



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Cenários futuros de epidemia do oídio da videira com as mudanças climáticas para o Brasil

Emília Hamada¹; Francislene Angelotti²;
Lucas da Ressurreição Garrido³; Raquel Ghini⁴

¹ Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, emilia.hamada@embrapa.br; ² Pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, francislene.angelotti@embrapa.br; ³ Pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS, lucas.garrido@embrapa.br; ⁴ Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, raquel.ghini@embrapa.br.

Artigo recebido em 10/09/2015 e aceito em 30/11/2015.

RESUMO

Devido à intensa relação entre o ambiente e as doenças de plantas, alterações na distribuição geográfica e temporal das doenças podem ocorrer como impacto das mudanças climáticas. A vitivinicultura tem crescido de importância nos últimos anos no Brasil e as doenças constituem um sério problema para a cultura. O oídio, causado pelo fungo *Uncinula necator*, é uma das principais doenças que afetam a videira. O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto potencial das mudanças climáticas na favorabilidade do oídio da videira no país, baseado em critérios de lógica matemática, associando combinações de faixas de variáveis climáticas com classes de favorabilidade e utilizando as ferramentas de SIG - Sistema de Informações Geográficas. O estudo considerou os meses ao longo do ano dos períodos de 1961-1990 e de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, nos cenários B1 e A2 do IPCC. A temperatura média e a umidade relativa foram os dados climáticos básicos de entrada no banco de dados do SIG e foram obtidos de projeções dos modelos climáticos globais do Quarto Relatório de Avaliação do IPCC. Os mapas de distribuição geográfica de respostas favoráveis à doença mostram que haverá alteração no futuro, com aumento da área favorável à sua incidência no Brasil, em ambos os cenários.

Palavras-chave: *Vitis* spp., *Uncinula necator*, doença de planta, Sistema de Informações Geográficas.

Future scenarios of powdery mildew epidemic on grape under climate change for Brazil

ABSTRACT

Due to the intense relationship between environment and plant diseases, changes in the geographical and temporal distribution of diseases may occur as an impact of climate change. Viticulture in Brazil has been growing in importance in recent years and disease are a serious crop issue. Powdery mildew, also known as oidium, caused by the fungus *Uncinula necator*, is one of the main diseases affecting this crop. The objective of this study was to assess the potential impact of climate change on the favorability of grape oidium in Brazil, based on criteria of mathematical logic associating combinations of ranges of climate variables with classes of favorability and using Geographical Information System - GIS tools. The study considered the months throughout the year of periods of 1961-1990 and 2011-2040, 2041-2070, and 2071-2100, scenarios B1 and A2 of IPCC. Mean temperature and relative humidity were the basic weather data entered in the GIS database, obtained by projections of global climate models from IPCC Fourth Assessment Report. Maps of geographic distribution of favorable responses for the disease show that in the future there will be change, increasing the favorable area for their incidence in the Brazil, in both scenarios.

Keywords: *Vitis* spp., *Uncinula necator*, plant disease, Geographical Information System.

Introdução

A manutenção da sustentabilidade dos agroecossistemas é diretamente dependente da proteção de plantas. Em poucos anos, as mudanças climáticas poderão modificar o cenário

atual de doenças de plantas e seu manejo, cujas alterações certamente terão efeito sobre a produtividade (Ghini et al., 2011). Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013), a superfície da Terra

apresentou um aumento de temperatura média de 0,78 °C (variando de 0,72 °C a 0,85 °C) entre 1850-1900 e 2003-2012. As projeções para o final do século XXI indicam como provável o aumento de 2,6 °C a 4,8 °C da temperatura média da superfície no planeta no cenário de alta emissão de gases de efeito estufa e de 0,3 °C a 1,7 °C no cenário de baixa emissão, no período de 2081-2100, com relação a 1986-2005 (IPCC, 2013). Existe consenso crescente que o aquecimento vem ocorrendo predominantemente por influência antrópica e que está estreitamente ligado ao aumento da concentração de gases de efeito estufa. Além dos aumentos previstos na temperatura para grande parte do mundo, alterações na ocorrência, frequência, intensidade e localização de eventos extremos também estão previstos.

O IPCC foi criado em 1988, pela ação conjunta da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), para preparar, baseado em informações científicas disponíveis, avaliações de todos os aspectos das mudanças climáticas e seus impactos, com a visão de formular possíveis estratégias de resposta. As projeções do clima futuro nos cenários de mudanças climáticas são disponibilizadas pelo IPCC por meio dos seus relatórios de avaliação.

A partir de 1990, começaram a ser disponibilizados pelo IPCC os relatórios de avaliação. Seguindo os princípios do IPCC, seus relatórios devem ser neutros em relação à política, embora possam precisar lidar objetivamente com fatores científicos, técnicos e socioeconômicos relevantes para a aplicação de políticas específicas (IPCC, 2015). O IPCC, em seus relatórios de avaliação, disponibiliza as simulações de diversos e sofisticados modelos globais de circulação atmosférica, desenvolvidos por renomadas instituições e executados de acordo com diferentes cenários de emissão de gases de efeito estufa. Progressos significativos têm sido obtidos nos modelos, na compreensão de como o clima está mudando no espaço e no tempo, graças à melhoria da análise de numerosos conjuntos de dados, à cobertura geográfica mais ampla, à melhor compreensão das incertezas e à maior variedade de medições. Esse considerável crescimento no conhecimento dos processos do clima foi sendo incorporado aos modelos climáticos e, em função disso, a complexidade e a confiabilidade desses modelos também aumentaram ao longo das últimas décadas. Tem havido também um aumento contínuo na resolução horizontal e vertical desses modelos globais. Estão disponíveis

mais de 20 modelos climáticos globais no Quarto Relatório do IPCC com projeções ano a ano até 2100, em escala mensal, conforme o cenário de emissão de gases de efeito estufa e a variável climática. Tais informações constituem a base dos estudos de impactos, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas nas diferentes áreas do conhecimento.

Sob o aspecto da segurança alimentar e dos sistemas de produção de alimento, segundo Porter et al. (2014), os impactos negativos das mudanças climáticas tendem a ser mais comuns que os positivos. Baseando-se em dados observados e muitos estudos, esses autores concluíram que o aquecimento climático tem efeito negativo sobre a produção agrícola, geralmente reduzindo os rendimentos de cereais básicos, diferindo, no entanto, entre diferentes regiões e latitudes. A seca é um dos principais causadores de insegurança alimentar, contribuindo com impacto negativo sobre a nutrição; além disso, desastres como enchentes e tempestade tropicais (eventos extremos) também afetam a segurança alimentar, destruindo bens de subsistência (Porter et al., 2014). Sob o aspecto dos efeitos das mudanças climáticas na pressão de pragas e doenças em culturas alimentares, é esperado que as alterações no clima afetem a distribuição geográfica de espécies específicas de insetos e doenças para uma dada região de cultivo da cultura (Shaw e Osborne, 2011).

A vitivinicultura é considerada uma importante atividade para a sustentabilidade da pequena propriedade no Brasil; no entanto, nos últimos anos, grandes empreendimentos, que produzem uvas de mesa e uvas para processamento, têm desempenhado importante papel na geração de emprego (Mello, 2012). Segundo Garrido e Angelotti (2011), o oídio (*Uncinula necator*) está entre as principais doenças da videira no Brasil. Este fungo causa perdas importantes, principalmente, nas regiões vitícolas do Nordeste brasileiro, no noroeste de São Paulo, norte do Paraná e, em menor grau, no Sul do Brasil. Os principais danos se originam da incidência do fungo sobre as bagas, provocando rachaduras e, posteriormente, podridões dos cachos e, quando ataca as folhas, reduz a área fotossintética.

As cultivares europeias (*Vitis vinifera*) são em geral suscetíveis ao oídio, enquanto que as cultivares americanas são resistentes. A importância do patógeno varia de acordo com a localização geográfica e com o grau de resistência da planta hospedeira. A temperatura ótima para o oídio, de modo geral, é próxima a 25 °C, embora

os esporos germinem na superfície da folha em temperaturas entre 6 °C e 33 °C. A rápida germinação e crescimento micelial ocorrem entre 20 °C e 27 °C e a umidade relativa entre 40% e 60% (Hewitt e Raski, 1967).

Os oídios atacam uma ampla gama de plantas de grande importância econômica, cuja distribuição geográfica vem aumentando nos últimos anos, causando sérias perdas, além de constituírem um dos mais importantes grupos de fitopatógenos a serem estudados com relação aos impactos das mudanças climáticas (Glawe, 2008). A alta capacidade de disseminação e desenvolvimento de resistência a fungicidas dificultam a adoção de medidas de controle. Em carvalhos, por exemplo, trata-se da doença mais comum na Europa, por esse motivo, Marçais e Desprez-Loustau (2014) estudaram o impacto potencial das mudanças climáticas sobre o oídio. Os autores verificaram que a severidade da doença pode ser influenciada, principalmente pela alteração da sincronia fenológica entre o patógeno e a planta hospedeira. A estação da primavera potencialmente será responsável pelas maiores alterações na sincronia entre folhas jovens e suscetíveis de carvalho e a produção de propágulos virulentos do patógeno.

Para estudar os impactos das mudanças climáticas sobre a produção de uvas na região dos Alpes do leste da Itália, Caffarra et al. (2012) combinaram modelos fenológicos da videira com modelos de desenvolvimento de uma praga (*Lobesia botrana*) e do oídio (*Erysiphe necator*). As simulações obtidas sugerem que nas áreas vitícolas mais quentes e mais rentáveis da região do estudo, o aumento da temperatura poderá ter um impacto negativo sobre a produtividade devido à diminuição da sincronia entre a fase de crescimento de videira resistente às larvas e o ciclo da praga. Por outro lado, o aumento na pressão da praga, devido ao aumento do número de gerações pode não ser tão grave como o esperado, com base apenas no modelo da praga, devido ao avanço nas datas de colheita que limitam os danos de gerações no final da estação de cultivo. As simulações para oídio destacaram uma diminuição na severidade da doença, principalmente em anos com um início mais tardio dos sintomas da doença e no cenário climático futuro com maiores aumentos de temperatura.

Pugliese et al. (2010) verificaram que o aumento da concentração de CO₂ do ar não afetou a incidência do oídio da videira em condições de ambiente controlado, provavelmente devido ao

aumento da atividade fotossintética das plantas sob tais condições.

Com relação a outras doenças da videira, Salinari et al. (2006), estudando os impactos das mudanças climáticas sobre o míldio, causado por *Plasmopara viticola*, utilizaram modelos climáticos globais para avaliar a pressão da doença, definida como o número de aplicações de fungicidas necessárias para o seu controle. Os autores verificaram que aumentará a pressão da doença e concluíram que haverá necessidade de aumentar o número de pulverizações com fungicidas na região da Itália estudada.

O presente trabalho teve por objetivo simular os cenários futuros de epidemias do oídio da videira para o Brasil, com elaboração de mapas de distribuição geográfica, utilizando critérios de lógica matemática que estimam a favorabilidade climática de incidência do patógeno e dados de projeções de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

Material e Métodos

Foram consideradas as informações das variáveis climáticas de umidade relativa e temperatura média dos climas presente e futuro para o Brasil. O clima atual foi definido pela normal climatológica ou clima de referência do período de 1961-1990, obtido do Climate Research Unit (<http://www.cru.uea.ac.uk/>). Os cenários futuros utilizados foram B1 e A2, dos períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 do Quarto Relatório do IPCC (2007), disponíveis no Data Distribution Centre (<http://www.ipcc-data.org/>).

Os cenários futuros consideram diferentes projeções de emissões de gases de efeito estufa, relacionando aspectos de desenvolvimento social, econômico e tecnológico, crescimento populacional, preocupação com o meio ambiente e diferenças regionais, denominados de principais forças condutoras. Adotar um cenário de baixas emissões (B1) supõe um futuro tendendo à estabilização das emissões de efeito estufa e que a concentração atmosférica de CO₂ será, no final deste século, em torno de 550 ppmv ou 0,055%; enquanto que no cenário de altas emissões (A2), com manutenção dos padrões de emissões observados nas últimas décadas, implicaria em chegar a 1.000 ppmv de CO₂ atmosférico, cerca de três vezes maior que as concentrações do início do século (IPCC, 2000).

O cenário A2, de elevadas emissões de gases de efeito estufa, descreve um mundo muito heterogêneo, com preservação das identidades locais e da tradição. Os padrões de fertilidade

entre as regiões convergem muito lentamente, o que resulta em alto crescimento populacional. O desenvolvimento econômico é principalmente orientado regionalmente e o crescimento econômico *per capita* e a mudança tecnológica são mais fragmentados e mais lentos, comparados às outras famílias de cenário (IPCC, 2001).

O cenário B1, de menores emissões, apresenta características mais otimistas em relação ao cenário A2. Descreve um mundo convergente com a mesma população global, que atinge o pico em meados do século e declina em seguida, porém com rápida mudança nas estruturas econômicas, com redução na utilização de material e a introdução de tecnologias limpas e eficientes na utilização de recursos. A ênfase é nas soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, incluindo a melhoria na equidade, porém sem iniciativas climáticas adicionais (IPCC, 2001).

Os cenários servem de base para que os modelos climáticos globais realizem as projeções quantitativas do clima do planeta no futuro. Esses modelos são representações matemáticas do sistema climático e sua confiabilidade vem de suas bases físicas e sua capacidade em bem representar o clima observado e as alterações do clima do passado. São consideradas importantes ferramentas tanto para a simulação e entendimento do clima, como também capazes de fornecer estimativas quantitativas confiáveis das mudanças do clima futuro, particularmente em escalas continentais (IPCC, 2007).

Para o clima do futuro, os períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 foram obtidos pela média aritmética dos 30 anos de cada período. Como nem todos os modelos disponibilizam todas as variáveis climáticas e os cenários, o número de modelos considerado foi variável em função da sua disponibilidade.

A informação de umidade relativa é uma variável diferenciada das outras, não sendo disponibilizada diretamente pelos modelos. Desta forma, foi calculada utilizando-se a equação de Tetens, a partir da umidade específica e da pressão atmosférica ao nível do ar obtidas pelos modelos e mais a informação de altitude obtida do sensor SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), para os cenários B1 e A2 de sete modelos: BCCR-BCM2.0 (da instituição “Bjerknes Centre for Climate Research” da Noruega), CGCM3.1.T47 (“Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis” do Canadá), CNRM-CM3 (“Météo-France” da França), GISS-ER (“Goddard Institute for Space Shuttles” dos EUA), INM-CM3.0 (“Institute for Numerical

Mathematics” da Rússia), MIROC3.2.medres (“Center for Climate System Research” do Japão e MRI-CGCM2.3.2 (“Meteorological Research Institute” do Japão).

Para dados de temperatura média foram utilizados 13 modelos disponíveis do cenário B1, os mesmos utilizados para umidade, acrescidos de: CSIRO-Mk3.0 (“CSIRO Atmospheric Research” da Austrália), ECHO-G (“Meteorological Institute of the University of Bonn” da Alemanha), GFDL-CM2.0 (“US Dept. of Commerce/NOAA/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory” dos EUA), UKMO-HadCM3 (“Hadley Centre for Climate Prediction and Research/Met Office” do Reino Unido), ECHAM5 (“Max Planck Institute for Meteorology” da Alemanha) e CCSM3 (“National Center for Atmospheric Research” dos EUA); e 15 modelos do cenário A2, os mesmos do cenário B1, acrescidos de: UKMO-HadGEM1 (“Hadley Centre for Climate Prediction and Research/Met Office” do Reino Unido) e PCM (“National Center for Atmospheric Research” dos EUA).

Em função do grande volume de dados, esses foram processados inicialmente utilizando um sistema computacional de gerenciamento de dados climáticos, desenvolvido baseando-se no sistema gerenciador de banco de dados Firebird 2.0 e utilizando a linguagem Object Pascal do software Delphi e a ferramenta de manipulação dos dados IBExpert. Esse sistema realizou a leitura dos dados disponíveis no Quarto Relatório do IPCC no seu formato original em “grib”, convertendo as informações para o Sistema Internacional de Unidades das variáveis climáticas, quando necessário; a incorporação das informações de coordenadas geográficas para cada modelo; operações aritméticas básicas (média de 30 anos) dos três períodos do futuro (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários B1 e A2) para cada modelo disponível de cada variável climática; e, por final, a obtenção das informações processadas no formato “ASCII”.

Foi utilizado, a seguir, o software Surfer, programa de mapeamento de superfície, para ajustar essas informações para um mesmo padrão de resolução espacial. Isso foi devido às diferentes resoluções espaciais dos modelos disponibilizados pelo IPCC (BCCR-BCM2.0: 2,81252° X ~2,7904°, CGCM3.1.T47: 3,75° X ~3,711°, CNRM-CM3: 2,81252X ~2,7904°, GISS-ER: 5,0° X 4,0°, INM-CM3.0: 5,0° X 4,0°, MICOC3.2.medres: 2,81252° X ~2,7904°, MRI-CGCM2.3.2: 2,81252° X ~2,7904°, CSIRO-Mk3.0: 1,875° X 1,865°, ECHO-G: 3,75° X ~3,711°, GFDL-CM2.0: 2,5° X 2,0°, UKMO-

HadGEM1: 1,875° X 1,25°, ECHAM5: 1,875° X ~1,8652°, CCSM3: 1,40625° X ~1,4007°, UKMO-HadCM3: 3,75° X 2,5° e PCM: 2,81252° X ~2,7904°). Os dados foram ajustados por interpolação para uma mesma resolução espacial final de 0,5° X 0,5° de latitude e de longitude, a mesma dos dados do clima de referência, utilizando o método de triangulação.

Posteriormente, os dados interpolados foram utilizados como dados de entrada do software de SIG (Sistema de Informações Geográficas) Idrisi Selva para a elaboração dos mapas. No SIG, as informações foram convertidas do formato vetorial para o formato matricial. A seguir, foi realizado o recorte das informações somente para a área do Brasil, desconsiderando os outros países da América do Sul e o oceano. O banco de dados geográfico do SIG possibilitou a elaboração dos mapas climáticos, com acabamentos gráficos de classes, legenda e cores.

Assim, foi obtido o banco de dados do “futuro projetado” pelos modelos climáticos globais para os períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários B1 e A2. O mesmo procedimento foi também empregado na obtenção dos dados simulados pelos modelos climáticos globais para o mesmo período de referência (1961-1990), denominados de “experimentos do século XX” ou 20C3M, resultando no desenvolvimento do banco de dados do “presente simulado” pelos modelos climáticos globais. Por fim, foi adotada a metodologia de correção de viés, obtendo-se o banco de dados do “futuro corrigido” por viés, a partir dos três bancos de dados do “presente observado”, do “presente simulado” e do “futuro projetado”. Detalhes são apresentados em Hamada et al. (2011).

Na elaboração dos mapas do oídio da videira foram estabelecidas três classes de favorabilidade climática à doença: desfavorável, pouco favorável e favorável, definidas a partir dos mapas de umidade relativa e temperatura média mensais para o período de referência de 1961-1990 (“presente observado”) e para os cenários B1 e A2, dos períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 (“futuro corrigido”). Para tanto, foi considerado que o desenvolvimento da doença é favorecido por umidade relativa entre 40% e 70% e temperatura média mensal entre 21 °C e 32 °C. O desenvolvimento é pouco favorável, nas condições de umidade relativa abaixo de 40% e temperatura média entre 21 °C e 32 °C; ou de umidade relativa entre 40% e 70% e temperatura abaixo de 21 °C ou acima de 32 °C; ou de umidade relativa acima de 70% e temperatura entre 21 °C e 32 °C. Consequentemente, regiões

que apresentam umidade relativa abaixo de 40% e temperatura abaixo de 21 °C ou acima de 32 °C; ou umidade relativa acima de 70% e temperatura abaixo de 21 °C ou temperatura acima de 32 °C foram consideradas desfavoráveis à doença. Esses critérios foram transcritos no SIG, utilizando suas funções lógicas, resultando nos mapas mensais da doença, inicialmente para o período de referência. Após a validação dos mapas mensais para o clima de referência realizada pelos especialistas, o processo foi repetido para os mapas do clima futuro. A seguir, as áreas das classes de favorabilidade foram calculadas em cada período estudado.

Resultados e Discussão

Os mapas de favorabilidade climática ao oídio da videira confeccionados para os climas futuros indicam que, de um modo geral, haverá aumento da área favorável ao desenvolvimento da doença no país, em relação ao clima de referência, tanto no cenário B1 quanto para o A2, em todos os meses do ano (Figuras 1 a 3). Além disso, esse aumento será progressivo ao longo dos períodos futuros avaliados (Figuras 4 e 5).

No período de 1961-1990, na média anual para o Brasil, a área favorável foi de 16%. Nesse período, os meses de janeiro a maio possuíram área favorável abaixo de 10%; nos meses de junho, novembro e dezembro a área favorável esteve entre 10% e 20%; e nos meses de julho a outubro a área favorável foi acima de 20%, com maior área ocorrida em setembro, com 37% do país. Considerando o cenário A2, nos climas futuros, no período de 2011-2040, na média anual, a área favorável será de 20%. Na média ao longo do ano, os meses de janeiro a abril terão área favorável abaixo de 10%; nos meses de maio, novembro e dezembro com área entre 10% e 20%; e nos meses de junho a outubro a área favorável será superior a 20%, com maior área favorável no país ocorrendo em setembro, com 43%. No período de 2041-2070, na média anual, a área favorável será ocupada por 22%. Ao longo do ano, será observado aumento da área favorável comparado ao período anterior, mas com o mesmo comportamento sazonal (entre os meses do ano) do período de 2011-2040, com maior área favorável no país ocorrendo no mês de setembro, com 46%. No período de 2071-2100, na média anual, a área favorável será de 23%. Na média ao longo do ano, os meses de fevereiro a abril terão área favorável abaixo de 10%; os meses de novembro e dezembro com área entre 10% e 20%; e nos meses de maio a outubro a área favorável

será superior a 20%, com maior área favorável no país ocorrendo em agosto, com 48%.

Os aumentos na incidência do oídio da videira serão menos acentuados para o cenário B1 do que para o A2. O cenário A2 prevê maiores reduções de umidade relativa que cenário B1, resultando em condições mais favoráveis ao oídio, em geral. Além disso, o aumento da área favorável à doença será gradativo nos três períodos futuros estudados para os dois cenários, isto, a cada década, a área favorável sofrerá aumento. Embora a área favorável aumente, comparando-se as áreas ocupadas das três classes de favorabilidade (Figuras 1 a 5), existe o predomínio no país da área pouco favorável climaticamente à doença. No clima de referência, de 1961-1990, a área pouco favorável ocupou 77% e nos períodos futuros, comparando-se os cenários B1 e A2, temos a previsão que em 2011-2040 essa classe ocupará 75% para ambos os cenários, em 2041-2070 ocupará 75% e 74% e em 2071-2100 corresponderá a 74% e 71%, respectivamente. Já as menores áreas do país são classificadas como desfavoráveis climaticamente à doença e no clima de referência, a área desfavorável foi de 7% e nos climas futuros, comparando-se os cenários B1 e A2, a simulação prevê em 2011-2040 a ocupação de 5% para ambos os cenários, em 2041-2070 ocupará 5% e 4% e em 2071-2100, 4% e 6%, respectivamente.

Agrupando-se por estações do ano (Figura 6), as maiores áreas favoráveis à doença ocorrem, em geral, na primavera e no inverno e, conseqüentemente, as menores áreas no verão e no outono. No período de 1961-1990, na média da estação, a área favorável ocupou 27% na primavera e 25% no inverno, com menos de 10% para as estações de verão e outono. Nos climas do futuro, prevê-se aumento da favorabilidade em todas as estações do ano, de forma gradativa ao longo dos períodos, mantendo o comportamento sazonal de favorabilidade nos dois cenários. Por exemplo, em 2011-2040, no cenário A2, a área favorável será de 33% na primavera e 30% no inverno e no cenário B1, de 33% e 30%, respectivamente. Em 2041-2070, no cenário A2, a área favorável será de 35% na primavera e 33% no inverno, enquanto no cenário B1, será de 34% e 32%, respectivamente. No último período, em 2071-2100, no cenário A1, a área favorável prevista é de 32% na primavera e 39% no inverno, tendo no cenário B1, 35% e 34%, respectivamente. Em geral, a área favorável prevista será maior na primavera, do que no inverno, em todos os períodos e cenários, com exceção do cenário A2, em 2071-2100, em que a

área favorável do inverno se tornará maior que na primavera. Para o verão e outono, as áreas favoráveis para todos os períodos estudados serão abaixo de 10% do país. Assim, conseqüentemente, nessas estações é que ocorrerão as maiores áreas com pouca favorabilidade climática à doença.

As principais regiões vitícolas do Brasil são o Nordeste e as regiões Sul e Sudeste. Comparando as três regiões, a região Nordeste se destaca como sendo mais favorável climaticamente à doença no período de referência (1961-1990) e com tendência progressiva de aumento de favorabilidade nos períodos futuros considerando os dois cenários de mudanças climáticas, porém, com maior incremento ocorrendo no cenário A2, comparado ao cenário B1 (Tabelas 1 e 2). Desta forma, no Nordeste, no período de 1961-1990, na média anual da região, a área favorável ocupou 43% (Tabela 1), superior à média do país que foi de 16%. Nesse período, o mês de abril teve área favorável abaixo de 10%; março teve área favorável entre 10% a 20%; e no restante dos meses, a área favorável foi acima de 20%, tendo meses como setembro e outubro com áreas por volta de 71%. Considerando o cenário A2, nos climas futuros (Tabela 2), no período 2011-2040, na média anual, a área favorável será de 47%. Na média ao longo do ano, não haverá

mês com área

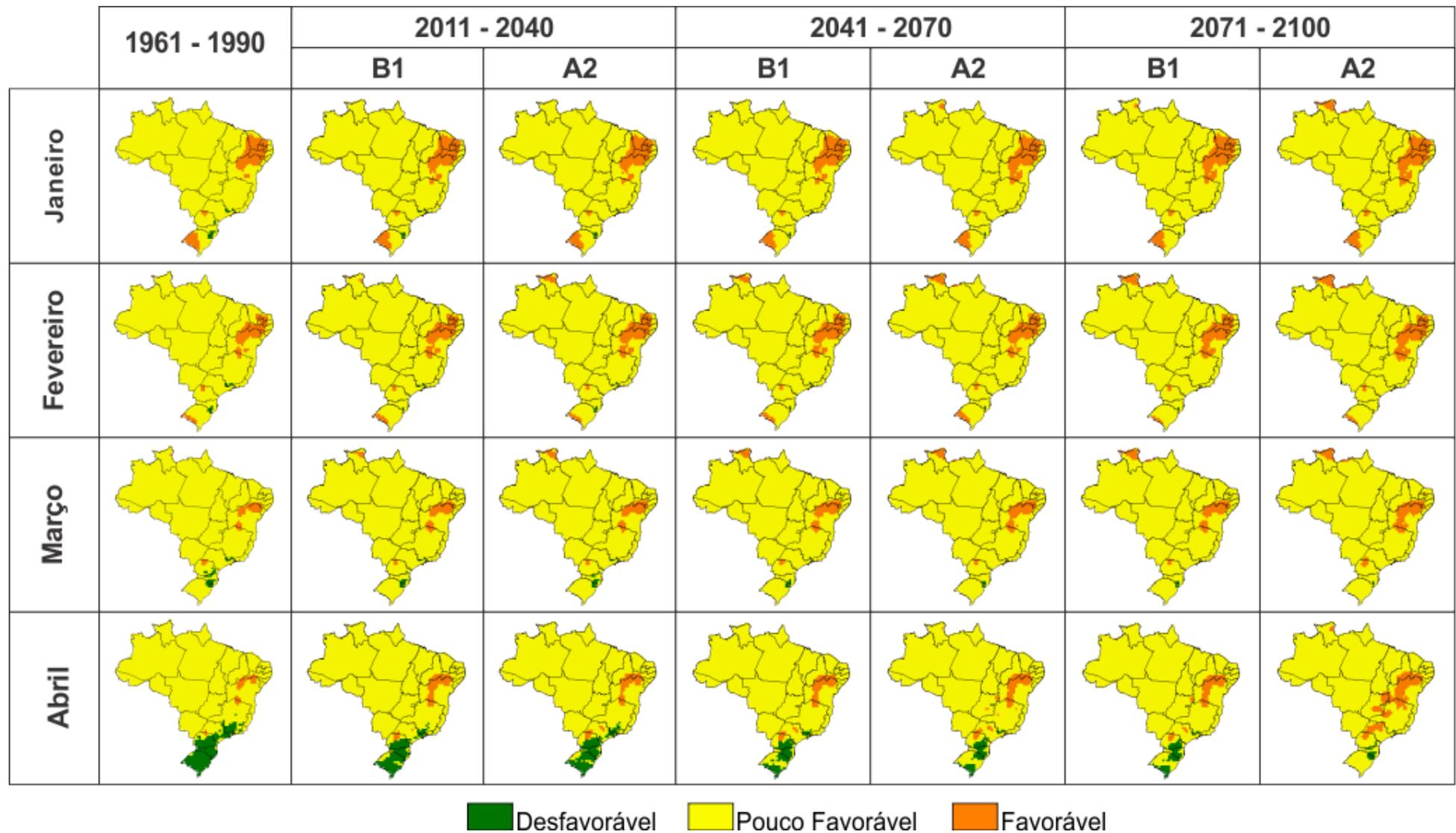


Figura 1. Favorabilidade climática do oídio (*Uncinula necator*) da videira de janeiro a abril no clima de referência (1961-1990) e do futuro (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100), cenários B1 e A2.

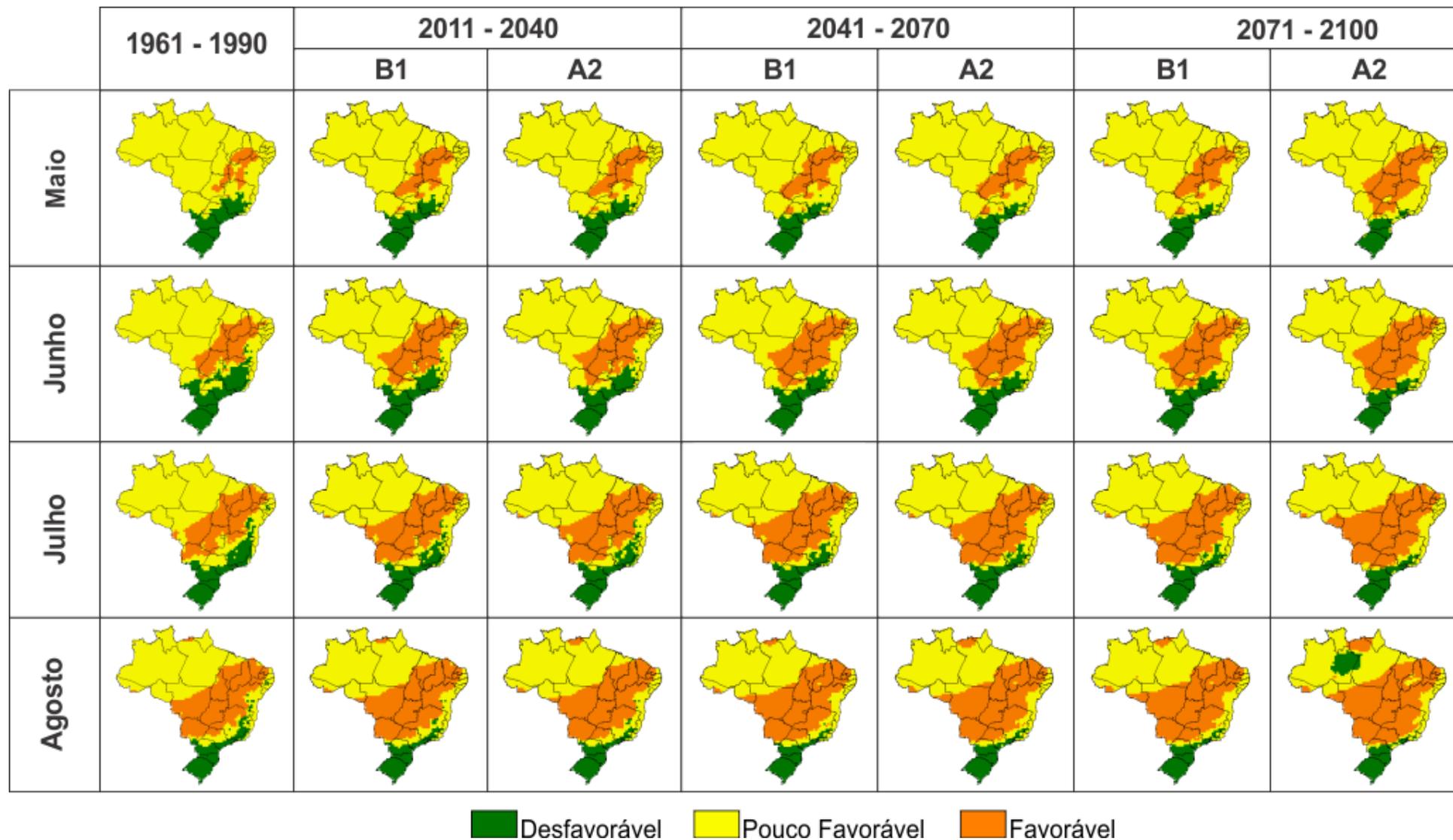


Figura 2. Favorabilidade climática do oídio (*Uncinula necator*) da videira de maio a agosto no clima de referência (1961-1990) e do futuro (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100), cenários B1 e A2.

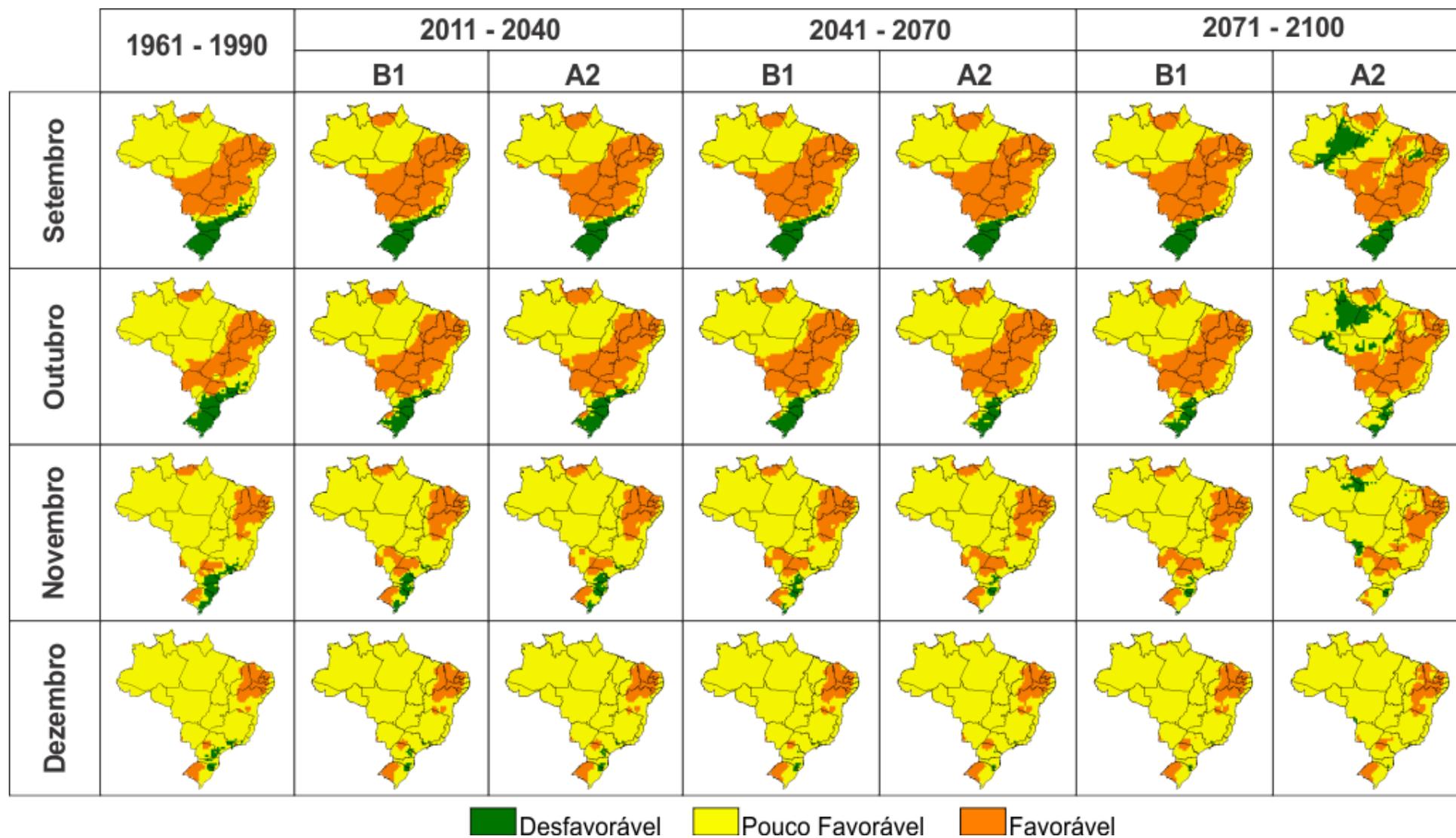


Figura 3. Favorabilidade climática do oídio (*Uncinula necator*) da videira de setembro a dezembro no clima de referência (1961-1990) e do futuro (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100), cenários B1 e A2.

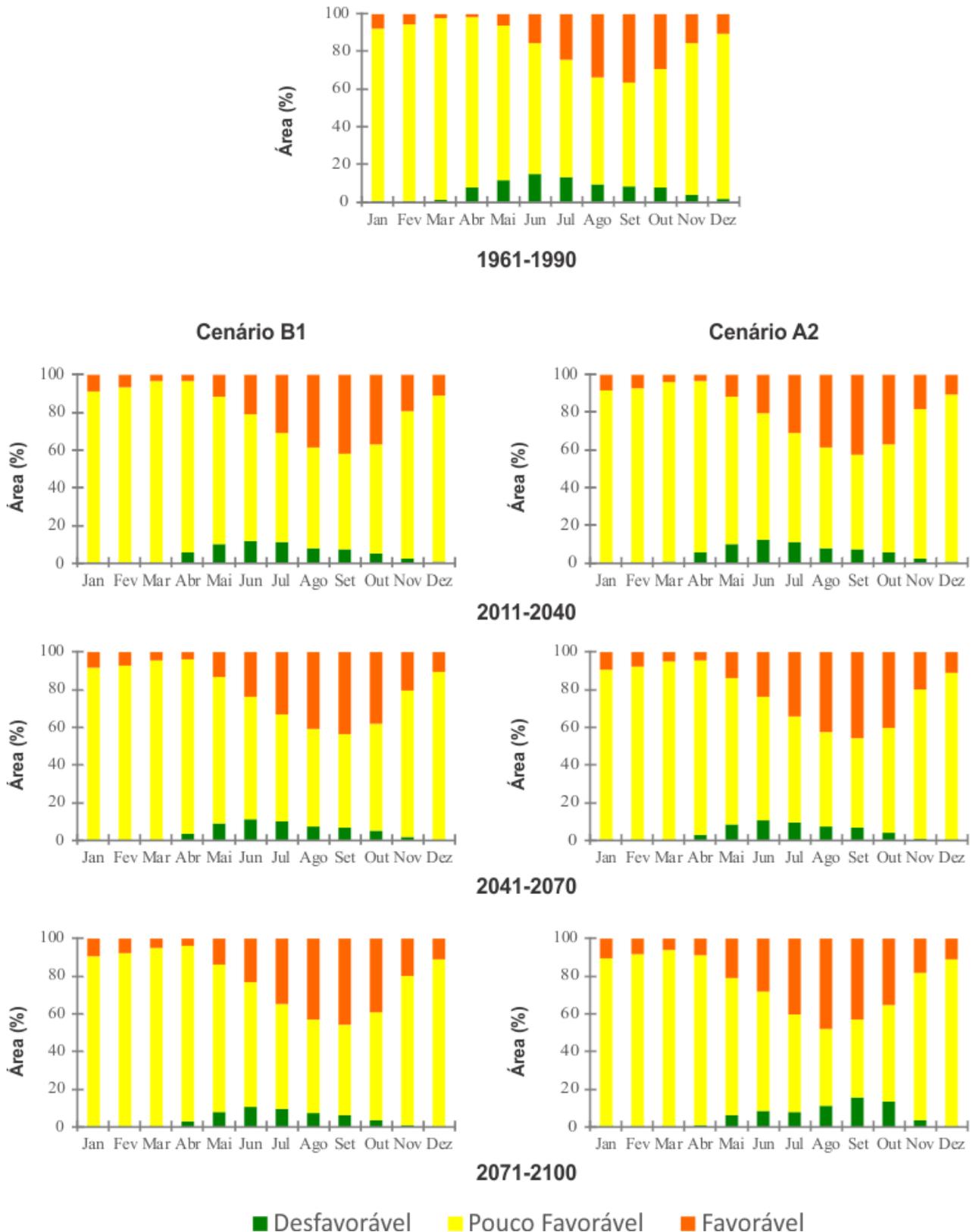


Figura 4. Área média mensal (%) de classes de favorabilidade climática do oídio (*Uncinula necator*) da videira ao longo do ano no clima de referência (1961-1990) e do futuro (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100), cenários B1 e A2, para o Brasil.

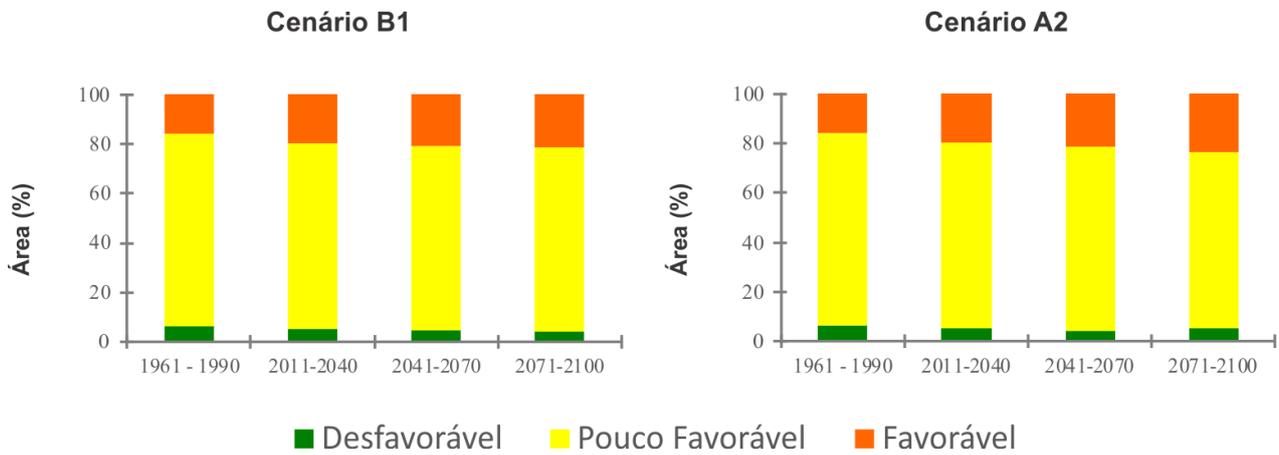


Figura 5 Área média anual (%) das classes de favorabilidade climática do oídio (*Uncinula necator*) da videira no clima de referência (1961-1990) e do futuro (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100), cenários B1 e A2, para o Brasil.

favorável inferior a 10%; os meses de março e abril apresentarão área entre 10% e 20%; e o restante dos meses do ano terão áreas superiores a 20%, destacando-se novamente os meses de setembro e outubro, com valores de área ao redor de 75%. No período de 2041-2070, na média anual, a área favorável será ocupada por 48%. Ao longo do ano, será observado aumento da área favorável comparado ao período anterior, mas com o mesmo comportamento sazonal (entre os meses do ano) do período de 2011-2040, com pico em outubro com 80%, de área favorável, aproximadamente. No período de 2071-2100, na média anual, a área favorável será mantida em 48%, a mesma do período anterior. Porém, na média ao longo do ano, todos os meses apresentarão área favorável superior a 20%, sendo, portanto, a favorabilidade, mais distribuída nos meses; no entanto, as áreas favoráveis maiores previstas para ocorrer de agosto a outubro, apresentarão áreas um pouco inferiores ao do período anterior, com maior valor em agosto, por volta de 70%, aproximadamente. Os aumentos na incidência da doença serão menos acentuados no cenário B1, comparado ao cenário A2. No Nordeste, comparando-se as classes de favorabilidade, a classe desfavorável é muito pequena (menos de 1% da área na média do ano), em todos os períodos e cenários; já as áreas das classes pouco favorável e favoráveis são proporcionalmente equivalentes, com ligeira vantagem da pouco favorável, mantendo-se esse aspecto em todos os períodos e cenários. Por exemplo, em 1961-1990, na média anual, a área pouco favorável foi de 56%, comparado aos 43% ocupado pela área favorável; no cenário A2, em 2011-2040, cenário A2, as áreas projetadas serão

de 53% e 47%; em 2041-2100 constituirão de 52% e 48%; e em 2071-2100, de 52% e 48%, respectivamente.

Na região Sul, no período de 1961-1990, na média anual, a área favorável ocupou 8% (Tabela 1), inferior à média do país que foi de 16%. Esse resultado reforça que a doença atinge em menor grau essa região, comparado à região Nordeste. Ainda nesse período, os meses de fevereiro a outubro apresentaram área favorável inferior a 10%; e os meses de janeiro, novembro e dezembro, apresentaram áreas superiores a 20%, sendo esses os períodos mais suscetíveis à doença, do ponto de vista das condições climáticas. Nos períodos futuros, verifica-se tendência progressiva de aumento de favorabilidade, comparado ao período de referência. Considerando o cenário A2, nos climas futuros (Tabela 2), no período 2011-2040, na média anual, a área favorável será de 10%, com ligeiro aumento comparado ao período anterior de 1961-1990. Ao longo do ano, de fevereiro a setembro a área favorável será inferior a 10%; o mês de outubro a área estará entre 10% e 20%; e os meses de janeiro novembro e dezembro serão superiores a 20%, destacando-se os meses de novembro e dezembro, com valores por volta de 31%. No período de 2041-2070, na média anual, a área favorável será ocupada por 11%. Ao longo do ano, de março a setembro a área será inferior a 10%; em fevereiro e outubro estará entre 10 e 20%; e nos meses de janeiro, novembro e dezembro a área estará acima de 20%, com pico em novembro, por volta de 37%. No período de 2071-2100, na média anual, a área favorável será mantida em 11%, a mesma do período anterior. Ao longo do ano, de fevereiro a agosto e em outubro a área favorável ocupará menos de 10%;

em setembro e novembro a área será de 10% a 20%; e nos meses de janeiro e dezembro estará acima de 20%, com maior valor ocorrendo em dezembro, com 31%. O cenário B1 apresentará incrementos menores que os observados no cenário A2. Nessa região, existe predominância da área pouco favorável, observado no período de 1961-1990 e também projetado nos períodos futuros. Por exemplo, em 1961-1990, na média anual, a área pouco favorável foi de 32% e a favorável foi de 8%; seguindo o mesmo padrão, no cenário A2, em 2011-2040 as áreas serão de 36% e 10%; em 2041-2070 de 41% e 11%; e em 2071-2100 de 49% e 11%, respectivamente.

A região Sudeste possui favorabilidade climática ao oídio um pouco superior à região Sul, porém ainda inferior ao Nordeste brasileiro. Nessa região, no período de 1961-1990, na média anual, a área favorável ocupou 15% (Tabela 1), próxima à média do país que foi de 16%. Ainda nesse período, os meses de janeiro a junho e dezembro apresentaram área favorável inferior a 10%; e os meses de julho e novembro, apresentaram áreas entre 10% e 20%; e de agosto a outubro, as áreas foram superiores a 20%, com maior valor em setembro de 49%. Também para esta região, verifica-se nos períodos futuros uma tendência progressiva de aumento de favorabilidade, comparado ao período de referência. Considerando o cenário A2, nos climas futuros (Tabela 2), no período 2011-2040, na média anual, a área favorável será de 21%, com ligeiro aumento comparado ao período anterior de 1961-1990. Ao longo do ano, de janeiro a abril e em dezembro a área favorável será inferior a 10%; no mês de maio a área estará entre 10% e 20%; e de junho a novembro serão superiores a 20%, destacando-se os meses de setembro e outubro, com valores acima de 50%. No período de 2041-2070, na média anual, a área favorável será ocupada por 27%. Ao longo do ano, de janeiro a abril e em dezembro a área favorável será inferior a 10%; em maio estará entre 10 e 20%; e nos meses de junho a novembro estará acima de 20%, com maiores valores ocorrendo em setembro e outubro, com valores superiores a 63%. No período de 2071-2100, na média anual, a área favorável será de 35%, acima do período anterior. Ao longo do ano, de janeiro a março e em dezembro a área favorável ocupará menos de 10%; não haverá meses com área projetada entre 10% e 20%; e nos meses de abril a novembro a área estará acima de 20%, com maior valor ocorrendo em setembro, com 74%. Da mesma que forma que ocorreu nas outras regiões, o cenário B1 apresentará incrementos menores que os

observados no cenário A2. Nessa região, existe predominância da área pouco favorável, observado no período de 1961-1990 e também projetado nos períodos futuros. Por exemplo, em 1961-1990, na média anual, a área pouco favorável foi de 64% e a favorável foi de 15%; seguindo o mesmo padrão, em 2011-2040, no cenário A2, as áreas serão de 65% e 21%; em 2041-2070 de 64% e 27%; e em 2071-2100 de 61% e 35%, respectivamente.

A utilização de modelos matemáticos ou equações de lógica matemática que descrevem o desenvolvimento de doenças relacionando-os com informações climáticas é uma escolha vantajosa para estudos de impactos das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica de doenças, uma vez que as mudanças climáticas ocorrem de forma lenta e variável, dificultando o estudo de seus efeitos diretamente, além de possibilitar prever o sucesso do organismo em outros locais com climas semelhantes em que o organismo não foi ainda introduzido ou onde é esperado que o clima se altere, tornando-o semelhante ao clima local de referência do organismo (Garret et al., 2006). Os padrões de impactos das mudanças climáticas sobre pragas e doenças de plantas podem ser complexos, sendo influenciados pela combinação de diversos fatores, por esse motivo, a modelagem é uma ferramenta de grande valor para esses estudos (Caffarra et al., 2012). Assim sendo, a abordagem metodológica adotada no presente trabalho permitiu o estudo dos impactos das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica e temporal dessa importante doença da videira e está de acordo com outros trabalhos realizados recentemente com outros patossistemas (Shaw e Osborne, 2011).

Os resultados obtidos no presente trabalho diferem dos obtidos para a região dos Alpes do leste da Itália, por Caffarra et al. (2012), que observaram redução da severidade do oídio em videiras, especialmente, em anos dos cenários futuros com extremos de aumento de temperatura. Da mesma forma, Calonnet et al. (2008) realizaram modelagem das interações entre a videira e o oídio e verificaram uma menor incidência da doença em anos especialmente quentes, como 2003, quando comparados com um ano intermediário, como 1998. Esses autores, entretanto, estudaram as interações entre os impactos do ambiente sobre o patógeno e sobre a cultura, considerando a suscetibilidade à doença nas diferentes fases fenológicas da videira.

O clássico triângulo de doenças de plantas estabelece as condições necessárias para a ocorrência de doenças, isto é, a interação entre a

planta hospedeira suscetível, o patógeno virulento e o ambiente favorável. Conseqüentemente, os três componentes deverão se apresentar para a condição adequada à ocorrência da doença. As alterações causadas pelas mudanças climáticas sobre os problemas fitossanitários podem ser positivas, negativas ou neutras, isto é, pode ocorrer aumento, diminuição, ou também pode não ocorrer alteração da ocorrência da praga, dependente da amplitude da faixa ótima de cada fator do ambiente para cada espécie e da intensidade da alteração da variável climática (Ghini, 2005). A coevolução das plantas com suas pragas e doenças fez com que, de modo geral, as condições do ambiente que favorecem a planta cultivada também favoreçam os patógenos e as pragas. Os organismos tendem a ocorrer em maior frequência em regiões onde as condições do ambiente são favoráveis ao seu desenvolvimento. Porém, pragas e doenças possuem numerosas populações, facilidade de multiplicação e dispersão, além de curto tempo entre gerações, as quais são características que determinam grande facilidade de adaptação a novos ambientes.

Nos cenários futuros, com o incremento das condições favoráveis ao desenvolvimento do oídio, o impacto negativo poderá significar um aumento do número de pulverizações de fungicidas, como observado por Salinari et al. (2006) para o míldio da videira. Também poderá ser controlado com o melhoramento de cultivares mais resistente, além de tolerantes às novas condições do ambiente, evitando-se a predisposição das plantas à maior ocorrência da doença. O aumento da concentração de CO₂ atmosférico também poderá compensar os efeitos negativos das alterações de temperatura e umidade

(Pugliese et al., 2010).

A proposta em utilizar os modelos climáticos globais disponibilizados pelo IPCC se mostrou útil para o estudo dos impactos das mudanças climáticas sobre o oídio da videira, com aplicação em escala nacional e em grandes regiões, como as do Brasil. Desta forma, os cenários futuros de outros patossistemas também podem ser estudados, subsidiando e direcionamento pesquisas futuras.

Conclusões

- a) Os cenários futuros de epidemias do oídio da videira indicam impacto das mudanças climáticas no panorama de distribuição da favorabilidade da doença para o Brasil;
- b) A simulação estima aumento da favorabilidade no futuro, com diferenciações regionais, porém mantendo o comportamento sazonal;
- c) A metodologia adotada permite quantificar a área de favorabilidade do oídio da videira, avaliando a sua distribuição espacial, com identificação da variabilidade entre as principais regiões produtoras do país e sob aspecto de análise temporal, ao longo dos meses do ano e em diferentes períodos de tempo.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado pelos projetos Macroprograma 1 (Projeto Climapest) e Macroprograma 3 (Projeto Climafitos), ambos da Embrapa.

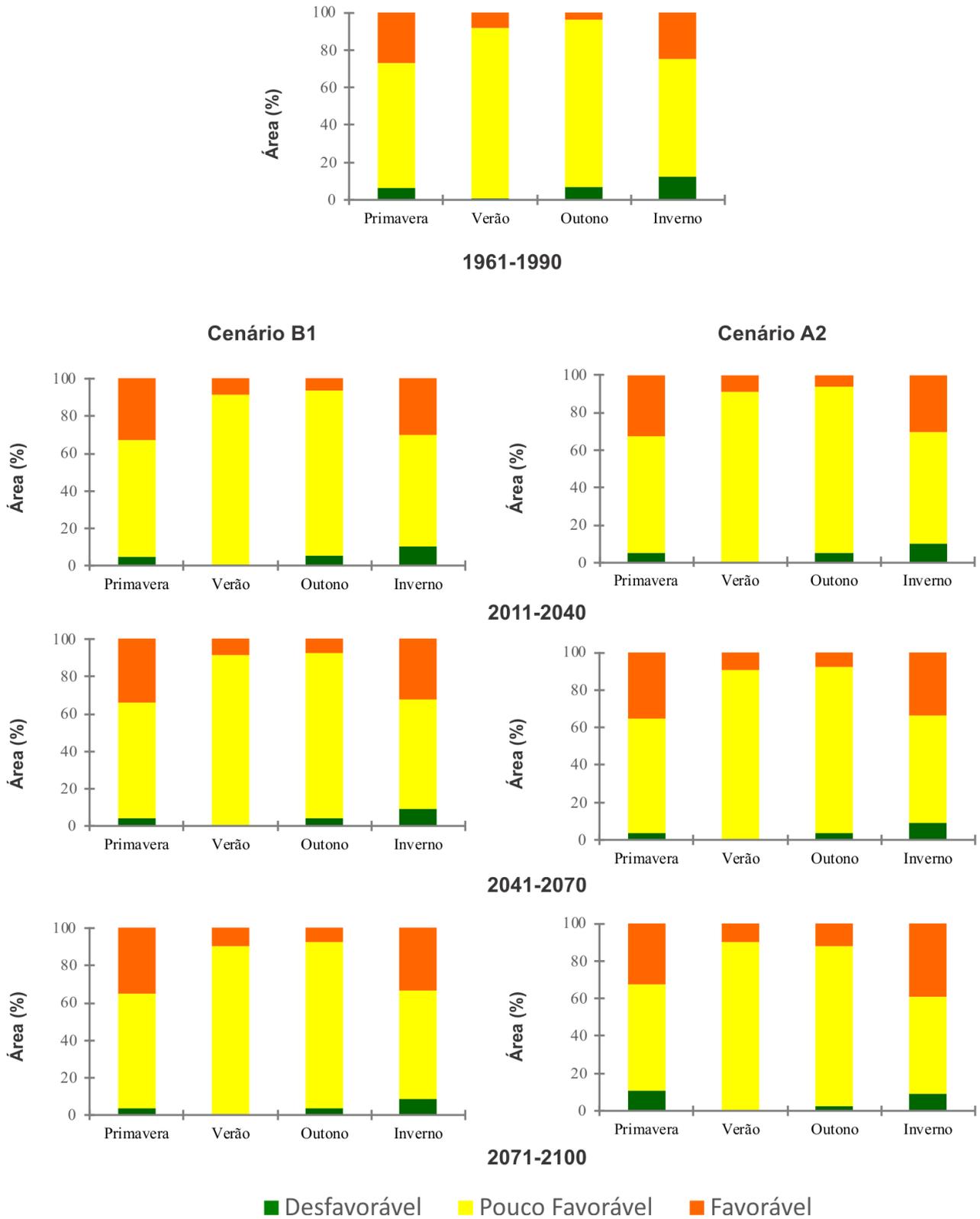


Figura 6. Área (%) de classes de favorabilidade climática do oídio (*Uncinula necator*) da videira nas estações do ano no clima de referência (1961-1990) e do futuro (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100), cenários B1 e A2, no Brasil.

Tabela 1. Área (%) de ocorrência favorável ao oídio (*Uncinula necator*) da videira nas regiões Nordeste, Sul e Sudeste do Brasil no clima de referência (1961-1990).

Períodos	Meses	Nordeste	Sul	Sudeste
1961-1990	Janeiro	34,80	24,10	0,32
	Fevereiro	26,37	9,77	2,56
	Março	11,22	3,90	1,92
	Abril	8,32	1,46	2,54
	Maio	24,19	0,00	5,42
	Junho	43,84	0,00	8,61
	Julho	55,59	0,00	12,07
	Agosto	66,11	0,00	37,46
	Setembro	71,34	0,49	49,28
	Outubro	71,30	4,33	39,85
	Novembro	56,59	28,20	12,09
	Dezembro	44,76	28,90	2,17
	Média anual	42,87	8,43	14,52

 Tabela 2. Área (%) de ocorrência favorável ao oídio (*Uncinula necator*) da videira nas regiões Nordeste, Sul e Sudeste do Brasil no clima do futuro (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100), cenários B1 e A2.

Períodos	Meses	Nordeste		Sul		Sudeste	
		B1	A2	B1	A2	B1	A2
2011-2040	Janeiro	37,69	37,31	23,20	21,80	1,92	1,60
	Fevereiro	29,07	31,20	10,69	9,31	2,88	2,88
	Março	14,70	15,28	2,92	2,92	2,88	2,24
	Abril	15,67	13,55	5,35	5,35	3,81	5,32
	Maio	33,66	33,87	0,00	0,00	12,64	12,32
	Junho	47,53	47,93	0,00	0,00	21,53	19,94
	Julho	59,47	60,06	0,00	0,00	24,93	25,54
	Agosto	69,40	69,99	0,00	0,00	48,04	47,73
	Setembro	75,62	75,04	5,36	5,36	60,12	60,11
	Outubro	76,55	75,79	11,02	11,02	57,28	54,79
	Novembro	61,60	61,42	33,44	32,45	18,94	17,40
	Dezembro	45,72	43,97	29,41	31,30	4,05	3,41
	Média anual	47,22	47,12	10,12	9,96	21,59	21,11
2040-2070	Janeiro	37,69	39,21	20,90	22,78	1,92	2,55
	Fevereiro	31,01	29,66	10,23	12,56	2,88	3,18
	Março	16,83	18,37	3,90	3,41	2,88	3,20
	Abril	16,05	17,02	5,35	5,35	5,96	8,47
	Maio	35,42	35,42	0,49	1,96	15,44	15,12
	Junho	50,65	48,90	0,00	0,00	28,40	32,74
	Julho	60,06	61,04	0,00	0,00	34,32	39,93
	Agosto	70,38	70,77	0,49	2,44	53,93	57,33
	Setembro	75,24	74,06	7,30	8,76	64,14	68,78
	Outubro	77,92	79,87	11,04	11,50	60,72	62,88
	Novembro	62,57	59,09	31,55	36,68	23,97	23,29
	Dezembro	46,10	45,90	27,52	30,91	3,13	4,67
	Média anual	48,33	48,27	9,90	11,36	24,81	26,85
2071-2100	Janeiro	40,37	39,98	22,78	22,78	2,24	3,50
	Fevereiro	31,00	32,15	7,02	8,40	3,51	5,73
	Março	16,63	21,44	3,41	5,84	3,20	4,77
	Abril	16,63	24,33	4,86	5,84	5,36	22,87

Maio	36,39	40,28	1,96	3,90	14,20	38,61
Junho	48,51	52,80	0,00	1,47	32,42	46,72
Julho	60,25	63,95	0,00	3,90	39,93	53,88
Agosto	70,57	69,98	3,42	9,25	57,95	69,38
Setembro	75,43	64,87	9,73	13,12	68,15	74,07
Outubro	78,70	64,25	11,04	9,19	61,01	65,07
Novembro	60,26	52,19	34,84	18,50	21,11	28,39
Dezembro	45,89	43,90	31,39	30,92	5,28	7,80
Média anual	48,39	47,51	10,87	11,09	26,20	35,06

Referências

- Caffarra, A., Rinaldi, M., Eccel, E., Rossi, V., Pertot, I., 2012. Modelling the impact of climate change on the interaction between grapevine and its pests and pathogens: European grapevine moth and powdery mildew. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 148, 89-101.
- Calonnec, A., Cartolaro, P., Naulin, J.M., Bailey, D., Langlais, M., 2008. A host-pathogen simulation model: powdery mildew of grapevine. *Plant Pathology* 57, 493-508.
- Garret, K.A., Dendy, S.P., Frank, E.E., Rouse, M.N., Travers, S.E., 2006. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. *Annual Review of Phytopathology* 44, 489-509.
- Garrido, L.R., Angelotti, F., 2011. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da videira no Brasil, in: Ghini, R., Hamada, E., Bettiol, W. (Eds.), *Impactos das Mudanças Climáticas sobre Doenças de Importantes Culturas no Brasil*. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, pp. 331-356.
- Ghini, R., 2005. *Mudanças Climáticas Globais e Doenças de Plantas*. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna. Disponível: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/13769>>. Acesso: 31 mar. 2015.
- Ghini, R., Hamada, E., Bettiol, W., 2011. Impacto das mudanças climáticas sobre as doenças de plantas, in: Ghini, R., Hamada, E., Bettiol, W. (Eds.), *Impactos das Mudanças Climáticas sobre Doenças de Importantes Culturas no Brasil*. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, pp. 17-39.
- Glawe, D.A., 2008. The powdery mildews: a review of the world's most familiar (yet poorly known) plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 46, 27-51.
- Hamada, E., Ghini, R., Marengo, J.A., Thomaz, M.C., 2011. Projeções de mudanças climáticas para o Brasil no final do século XXI, in: Ghini, R., Hamada, E., Bettiol, W. (Eds.), *Impactos das Mudanças Climáticas sobre Doenças de Importantes Culturas no Brasil*. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, pp. 41-74.
- Hewitt, W.B., Raski, D.J., 1967. Factores que limitam el rendimiento de los cultivos: la vid. *Span* 10, 56-59.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. *Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013. *Climate Change 2013: the physical science basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001. *Climate Change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000. *Emission Scenarios: summary for policymakers*. IPCC, Geneva. (IPCC Special Report). Disponível: <<http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>>. Acesso: 22 abr. 2015.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2015. *History*. Disponível:

<http://www.ipcc.ch/organization/organization_history.shtml>. Acesso em: 23 mar. 2015.

- Marçais, B., Desprez-Loustau, M.L., 2014. European oak powdery mildew: impact on trees, effects of environmental factors, and potential effects of climate change. *Annals of Forest Science* 71, 633–642.
- Mello, L.M.R., 2012. Vitivinicultura brasileira: panorama 2011. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado Técnico, 115). Disponível: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/comunicado/cot115.pdf>>. Acesso: 21 jan. 2015.
- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B., Travasso, M.I., 2014. Food security and food production systems, in: *Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Field, C. B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach. K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge. pp. 485-533. Disponível: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap7_FINAL.pdf>. Acesso: 23 mar. 2015.
- Pugliese, M., Gullino, M.L., Garibaldi, A., 2010. Effects of elevated CO₂ and temperature on interactions of grapevine and powdery mildew: first results under phytotron conditions. *Journal of Plant Diseases and Protection* 117, 9-14.
- Salinari, F., Giosue, S., Tubiello, F.N., Rettori, A., Rossi, V., Spanna, F., Rosenzweig, C., Gullino, M.L., 2006. Downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on grapevine under climate change. *Global Change Biology* 12, 1299-1307.
- Shaw, M.W., Osborne, T.M., 2011. Geographic distribution of plant pathogens in response to climate change. *Plant Pathology* 60, 31-43.