

Aquecimento global e seus impactos no zoneamento climático da macieira de média exigência de frio na região Sul do Brasil¹

Cristina Pandolfo², Angelo Mendes Massignan³, Hugo José Braga⁴, Vinícius Sousa Fazio⁵

Resumo - A maçã é uma cultura que tem grande importância econômica e social no Sul do Brasil. Estudos que envolvam a geração de cenários meteorológicos futuros são de extrema importância para a produção futura da cultura. O objetivo deste estudo é determinar os impactos do aquecimento global no zoneamento climático da cultura da maçã de média exigência em frio, avaliando a expansão ou retração de áreas potenciais para o plantio, em função de cenários meteorológicos futuros (A2 e B2) para os Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O Modelo Climático HadRM3P foi usado como ferramenta para gerar os dados diários de precipitação, temperatura máxima, média e mínima do ar para os cenários atual e futuros (A2 e B2). Os critérios para definição das áreas potenciais de plantio da maçã foram: i. temperatura mínima anual do ar menor que 15°C; ii. temperatura média mensal menor que 22°C nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro; e iii. no mínimo 350 horas de frio acumuladas entre o período de abril a setembro. O aquecimento global pode, em longo prazo, reduzir as áreas potenciais de plantio das cultivares de maçã com exigência média em frio para as três Estados do Sul do Brasil.

Palavras-chave: PRECIS. *Malus domestica* Borkh. Cenários futuros.

Global warming and climatic zoning of apple cultivars with medium chilling requirement on time of bud break in the south of Brazil

Abstract - Apple is a crop of high economic and social importance in the south of Brazil and studies that quantify the impacts of global warming on the future production of this culture are very important. The aim of this study is to determine the impacts of global warming in climatic zoning of apple cultivars with medium chilling requirement on time of bud break, evaluating the expansion or contraction of potential areas for planting for the states of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul, in the south of Brazil. The HadRM3P Climate Model was used as a tool to generate the daily data of precipitation, maximum, average and minimum air temperature for the three scenarios in southern Brazil (current, A2 and B2). The criteria for defining climatic zoning were to: i. the minimum monthly air temperature was less than or equal to 15 °C; ii the average monthly air temperature was less than or equal to 22°C in the months of January, February, March, April, October, November and December; and iii. the chilling hours accumulated from April to September was between 350 and 700. The global warming could reduce, in the long term, the potential areas for production of apple cultivars with medium chilling requirement on time of bud break in the three southern states of Brazil.

Key words: PRECIS. *Malus domestica* Borkh. Future scenarios.

¹ Manuscrito recebido em 03/09/2014 e aceito para publicação em 20/11/2014.

² Eng. Agr., Dra., Epagri/CIRAM. Rodovia Admar Gonzaga, 1347 – Itacorubi –Florianópolis, SC. 88034-901 - E-mail: cristina@epagri.sc.gov.br

³ Eng. Agr., Dr., Epagri/CIRAM. Rodovia Admar Gonzaga, 1347 – Itacorubi –Florianópolis, SC. 88034-901 - E-mail: massigna@epagri.sc.gov.br

⁴ Eng. Agr., Dr., Epagri/CIRAM. Rodovia Admar Gonzaga, 1347 – Itacorubi –Florianópolis, SC. 88034-901 - E-mail: hjb@epagri.sc.gov.br

⁵ Analista de sistema, Me., Florianópolis (SC) – E-mail: contato@td.eti.br

Introdução

A produção de maçãs no Brasil nas últimas três décadas (período de 1977 a 2007) teve um impressionante aumento de mais de 6000%. De importador o país passou não apenas a abastecer todo o mercado interno, como também exportar o produto. Investimentos em pesquisa foram fundamentais para obtenção desse resultado (AGRONEGÓCIO, 2012).

Fruteiras de clima temperado, como as macieiras, são estimuladas pelo frio à queda das folhas no final do ciclo e à dormência hiberna. As temperaturas baixas e contínuas durante os meses de inverno são indispensáveis para que a planta reinicie um novo ciclo vegetativo com brotação e floração normais (EPAGRI, 2002).

Recentemente já se observam problemas de produção e qualidade nas últimas safras de maçã no Brasil, que podem ser atribuídos às mudanças climáticas (AGRONEGÓCIO, 2012). Esses problemas podem estar associados à diminuição das horas de frio ou das unidades de frio. Cruz et al. (2009) avaliaram a disponibilidade de horas de frio em Santa Catarina e concluíram que está havendo uma diminuição do frio com o passar dos anos. Em estudos realizados no município de Fraiburgo/SC foi observada que as unidades de frio acumuladas influenciam significativamente a variação dos rendimentos da cultura da macieira (LIMA et al., 2003).

Os estudos dos efeitos das mudanças climáticas realizados por Asghar et al. (2012), no Paquistão, com a cultura da maçã, concluíram um decréscimo da produção da fruta devido a variações sazonais, alongamento do período de verão, devido ao aumento das temperaturas e por distribuições irregulares na precipitação.

Os efeitos das mudanças climáticas sobre o gosto e os atributos de textura dos alimentos são ainda desconhecidos, apesar de muito interesse público. Com base nos 30-40 anos de registros, pesquisas evidenciaram que o sabor e a textura de maçãs mudaram como resultado do aquecimento global recente, tanto a concentração de ácido, firmeza dos frutos e o pingo de mel diminuíram, independentemente do ponto de maturação utilizado para a data de colheita, por exemplo, data do calendário, número de dias após o pleno florescimento, coloração da casca e da concentração de amido; enquanto que em alguns casos, a concentração de sólidos solúveis aumentou. Todas essas mudanças podem ser resultado de um florescimento precoce e temperaturas mais altas durante o período de

maturação (SUGIURA et al., 2013). Os mesmos autores sugerem que a qualidade das maçãs no mercado está passando por mudanças de longo prazo.

Pandolfo et al. (2007) estimaram o impacto na área potencial do plantio de maçã em Santa Catarina, utilizando um aumento linear de 2°C em todo o Estado sem alterações na precipitação total e concluíram que, quanto maior a exigência em frio da cultivar, maior é o impacto na redução da área apta para plantio, ressaltando que para os grupos de maçã com alta e média exigência em frio não haveria áreas aptas ao cultivo, sem o uso de produtos químicos para quebra de dormência.

Segundo Epagri (2002), as temperaturas entre 15 a 20°C durante a dormência podem reduzir a frutificação efetiva do pomar. Temperaturas nessa faixa de valores podem ser observadas nas médias de inverno na região produtora de maçã, nos cenários futuros de temperatura média. Temperaturas altas entre 2 a 3 semanas após a floração formam frutos achatados.

As temperaturas da primavera e verão ótimas para o desenvolvimento da macieira estão na faixa de 18 a 23°C durante a fase vegetativa (EPAGRI, 2002).

Para a simulação dos cenários agrícolas futuros, podem ser usados modelos meteorológicos a fim de projetar diversas variáveis de interesse agrícola. De acordo com Marengo e Camargo (2008), o modelo regional HadRM3P dispõe uma boa representação do clima atual para o Sul do Brasil. Entretanto, num estudo mais detalhado mostrou que o ciclo anual de chuva na região Sul do Brasil é levemente superestimado pelo modelo regional HadRM3P, especialmente na primavera e verão. Nos meses de inverno, no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, há uma aproximação notável entre os dados observados e os dados simulados pelo modelo regional (CAMARGO et al., 2011). Os ciclos anual e sazonal dos dados observados e dos dados simulados das temperaturas do ar pelo modelo regional tiveram um bom ajuste (CAMARGO, 2010).

O objetivo foi identificar os impactos das mudanças climáticas no zoneamento climático para a cultura da maçã de média exigência em frio nos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

Material e Métodos

O Modelo Climático HadRM3P foi usado como ferramenta para gerar os dados diários de

temperatura máxima, média e mínima do ar dos três cenários (atual, A2 e B2) na Região Sul do Brasil. De acordo com a metodologia empregada por Marengo et al. (2009), ao gerar cenários climáticos para o Brasil, este estudo utilizou a versão atual do modelo climático regional do Hadley Center (Met Office localizado em Exeter na Inglaterra), o HadRM3P, o qual é baseado na versão mais recente do HadCM3. Este modelo faz parte do Sistema Integrado de Modelagem Regional PRECIS (Providing Regional Climate for Impacts Studies) e possui uma resolução horizontal de 50 km com 19 níveis na vertical (da superfície até 30 km na estratosfera) e 4 níveis no solo. Os dados gerados pelo modelo foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Os cenários climáticos do IPCC (2007), definidos no Special Report on Emissions Scenarios (SRES), são baseados em projeções diferentes de emissões de gases de efeito estufa para o futuro, denominados de A1, A2, B1 e B2, os quais estão disponibilizados no IPCC-DDC da CRU - University of East Anglia. Neste estudo para a Região Sul do Brasil, foram avaliadas implicações climáticas decorrentes dos cenários SRES A2 e B2, para a temperatura do ar, projetadas regionalmente (2071-2100), sempre com referência à média climática de 1961-1990 gerada pelo modelo, as quais foram representadas por meio do uso do software ArcGIS 9.2, utilizando como interpolador o método IDW (Inverse Distance Weighted – Inverso da Distância Ponderada).

O Cenário A2 é o mais pessimista e prevê aumento de temperatura da terra entre 2°C e 5,4°C até o ano 2100 enquanto o Cenário B2, descreve um mundo em que a ênfase está nas soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, prevendo aumento

de temperatura da terra entre 1,4°C e 3,8°C até o ano 2100.

O programa ZonExpert 1.0 foi utilizado para elaborar os zoneamentos climáticos para os três cenários (Atual, A2 e A3). Por questões operacionais e demanda excessiva de processamento do Zonexpert em função dos critérios do zoneamento foi necessário reduzir o número de pontos da malha de 900m x 900m. Foi gerada uma sub-grade de pontos para os três Estados sendo que, cada faixa altimétrica (100 em 100 m) de cada município estava representado por um ponto georreferenciado. O critério utilizado foi localizar aleatoriamente um ponto a cada 100m de variação de altitude para cada município da Região Sul, resultando na sub-grade com 6341 pontos. Cada ponto representou então uma faixa altimétrica e possui a informação da porcentagem de área dessa faixa em relação ao total de área do município.

O zoneamento climático para os três cenários (atual, A2 e B2) foi elaborado com as seguintes classes de aptidão: cultivo recomendado e não recomendado. Para todos os pontos da sub-grade georreferenciada do programa ZonExpert foi simulada a possibilidade de plantio. As variáveis climáticas e os critérios utilizados para a recomendação do plantio da cultura da maçã foram: i. temperatura mínima anual do ar menor que 15°C; ii temperatura média mensal menor que 22°C nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro; e iii. De 350 a 700 horas de frio acumuladas entre o período de abril a setembro.

As horas de frio foram estimadas para um cenário atual e para dois cenários futuros (A2 e B2) em função das temperaturas mínimas provenientes do HadRM3P. O total de horas de frio foi calculado em função da temperatura mínima mensal, de acordo com a seguinte equação:

$HFm = 0$	Se $T_{\min} \geq \left(\frac{339}{26}\right)$
$HFm = 339 - 26 \times T_{\min}$	Se $T_{\min} < \left(\frac{339}{26}\right)$

onde: HFm é o total de horas de frio mensal e T_{\min} é a temperatura mínima mensal (MASSIGNAM et al., 2007).

Resultados e Discussão

Considerando os critérios de zoneamento utilizados para a cultura da maçã os quais foram baseados em exigências térmicas, observou-se que no cenário atual houve potencial de cultivo de maçã em regiões que são coincidentes com o

clima Cfb (clima temperado úmido com verão temperado) como era esperado, com exceção de parte da Serra do Sudeste na Região Sul do Rio Grande do Sul, a qual não foi considerada como recomendada no cenário atual (Figura 1). Deve-se ressaltar que, a base de dados utilizada para a geração do cenário atual também tem como origem os modelos meteorológicos, portanto,

podem gerar resultados diferentes dos zoneamentos estabelecidos com dados observados nas estações. Pelos resultados obtidos observa-se que a interação entre o critério de temperatura mínima e a temperatura média foi a responsável pela maioria das limitações nas recomendações de cultivo nos municípios.

As maiores anomalias de temperaturas observadas nas regiões de produção de maçã nos cenários futuros ocorrem justamente na primavera e no verão (Figura 2), que impactarão o desenvolvimento da espécie porque altera a respiração, fotossíntese e absorção de nutrientes.

Nos cenários A2 e B2, houve redução significativa do número de municípios aptos para cultivo quando comparados com o cenário atual (Figura 2), restando a recomendação somente para alguns municípios no Estado de Santa Catarina e um município para o Rio Grande do Sul no cenário mais pessimista, representando uma área de 6.424 km² (Tabela 1).

Houve redução de aproximadamente 96% e 89% na área potencial de cultivo para a maçã de média exigência em frio para os cenários A2 e B2 na Região Sul, respectivamente. Essa redução de área corresponderia potencialmente a uma redução de produção estimada em 66.430t e 204.740t. O que equivaleria a uma perda média na ordem de R\$50.000.000 nas projeções futuras de 2070 a 2100 (Tabela 2). Essa projeção de perda foi baseada nos valores de produção atual e no preço da maçã retirados de IBGE (2012) e de PROHOTRT (2012), respectivamente.

Durante todo o período de crescimento e desenvolvimento da macieira as anomalias de temperaturas dos cenários futuros foram positivas em maior ou menor grau dependendo do município considerado. Levando-se em consideração a área de plantio atual da cultura da maçã (IBGE, 2012) houve tendência de aumento das temperaturas máximas, médias e mínimas nos cenários futuros em fases fenológicas que são importantes do ponto de vista da fisiologia de produção do fruto. Com temperaturas elevadas durante o período da dormência as taxas de polinização serão mais variáveis, ocorrerá, conseqüentemente, redução da formação de gemas floríferas com decréscimo da frutificação efetiva.

O aumento das temperaturas diminui a absorção de CO₂, portanto, as temperaturas elevadas na primavera e verão diminuem o período do florescimento à maturação, reduzindo o tamanho e a acidez do fruto, produzindo frutos achatados e aumentando a escaldadura porque

frutos colhidos mais cedo, são mais susceptíveis à escaldadura. Nos cenários futuros o aumento das temperaturas poderá ter como consequência a redução tanto da produção como na qualidade dos frutos produzidos sob estas condições.

Conclusões

As mudanças climáticas projetadas para os cenários futuros A2 e B2 (2071 – 2100) reduzem as áreas potenciais de plantio das cultivares de maçã com exigência média em frio nos três Estados do Sul do Brasil.

Agradecimentos

À FINEP pelo apoio financeiro.

Referências

AGRONEGÓCIO. Inovação em pauta: Yes, nós temos maçãs. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/.../inovacao_em_pauta_5_pag43a47_macas.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2014.

ASGHAR, A.; ALI, S. M.; YASMIN, A. A. Effect of climate change on apple (*Malus domestica* var. Ambri) production: a case study in Kotli Satian, Rawalpindi, Pakistan. **Pakintan Journal of Botany**, Karachi, v. 44, n. 6, p. 1913-1918, 2012.

CAMARGO, C. G. **Padrões climáticos atuais e futuros de temperatura do ar na região sul do Brasil e seus impactos nos cultivos de pêssego e de nectarina em Santa Catarina**. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Pós-Graduação em Meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

_____. et al. Análises dos padrões climáticos futuros de precipitação na região Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Guarapari. **Anais....** Guarapari: Incaper, 2011.

CRUZ, G. de S; CAMARGO, C.; MONTEIRO, M. et al. Levantamento de horas de frio nas diferentes regiões de Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 22, n. 1, p. 44 - 47, 2009.

EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis, 2002. 743 p.

- IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**: 2012. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=LA&z=t&o=26>>. Acesso em: 10 maio 2014.
- IPCC. **Climate change 2007**: the physical science basis, summary for policymakers, contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Paris, 2007. 21 p.
- _____. **Climate change 2013**: the physical science basis: summary for policymakers. 2013. 36 p. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report. Twelfth Session of Working Group I. Disponível em: <http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5-SPM_Approved27_Sept2013.pdf>. Acesso em: 28 out. 2013.
- LIMA, M.; QUADRO, M. F. L. ; PETRI, J. L. et al. Relação entre as unidades de frio e o rendimento das safras de maçã de 1997 a 2002 em Fraiburgo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2003.
- MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal of Climatology**, v. 28, n. 7, p. 893-904, 2008.
- _____.; JONES R.; ALVES L. et al. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal Climatology**, v. 29, n.15, p. 2241-2255, 2009.
- MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C.; HAMMES, L. A. et al. Espacialização das probabilidades do total anual de horas de frio em Santa Catarina. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 20, n. 2, p. 58-61, 2007.
- PANDOLFO, C.; HAMMES, L. A.; CAMARGO, C. et al. Estimativas dos impactos das mudanças climáticas nos zoneamentos da cultura da banana e da maçã no Estado de Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 20, n. 2, p. 36-40, 2007.
- PROHORT** - Programa Brasileiro de Modernização do Mercado de Hortigranjeiro. Disponível em: <<http://www.ceasa.gov.br/precos.php?TIP=1&P01=2&P02=1&P03=46&P04=0>>. Acesso em: 05 maio 2014.
- SUGIURA, T.; OGAWA, H.; FUKUDA, N. et al. Changes in the taste and textural attributes of apples in response to climate change. **Scientific Reports**, v. 3, p. 2418, 2013.

Tabela 1 - Estimativa das áreas potenciais para cultivo de maçã no cenário atual e futuros (A2 e B2) por estado e para a Região Sul.

Cenários	PR (km ²)	SC (km ²)	RS (km ²)	Região Sul (km ²)
Atual	68.787	66.998	35.928	171.713
A2	0	5.241	1.183	6.424
B2	0	16.333	3.534	19.866

Tabela 2 - Produção média de cinco anos (2007-2011) para o cenário atual e estimada para cenários futuros A2 e B2 e estimativa da redução produção em valor monetário para os cenários futuros A2 e B2 para a cultura da maçã por Estado e para a Região Sul.

Estado	Produção (t x 1.000)			Estimativa da redução (t x 1.000) ⁽²⁾	
	Atual ⁽¹⁾	A2	B2	A2	B2
Paraná	47,99	0	0	-2.583,18	-2.583,18
Santa Catarina	620,97	48,58	151,38	-34.439,02	-28.253,49
Rio Grande do Sul	542,52	17,86	53,36	-17.488,76	-16.305,49
Região Sul	1.211,48	66,43	204,74	-54.510,96	-47.142,17

*Fonte: ⁽¹⁾ IBGE (2012); ⁽²⁾ PROHORT (2012).

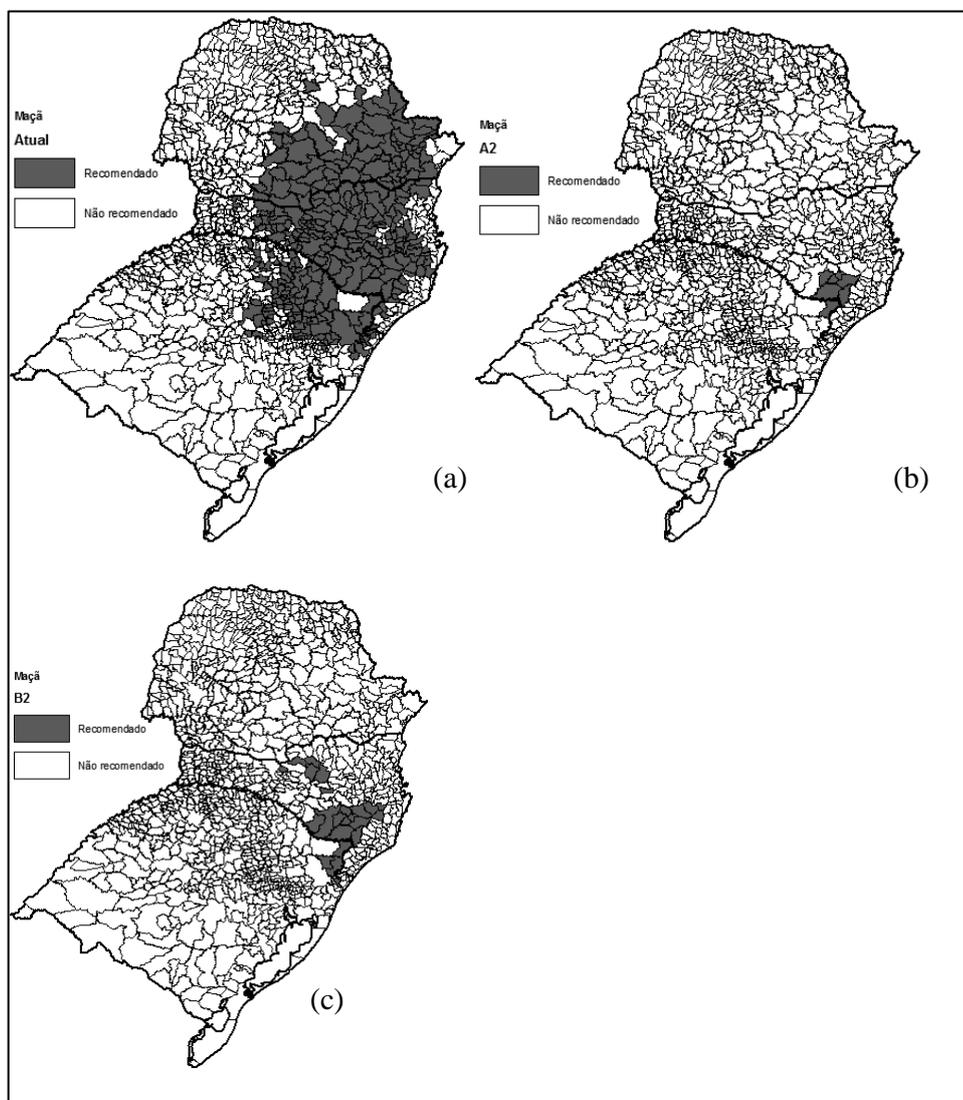


Figura 1 - Zoneamento climático para a cultivares de maçã com média exigência em frio para a Região Sul do Brasil para os cenários: atual (a), A2 (b) e B2 (c).

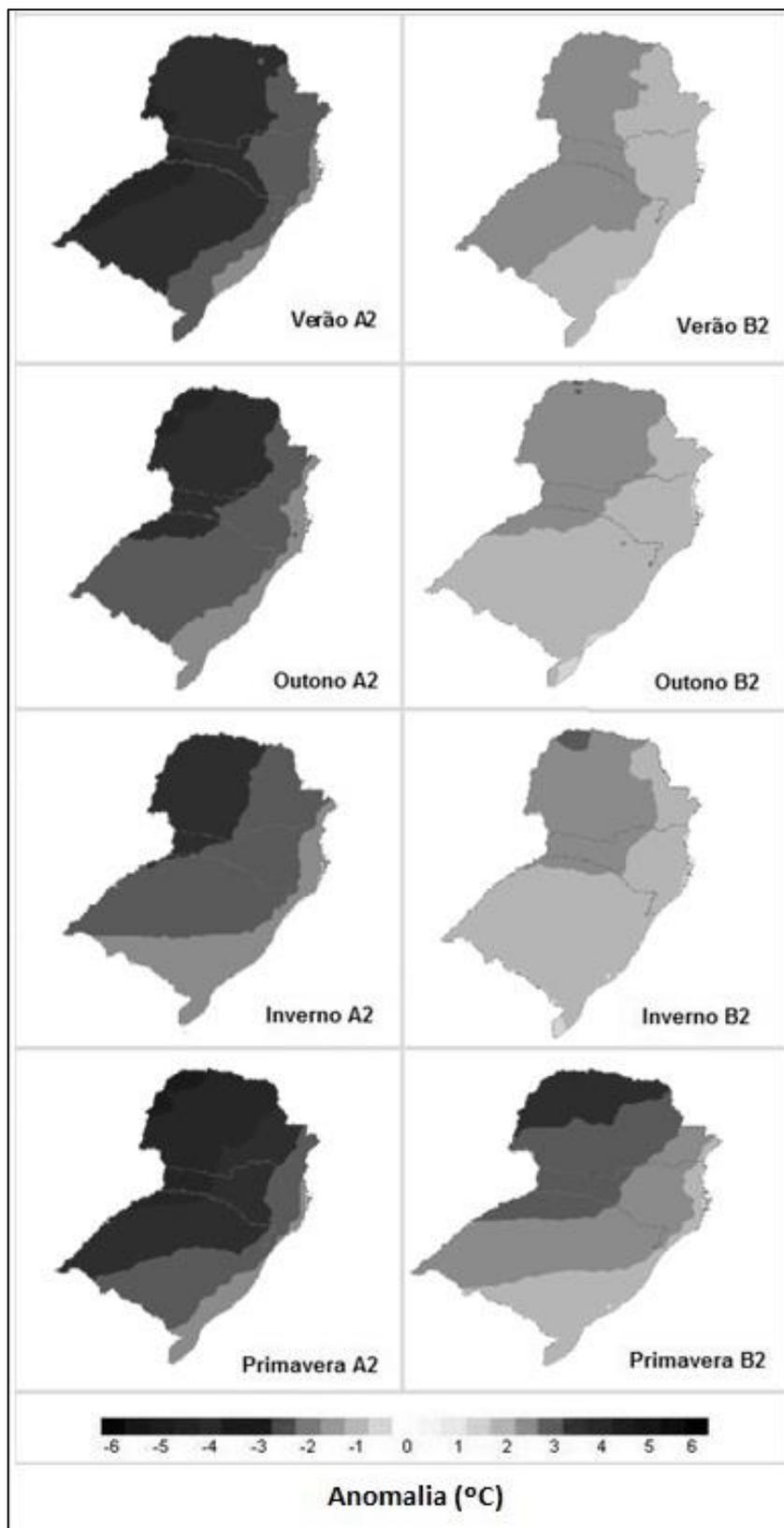


Figura 2 - Anomalias de temperaturas médias sazonais (°C) para a Região Sul do Brasil nos cenários futuros A2 e B2 (2070 a 2100).