

SISTEMA DE ALERTA DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO¹

Thiago T. Thamada², Cesare Di Girolamo Neto³, Carlos A. A. Meira⁴

¹Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – Consórcio Pesquisa Café

²Bolsista, BS, Embrapa Informática Agropecuária, Campinas-SP, thiago.thamada@colaborador.embrapa.br

³Bolsista, MS, Embrapa Informática Agropecuária, Campinas-SP, cesare.neto@colaborador.embrapa.br

⁴Pesquisador, DSc, Embrapa Informática Agropecuária, Campinas-SP, carlos.meira@embrapa.br

RESUMO: Este trabalho apresenta um sistema de alerta Web para a ferrugem do cafeeiro, demonstrando suas funcionalidades e características. O sistema incorpora modelos para prever se a taxa de progresso da ferrugem será maior ou igual a 5 ou 10 pontos percentuais em relação ao mês anterior. A modelagem utilizou dados meteorológicos e de cultura fornecidos pela Fundação Procafé e coletados nas cidades de Boa Esperança, Carmo de Minas e Varginha, em Minas Gerais. Dados similares são utilizados para a predição. A emissão de alerta positivo ou negativo é obtida através de um sistema de votação entre as saídas dos modelos. Caso a maioria indique aumento na taxa de progresso superior ao valor estipulado, o alerta é positivo; caso contrário, é negativo. O intuito do sistema é auxiliar na elaboração de boletins mensais de avisos fitossanitários distribuídos aos cafeicultores e demais interessados na cultura do café, com informações úteis para o controle da ferrugem, procurando indicar os momentos oportunos para a aplicação de fungicidas.

PALAVRAS-CHAVE: *Hemileia vastatrix*, cultura do café, modelagem, mineração de dados

COFFEE RUST WARNING SYSTEM

ABSTRACT: This paper presents a warning system on the Web for coffee rust, showing its features and characteristics. The system incorporates models in order to predict if the progress rate of coffee rust will be over than 5 or 10 percentage points when compared to the previous month. Meteorological and crop data provided by Fundação Procafé, collected for the cities of Boa Esperança, Carmo de Minas and Varginha, in Minas Gerais, were used for developing the models. Similar data is used for prediction. A positive or negative warning is obtained by a voting system using the outputs of the models. In the case that the majority indicates an increase in the progress rate higher than the threshold values, the warning is positive, otherwise it is negative. The system aims to provide assistance in the preparation of monthly warning phytosanitary newsletters, which are distributed to farmers and other people interested in coffee crop. These newsletters contains helpful information about coffee rust control and try to indicate the suitable moment to apply fungicides.

KEYWORDS: *Hemileia vastatrix*, coffee crop, modeling, data mining

INTRODUÇÃO

A principal doença do cafeeiro é a ferrugem, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*. Pode ser encontrada em todas as lavouras de café do Brasil, chegando a atingir 35% da produção em regiões de condição climática favorável (Zambolim et al., 1997). O controle do patógeno é feito com aplicações de fungicidas. A existência de medidas de controle economicamente viáveis, a variação na intensidade da doença a cada ano agrícola e sua importância econômica justificam o desenvolvimento de modelos de alerta da ferrugem do cafeeiro (Meira et al., 2009).

Sistemas de alerta de doença de planta podem fornecer informações complementares para a tomada de decisão no controle do patógeno, informando se as condições favorecem ou não a proliferação da doença, resultando em um uso mais racional de agroquímicos. Alguns modelos e sistemas de alerta foram desenvolvidos para a ferrugem, mas poucos foram validados e não existe registro de seu uso continuado.

Kushalappa et al. (1984) desenvolveram dois sistemas de predição para ferrugem, que visavam recomendar o momento oportuno para uso de agroquímicos, os sistemas foram avaliados durante dois anos agrícolas (Kushalappa et al., 1986).

Nesse período, o número de aplicações de fungicidas, em comparação a uma lavoura tratada com número fixo de aplicações, diminuiu.

Garçon et al. (2004), usando uma abordagem qualitativa, sugeriram modelo de previsão com base em valores de severidade da ferrugem, que foram calculados a partir de dados meteorológicos diários. O objetivo era desenvolver um sistema simples e confiável, capaz de prever o desenvolvimento da doença no campo e recomendar o melhor momento para iniciar o controle da doença através de aplicações de fungicidas sistêmicos e indicar o intervalo entre as aplicações.

Meira et al. (2009) e Meira e Rodrigues (2009), utilizando um processo padrão de mineração de dados, desenvolveram

modelos preditivos de alerta da ferrugem, baseados em árvore de decisão, para lavouras com alta e baixa carga pendente de frutos. Continuando o processo cíclico de mineração de dados, Girolamo Neto (2013) aperfeiçoou esses modelos de árvore de decisão e gerou outros, utilizando técnicas de *support vector machines* (SVM), redes neurais e florestas aleatórias.

A última etapa do processo de mineração de dados é a distribuição dos resultados da modelagem, podendo ser realizada, por exemplo, com a incorporação dos modelos em um sistema de alerta na Web. Este artigo tem como objetivo apresentar as funcionalidades e características do sistema Web desenvolvido para alerta da ferrugem do cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Os modelos preditivos utilizados no sistema de alerta foram desenvolvidos por Meira et al. (2009), Meira e Rodrigues (2009) e Girolamo Neto (2013), implementados utilizando a metodologia CRISP-DM (Chapman et al., 2000). Foram gerados com base em dados meteorológicos e de nível de incidência da ferrugem, coletados nas fazendas experimentais da Fundação Procafé, localizadas nas cidades mineiras de Boa Esperança, Carmo de Minas e Varginha. Os modelos verificam se o conjunto de dados existente implica em aumento da taxa de progresso da doença, diferença entre a incidência do mês a ser previsto e o anterior, superior a 5 ou 10 pontos percentuais (*threshold*), conforme cada modelo.

Os dados utilizados no sistema Web, para inferir a predição, possuem a mesma origem dos usados na modelagem. Os registros meteorológicos são coletados em intervalos de trinta minutos ao longo de um mês e são processados antes de serem utilizados. Os registros de nível de incidência são obtidos através do processo de amostragem recomendado por Chalfoun (1997) realizado nas lavouras, que variam conforme carga pendente de frutos (alta ou baixa) e espaçamento do plantio (adensado ou largo), ao fim de cada mês.

Não existe quantidade fixa de modelos preditivos que podem ser incorporados ao sistema de alerta Web, que foi implementado para ser flexível, ou seja, é possível substituir os modelos atuais ou adicionar novos. Como foram incorporados mais de um modelo, o alerta a ser emitido é definido por meio de votação entre os resultados. Caso a maioria das predições indique aumento na taxa de progresso superior ao *threshold*, o alerta é positivo. Caso contrário, negativo.

Visando melhor interatividade e maior facilidade na interpretação das informações disponíveis no sistema Web, foram implantadas boas práticas de usabilidade como navegação estrutural (*breadcrumbs*), barra de menu, interface com cores neutras e design limpo. O uso do sistema de alerta Web é restrito, ou seja, apenas usuários previamente cadastrados possuem acesso às funcionalidades do sistema.

O sistema Web foi desenvolvido com uso de softwares livres: Netbeans como IDE (ambiente de programação), banco de dados PostgreSQL, servidores Apache e Tomcat, frameworks Primefaces e JSF, linguagem de estilo CSS e algoritmos nas linguagens de programação Java, Perl, XHTML e SQL.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de alerta tem como objetivo realizar a predição da taxa de progresso da ferrugem e emitir alerta positivo ou negativo, indicando ou não possíveis epidemias da doença. Essa informação será utilizada pelos usuários do sistema Web, técnicos da Fundação Procafé, para auxiliar na elaboração de boletins mensais de avisos fitossanitários, contendo informações de apoio para tomada de decisões referentes ao controle da ferrugem. Os boletins mensais são distribuídos aos cafeicultores e demais interessados na cultura do café.

Em um fluxo normal de uso do sistema de alerta, o técnico insere, ao início de cada mês, um arquivo contendo dados meteorológicos registrados ao longo do mês anterior e os valores de nível de incidência da ferrugem nas lavouras, medidos no fim do mês anterior. Após as inserções, o sistema Web processa os registros para que possam ser utilizados. Então, o usuário seleciona as variáveis necessárias para a predição da taxa de progresso ao final do mês corrente e emissão de alerta positivo ou negativo.

A inserção de arquivos meteorológicos e dados de incidência pode ser realizada no sistema Web (Fig. 1). Para isso é necessário preencher os campos referentes ao arquivo a ser inserido, como estação de avisos (cidade), mês, ano e local da coleta dos dados. O sistema Web mostra mensagens confirmando o nome do arquivo inserido e da cidade, o tempo de processamento para a inserção dos dados, que varia conforme o tamanho do arquivo, e as primeiras linhas do arquivo enviado. Assim, é possível verificar se o arquivo inserido é o correto.

Arquivo Inserido com Sucesso: 2011-01.txt
Estacao Selecionada: Carmo-de-minas

01/01/11	0:30	17.8	18.1	17.6	92	16.5	3.2	SSW	1.61	9.7	NW	17.8	18.3	18.3	---	760.4	1.40	19.0	0	0.00	0	0.010	0.000	25.4	75	20.7	26.9	0.00	15	614	1	89.8	30
01/01/11	1:00	17.6	17.8	17.5	93	16.5	1.6	NNW	0.80	6.4	NNE	17.6	18.1	18.1	---	760.3	0.00	0.0	0	0.00	0	0.015	0.000	25.3	75	20.6	26.8	0.00	15	669	1	97.8	30
01/01/11	1:30	17.7	17.7	17.6	94	16.7	1.6	WSW	0.80	6.4	WSW	17.7	18.2	18.2	---	759.5	0.60	2.0	0	0.00	0	0.014	0.000	25.2	75	20.5	26.6	0.00	15	668	1	97.7	30
01/01/11	2:00	17.4	17.6	17.4	96	16.8	1.6	ENE	0.80	6.4	S	17.4	17.9	17.9	---	759.4	0.20	1.0	0	0.00	0	0.019	0.000	25.2	75	20.4	26.6	0.00	15	686	1	100.0	30
01/01/11	2:30	17.4	17.4	17.3	96	16.7	0.0	S	0.00	4.8	S	17.4	17.9	17.9	---	758.6	0.00	0.0	0	0.00	0	0.020	0.000	25.1	75	20.3	26.4	0.00	15	686	1	100.0	30
01/01/11	3:00	17.0	17.3	16.9	96	16.4	0.0	W	0.00	4.8	W	17.0	17.4	17.4	---	758.5	0.00	0.0	0	0.00	0	0.028	0.000	24.9	76	20.4	26.4	0.00	15	680	1	99.4	30
01/01/11	3:30	16.8	17.0	16.7	95	16.0	1.6	WNW	0.80	6.4	WNW	16.8	17.2	17.2	---	758.4	0.00	0.0	0	0.00	0	0.032	0.000	24.8	76	20.3	26.3	0.00	15	682	1	99.7	30
01/01/11	4:00	16.8	16.9	16.7	95	16.0	0.0	NW	0.00	6.4	WNW	16.8	17.2	17.2	---	758.3	0.00	0.0	0	0.00	0	0.031	0.000	24.7	76	20.2	26.1	0.00	15	668	1	97.7	30
01/01/11	4:30	16.8	16.9	16.8	96	16.2	0.0	NW	0.00	1.6	NW	16.8	17.3	17.3	---	758.3	0.00	0.0	0	0.00	0	0.031	0.000	24.6	76	20.1	26.0	0.00	15	675	1	98.7	30
01/01/11	5:00	16.8	16.8	16.7	96	16.2	0.0	NW	0.00	3.2	NW	16.8	17.3	17.3	---	758.5	0.00	0.0	0	0.00	0	0.031	0.000	24.5	76	20.0	25.9	0.00	15	690	1	100.0	30
01/01/11	5:30	16.7	16.8	16.7	96	16.1	0.0	NW	0.00	3.2	NW	16.7	17.1	17.1	---	758.8	0.00	0.0	0	0.00	0	0.034	0.000	24.4	76	19.9	25.8	0.00	15	678	1	99.1	30
01/01/11	6:00	16.5	16.7	16.4	96	15.9	1.6	NW	0.80	4.8	NW	16.5	16.9	16.9	---	758.9	0.00	0.0	0	0.00	0	0.038	0.000	24.3	76	19.8	25.6	0.00	15	656	1	95.9	30
01/01/11	6:30	16.6	16.8	16.4	95	15.8	3.2	S	1.61	6.4	S	16.6	17.0	17.0	---	759.2	0.00	0.0	0	0.00	0	0.036	0.000	24.2	76	19.7	25.6	0.00	15	631	1	92.3	30
01/01/11	7:00	16.9	17.0	16.8	94	15.9	0.0	---	0.00	0.0	---	16.9	17.3	17.3	---	759.6	0.00	0.0	0	0.00	5	0.030	0.000	24.1	76	19.6	25.4	0.00	15	614	1	89.8	30
01/01/11	7:30	16.9	17.0	16.9	94	16.0	1.6	S	0.80	4.8	S	16.9	17.3	17.3	---	760.3	0.00	0.0	14	0.60	18	0.029	0.000	24.0	76	19.5	25.2	0.00	13	610	1	89.2	30
01/01/11	8:00	17.3	17.4	17.0	95	16.5	0.0	---	0.00	0.0	---	17.3	17.7	17.7	---	760.5	0.00	0.0	28	1.20	32	0.022	0.000	23.9	77	19.7	25.2	0.00	10	568	1	83.0	30
01/01/11	8:30	17.6	17.7	17.4	96	17.0	1.6	SE	0.80	8.0	SE	17.6	18.2	18.2	---	760.8	0.00	0.0	64	2.75	111	0.015	0.000	23.7	75	19.0	24.8	0.00	2	555	1	81.1	30
01/01/11	9:00	18.0	18.4	17.7	96	17.4	1.6	ESE	0.80	8.0	SE	18.0	18.6	18.6	---	761.1	0.00	0.0	125	5.38	163	0.007	0.000	23.7	76	19.2	24.9	0.05	1	576	1	84.2	30
01/01/11	9:30	18.7	18.9	18.4	94	17.7	0.0	---	0.00	0.0	---	18.7	19.4	19.4	---	761.1	0.00	0.0	170	7.31	185	0.000	0.008	23.8	76	19.3	25.1	0.00	0	622	1	90.9	30
01/01/11	10:00	18.9	19.1	18.9	94	18.0	0.0	ESE	0.00	6.4	NE	18.9	19.7	19.7	---	761.1	0.00	0.0	113	4.86	141	0.000	0.013	23.8	76	19.3	25.1	0.08	0	613	1	89.6	30
01/01/11	10:30	18.3	19.1	18.1	96	17.7	6.4	NNW	3.22	22.5	N	18.3	19.0	19.0	---	761.5	14.00	92.2	24	1.03	42	0.000	0.000	23.8	76	19.3	24.9	0.00	12	625	1	91.4	30
01/01/11	11:00	18.3	18.4	18.2	97	17.8	3.2	NNE	1.61	9.7	NNW	18.3	19.0	19.0	---	761.3	4.40	44.4	63	2.71	93	0.000	0.000	23.7	77	19.4	24.9	0.03	15	652	1	95.3	30

Fig. 1. Interface para inserção de arquivo de dados meteorológicos.

A inserção dos dados de nível de incidência ocorre com a seleção da cidade em que foi realizada a coleta, tipo de espaçamento da lavoura e carga pendente de frutos (Fig. 2). Deve ser realizada a inserção para cada combinação possível [espaçamento-carga] existente no local.

Cadastro da Incidência

Estação: Carmo de Minas
Lavoura: Adensada
Carga: Alta
Mês: JAN
Ano: 2011
Incidência: 35,00

Salvar Cancelar

Fig. 2. Interface para inserção de dados de incidência.

A predição da taxa de progresso da doença é efetuada com a seleção das variáveis cidade, carga pendente de frutos, variação de pontos percentuais, mês e ano, podendo ser realizada apenas após a inserção do arquivo de dados meteorológicos e valores de nível de incidência correspondentes ao mês anterior ao que se quer predizer.

A Fig. 3 mostra a interface do sistema com o resultado da predição de fevereiro de 2011 para a lavoura localizada em Carmo de Minas, com alta carga pendente de frutos, lavoura de café adensada e 5 pontos percentuais (p.p.) de limite de variação da taxa de progresso. Nesse caso, os modelos 1 e 2 sugeriram aumento superior a 5 p.p. na taxa de progresso da ferrugem entre janeiro e fevereiro de 2011 e, assim, devido à votação, o alerta emitido foi positivo. Nas demais abas, é possível verificar a o resultado da predição em lavouras com as demais características, como baixa carga pendente ou 10 p.p. de variação.

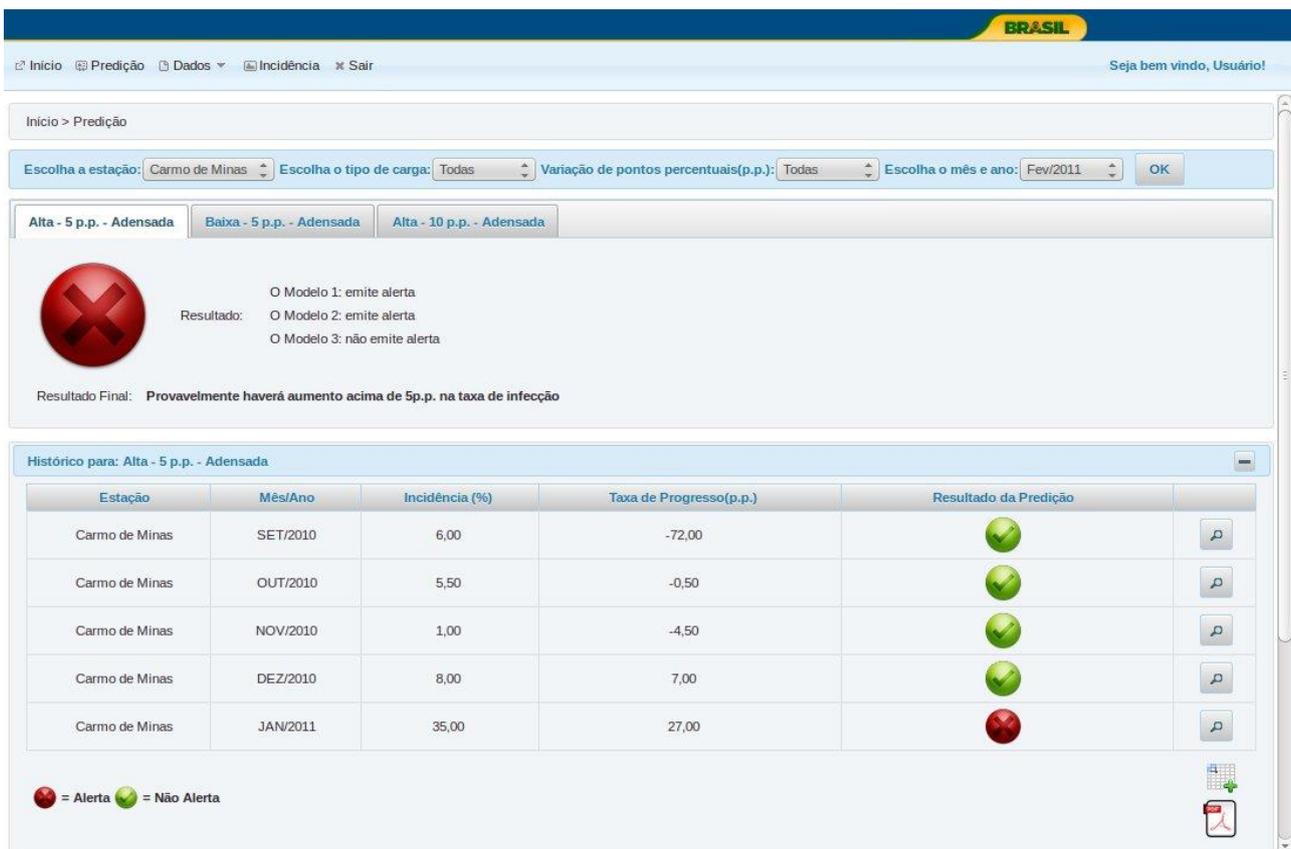


Fig. 3. Interface com exemplo do resultado de predição da taxa de progresso da ferrugem do cafeeiro.

Abaixo do alerta emitido, há uma tabela com o histórico de evolução da ferrugem, contendo informações sobre a estação, mês e ano avaliados, nível de incidência do patógeno, taxa de progresso, além do resultado da votação. Também é possível visualizar a votação, onde são mostrados os resultados de cada modelo, e *download* do histórico. Além dessas informações, o sistema Web disponibiliza um gráfico de evolução da incidência da ferrugem (Fig. 4), do começo do ano agrícola (setembro) até o mês anterior ao predito, servindo como informação auxiliar aos técnicos da Fundação Procafé para a elaboração dos boletins mensais.

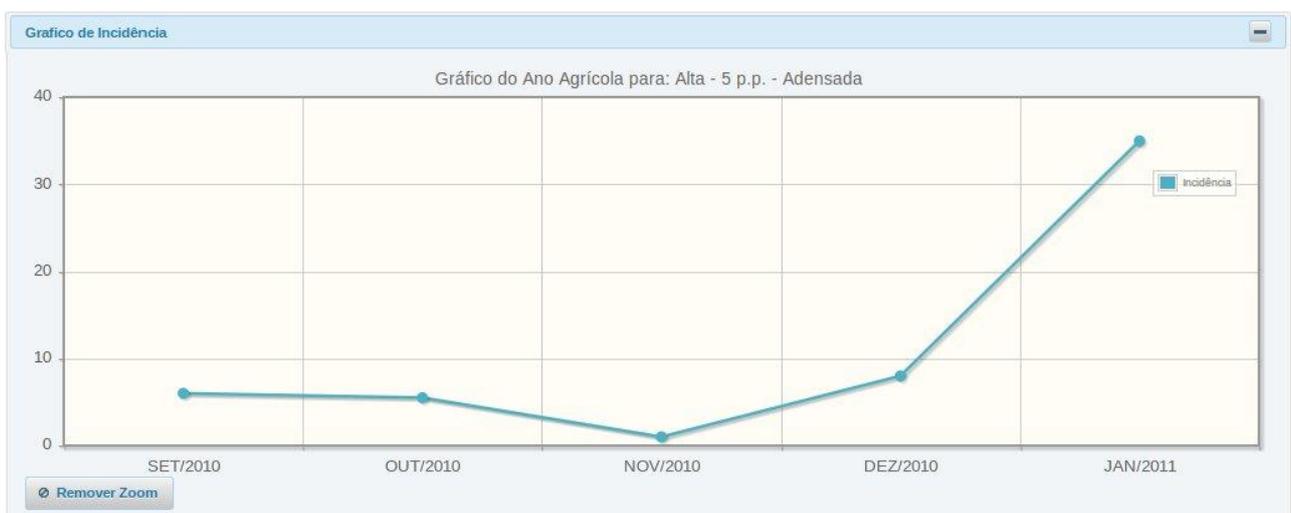


Fig. 4. Gráfico de evolução da incidência da ferrugem do cafeeiro.

Registros das safras 2010/2011 e 2011/2012, fornecidos pela Fundação Procafé, referentes às cidades de Boa Esperança, Carmo de Minas e Varginha estão sendo utilizados para validar os modelos preditivos incorporados ao sistema Web. O processo de modelagem foi realizado de forma iterativa, o que contribui na geração, conforme a necessidade, de novos e melhores modelos preditivos. A característica flexível do sistema, torna possível a substituição dos modelos existentes

ou adição de outros, tornando-o mais atualizado. Assim, o sistema de alerta pode colaborar de maneira mais efetiva na elaboração dos boletins mensais, podendo resultar em recomendações mais eficazes para ajudar no controle da doença. O sistema de alerta desenvolvido mostrou possuir interface simples e intuitiva, permitindo aos usuários fácil aprendizado para seu uso, menor tempo de realização das tarefas e interpretação das informações. A utilização de elementos gráficos e avisos de uso indevido auxiliam sua manipulação.

CONCLUSÕES

Espera-se que as predições inferidas pelo sistema de alerta desenvolvido sejam informações complementares e úteis aos técnicos da Fundação Procafé na elaboração dos boletins mensais de avisos fitossanitários.

Acredita-se que o sistema Web será capaz de realizar predições confiáveis sobre a epidemia da ferrugem no cafeeiro, podendo se tornar uma ferramenta auxiliar no controle do patógeno, indicando a melhor ocasião para fazer ou não a aplicação de fungicidas.

A interface do sistema mostrou-se intuitiva e as funcionalidades implementadas são executadas corretamente. O resultado da predição é fornecido de modo simples, objetivo e de fácil compreensão por parte do usuário.

A capacidade do sistema de incorporar novos modelos preditivos, ou substituir os antigos, pode resultar em predições mais confiáveis, fazendo com que o sistema de alerta se mantenha atualizado e continue auxiliando no controle da doença.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Procafé, pelos dados fornecidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHALFOUN, S.M. Doenças do cafeeiro: importância, identificação e métodos de controle. Lavras, MG:UFLA/FAEPE. 1997.
- CHAPMAN, P. ; CLINTON, J. ; KERBER, R. ; KHABAZA, T. ; REINARTZ, T. ; SHEARER, C. ; WIRTH, R. CRISP-DM 1.0: step-by-step data mining guide. [Illinois]: SPSS. 2000. 78 p..
- GARÇON, C. L. P. ; ZAMBOLIM, L. ; MIZUBUTI, E. S. G. ; VALE, F. X. R. do ; COSTA, H. Controle da ferrugem do cafeeiro com base no valor de severidade. *Fitopatologia Brasileira*. v. 29. 2004. p. 486-491.
- GIROLAMO NETO, C. D. Desenvolvimento e avaliação de modelos de alerta para a ferrugem do cafeeiro. 167 p.. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2013.
- KUSHALAPPA, A. C. ; AKUTSU, M. ; OSEGUERA, S. H. ; CHAVES, G. M. ; MELLES, C. Equations for predicting the rate of coffee rust development based on net survival ratio for monocyclic process of *Hemileia vastatrix*. *Fitopatologia Brasileira*. v. 9. 1984. p. 255-271.
- KUSHALAPPA, A. C. ; HERNANDEZ, T. A. ; LEMOS, H. G. Evaluation of simple and complex coffee rust forecasts to time fungicide application. *Fitopatologia Brasileira*. v.11. 1986. p.515-26.
- MEIRA, C. A. A. ; RODRIGUES, L. H. A. ; MORAES, S. A. Modelos de alerta para o controle da ferrugem-do-cafeeiro em lavouras com alta carga pendente. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.44. 2009. p. 233-242.
- MEIRA, C. A. A. & RODRIGUES, L. H. A. Modelos em árvore de decisão para alerta da ferrugem do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6. Vitória. Inovação científica, competitividade e mudanças climáticas: anais... Vitória: Consórcio Pesquisa Café. 2009. não paginado.
- MEIRA, C. A. A. Processo especializado de descoberta de conhecimento em bases de dados para a modelagem de doenças de plantas – versão 1.0. Documentos 123. ISSN 1677-9274. 2012. 45 p..
- ZAMBOLIM, L. ; VALE, F. X. R. ; PEREIRA, A. A. ; CHAVE, G. M. Café (*Coffea arabica* L.), controle de doenças causadas por fungos, bactérias e vírus. In: VALE, F. X. R., Zambolim, L. (Eds.). Controle de doenças de plantas. v.1. Viçosa. 1997. p. 83-180.