

Simulação dos efeitos das mudanças climáticas sobre a ferrugem do café na região Sudeste do Brasil

Emília Hamada ¹
Margarete Marin Lordelo Volpato ²
Giovane de Lima Ferreira ³
Helena Maria Ramos Alves ⁴
Vanessa Cristina Oliveira de Souza ⁵
Tatiana Grossi Chquiloff Vieira ⁶

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Meio Ambiente
Caixa Postal 69 - 13820-000 - Jaguariúna - SP, Brasil
emilia.hamada@embrapa.br

² Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG
Bolsista BIPDT/Fapemig
Caixa Postal 176 - 37200-000 - Lavras - MG, Brasil
{margarete; tatiana}@epamig.ufla.br

³ Universidade Estadual de Campinas – Unicamp/COTUCA
Rua Jorge de Figueiredo Corrêa, 735 – Pq. Taquaral - 13087-261 - Campinas - SP, Brasil
giovane.ferreira93@hotmail.com

⁴ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Café
Parque Estação Biológica s/nº -70770-901 – Brasília - DF, Brasil
helena.alves@embrapa.br

⁵ Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI/IMC
Caixa Postal 50 - 37500 903 - Itajubá - MG, Brasil
vanessa.vcos@gmail.com

Abstract. Brazil is the largest producer and exporter of coffee in the world. The rust (*Hemileia vastratrix*) is the most important disease of coffee crop in Brazil, with important damage effects on its production. The climate can directly and indirectly affect the interaction between the coffee plant and the fungus. Accordingly, the climate change can alter the spatial distribution and favorability of the disease, resulting in new distribution pattern. The present study aimed to simulate future scenarios of coffee rust epidemics by mapping the geographical distribution and adopting a logic mathematical criteria that estimates climate favorability of pathogen incidence and data projected by global climate models from IPCC AR4 (Fourth Assessment Report). The study considered the months (April, May, and June) of period of 1961-1990 and future periods of 2011-2040, 2041-2070, and 2071-2100, B1 and A2 scenarios of IPCC. According to the results obtained, for current climate (1961-1990) the percentage of unfavorable areas to the occurrence of the disease ranges from approximately 40% in April, 20% in May, and 10% in June. For future scenarios, the occurrence ratio changes to approximately 20% in the months from April to June, with the exception of the A2 scenario to 2071-2100 period, which provides approximately 10% of unfavorable area. Thus, there is a tendency in the future to increase the favorability of incidence of the rust on coffee in Southeast region of Brazil. On average, the maps obtained in scenarios B1 and A2 had a similar tendency.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, *Hemileia vastratrix*, disease, climate change, geoprocessing, doença, mudanças climáticas, geoprocessamento.

1. Introdução

O Brasil é maior produtor e exportador de café do mundo, sendo Minas Gerais o maior estado produtor do país. A ferrugem, causada pelo fungo *Hemileia vastratrix* Berk & Br, é a

principal doença do cafeeiro, com ocorrência em todas as regiões produtoras, chegando a ocasionar redução de 20% a 30% na produção (Carvalho e Souza, 1998).

Campbell & Madden (1990) relatam que técnicas de manejo da cultura podem ser otimizadas, graças ao conhecimento das condições climáticas que favorecem, ou não, o desenvolvimento da ferrugem. Com relação à infestação da doença, uma baixa precipitação, temperaturas médias amenas e presença de orvalho com alto molhamento foliar são alguns fatores capazes de determinar o aparecimento e a severidade dos surtos de ferrugem (Moraes, 1983).

Miranda (2013) utilizou técnicas de mineração de dados, para definir quais atributos climáticos e fenológicos mais influenciam a ocorrência da ferrugem em lavoura de cafeeiros do sul de Minas Gerais, gerando modelos de infestação da ferrugem com base em árvores de decisão.

Meira (2008) utilizou a técnica de mineração de dados no desenvolvimento de sistemas de alerta para ferrugem do cafeeiro. Através desses sistemas o controle de doenças tende a promover o uso racional de agrotóxicos. Um sistema de previsão de doença da planta é aquele que prevê o aparecimento ou um aumento na intensidade de uma doença baseado em informação sobre o ambiente, a cultura e/ou patógeno.

O ambiente pode influenciar o crescimento e a suscetibilidade da planta hospedeira, a multiplicação, a disseminação, a sobrevivência e as atividades do patógeno, assim como a interação entre a planta hospedeira e o patógeno. Nesse sentido, é de se esperar que as mudanças climáticas globais possam promover significativas alterações na ocorrência e severidade de doenças de plantas, ocasionando graves consequências econômicas, sociais e ambientais (Ghini et al., 2008).

Para prever possíveis alterações na distribuição dos patógenos provocados pelos efeitos das mudanças climáticas são utilizadas as projeções dos modelos climáticos. Estes modelos são baseados em princípios físicos, que descrevem características do clima recente e mudanças do clima passado e, com considerável confiança, fornecem boas estimativas quantitativas da mudança do clima futuro, particularmente em escalas continental e mundial (IPCC, 2007). A análise de risco das mudanças climáticas globais sobre doenças de plantas é de grande importância para o setor agrícola, pois permite a avaliação de estratégias de manejo para minimizar prejuízos futuros.

O presente trabalho teve por objetivo simular os cenários futuros de epidemias ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastratrix*) pela elaboração de mapas de distribuição geográfica usando critérios de lógica matemática que estimam a favorabilidade climática de incidência do patógeno e dados de modelos climáticos globais do IPCC AR4.

2. Metodologia de Trabalho

Inicialmente utilizou-se o modelo de classificação por mineração de dados, desenvolvido por Miranda (2013), baseado em dados de temperatura e umidade do ar, precipitação e infestação de ferrugem em cafeeiros, coletados no período de 2000 a 2010, na Fazenda Experimental da EPAMIG em São Sebastião do Paraíso, na região Sul de Minas Gerais.

O modelo de classificação representado pela análise da árvore de decisão (Figura 1) pode ser lida 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 infecção da ferrugem. Cada ramo na árvore é uma conjunção de condições. Assim, o percurso na árvore (da raiz à folha) corresponde a uma regra de classificação. O atributo de maior separabilidade (raiz da árvore) foi a precipitação.

O modelo foi interpretado com a ajuda de especialistas da área de cafeicultura mostrando os resultados e fatores mais importantes no progresso da ferrugem no campo e culminou na Tabela 1 que apresenta as faixas de favorabilidade climática à incidência de ferrugem do

cafeeiro para a região Sudeste. Para o conjunto de dados analisados observou-se que a ferrugem ocorre nos meses de abril (menor favorabilidade) a junho (maior favorabilidade).

De posse da regra definida na Tabela 1 foi realizada a espacialização da incidência de ferrugem em cafeeiros da região Sudeste para o clima atual e futuro baseado no Quarto Relatório de Avaliação - AR4 do IPCC (2007).

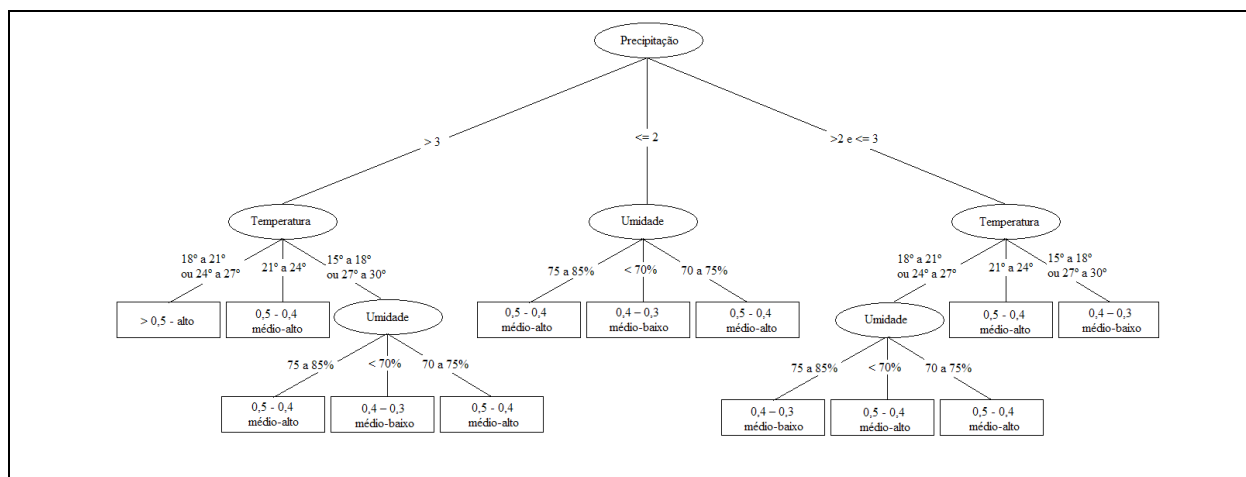


Figura 1. Árvore de decisão desenvolvida por Miranda (2013), baseada em dados de temperatura e umidade do ar, precipitação e infestação de ferrugem em cafeeiro.

Tabela 1. Faixas de favorabilidade climática à incidência de ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastratrix*) para a região Sudeste

Temperatura média (°C)	Umidade Relativa (%)	
	UR ≤ 75	UR ≥ 75
T < 15	Favorável	Favorável
15 ≤ T < 18	Muito Favorável	Muito Favorável
18 ≤ T < 21	Favorável	Favorável
21 ≤ T < 24	Muito Favorável	Desfavorável
24 ≤ T < 27	Favorável	Favorável
27 ≤ T < 30	Muito Favorável	Muito Favorável
T ≥ 30	Favorável	Favorável

Informações de médias mensais de temperatura média e umidade relativa do clima presente foram obtidas do *Climatic Research Unit* (<http://www.cru.uea.ac.uk/>) e do clima futuro foram obtidas do Quarto Relatório de Avaliação - AR4 do IPCC (2007). Para dados de temperatura, foram consideradas as projeções de quinze modelos climáticos globais: BCCR-BCM2.0, CGCM3.1.T47, CNRM-CM3, CSIRO-Mk3.0, ECHO-G, GFDL-CM2.0, GISS-ER, UKMO-HadCM3, UKMO-HadGEM1, INM-CM3.0, MIROC3.2.medres, ECHAM5, MRI-CGCM2.3.2, CCSM3 e PCMC (IPCC, 2007). Dados de umidade relativa foram obtidos das projeções disponibilizadas de sete modelos: BCCR-BCM2.0, CGCM3.1.T47, CNRM-CM3, GISS-ER, INM-CM3.0, MIROC3.2.medres e MRI-CGCM2.3.2. Informações referentes ao período de 1961 a 1990 foram consideradas para a caracterização do clima atual.

O SIG (Sistema de Informações Geográficas) Idrisi 32 foi utilizado para a elaboração dos mapas. Devido às diferentes resoluções espaciais dos modelos disponibilizados pelo IPCC, os dados foram interpolados pelo método de Inverso do Quadrado da Distância, de forma a terem a resolução espacial final de 0,5° X 0,5° de latitude e longitude. A área correspondente à região Sudeste foi recortada dos dados georeferenciados e uma máscara delimitando os estados foi aplicada sobre os mapas.

A temperatura média e umidade relativa mensais, do cenário futuro foram obtidas pela média dos quinze modelos e sete modelos, respectivamente, utilizando as ferramentas de análise espacial do SIG (operação aritmética). A partir dos mapas de temperatura média e umidade relativa mensais para os meses de maio, abril e junho, no período atual (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100), cenários B1 e A2, foram obtidos mapas apresentando as áreas classificadas quanto à favorabilidade ao desenvolvimento da doença, utilizando critérios apresentados na Tabela 1. A seguir, as áreas das classes de favorabilidade à doença foram calculadas no SIG.

3. Resultados e Discussão

As Figuras 2 e 3 apresentam os mapas de distribuição da ocorrência da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastratrix*) nos meses de abril a junho, para a região Sudeste do Brasil, confeccionados para o clima atual (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100), para os cenários B1 e A2. Observa-se que, de um modo geral, continuará existindo o predomínio de áreas favoráveis a ferrugem, entretanto, áreas menos favoráveis atualmente passam a apresentar favorabilidade, e o inverso ocorrerá, tanto para o cenário B1, como para A2.

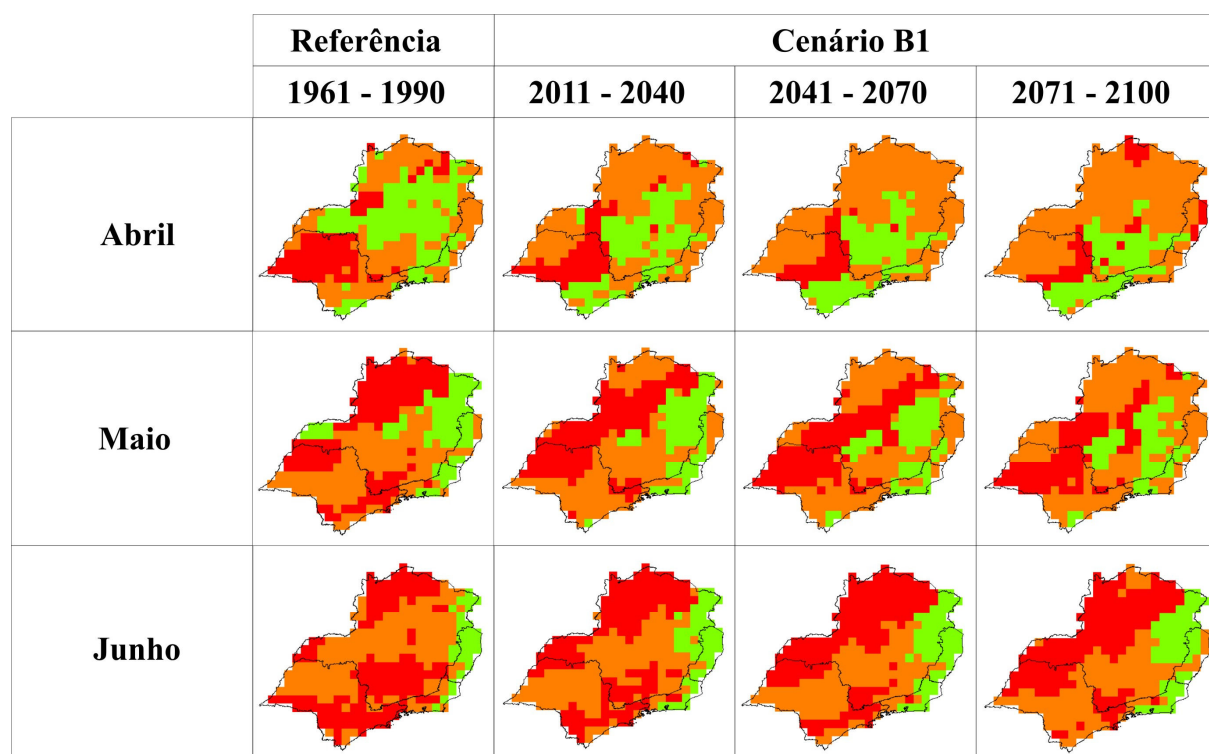


Figura 2. Favorabilidade climática à ocorrência da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastratrix*) nos meses de abril a junho nos períodos de 1961-1990 e de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenário B1 para a região Sudeste.

A Figura 4 mostra a porcentagem das áreas de favorabilidade nos meses de abril a junho, nos períodos de 1961-1990 e de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários B1 e A2 para a região Sudeste. A Figura 5 apresenta a áreas média ocupada das classes de favorabilidade climática à ocorrência da ferrugem do cafeeiro dos meses de abril a junho nos períodos de 1961-1990 e de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários B1 e A2 para a região Sudeste. Observa-se que para o clima atual a porcentagem de áreas desfavoráveis varia de aproximadamente 40% em abril, 20% em maio e 10% em junho. De acordo com Carvalho et al. (2010), as condições climáticas que favorece a doença possui pico de incidência entre os

meses de maio a junho e que essa ocorrência varia pouco entre as regiões cafeeiras. Para os cenários futuros, a proporção muda para aproximadamente 20% nos meses de abril a junho, com exceção do cenário A2, período 2071-2100, que prevê aproximadamente 10% de desfavorabilidade, provavelmente devido às condições ambientais mais favoráveis ao desenvolvimento do patógeno. Portanto, existe uma tendência no futuro de aumento da favorabilidade climática à incidência da ferrugem do café na região Sudeste do Brasil. De acordo com Carvalho e Souza (1998) o molhamento foliar, baixa intensidade luminosa e as temperaturas amenas exercem influência determinante sobre a ferrugem do cafeeiro. Observa-se que, em média, não existem diferenças percentuais relevantes entre os cenários B1, mais otimista, e A2, mais pessimista, apresentando, portanto, tendências similares.

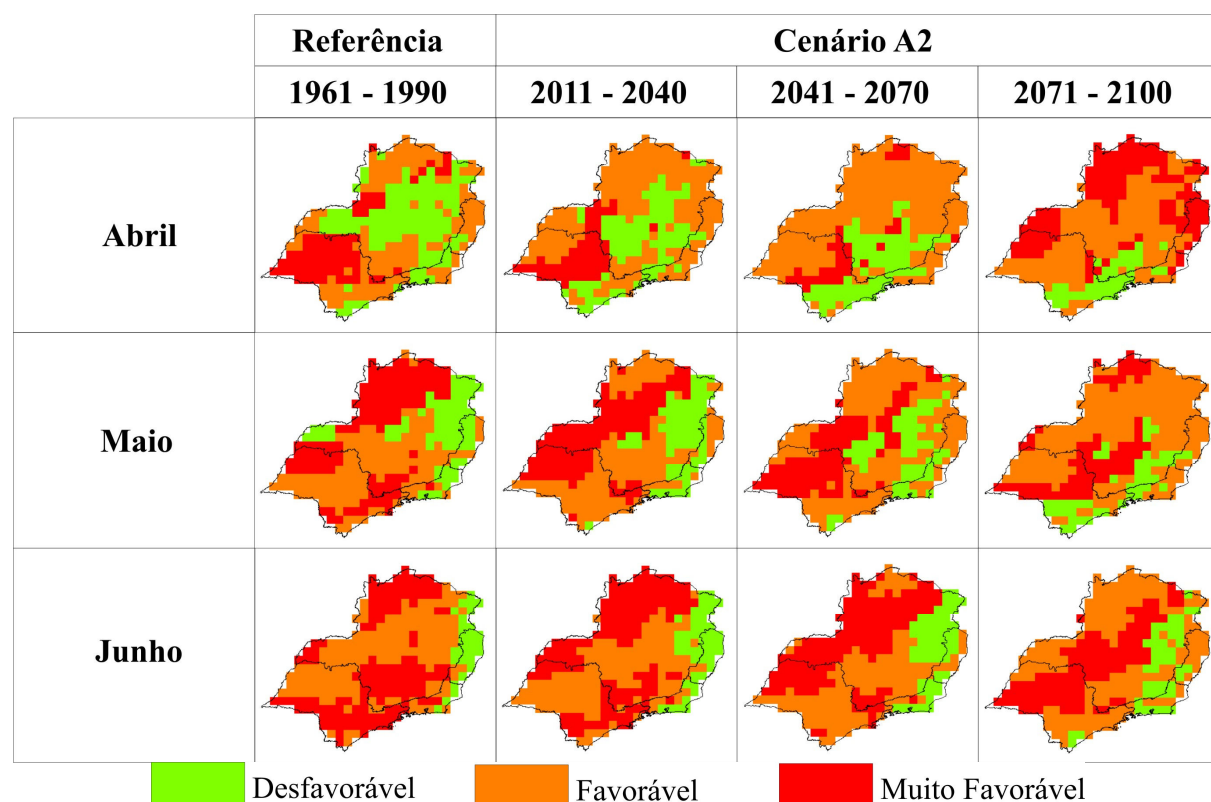


Figura 3. Favorabilidade climática à ocorrência da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastratrix*) nos meses de abril a junho nos períodos de 1961-1990 e de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenário A2 para a região Sudeste.

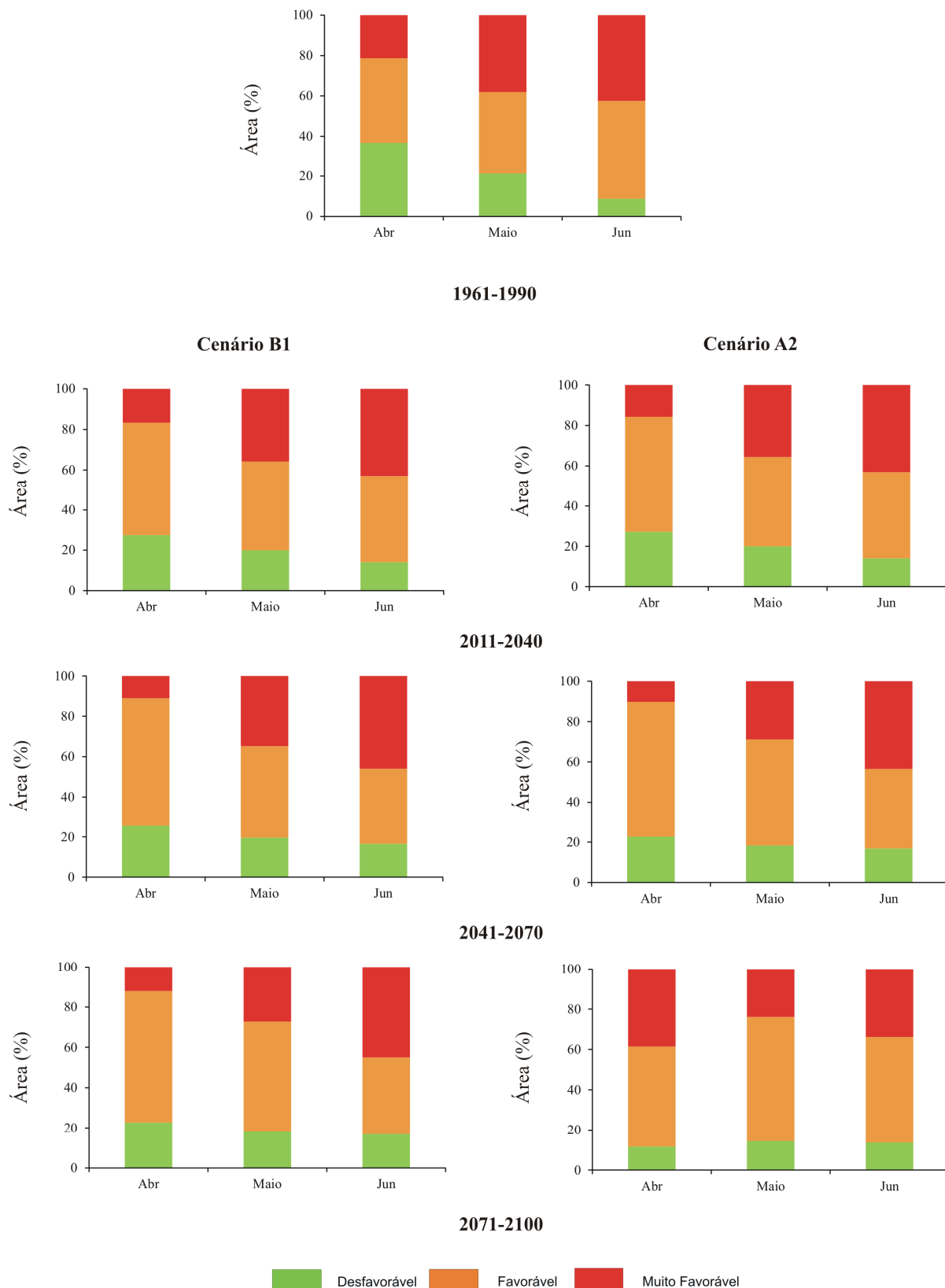


Figura 4. Área ocupada das classes de favorabilidade climática à ocorrência da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastratrix*) nos meses de abril a junho nos períodos de 1961-1990 e de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários B1 e A2 para a região Sudeste.

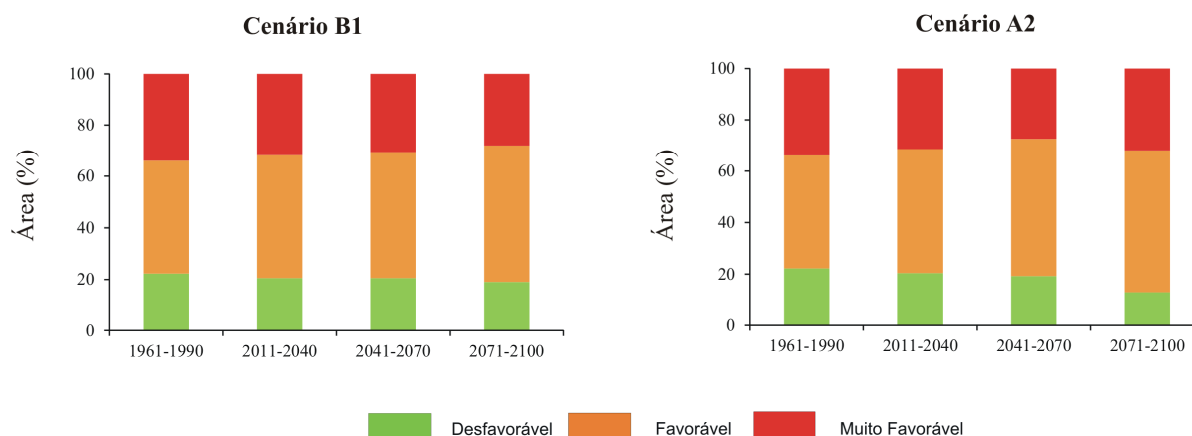


Figura 5. Área média ocupada das classes de favorabilidade climática à ocorrência da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastratrix*) dos meses de abril a junho nos períodos de 1961-1990 e de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários B1 e A2 para a região Sudeste.

4. Conclusões

O estudo possibilitou quantificar a área de favorabilidade da ferrugem do cafeeiro na região Sudeste e conhecer sua distribuição espacial, identificando a variabilidade no tempo atual e diferentes períodos futuros. Existe uma tendência no futuro de aumento da favorabilidade de incidência da ferrugem do café na região Sudeste do Brasil. A incerteza a respeito dos efeitos das mudanças climáticas sobre doenças de plantas somente será minimizada ao longo dos anos com estudos mais aprofundados sobre o entendimento da complexidade da interação dos processos patógeno-hospedeiro-ambiente, considerando as alterações em função das mudanças climáticas; a obtenção de mais dados de séries históricas de incidência de doenças e de clima; e a obtenção de projeções de modelos climáticos mais precisos, com maior resolução espacial e temporal.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Embrapa – projeto Macroprograma 2, do Programa Café do Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café / CBP&D/Café, pelo suporte financeiro. E à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais -Fapemig pela bolsa concedida.

Referências Bibliográficas

- Campbell, C. L.; Madden, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 655 p.
- Carvalho, V. L.; Souza, S. M. C. **Ferrugem**: doença mais importante do cafeeiro. Circular técnica. Lavras: EPAMIG, n. 87, 1998.
- Carvalho, V. L.; Chalfon, S. M.; Cunha, R. L. Manejo de doenças do cafeeiro. In: Reis, P. R.; Cunha, R. L. **Café arábica do plantio à colheita**. Lavras: UREPAMIGSM, 2010. p. 689-756.
- Ghini, R.; Hamada, E.; Bettiol, W. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre as doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 16, p. 1-37. 2008.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC Fourth Assessment Report – Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. 2007.
- Meira, C.A.A. **Processo de descoberta de conhecimento em bases de dados para a análise e o alerta de doenças de culturas agrícolas e sua aplicação na ferrugem do cafeeiro**. 2008. 198 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2008.

Miranda, T. H. P. **Mineração de Dados para a Modelagem de Ocorrência da Ferrugem em Cafeeiros de Minas Gerais**. 2013. 20 p. Monografia (Instituto de Ciências Exatas) – Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). 2013.

Moraes, S. A. A. **Ferrugem do cafeeiro**: importância, condições predisponentes, evolução e situação no Brasil. Campinas: Circular Instituto Agrônomo, n. 119, 1983. 50 p.