

ESPORULAÇÃO E EFICIÊNCIA DE INFECÇÃO DO MÍLDIO DA VIDEIRA EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

JOSÉ EDUARDO B. A. MONTEIRO¹, ANA BEATRIZ C. CZERMAINSKI²,
FÁBIO R. CAVALCANTI³, SÍLVIO R. M. EVANGELISTA⁴

¹ Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves-RS, monteiro@cnpuv.embrapa.br

² Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves-RS, ana@cnpuv.embrapa.br

³ Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves-RS, rossi@cnpuv.embrapa.br

⁴ Pesquisador, Embrapa Informática Agropecuária, Campinas-SP, silvio@cnpia.embrapa.br

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das mudanças climáticas na favorabilidade à ocorrência de míldio (*Plasmopara viticola*) na região de Bento Gonçalves-RS no período de 2020 a 2050. Este trabalho teve como base modelos de eficiência de infecção (EI) e esporulação (S) que descrevem esses processos com base em temperatura, duração do molhamento e duração de períodos com alta umidade. Para simulações futuras, foram usados os dados de temperatura do modelo climático regional PRECIS nos cenários IPCC A2 e B2 para 2020, 30, 40 e 50. Os resultados indicam pequena diminuição na frequência de dias com EI “alta” (0,7 a 1,0), o que também se reflete em pequena redução nas médias de EI. Por outro lado, ocorre um aumento mais expressivo na S, mais que compensando a perda de EI, resultando em provável maior intensidade da doença no futuro próximo, mantidas as condições de temperatura mais elevada e umidade estável.

PALAVRAS-CHAVE: eficiência de infecção, mudanças climáticas, míldio, modelagem.

INTRODUÇÃO

Muitos estudos têm investigado os impactos prováveis da mudança climática sobre o crescimento e a produção de plantas agrícolas em todo o mundo, experimentalmente e através de estudos de modelagem (FISCHER et al., 2005). No entanto, o conhecimento sobre efeitos da mudança climática sobre doenças são mais recentes e ainda escassos. Claramente, há uma necessidade de compreender e prever os impactos climáticos potenciais dos patossistemas, a fim de avaliar as estratégias de manejo de doenças em condições futuras. Para este fim, a pesquisa epidemiológica deve fornecer avaliações de como as doenças de plantas podem impactar sistemas agrícolas futuramente, a fim de sugerir adaptações que minimizem as perdas das lavouras (SALINARI et al., 2006).

Dentre as doenças mais importantes da viticultura mundial, o míldio (*Plasmopara viticola* (Berk. & Curt) Berl. & de Toni), é a que mais provoca danos no sul do Brasil e em outras partes do mundo. Essa doença é especialmente nociva em condições de alta umidade, com perdas que podem atingir 100% da produção. Vários estudos têm sido feitos para desenvolver modelos epidemiológicos para *P. viticola* e sistemas de aviso anti míldio na cultura da videira (MADDEN et al., 2000). O desenvolvimento e a validação de modelos contribuíram para gerar informações sobre as condições ambientais ótimas de cada fase do ciclo epidemiológico.

Lalancette et al. (1987) estabeleceram relações entre o ambiente, a produção de esporângios e zoósporos e a severidade de doença. Esses autores publicaram modelos que permitem descrever quantitativamente a eficiência de infecção (número de lesões/zoósporo) como função da temperatura e duração do molhamento foliar (LALANCETTE et al., 1988a) e o processo de esporulação (LALANCETTE et al., 1988b).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de projeções climáticas futuras na eficiência de infecção, esporulação e taxa de infecção de míldio (*Plasmopara viticola*), na região de Bento Gonçalves-RS, no período de 2020 a 2050.

MATERIAL E MÉTODOS

Modelos de eficiência de infecção e Esporulação

As estimativas de eficiência de infecção (EI) foram calculadas com base no modelo de Lalancette et al. (1988a) que considera temperatura e duração do molhamento como variáveis de entrada. A relação entre EI e temperatura e molhamento é descrita pela Equação 1, em que T é a temperatura média diária e W é a duração do período de molhamento do dia (DPM). A EI é dada pela razão entre o número de lesões observadas n dias após a inoculação e o número de zoósporos na solução de inóculo utilizada, portanto, dada em lesões/zoósporo.

$$EI = (-0,061 + 0,018T - 0,0005T^2) * (1 + e^{(-0,24W + 0,07WT - 0,0021WT^2)})^{-5} \quad (1)$$

Os valores de EI foram convertidos a uma escala padronizada 0,0 a 1,0, em que 0,0 corresponde à doença nula ou ausência de lesões e 1,0 corresponde à máxima EI calculada pelo modelo ajustado, ou seja, 0,1 lesão/zoósporo.

As estimativas de produção de inóculo foram calculadas com base no modelo de Lalancette et al. (1988b) que considera temperatura e duração do molhamento como variáveis de entrada, e tem como saída número de esporângios produzidos por unidade de área foliar doente. Os resultados do modelo foram chamados pelo autor simplesmente de Esporulação (S). A relação entre S e temperatura e molhamento é descrita pela Equação 2, em que T é a temperatura média diária e H é a duração do período com alta umidade relativa do ar ($\geq 90\%$). Para fins práticos, H foi considerada igual à duração do período de molhamento (DPM), já que estudos tem demonstrado que a DPM equivale ao número de horas com umidade relativa igual ou superior a 90% (SENTELHAS et al. 2007).

$$S = (-868164 + 114369T - 2828T^2) * (1 + e^{[(-8,96 + 1,16T - 0,029T^2) + H(1,51 - 0,2T + 0,0049T^2)]})^2 \quad (2)$$

Os valores de S foram ajustados a uma escala padronizada 0,0 a 1,0, em que 0,0 corresponde à ausência de esporângios e 1,0 corresponde à máxima produção de esporângios por unidade de área foliar doente ou, simplesmente, esporulação, calculada pelo modelo ajustado, ou seja, $2,88 \times 10^5$ esporângios/cm². Em estudo preliminar aos já citados, Lalancette et al. (1987) determinou o número médio de zoósporos produzidos por esporângio de *Plasmopara viticola*, sendo igual a 7. Conhecendo-se o número médio de zoósporos por esporângio, e através da EI, dada em lesões/zoósporo, e da S, dada em esporângios/cm², calculou-se a Taxa de Infecção (TI). TI foi estimada pelo produto de EI e S, em cada dia analisado, resultando em um valor que expressa o número de novas lesões por cm² de área foliar doente, o que resulta em uma inferência mais aproximada à taxa real de crescimento da doença. TI neste cálculo é, portanto, uma função de T e DPM.

Enquanto T é uma variável facilmente medida, a DPM não é comumente medida em estações meteorológicas mesmo nos dias de hoje (SENTELHAS et al., 2006; SENTELHAS et al., 2004). Para se estimar os dados de DPM com dados diários, foram utilizados dois anos de dados horários (730 dias) de DPM e outras variáveis, que depois foram transformados em dados diários para o ajuste de uma equação de estimativa da DPM diária, com base em dados diários de umidade relativa média (UR), da velocidade do vento média (V) e da temperatura mínima do dia (Tmin), conforme descrito na Equação 3.

$$DPM = -27,61 + 0,533UR - 1,089V - 0,087Tmin \quad (3)$$

A relação $DPM = f(UR, V, Tmin)$ (Eq. 3) apresentou $R^2=0,72$ na correlação entre dados preditos e observados. Nessa equação, DPM é dada em horas, UR em %, V em m s⁻¹ e Tmin em °C, e os resultados da DPM estimada devem ser limitados ao intervalo 0 a 24 horas.

Para realizar as simulações dos modelos de EI e S foram utilizados 10 anos de dados diários coletados na estação meteorológica da Embrapa Uva e vinho em Bento Gonçalves-RS, no período de 1976 e 1985. Este período serviu como referência para as simulações futuras em 2020, 2030, 2040 e 2050. Foram utilizados os dados diários de setembro, outubro, novembro e dezembro de cada ano, por serem considerados os meses críticos - pré-floração ao início da frutificação - para ocorrência de míldio em Bento Gonçalves (SONEGO, 1998; SONEGO ; CZERMAINSKI, 1999); o que produziu

um total de 1220 dias para a estimativa de EI e S, incluindo a variabilidade natural das condições de T e DPM nos meses em estudo.

As projeções futuras de temperatura foram calculadas com o sistema integrado de modelagem climática regional PRECIS ("Providing Regional Climates for Impacts Studies"), versão 1.2 (Jones et al., 2004), desenvolvido no Hadley Centre, Inglaterra, com as condições de contorno do modelo climático regional HadRM3P, o qual foi implementado no Brasil pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (Cptec), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Sua dinâmica é baseada no HadRM3, que é uma versão mais recente da componente atmosférica do modelo de circulação global HadCM3 (Johns et al., 2003). Foram utilizados os dados de saída do modelo climático com base nos cenários A2 e B2 do IPCC Special Report on Emission Scenarios (SRES, 2000). O cenário B2 considera uma situação de crescimento populacional e econômico moderados, enfatizando soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. A2 considera uma situação de grande heterogeneidade com elevado crescimento populacional, baixo crescimento econômico e lenta mudança tecnológica (IPCC, 2007).

Para a produção de novas séries de dados para 2020, 2030, 2040 e 2050, foram utilizadas as diferenças mensais (deltas) estimadas pelo PRECIS para cada um desses anos, indicados na Tabela 1.

TABELA 1. Diferenças de temperaturas médias mensais estimadas pelo PRECIS para a região de Bento Gonçalves-RS, com relação à média histórica do período de referência 1961-90.

Cenário:	B2				A2			
	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Ano:								
Setembro	0,94	1,25	1,56	1,87	1,42	1,89	2,37	2,84
Outubro	0,52	0,69	0,86	1,03	1,08	1,44	1,80	2,16
Novembro	1,50	2,00	2,50	3,00	0,99	1,33	1,66	1,99
Dezembro	0,60	0,80	0,99	1,19	0,89	1,19	1,48	1,78

Fonte: Projeto de Pesquisa EMBRAPA: SCAF – Simulação de cenários agrícolas futuros a partir de projeções de mudanças climáticas regionalizadas /<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/scaf> / José A. Marengo (INPE).

As diferenças (deltas) foram somadas aos dados diários do período de referência deste estudo (1976-85), em seus respectivos meses, mantendo-se fixo os valores de DPM, gerando um novo conjunto de 1220 dias para 2020, 2030, 2040 e 2050. A adição dos deltas aos dados diários implica que as médias mensais correspondem às projeções PRECIS, mas conservam a variabilidade natural do período de referência. Os dados de EI, S e TI foram então recalculados nesses quatro anos. No conjunto de 1220 dias, foi realizada uma análise de distribuição de frequência de EI, S e TI categorizados em quatro classes, a saber: "nula", para valores iguais a 0,0; "baixa", para valores entre 0,0 a 0,35; "média", para valores entre 0,35 e 0,70; e "alta" para valores entre 0,70 e 1,00. Além disso, foram geradas as médias de EI, S e TI, no período de referência e nas previsões para os anos futuros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliando-se os prognósticos durante o período crítico, de setembro a dezembro, para a ocorrência do míldio em parreirais da região de Bento Gonçalves, no cenário B2 (Figura 1), é possível observar uma redução progressiva da EI em função do aquecimento nos meses de novembro e dezembro, e um aumento da EI no mês de setembro (Figura 1, EI-B2), entre 2020 e 2050.

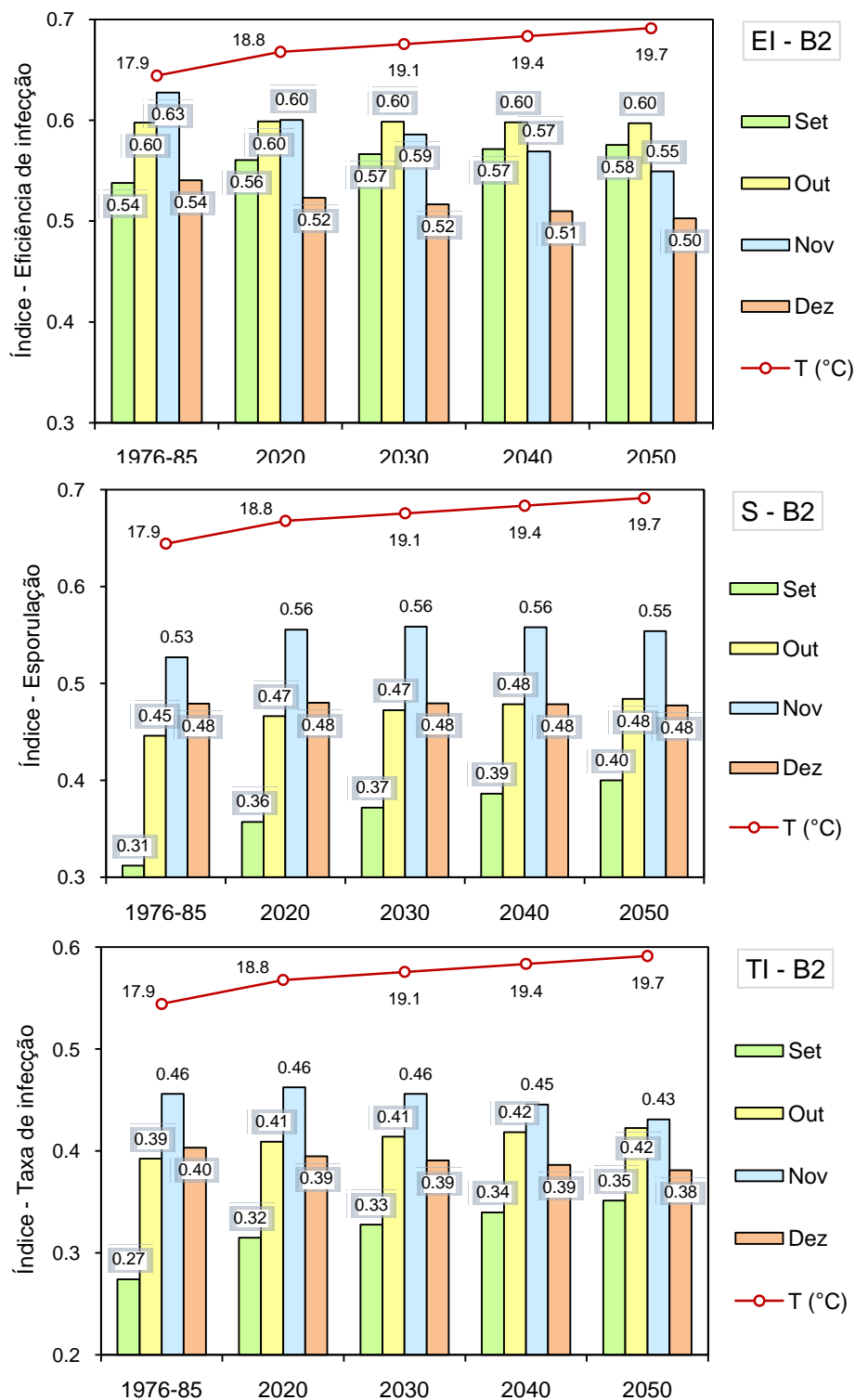


FIGURA 1. Eficiência de infecção (EI) média, Esporulação (S) média e Taxa de Infecção (TI) média, na escala padronizada (0,0 a 1,0) e temperatura média no período crítico de ocorrência do míldio em Bento Gonçalves, setembro a dezembro, na década de referência (1976-85) e nas projeções do cenário IPCC/SRES B2 pelo modelo PRECIS (Downscaling Brasil/INPE).

As estimativas do modelo de Esporulação (S) indicam um pequeno aumento de S nos meses de outubro e novembro, com dezembro mantendo-se praticamente constante ao longo do período estudado (Figura 1, S-B2). No entanto, é possível observar um importante aumento nos níveis de S no mês de setembro, início do período crítico. Os aumentos em EI e S no mês de setembro se refletiram

nos índices de taxa de infecção de *P. viticola* dos meses de setembro, marcadamente maiores do que os valores apresentados pelo mesmo mês na década de referência (1976-85). Contudo, as taxas de infecção aparentemente diminuem nos meses de novembro e dezembro, revelando uma antecipação do período crítico da epidemia, deslocando a fase com condição de maior potencial epidemiológico para o início do ciclo da videira, sendo este o reflexo mais importante das projeções de temperatura mantido as condições de DPM.

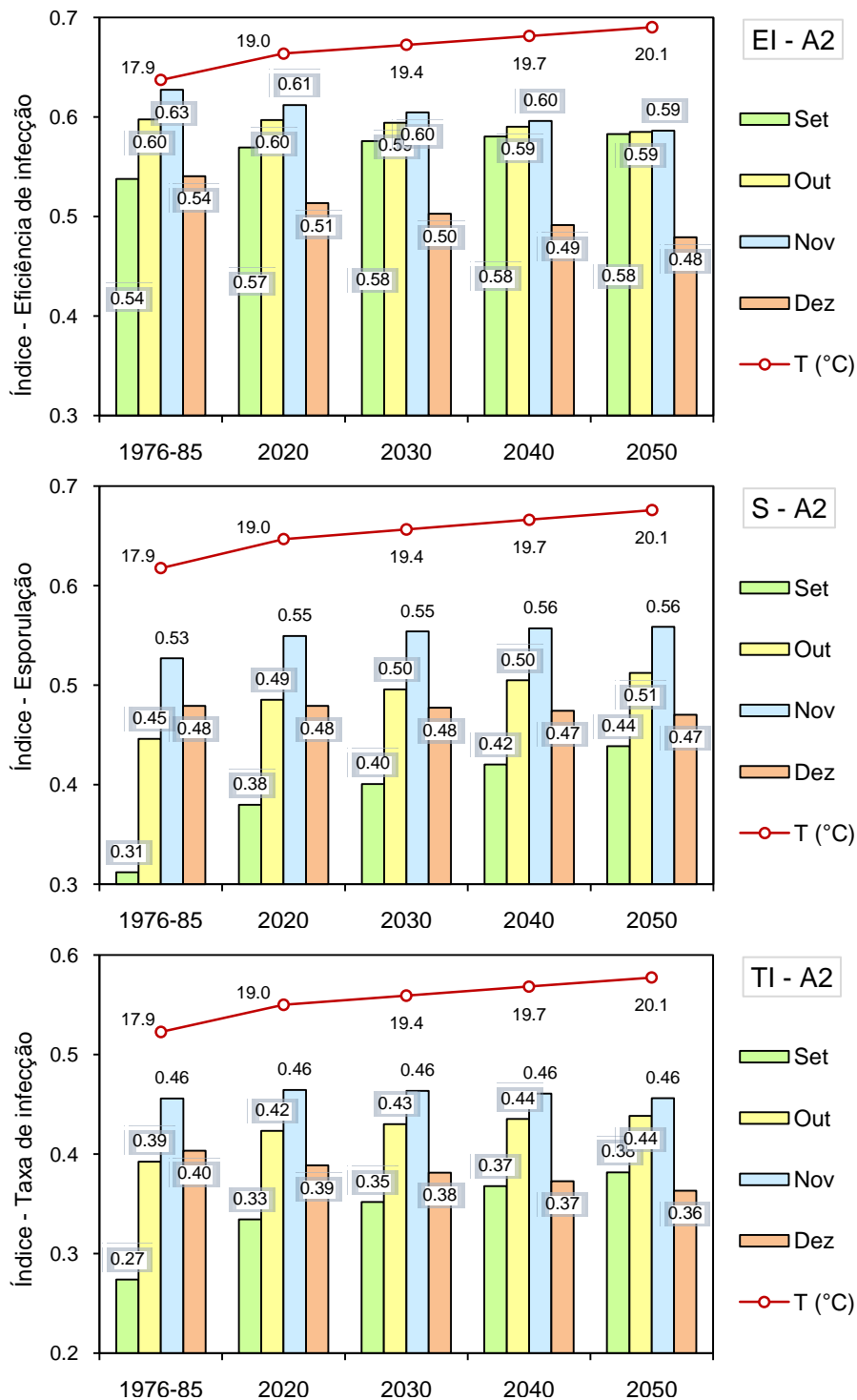


FIGURA 2. Eficiência de infecção (EI) média na escala padronizada (0,0 a 1,0) e temperatura média no período crítico de ocorrência do míldio em Bento Gonçalves, setembro a dezembro, na década de referência (1976-85) e nas projeções do cenário IPCC/SRES A2 pelo modelo PRECIS (Downscaling Brasil/INPE).

O cenário A2 (Figura 2) produz perfis semelhantes ao cenário B2, com mudanças um pouco mais extremas relacionadas ao início e ao fim do período crítico, principalmente nas projeções de maiores temperaturas (ex. década de 2050) refletidas sobre os índices de taxas de infecção (Figura 2, TI-A2). Considerando os resultados mensais produzidos, fica bastante evidente o deslocamento dos indicadores epidemiológicos para mais próximo ao início do ciclo da videira na região. Parecem ameaçadores os marcantes aumentos nos níveis de esporulação e nas taxas de infecção nas projeções dos meses de setembro, em ambos os cenários.

Isso ocorre porque a temperatura média de setembro a dezembro no período de referência 76-85 correspondia à ótima para a EI de *P. viticola*, de 18°C (LALANCETTE et al., 1988a), estando pouco abaixo da ótima para a S, de cerca de 20°C (LALANCETTE et al., 1988b). No período considerado, Setembro é o mês mais frio e Dezembro é o mais quente. Assim, à medida que a temperatura projetada foi maior, distanciando-se da ótima para EI e aproximando-se da ótima para S, os valores médios de EI diminuíram, principalmente nos meses mais quentes, enquanto os de S aumentaram visivelmente, principalmente nos meses mais frios.

Em ambos os cenários IPCC/SRES, os modelos indicam um aumento líquido na pressão de doença, expresso pela TI, durante o período crítico, setembro a dezembro, como um todo (Tabela 2).

TABELA 2. Diferenças percentuais de Eficiência de Infecção (EI), Esporulação (S) e Taxa de Infecção (TI), nas projeções PRECIS (Downscaling Brasil/INPE) dos cenários IPCC/SRES B2 e A2, em 2020, 30, 40 e 50, em relação ao período de referência (1976-85).

	B2					A2				
	76-85	2020	2030	2040	2050	76-85	2020	2030	2040	2050
EI	0,0%	-0,9%	-1,6%	-2,4%	-3,4%	0,0%	-0,5%	-1,1%	-2,0%	-3,0%
S	0,0%	+5,4%	+6,7%	+7,8%	+8,6%	0,0%	+7,3%	+9,3%	+10,9%	+12,2%
TI	0,0%	+3,6%	+4,1%	+4,2%	+3,9%	0,0%	+5,6%	+6,7%	+7,3%	+7,5%

A distribuição de frequência de classes de eficiência de infecção (EI) (Tabela 3) simulada no cenário B2 indica pequena variação nas frequências em função da projeção do aumento médio da temperatura para as próximas décadas.

Os resultados indicam uma pequena redução na frequência de dias com alta eficiência de infecção, e leve aumento nos níveis médios e baixos. Por outro lado, os números das simulações de Esporulação (S) revelam um aumento mais pronunciado na frequência de alta eficiência com diminuição na frequência das classes de esporulação nula, baixa e média.

A Taxa de Infecção, que representa o resultado combinado de EI e S, resultou em valores intermediários entre EI e S. Porém, verifica-se que as frequências maiores de alta esporulação (produção de inóculo), mais do que compensaram a redução em eficiência de infecção (taxa de sucesso do inóculo). Uma situação muito semelhante ocorre nas simulações do cenário A2, porém com um aumento mais pronunciado nas frequências de esporulação alta (0,7-1,0).

TABELA 3. Distribuição de frequência de classes de Eficiência de Infecção (EI), Esporulação (S) e Taxa de Infecção (TI) nos intervalos “nula” (0,0), “baixa” (0 a 0,35), “média” (0,35 a 0,70) e “alta” (0,7 a 1,0), de setembro a dezembro, na década de referência (1976-85) e nas projeções do cenário IPCC/SRES B2 e A2, pelo modelo PRECIS (Downscaling Brasil/INPE).

Cenário B2															
Intervalo	Eficiência de Infecção (EI)					Esporulação (S)					Taxa de Infecção (TI)				
	76-85	2020	2030	2040	2050	76-85	2020	2030	2040	2050	76-85	2020	2030	2040	2050
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	33,0	31,4	31,1	30,9	30,7	33,0	31,4	31,1	30,9	30,7
0 a 0,35	32,4	32,5	32,7	33,2	33,4	13,7	13,6	13,3	12,9	13,0	18,0	18,7	19,0	19,3	19,7
0,35 a 0,7	18,7	19,2	19,8	20,2	20,2	15,4	13,5	13,6	13,3	13,0	18,5	18,0	17,9	17,7	18,0
0,7 a 1,0	48,9	48,3	47,5	46,6	46,3	38,0	41,5	42,0	43,0	43,3	30,5	32,0	32,0	32,1	31,6

Cenário A2															
Intervalo	Eficiência de Infecção (EI)					Esporulação (S)					Taxa de Infecção (TI)				
	76-85	2020	2030	2040	2050	76-85	2020	2030	2040	2050	76-85	2020	2030	2040	2050
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,0	30,8	30,5	30,1	29,8	33,0	30,8	30,5	30,1	29,8
0 a 0,35	32,4	32,4	32,5	33,0	33,4	13,7	13,6	13,4	13,0	12,5	18,0	18,8	19,1	19,5	19,8
0,35 a 0,7	18,7	19,0	18,9	18,5	19,1	15,4	13,2	12,3	12,3	12,8	18,5	17,5	17,1	17,3	17,5
0,7 a 1,0	48,9	48,6	48,6	48,5	47,5	38,0	42,4	43,9	44,7	45,0	30,5	32,9	33,3	33,1	33,0

Importante mencionar que alguns autores demonstraram, recentemente, que o mecanismo epidemiológico do míldio, baseado em massiva reprodução assexuada e produção de inóculo secundário, pode não ser regra, mas sim a exceção (GOBBIN et al., 2005, RUMBOU; GESSLER, 2004). Evidências encontradas nessas pesquisas diminuem sensivelmente a participação do inóculo secundário no processo de epidemia, devido ao pequeno número de lesões por esporângios, e pelo moderado alcance de dispersão dos esporângios, algo entre 1 a 2 m² dia⁻¹ (GOBBIN et al., 2003). Assim, nas regiões de clima temperado, em que o ciclo da videira é intercalado por uma fase de dormência invernal, isso adicionaria maior importância relativa ao inóculo primário, ou seja, oósporos. Tais ponderações vêm sendo aceitas pelos epidemiologistas (ROSSI et al., 2009) e podem indicar uma alternativa para modelos de risco epidêmico mais realistas.

Em teoria, sabe-se que há diferentes requisitos ecológicos e características epidemiológicas para os dois tipos de esporos (oósporos e esporângios) de oomicetos (ROSSI et al., 2009). Por exemplo, oósporos de *P. viticola* podem ser produzidos em qualquer temperatura, mas em condições proibitivamente menos úmidas para a germinação de esporângios. O número de oósporos é geralmente alto, atingindo cerca de 250 oósporos/mm², delimitados entre as nervuras foliares e as manchas de óleo (GESSLER et al., 2011). Enquanto esporângios germinam melhor entre temperaturas de 18 a 20°C, oósporos requerem temperaturas mais baixas, entre 11 e 13°C e alta umidade (GESSLER et al., 2011). Assim, os cenários B2 e A2 de incremento médio de temperatura poderiam desfavorecer ciclos primários, tanto pelo afastamento da temperatura ótima de germinação do oósporo.

CONCLUSÕES

As projeções climáticas para as décadas de 2020 a 2050 sugerem que o aquecimento global pode expandir o período crítico da doença na região de Bento Gonçalves-RS, aumentando o potencial epidêmico nos meses iniciais do ciclo da videira. Isso deve tornar mais problemático e caro o controle do míldio na fase de rebrota e desenvolvimento vegetativo até o início do florescimento e formação do cacho. De fato, parece ser previsível a necessidade futura de modificar e aprimorar esquemas, calendários e intervalos de pulverização de fungicidas, acompanhando as modificações nos níveis dos indicadores de infecção e alterações nos períodos críticos de doença causados pelos cenários de aquecimento global.

REFERÊNCIAS

- CZERMAINSKI, A.B.C.; SÔNEGO O.R. Influência das condições climáticas sobre a eficácia de fungicidas empregados para o controle do míldio em *Vitis vinifera*. **Ciência Rural**, v.34, p.5-11, 2004.
- FISCHER, G.; S.H.A. M.; TUBIELLO, F.N. et al. Integrated assessments of global crop production. **Proceedings of the Royal Academy of Science**, v. B. 360, p. 2067–2083, 2005.
- GESSLER, C., PERTOT, I., PERAZZOLLI, M. *Plasmopara viticola*: a review of knowledge on downy mildew of grapevine and effective disease management. **Phytopathologia Mediterranea** v. 50, p. 3–44, 2011.
- GOBBIN, D., JERMINI, M., LOSKILL, B., PERTOT, I., RAYNAL, M., GESSLER, C. Importance of secondary inoculum of *Plasmopara viticola* to epidemics of grapevine downy mildew. **Plant Pathology** v. 54, p. 522-534, 2005.
- GOBBIN, D., PERTOT, I., GESSLER, C. Identification of microsatellite markers for *Plasmopara viticola* and establishment of high throughput method for SSR analysis. **European Journal of Plant Pathology** v. 109, p. 153-164, 2003.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- JOHNS, T.C.; GREGORY, J.M.; IGRAM, W.J.; JOHNSON, C.E.; JONES, A.; LOWE, A.; MITCHELL, J.F.B.; ROBERTS, D.L.; SEXTON, D.M.H.; STEVESON, D.S.; TETT, S.F.B.; WOODAGE, M.J. Anthropogenic climate change for 1860 to 2100 simulated with the HadCM3 model under updated emissions scenarios. **Climate Dynamics**, v.20, p.583-612, 2003.
- JONES, R.G.; NOGUER, M.; HASSELL, D.C.; HUDSON, D.; WILSON, S.S.; JENKINS, G.J.; MITCHELL, J.F.B. **Generating high resolution climate change scenarios using Precis**. Exeter: Meteorological Office Hadley Centre, 2004. 39p.
- LALANCETTE, N.; ELLIS, M. A.; MADDEN, L. V. Development of an infection efficiency model for *Plasmopara viticola* on american grape based on temperature and duration of leaf wetness. **Phytopathology**, v. 78, p. 794-800, 1988a.
- LALANCETTE, N.; MADDEN, L. V.; ELLIS, M. A. A quantitative model for describing the sporulation of *Plasmopara viticola* on grape leaves. **Phytopathology**, v. 78, p. 1316-1321, 1988b.
- ROSSI, V., GIOSUÈ, S., CAFFI, T. Modeling the dynamics of infections caused by sexual and asexual spores during *Plasmopara viticola* epidemics. **Journal of Plant Pathology**, v. 91, n. 3, p. 615-627, 2009.
- RUMBOU, A., GESSLER, C. Genetic dissection of a *Plasmopara viticola* population from a Greek vineyard in two consecutive years. **European Journal of Plant Pathology** v. 110, p. 379-392, 2004.
- SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; GLEASON, M. L.; MONTEIRO, J. E. B. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO, M. J. Evaluation of a Penman–Monteith approach to provide “reference” and crop canopy leaf wetness duration estimates. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 141, n. 2-4, p. 105-117, 2006.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; GLEASON, M. L.; MONTEIRO, J. E. B. A.; HELLAND, S.T. Operational exposure of leaf wetness sensors . **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 126, p. 59–72, 2004.

SENTELHAS, P.C.; DALLA MARTA, A.; ORLANDINI, S.; SANTOS,E.A.; GILESPIE, T.J.; GLEASON, M.L. Suitability of relative humidity as an estimator of leaf wetness duration. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.148, p.580-591, 2007.

SRES, 2000. Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A. et al., **Special Report on Emissions Scenarios**, Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, 595 p., 2000.