da cercosporiose no campo vai de janeiro a maio, quando, em lavouras adultas, causa severa desfolha, maturação e queda prematura dos frutos, aumento do número de grãos chochos além da aderência da polpa ao pergaminho, o que dificulta a despolpa, causando reflexos negativos sobre a produtividade e a qualidade do produto final (CARVALHO; CHALFOUN, 1998; CHALFOUN, 1997). Segundo Pozza et al. (2001), a cercosporiose pode reduzir de 15% a 30% a produtividade no campo, tornando-se sério problema para a economia cafeeira.

A maior ou menor intensidade das doenças está associada ao ambiente, ao patógeno, ao hospedeiro e ao manejo da cultura (CARVALHO; CHALFOUN; CUNHA, 2010). Segundo Salgado et al. (2007), a obtenção de êxito no manejo da cultura depende do conhecimento dos fatores que influenciam o desenvolvimento das doenças. No que diz respeito ao ambiente, a pluviosidade, a temperatura e a umidade do ar afetam tanto a incidência quanto a severidade da doença.

Além das condições climáticas, a nutrição deficiente e/ou desequilibrada em solos muito argilosos, muito arenosos ou solos compactados, assim como sistemas radiculares deficientes ou pião torto, são fatores que predispõem as plantas à doença. As condições do solo e do sistema radicular influenciam diretamente a nutrição da planta. Vários trabalhos indicam que a nutrição deficiente ou desequilibrada tem efeito direto na intensidade de ataque da cercospora (CARVALHO et al., 2008; POZZA et al., 2001; TALAMINI et al., 2001).

Apesar da importância da cercosporiose, pouco se sabe sobre seu agente causal, a *Cercospora coffeicola* (MARTINS; MAFFIA; MIZUBUTI, 2008). As determinações das

condições ambientais que favorecem a doença são genéricas, como alta umidade relativa, temperatura entre 10 e 25°C, excesso de insolação e déficit hídrico (ALMEIDA, 1986; ZAMBOLIM et al., 1997). Pozza e Alves (2008), determinaram, para ambientes controlados, a alta favorabilidade de ocorrência da cercosporiose em regiões com temperatura mensais médias entre 18 e 24°C e precipitação média de 3mm/dia. No entanto, Santos et al. (2008b), ressaltam que esse conhecimento foi gerado a partir de estudos da doença em cafeeiros conduzidos em sistema de produção denominado convencional, no qual a nutrição das plantas baseia-se no uso de adubos minerais prontamente solúveis e que, até o momento, pouco se estudou sobre a intensidade da cercosporiose em sistema de produção orgânico.

O controle efetivo de uma doença depende de amplo conhecimento das condições ambientais que a favorecem e de técnicas e ferramentas que permitam ampliar o conhecimento sobre o seu comportamento.

A descoberta de conhecimento em bancos de dados (*Knowledge Discovery in Database - KDD*) é o processo de identificar em um conjunto de dados, padrões que sejam válidos, previamente desconhecidos, potencialmente úteis e compreensíveis, visando melhorar o entendimento de um problema ou processo de tomada de decisão (FAYYAD et al., 1996).

A Mineração de Dados (MD), uma das etapas do KDD, não é um processo trivial, que consiste na habilidade de identificar, nos dados, padrões válidos, novos e significativos, envolvendo métodos estatísticos, ferramentas de visualização e técnicas de inteligência artificial. Porém, o conhecimento que é possível adquirir através da MD tem sido muito útil nas mais diversas áreas, como na medicina, finanças, marketing, meteorologia, agricultura e pecuária, bioinformática, entre outros. A MD estende a capacidade de gerar e validar hipóteses e por isso podem ocorrer conhecimentos novos (inesperados), proveitosos e interessantes (BUCENE; RODRIGUES; MEIRA, 2002; GALVÃO; MARIN, 2009).

Mucherino et al. (2009) apresentam o uso de técnicas de mineração de dados na agricultura

que é um campo de pesquisa relativamente novo. Porém, os mesmos afirmam que técnicas eficientes podem ser desenvolvidas para resolver problemas complexos nessa área.

Uma das técnicas de mineração de dados é chamada classificação, cujo objetivo é identificar características distintas de classes predefinidas, baseadas num conjunto de instâncias. Amplamente utilizadas em algoritmos de classificação, as árvores de decisão representam, de forma simples e eficiente, o conhecimento. Nas árvores de decisão, os nós representam os atributos; as arestas recebem os valores possíveis para esses atributos; e os nós, folhas representam as diferentes classes de um conjunto de treinamento. Classificação, nesse caso, é a construção de uma estrutura de árvore (modelo), que pode ser usada para classificar corretamente todos os objetos do conjunto de dados da entrada. Como exemplo de algoritmos de classificação utilizando árvore de decisão, pode-se citar: ID3, o C4.5 e o J4.8.

Galvão e Marin (2009) explicam ainda que, com o uso de árvore de decisão é possível produzir um modelo de previsão exato ou descobrir a estrutura preditiva do problema. No último caso, a intenção é entender qual das variáveis e interações conduzem ao fenômeno que está sendo estudado.

Meira, Rodrigues e Moraes (2008) utilizaram árvore de decisão para auxiliar na compreensão de manifestações epidêmicas da ferrugem do cafeeiro em Minas Gerais. Segundo esses autores, a árvore de decisão auxiliou na compreensão de quais variáveis conduziram as epidemias da ferrugem do cafeeiro no campo e de como são as interações dessas variáveis.

Objetivou-se, neste trabalho, investigar, utilizando técnicas de mineração de dados, quais atributos ambientais e fenológicos mais influenciam a ocorrência da cercosporiose, em lavoura de cafeeiros no Sul de Minas Gerais, sob dois sistemas de cultivo: convencional e orgânico.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### Pré-processamento dos dados

#### 2.1 Dados de Cercosporiose

O ensaio foi conduzido na Fazenda Experimental de São Sebastião do Paraíso, MG,

e instalado no começo do ano de 2000, com o preparo do solo e plantio de duas áreas distintas, no espaçamento de 3,2 m x 0,8 m, cada área, ocupando em torno de 2.500 m<sup>2</sup>, totalizando 1 ha. Foram avaliados dois materiais sendo um a cultivar Rubi MG 1192 e o outro um Híbrido H-419 (Progênie em seleção). As parcelas foram constituídas por 8 plantas de cafeeiro de cada material. Os tratamentos constaram de dois sistemas de condução da lavoura, ou seja, lavoura conduzida no sistema orgânico e no sistema convencional.

Durante 5 anos de avaliação do experimento, foram realizadas avaliações mensais da incidência de cercosporiose, em 100 folhas por parcela. Esses dados foram disponibilizados em forma de seis planilhas eletrônicas, como exemplificado na Tabela 1. Eram esperadas 1300 amostras. No entanto, havia 32 amostras, cujos valores de infestação não puderam ser coletados. Dessa forma, foram 1268 as amostras válidas.

Dos dados apresentados na Tabela 1, os atributos infestação nascente e infestação poente foram ignorados. Tendo em vista a inexistência de métodos padronizados para a quantificação da cercosporiose no campo, a infestação total foi discretizada nas seguintes classes:

- 0 a 7 - Baixa infestação
- 8 a 15 - Média infestação
- >15 - Alta infestação

O atributo Mês foi transformado e ajustado de forma a sugerir o estágio fenológico da planta, segundo Camargo e Camargo (2001), conforme a Figura 1.

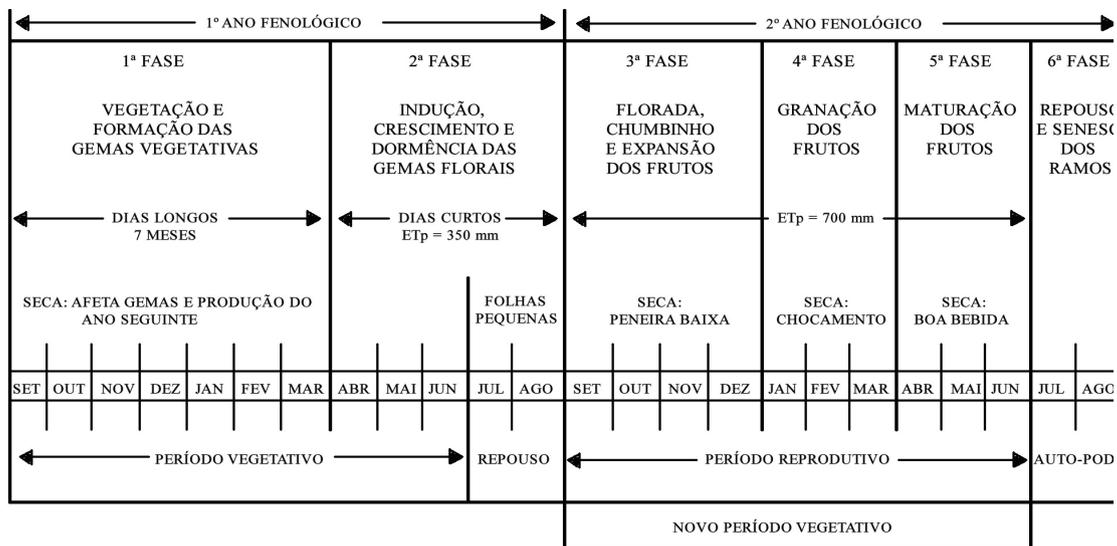
#### 2.2 Dados Climáticos

Os dados climáticos foram coletados em estação meteorológica convencional presentes na fazenda experimental da EPAMIG, em parceria com a INMET e foram analisados os seguintes dados: Precipitação, Temperatura Mínima, Temperatura Máxima e Umidade Relativa do Ar.

Como os dados climáticos eram diários e os de doença eram mensais, utilizaram-se dados de médias mensais. Dos dados de temperatura mínima e máxima gerou-se o atributo temperatura

**TABELA 1** – Amostra da planilha sobre a ocorrência da cercosporiose. Os atributos infestação nascente e poente indicam a posição de amostragem de coleta das folhas, e o somatório representa a porcentagem de infestação total.

Manejo	Cultivar	Mês	Infestação (Nascente)	Infestação (Poente)	Infestação (Total)
Convencional	Rubi	Janeiro	12	6	18
Convencional	Rubi	Janeiro	8	10	18
Convencional	Rubi	Janeiro	11	8	19
Convencional	Rubi	Janeiro	10	6	16
Convencional	Rubi	Janeiro	10	10	20
Convencional	Híbrido	Janeiro	5	7	12
Convencional	Híbrido	Janeiro	4	6	10
Convencional	Híbrido	Janeiro	3	3	6
Convencional	Híbrido	Janeiro	10	6	16
Convencional	Híbrido	Janeiro	8	4	12
Orgânico	Rubi	Janeiro	9	3	12
Orgânico	Rubi	Janeiro	3	2	5
Orgânico	Rubi	Janeiro	2	3	5
Orgânico	Rubi	Janeiro	7	2	9
Orgânico	Rubi	Janeiro	4	0	4
Orgânico	Híbrido	Janeiro	11	7	18
Orgânico	Híbrido	Janeiro	13	8	21
Orgânico	Híbrido	Janeiro	9	6	15
Orgânico	Híbrido	Janeiro	8	5	13
Orgânico	Híbrido	Janeiro	5	3	8



**FIGURA 1** – Ilustração da fenologia do cafeeiro utilizada para ajustar data de ocorrência da cercosporiose com o estágio fenológico da planta. Fonte: Camargo e Camargo (2001)

média. Do dado de precipitação, gerou-se a precipitação diária, dividindo-se a quantidade de chuva do mês por 30.

A discretização dos dados de temperatura e precipitação diária seguiu sugestão de Pozza e Alves (2008). Baseados em consultas, foram realizadas entrevistas com os especialistas da área que sugeriram as seguintes classes: Precipitação Mensal:  $< 70$  e  $\geq 70$ . Umidade:  $< 60$  e  $\geq 60$ .

Ao final da etapa de pré-processamento, os dados de doença e clima foram integrados (Tabela 2), e então passaram pelo processo de mineração.

Os dados foram analisados utilizando-se o *software* Weka (versão 3.6.1, Universidade de Waikato, Nova Zelândia), executado em plataforma Windows. O Weka é uma coleção de algoritmos de aprendizado de máquina e de ferramentas relacionadas, que também oferece suporte ao processo completo de mineração de dados. É um *software* livre e gratuito, utilizado em iniciativas de mineração de dados que usam *software open source* (MEIRA; RODRIGUES; MORAES, 2008).

O algoritmo utilizado foi o J4.8 (WITTEN; FRANK, 2005), que é um indutor de árvore de decisão. Os parâmetros de configuração tiveram o valor padrão do Weka. Apenas o parâmetro 'confidenceFactor' foi alterado para 0,3, de forma a gerar árvores mais completas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro experimento foi realizado com a totalidade dos dados, ou seja, as 1268 amostras. O resultado é apresentado na Figura 2. A taxa de acerto foi de 60%.

A leitura da árvore faz-se a partir do topo da árvore (nó raiz) em direção aos nós folhas, passando pelos seus ramos, de acordo com os testes nos valores dos atributos. Os nós folhas representam o objeto de estudo, ou seja, a taxa de infestação da cercospora. Cada ramo na árvore é uma conjunção de condições. Assim, o percurso na árvore (da raiz à folha) corresponde a uma regra de classificação.

Desse primeiro experimento verifica-se que a temperatura média foi o atributo de maior separabilidade. Pozza e Alves (2008) classificaram como média a favorabilidade da cercosporiose

TABELA 2 – Amostra do resultado final do pré-processamento. Os dados de manejo, cultivar, fenologia, clima e ocorrência da doença foram discretizados e integrados em um único arquivo.

Manejo	Cultivar	Fenologia	Precipitação (Soma)	Precipitação (Média)	Temperatura Média	Umidade	Infestação Total
Convencional	Rubi	Maturação dos Frutos	$\geq 70$	$< 3$	Entre 18 e 24	$\geq 60$	Baixa
Convencional	Rubi	Maturação dos Frutos	$\geq 70$	$< 3$	Entre 18 e 24	$\geq 60$	Baixa
Convencional	Rubi	Maturação dos Frutos	$\geq 70$	$< 3$	Entre 18 e 24	$\geq 60$	Baixa
Convencional	Rubi	Maturação dos Frutos	$\geq 70$	$< 3$	Entre 18 e 24	$\geq 60$	Baixa
Convencional	Híbrido	Maturação dos Frutos	$\geq 70$	$< 3$	Entre 18 e 24	$\geq 60$	Baixa
Convencional	Híbrido	Maturação dos Frutos	$\geq 70$	$< 3$	Entre 18 e 24	$\geq 60$	Baixa
Convencional	Híbrido	Maturação dos Frutos	$\geq 70$	$< 3$	Entre 18 e 24	$\geq 60$	Baixa
Convencional	Híbrido	Maturação dos Frutos	$\geq 70$	$< 3$	Entre 18 e 24	$\geq 60$	Baixa
Convencional	Híbrido	Maturação dos Frutos	$\geq 70$	$< 3$	Entre 18 e 24	$\geq 60$	Baixa
Orgânico	Rubi	Granação dos Frutos	$\geq 70$	$\geq 3$	Entre 18 e 24	$\geq 60$	Baixa
Orgânico	Rubi	Granação dos Frutos	$\geq 70$	$\geq 3$	Entre 18 e 24	$\geq 60$	Baixa
Orgânico	Rubi	Granação dos Frutos	$\geq 70$	$\geq 3$	Entre 18 e 24	$\geq 60$	Baixa
Orgânico	Rubi	Granação dos Frutos	$\geq 70$	$\geq 3$	Entre 18 e 24	$\geq 60$	Baixa

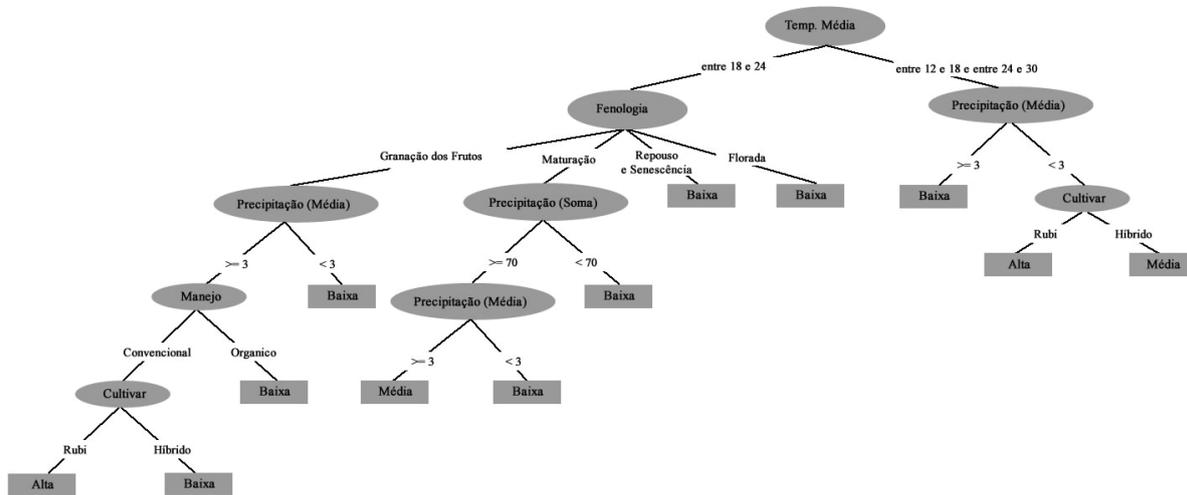
em condições em que as temperaturas estejam entre 12 e 18 e entre 24 e 30 e a precipitação se mantenha maior que 2 e menor ou igual a 3. O ramo direito da árvore corrobora tais autores. Apesar de os atributos temperatura e precipitação média não terem sido suficientes para determinar a favorabilidade da doença, onde a precipitação foi menor que 3, a infestação da doença foi alta para a cultivar Rubi e Média para a cultivar Híbrido. Em toda a árvore, o cultivar Híbrido manifestou menos ocorrência de Cercosporiose do que o Rubi, resultado atribuído à característica genética do material. Onde a precipitação foi maior ou igual a três, a infestação foi baixa, independente da cultivar.

No ramo da árvore em que a temperatura aparece entre 18 e 24 graus, a fenologia também foi um atributo decisivo para a ocorrência da doença. Nas fases de Repouso e Senescência e Florada, a infestação foi sempre baixa, independente de qualquer outro atributo. Fato explicado pela época do ano (julho a dezembro), onde as condições ambientais não favorecem o aparecimento da doença.

Na fase da maturação (abril a junho), a temperatura e a fenologia não foram suficientes para decidir a infestação. Os atributos precipitação

média e precipitação mensal foram necessários. Quando a precipitação mensal foi menor que 70 mm, a infestação foi baixa. Para meses onde a precipitação total foi maior que 70 mm, a precipitação média precisou ser utilizada. Assim, precipitação mensal maior que 70 mm e diária maior ou igual a 3 resultou em infestação média. Precipitação mensal maior que 70 mm e diária menor que 3 resultou em infestação baixa. Esse último cenário indica que choveu bastante no mês, porém não de forma contínua. Chuvas ocasionais e de maior intensidade, desfavorecem a doença, pois proporcionam a lavagem dos propágulos do patógeno da superfície das folhas, dificultando sua disseminação e infecção (TALAMINI et al., 2003; WOLF; ISARD, 2007).

Na fase de granação dos frutos (janeiro a março), os atributos temperatura, fenologia, precipitação mensal, manejo e cultivar foram necessários para decidir sobre a infestação da doença. Para precipitação mensal menor que 3, a infestação foi baixa, concordando com Pozza e Alves (2008) e contrapondo ao encontrado em temperaturas entre 12 e 18 e entre 24 e 30 graus Celsius. Para precipitação mensal maior ou igual a 3, foi necessário consultar o atributo manejo. Na fase de granação, a planta está sujeita a um grande



**FIGURA 2** – Modelo para ocorrência de cercosporiose, nos sistemas de produção convencional e orgânico. O atributo de maior separabilidade é a temperatura. O ramo da direita indica temperaturas de menor favorabilidade da doença. Nesse caso, o atributo precipitação média é o segundo mais decisivo para a ocorrência ou não da doença. O ramo da esquerda indica maior favorabilidade da doença. Aí a fenologia é decisiva para a ocorrência da doença.

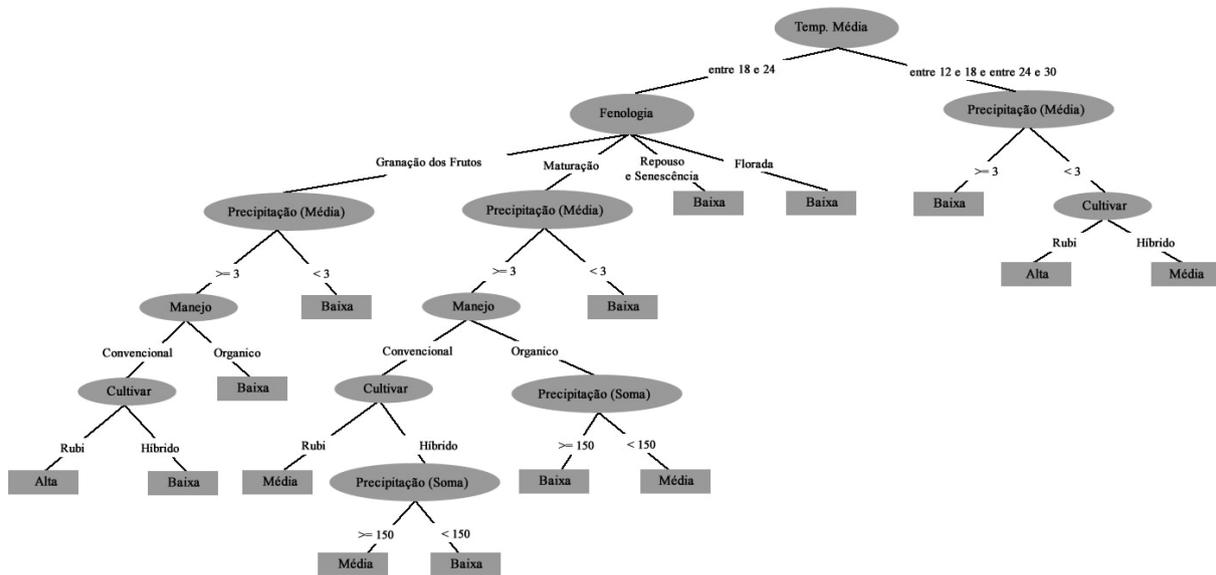
dreno para a formação dos frutos, necessitando estar bem nutrida. Esse fato explica o uso do atributo manejo. O desequilíbrio nas combinações de elementos nutricionais pode influenciar a tolerância da planta a uma doença (BALARDIN et al., 2006). Em cafeeiros conduzidos no sistema orgânico, a mineralização da matéria orgânica e a lenta liberação de nutrientes podem promover o desequilíbrio nutricional temporário da planta, tornando-a menos tolerante e favorecendo a doença (SANTOS et al., 2008a). Por outro lado, no manejo convencional, a aplicação de adubos químicos, devido a sua solubilidade, é prontamente disponível, atendendo a suas necessidades (MARSCHNER, 1995).

No entanto, o que se vê na árvore da figura 2 é um comportamento oposto. No manejo orgânico prevaleceu uma baixa infestação da doença, enquanto no manejo convencional, a infestação foi alta para o cultivar Rubi e média para o cultivar Híbrido. Esse fato pode ser explicado pelo uso do Sulfato de cobre que, embora utilizado no controle da ferrugem, aplicado no talhão de manejo orgânico, inibiu de forma eficiente, o desenvolvimento da cercosporiose.

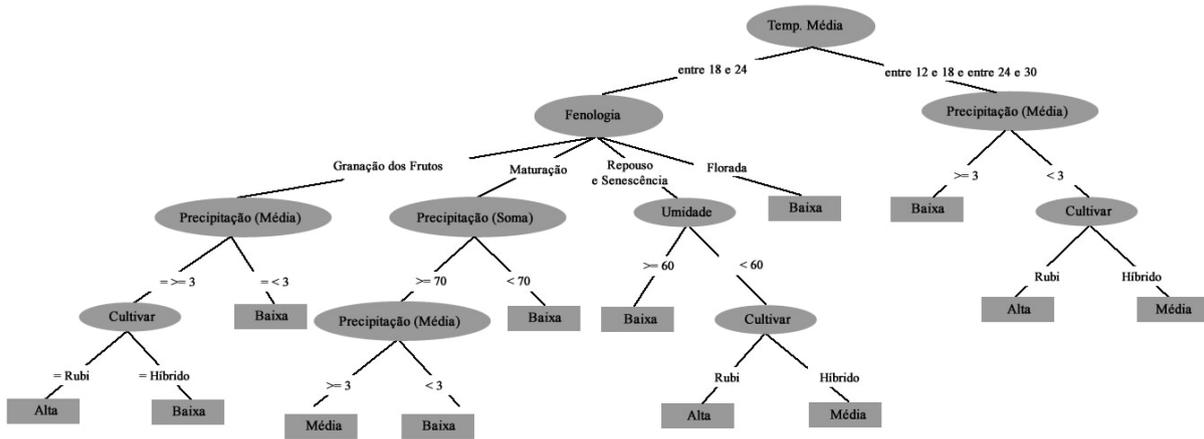
Enquanto que, no manejo convencional, o uso de fungicidas sistêmicos foi específico para a ferrugem do cafeeiro. De fato, segundo Carvalho et al. (2008), o uso de cobre em lavouras cafeeiras reduz a infestação de cercosporiose. Dessa forma, o modelo gerado foi específico para o sistema orgânico com o uso de fonte de cobre.

Alguns testes foram feitos para determinar classes de precipitação mensal que se adequassem melhor à realidade do experimento. A Figura 3 apresenta o resultado encontrado, quando as classes do atributo precipitação mensal (<70 e >=70) foram substituídas pelas classes <150 e >=150. Verificou-se que o modelo gerado apresenta uma mesma estrutura de árvore do modelo da Figura 2. No entanto, a árvore cresceu em complexidade, mantendo a mesma taxa de erros do modelo anterior. Sendo assim, o modelo foi descartado. As melhores classes encontradas de precipitação mensal foram <70 e >=70.

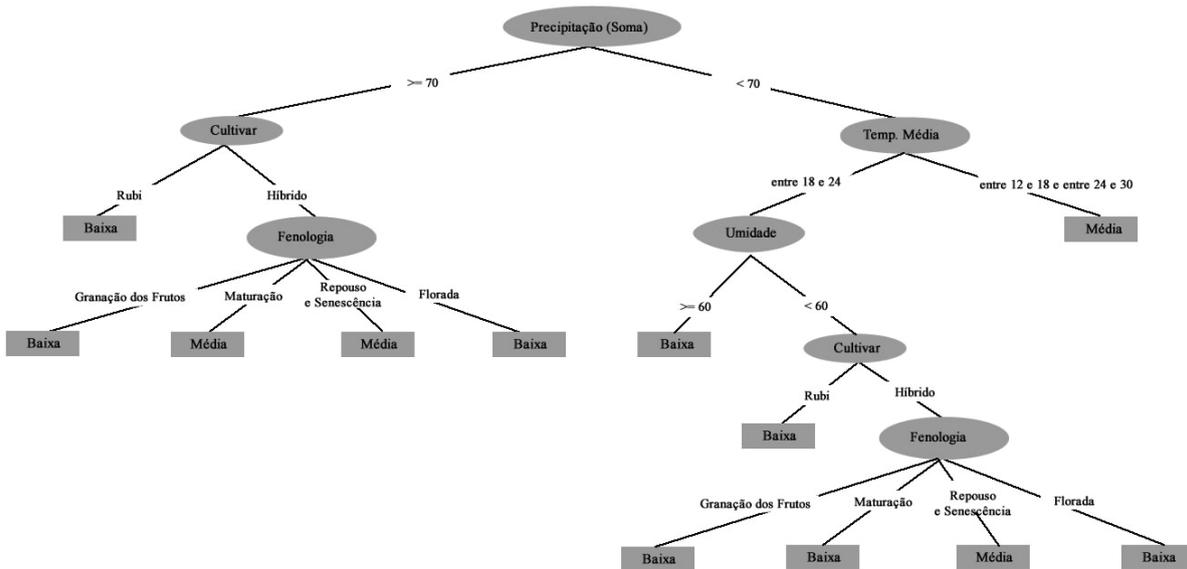
Foram realizados mais dois experimentos, dividindo as amostras por manejo. Sendo assim, realizou-se um experimento para o manejo convencional (Figura 4) e outro para o manejo orgânico (Figura 5).



**FIGURA 3** – Modelo para ocorrência de cercosporiose nos sistemas de produção convencional e orgânico e atributo de precipitação (Soma) discretizado entre <150 e >=150. A árvore manteve a estrutura da árvore da figura 2, mas cresceu em complexidade, sendo refutada.



**FIGURA 4** – Modelo de ocorrência de cercosporiose no sistema de produção convencional. O modelo manteve a estrutura daquele da figura 2. A principal diferença está no ramo da fenologia de repouso e senescência. Neste caso, a favorabilidade da doença passa a depender da Umidade e da Cultivar.



**FIGURA 5** – Modelo de ocorrência de cercosporiose no sistema de produção orgânico, com o uso de fonte de cobre. O modelo é completamente diferente daquele do sistema convencional. Nesse caso, o atributo de maior separabilidade é a quantidade total de precipitação. Para valores de precipitação maiores que 70 mm, a temperatura não influencia a ocorrência da doença.

O modelo gerado para o manejo convencional possui a mesma estrutura de árvore dos modelos anteriores. A maior diferença ocorreu no ramo fenologia – Repouso e Senescência. Nesse caso, o atributo Umidade, que ainda não tinha

aparecido nos modelos anteriores, surgiu como atributo decisivo. Esse fato pode ser explicado pela fase fenológica da cultura que coincide com o período desfavorável ao progresso da doença (CARVALHO; CHALFOUN; CUNHA, 2010).

O modelo gerado para o manejo orgânico (Figura 5) possui estrutura de árvore bem distinta dos modelos anteriores. Nesse manejo, a precipitação mensal foi o atributo de maior separabilidade e a fenologia interfere na ocorrência da doença, quando comparado ao manejo convencional. Isso demonstra que as práticas culturais interferem no progresso da doença, sendo a nutrição e as medidas de controle da cercosporiose adotadas como os principais componentes do resultado obtido.

A limitação desses modelos desenvolvidos está relacionada com a sua abrangência. Concordando com Meira, Rodrigues e Moraes (2008), regiões diferentes do sul de Minas e outras variáveis, que não foram representadas, podem modificar, de algum modo, a estrutura dos modelos citados acima.

Verifica-se que o aprimoramento na coleta de dados para construção e validação de novos modelos, pode proporcionar um melhor entendimento da doença por parte dos pesquisadores, técnicos e produtores.

#### 4 CONCLUSÕES

Verificou-se que a ocorrência da doença no manejo orgânico é modelada de forma diferente da do manejo convencional e que a temperatura e fenologia foram os atributos de maior destaque.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Ao apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao CBP&D/Café pelos recursos financeiros para o desenvolvimento do projeto e bolsas.

#### 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S. R. Doenças do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 391-400.

BALARDIN, R. S. et al. Influência do fósforo e do potássio na severidade da ferrugem da soja *Phakopsora pachyrhizi*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, p. 462-467, out. 2006.

BUCENE, L. C.; RODRIGUES, L. H. A.; MEIRA, C. A. A. **Mineração de dados climáticos para previsão**

**de geada e deficiência hídrica para as culturas do café e da cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo**. Campinas: EMBRAPA-CNPTIA, 2002. 41 p. (Documentos, 20). Disponível em: <<http://www.cnptia.embrapa.br/files/doc20.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2010.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 6, n. 1, p. 65-68, jan./abr. 2001.

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Doenças do cafeeiro: diagnose e controle. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 58, p. 44, 2000.

\_\_\_\_\_. Manejo integrado das principais doenças do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 3, p. 27-35, 1998.

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M.; CUNHA, R. L. Manejo de doenças do cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. (Ed.). **Café Arábica do plantio a colheita**. Lavras: URESM, 2010. v. 1, p. 689-756.

CARVALHO, V. L. et al. Influência do zinco na incidência de doenças do cafeeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 804-808, maio/jun. 2008.

CHALFOUN, S. M. **Doenças do cafeeiro: importância, identificação e métodos de controle**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 96 p.

FAYYAD, U. et al. **Advances in knowledge discovery and data mining**. Cambridge: MIT, 1996. 560 p.

GALVÃO, N. D.; MARIN, H. F. Data mining: a literature review. **Acta Paulista de Enfermagem**, São Paulo, v. 22, n. 5, p. 121-128, out. 2009.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2<sup>nd</sup> ed. London: Academic, 1995. 889 p.

MARTINS, R. B.; MAFFIA, L. A.; MIZUBUTI, E. S. G. Genetic variability of cercospora coffeicola from organic and conventional coffee plantings, characterized by vegetative compatibility. **Phytopathology**, Oxford, v. 98, n. 11, p. 1205-1211, Nov. 2008.

**Coffe Science, Lavras, v. 8, n. 1, p. 91-100, jan./mar. 2013**

- MEIRA, C. A. A.; RODRIGUES, L. H. A.; MORAES, S. A. Analysis of coffee leaf rust epidemics with decision tree. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 114-124, Mar./Apr. 2008.
- MUCHERINO, A.; PAPAJORGJI, P.; PARADALOS, M. P. A survey of data mining techniques applied to agriculture. **Operational Research**, Melbourne, v. 9, n. 2, p. 121-140, 2009.
- POZZA, A. A. A. et al. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, jan. 2001.
- POZZA, E. A.; ALVES, M. C. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças fúngicas do café no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2008. p. 216-233.
- SALGADO, B. G. et al. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do café consorciado com grevilea, com ingazeiro e a pleno sol em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 1067-1074, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542007000400019&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542007000400019&nrm=iso)>. Acesso em: 29 abr. 2010.
- SANTOS, F. S. et al. Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem-do-café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 1431-1440, jul. 2008a.
- \_\_\_\_\_. Progresso da cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke) em cafés sob cultivos orgânico e convencional. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 34, n. 1, p. 48-54, 2008b.
- TALAMINI, V. et al. Progresso da ferrugem e da cercosporiose em café (*Coffea arabica* L.) com diferentes épocas de início e parcelamentos da fertirrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 1, p. 141-149, jan./fev. 2003.
- \_\_\_\_\_. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do café (*Coffea arabica* L.) em diferentes lâminas de irrigação e diferentes parcelamentos de adubação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 55-62, jan./fev. 2001.
- WITTEN, I. H.; FRANK, E. **Data mining: practical machine learning tools and techniques**. San Francisco: M. Kaufmann, 2005. 525 p.
- WOLF, E. D.; ISARD, S. A. Disease cycle approach to plant disease prediction. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 45, p. 203-220, 2007. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143329>>. Acesso em: 12 set. 2010.
- ZAMBOLIM, L. et al. Café (*Coffea arabica* L.), controle de doenças. In: VALE, F. X. R. do; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Viçosa, MG: UFV; Brasília: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. v. 2, p. 83-179.