

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ZONEAMENTO DE
APTIDÃO CLIMÁTICA DAS PRINCIPAIS FRUTÍFERAS DE CLIMA
TEMPERADO NAS REGIÕES SUL E SUDESTE DO BRASIL**

DIEGO FELIPE DOS SANTOS

ITAJUBÁ (MG), BRASIL

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

DIEGO FELIPE DOS SANTOS

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ZONEAMENTO DE
APTIDÃO CLIMÁTICA DAS PRINCIPAIS FRUTÍFERAS DE CLIMA
TEMPERADO NAS REGIÕES SUL E SUDESTE DO BRASIL

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração:

Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Orientadora:

Prof^a Dra. Fabrina Bolzan Martins

Coorientador:

Prof^o Dr. Roger Rodrigues Torres

Itajubá (MG), Brasil

2018

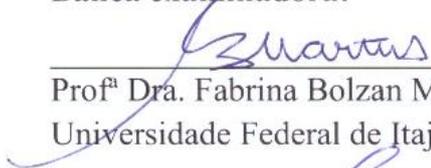
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

DIEGO FELIPE DOS SANTOS

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ZONEAMENTO DE
APTIDÃO CLIMÁTICA DAS PRINCIPAIS FRUTÍFERAS DE CLIMA
TEMPERADO NAS REGIÕES SUL E SUDESTE DO BRASIL

Dissertação aprovada por banca examinadora em 02 de abril de 2018 conferindo ao autor o título de **Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos**.

Banca examinadora:


Profª Dra. Fabrina Bolzan Martins (Orientadora)
Universidade Federal de Itajubá - Unifei


Profº Dr. Roger Rodrigues Torres (Coorientador)
Universidade Federal de Itajubá - Unifei


Dr. Luiz Fernando de Oliveira da Silva
Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG


Profª Dra. Michelle Simões Reboita
Universidade Federal de Itajubá - Unifei

Itajubá (MG), Brasil

2018

Aos meus pais, Maria e Silvio, pelo amor mais verdadeiro, pelo carinho e pela grande amizade e pelo apoio incondicional.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, por tudo que eu sou e por toda a força concedida para a concretização desse sonho. Agradeço a Deus também por todas as pessoas especiais aqui citadas, que contribuíram nessa caminhada.

Agradeço à Universidade Federal de Itajubá, pela experiência, pela vivência acadêmica e por todas as oportunidades, conquistas e alegrias que ela me proporcionou. Ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos (MEMARH), pelo aprendizado, aprimoramento pessoal e profissional.

Sou grato a minha orientadora e professora Fabrina Bolzan Martins, pelo exemplo e apoio desde o início da minha formação. Obrigado por seus ensinamentos, paciência, respeito e confiança. Obrigado não só por ser minha orientadora, mas também por ser minha amiga.

Da mesma forma agradeço ao meu coorientador e professor Roger Rodrigues Torres por todo o tempo direcionado aos meus esclarecimentos, pela atenção, pelas recomendações e pela fundamental ajuda e dedicação a esse trabalho.

À Amanda pela amizade, pela companhia, pela paciência e pelo suporte em todos os momentos; que foram muitos. As amigas Carol e Débora, que mesmo distantes e atarefadas sempre arranjavam tempo para me encontrar, me escutar, me aconselhar e me divertir. Aos amigos Bruno, Cleverson e Rodolfo, pelas dúvidas sanadas, pelo aprendizado compartilhado, pelo companheirismo e por todo o apoio. Aos amigos Heloísa, Igor, Josi, Rebeca e Thaís, pela ajuda, pelas conversas engraçadas, pelos momentos de descontração e por acreditarem em mim. A todos vocês queridos amigos que me fazem falta, obrigado por me darem força, momentos inesquecíveis, segurança para pedir ajuda a qualquer hora e por serem uma segunda família.

Agradeço ao Rayan pela ajuda imensurável nos testes e na extração dos dados, pelas inúmeras reuniões de pesquisa e pela dedicação e esforço na realização do projeto. Agradeço também aos meus amigos de pós-graduação, em especial a Ana Caroline, a Carolina Gouveia, a Cássia e a Vanessa Siqueira, pela companhia agradável e pela ajuda solícita.

Agradeço a Agrosmart por incentivar e permitir o aprimoramento do meu conhecimento, pelo tempo concedido a realização desse trabalho, pela flexibilidade e compreensão. Também agradeço aos meus amigos da Agrosmart serem prestativos, me apoiarem e entenderem a importância dessa caminhada para minha vida.

Agradeço aos professores do curso de Ciências Atmosféricas que também estiveram presentes em minha jornada. Obrigado por verem potencial em mim, pela base sólida de

conhecimento que vocês me proporcionaram, pelas valiosas experiências compartilhadas e principalmente por despertarem o meu desejo em pesquisas. Em especial, obrigado a professora Vanessa Silveira que me mostrou os primeiros passos da pesquisa científica.

A todos os professores do MEMARH, por todo o apreço e dedicação nas disciplinas, pela convivência e pelos ensinamentos acadêmicos. A Tatiana Amaro pela companhia divertida e pelo auxílio no CEPREMG. Agradeço a banca examinadora pelas sugestões e feedbacks em minha dissertação.

Agradeço aos meus familiares e amigos que sempre me incentivaram e torceram por mim nessa jornada. Enfim, a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização desse trabalho, minha gratidão.

“Tudo tem seu apogeu e seu declínio...
É natural que seja assim.
Todavia, quando tudo parece convergir para o que supomos
o nada, eis que a vida ressurge triunfante e bela!
Novas folhas, novas flores, na infinita benção do recomeço!”

Chico Xavier (pelo espírito Emmanuel)

RESUMO

SANTOS, Diego Felipe dos. **Impacto das mudanças climáticas no zoneamento de aptidão climática para as principais frutíferas de clima temperado nas regiões Sul e Sudeste do Brasil**. 2018. 118 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018.

As frutíferas de clima temperado são plantas que necessitam de horas de frio para quebrar a dormência e iniciar um novo ciclo de desenvolvimento reprodutivo. Essas frutíferas são importantes para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, que juntas representam 91% da produção nacional; sendo as frutíferas de maior destaque a videira, macieira, figueira, pessegueiro, ameixeira, nectarineiras e a oliveira. Para garantir a expansão das áreas de produção e a qualidade de seus frutos é necessário determinar as áreas climatologicamente favoráveis a seus cultivos. Isso é importante tanto para condições atuais, quanto para cenários de projeções climáticas, uma vez que os padrões climáticos no Brasil devem ser alterados devido as mudanças climáticas. Portanto, o objetivo dessa dissertação é avaliar o impacto das mudanças climáticas, no zoneamento de aptidão climática das principais frutíferas de clima temperado, nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Para os cálculos do período presente (1981-2015) foram utilizados dados de 151 estações meteorológicas, distribuídas em toda a área de estudo. Já para os cálculos dos dois períodos futuros (2021-2050, 2071-2100) foram utilizados dados de projeções climáticas de 21 modelos do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) regionalizados através de downscaling estatístico pelo *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections* (NEX-GDDP), nos cenários forçantes chamados *Representative Concentration Pathways* (RCP) 4.5 e 8.5. Foi avaliada a destreza dos modelos em simular as variáveis climáticas para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, posteriormente foram calculadas, para todos os períodos, as médias climatológicas de precipitação, número de horas de frio e temperaturas máxima, média e mínima. Também foram gerados para todos os períodos o balanço hídrico climatológico e, conseqüentemente, obteve-se a deficiência hídrica de toda a área de estudo. De acordo com os resultados foi possível observar que a média simples das simulações dos 21 modelos consegue reproduzir bem o ciclo anual de temperatura máxima, mínima e precipitação mensal nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Além disso, a discrepância entre os modelos é maior no verão e na primavera, principalmente sobre a região Sudeste, nas áreas mais interiores do continente. No período presente, para as culturas menos exigentes em frio (requisito de horas de frio de 100 a 150 horas) o zoneamento de aptidão climática indica porcentagem de área apta de aproximadamente 36,3% ($T_b=7^{\circ}\text{C}$), 53,6% ($T_b=9,5^{\circ}\text{C}$) e 65,9% ($T_b=13^{\circ}\text{C}$); enquanto para as culturas mais exigentes em frio (requisito de horas de frio maior de 600 horas) o zoneamento indica porcentagem de área apta de aproximadamente 0,3% ($T_b=7^{\circ}\text{C}$), 17,4% ($T_b=9,5^{\circ}\text{C}$) e 44,1% ($T_b=13^{\circ}\text{C}$). Com as mudanças climáticas a área apta ao cultivo das frutíferas de clima temperado será bastante reduzido. No RCP 8.5 para o futuro distante (2071-2100) as culturas mais exigentes em frio terão sua área apta reduzida para 0% ($T_b=7^{\circ}\text{C}$), 0,1% ($T_b=9,5^{\circ}\text{C}$) e 17,8% ($T_b=13^{\circ}\text{C}$). As frutíferas que necessitam de mais de 300 horas de frio serão as frutíferas mais afetadas com as mudanças climáticas simuladas para o final do século XXI.

Palavras-chave: mudanças climáticas, necessidade de frio, balanço hídrico.

ABSTRACT

SANTOS, Diego Felipe dos. **Impact of climatic changes on climatic aptitude zoning for the main temperate fruits in the southern and southeastern regions of Brazil**. 2018. 118 f. Master of Science Dissertation (Master in Environment and Water Resources) – Natural Resources Institute, Federal University of Itajubá, Itajubá, 2018.

Temperate fruits are plants that require chill hours to break dormancy and start a new cycle of reproductive development. These fruits are important for the South and Southeast regions of Brazil, which together represent 91% of the national production; being the fruit tree of greater prominence the vine, apple tree, fig tree, peach tree, plum tree, nectarines and the olive tree. To guarantee the expansion of the production areas and the quality of its fruits, it is necessary to determine the climatologically favorable areas for its crops. This is important both for current conditions and for climate projection scenarios, since climate patterns in Brazil must be changed due to climate change. Therefore, the objective of this dissertation is to evaluate the impact of climate change, by means of different climatic projections in climatic aptitude zoning of the main temperate fruits in the South and Southeast regions of Brazil. For the calculations of the present period (1981-2015) we used data from 151 weather stations, distributed throughout the study area. For the calculations of the two future periods (2021-2050, 2071-2100), we used data from climatic projections of 21 CMIP5 models regionalized through statistical downscaling by NEX-GDDP, in RCPs 4.5 and 8.5. The evaluation of the models in question is similar to those possible for the South and Southeast regions of Brazil, after the climatological averages of precipitation, maximum, average and minimum temperature, number of cold hours; were calculated for all periods. The climatological water balance was also generated for all the periods and consequently the water deficit of the entire study area was obtained. According to the results it was possible to observe that the simple average of the simulations of the 21 models can reproduce well the annual cycle of maximum, minimum and monthly precipitation in the South and Southeast regions of Brazil. In addition, the discrepancy between models is greater in summer and spring, especially in the Southeast region, in the more interior areas of the continent. In the present period, for less demanding cold crops (cold hours requirement of 100 to 150 hours) the climatic aptitude zoning indicates a percentage of apt area of approximately 36.3% ($T_b = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$), 53.6% ($T_b = 9.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) and 65.9% ($T_b = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$); for the most demanding cold crops (cold hours requirement greater than 600 hours) the zoning indicates a percentage of apt area of approximately 0.3% ($T_b = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$), 17.4% ($T_b = 9.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) and 44.1% ($T_b = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$). With the climatic changes the area suitable for the cultivation of the fruit of temperate climate will be very reduced. In RCP 8.5 for the distant future (2071-2100) the most demanding cold crops will have their area reduced to 0% ($T_b = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$), 0.1% ($T_b = 9.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) and 17.8% ($T_b = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$). Fruit trees that require more than 300 hours of cold will be the most affected fruit with simulated climatic changes towards the end of the 21st century.

Keywords: climatic changes, cold need, water balance.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1 - Disposição geográfica das estações meteorológicas. Em verde a localização das estações meteorológicas e em cinza a topografia da área de estudo, em metros acima do nível do mar..... 20

Figura 1.2 - Média climatológica de temperatura máxima (°C) para as regiões Sul e Sudeste no verão, no outono, no inverno e na primavera; observados para o período de 1981 a 2015 (a, b, c e d, respectivamente) e simulados para o período de 1981 a 2005 (e, f, g e h, respectivamente)..... 26

Figura 1.3 - Média climatológica de temperatura mínima (°C) para as regiões Sul e Sudeste no verão, no outono, no inverno e na primavera; observados para o período de 1981 a 2015 (a, b, c e d, respectivamente) e simulados para o período de 1981 a 2005 (e, f, g e h, respectivamente)..... 27

Figura 1.4 - Média climatológica de precipitação diária (mm dia⁻¹) para as regiões Sul e Sudeste no verão, no outono, no inverno e na primavera; observados para o período de 1981 a 2015 (a, b, c e d, respectivamente) e simulados para o período de 1981 a 2005 (e, f, g e h, respectivamente)..... 29

Figura 1.5 - Média climatológica mensal observada e simulada para as regiões Sudeste e Sul de temperatura máxima (°C) (a e b, respectivamente) e temperatura mínima (°C) (c e d, respectivamente), assim como o seu desvio padrão; para o período de 1981 a 2005 31

Figura 1.6 - Média climatológica mensal observada e simulada da precipitação (mm mês⁻¹) para as regiões Sudeste e Sul (a e b, respectivamente), assim como o seu desvio padrão; para o período de 1981 a 2005 32

Figura 1.7 - Projeções de mudanças de temperatura máxima média (°C) para as regiões Sul e Sudeste para o verão, outono, inverno e primavera nos períodos FP com RCP 4.5 (a, b, c e d, respectivamente), FP com RCP 8.5 (e, f, g e h, respectivamente), FD com RCP 4.5 (i, j, k e l, respectivamente) e FD com RCP 8.5 (m, n, o e p, respectivamente)..... 35

Figura 1.8 - Projeções de mudanças de temperatura mínima média (°C) para as regiões Sul e Sudeste para o verão, outono, inverno e primavera nos períodos FP com RCP 4.5 (a, b, c e d, respectivamente), FP com RCP 8.5 (e, f, g e h, respectivamente), FD com RCP 4.5 (i, j, k e l, respectivamente) e FD com RCP 8.5 (m, n, o e p, respectivamente)..... 37

Figura 1.9 - Projeções de mudanças de precipitação média diária (mm dia⁻¹) para as regiões Sul e Sudeste para o verão, outono, inverno e primavera nos períodos FP com RCP 4.5 (a, b, c e d, respectivamente), FP com RCP 8.5 (e, f, g e h, respectivamente), FD com RCP 4.5 (i, j, k e l, respectivamente) e FD com RCP 8.5 (m, n, o e p, respectivamente) 39

CAPÍTULO II

Figura 2.1 - Representação gráfica das temperaturas e dos tempos utilizados no método de Pola e Angelocci (1993). Adaptado de Santos et al. (2017)..... 52

Figura 2.2 - Médias climatológicas mensais do período de 1981 a 2015, do número de horas de frio abaixo de 7 °C (em horas), para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, para os meses de maio (a), junho (b), julho (c), agosto (d) e setembro (e) 55

Figura 2.3 - Médias climatológicas mensais do período de 1981 a 2015, do número de horas de frio abaixo de 9,5 °C (em horas), para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, para os meses de maio (a), junho (b), julho (c), agosto (d) e setembro (e) 56

Figura 2.4 - Médias climatológicas mensais do período de 1981 a 2015, do número de horas de frio abaixo de 13 °C (em horas), para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, para os meses de maio (a), junho (b), julho (c), agosto (d) e setembro (e) 57

Figura 2.5 - Médias climatológicas anuais do número de horas de frio (em hoas), abaixo de 7 °C (a), 9,5 °C (b) e 13 °C (c), para o período de 1981 a 2015, para as regiões Sul e Sudeste do Brasil..... 60

Figura 2.6 - Médias climatológicas anuais do número de horas de frio para os períodos FP com RCP 4.5, FP com RCP 8.5, FD com RCP 4.5 e FD com RCP 8.5; para a Tb de 7 °C (a, b, c e d; respectivamente), para a Tb de 9,5 °C (e, f, g e h; respectivamente) e para a Tb de 13 °C (i, j, k e l; respectivamente); para as regiões Sul e Sudeste do Brasil 62

CAPÍTULO III

Figura 3.1. - Deficiência hídrica anual (mm.ano^{-1}) para do período de 1981 a 2015, para a CAD 1 (a), CAD 2 (b) e CAD 3 (c), para as regiões Sul e Sudeste do Brasil..... 83

Figura 3.2. - Deficiência hídrica anual para os períodos FP com RCP 4.5, FP com RCP 8.5, FD com RCP 4.5 e FD com RCP 8.5; para a CAD1 (a, b, c e d; respectivamente), para a CAD 2 (e, f, g e h; respectivamente) e para a CAD 3 (i, j, k e l; respectivamente); para as regiões Sul e Sudeste do Brasil 85

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Figura 1. - Zoneamento de aptidão climática das frutíferas de clima temperado para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, considerando o período de 1981 a 2015 e as Tbs de 7 °C (a), 9,5 °C (b) e 13 °C (c)..... 96

Figura 2. - Zoneamento de aptidão climática das frutíferas de clima temperado para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, considerando o período de 1981 a 2015 e as Tbs de 7 °C (a), 9,5 °C (b) e 13 °C (c)..... 98

LISTA DE TABELAS

INTRODUÇÃO GERAL

Tabela 1 - Receita de exportações e porcentagem de produção no Sul e Sudeste das principais frutas de clima temperado produzidas no Brasil 16

CAPÍTULO I

Tabela 1.1 - Desvio padrão médio sazonal das regiões Sul e Sudeste do Brasil, para as variáveis temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C) e precipitação; nos períodos PH, FP e FD; e nos RCPs 4.5 e 8.5. 33

CAPÍTULO II

Tabela 2.1 - Exigência em frio para as principais cultivares de frutíferas de clima temperado 48

Tabela 2.2 - Grupos de exigência em frio e intervalo de necessidade de horas de frio para as principais frutíferas de clima temperado e suas respectivas cultivares 50

Tabela 2.3 - Proporção de áreas com número de horas de frio para as regiões Sul e Sudeste, para os Grupos I, II, III, IV e V de frutíferas de clima temperado; considerando três temperaturas base (7 °C, 9,5 °C e 13 °C), dois cenários forçantes (RCP 4.5 e 8.5) e os períodos presente (PP = 1981-2015) e futuros (FP = 2021-2050 e FD = 2071-2100) 64

CAPÍTULO III

Tabela 3.1 - CAD, cenários, porcentagem de área apta e inapta e extensão de área apta e inapta de acordo com os requisitos hídricos 86

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tabela 2 - Temperatura base, cenários, porcentagem e extensão das áreas inaptas, aptas com disponibilidade de horas de frio entre 100 a 150 (Grupo I), com disponibilidade entre 150 a 300 (Grupo II), com disponibilidade entre 300 a 450 (Grupo III), com disponibilidade entre 450 a 600 (Grupo IV) e com disponibilidade maior de 600 (Grupo V) 99

Tabela 3 - Fases fenológicas afetadas pelo baixo acúmulo de horas de frio e frutíferas de clima temperado. Adaptado de Atkinson et al. (2013) 101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALT - Alteração do armazenamento
ARM - Armazenamento de água no solo
ASAS - Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
BHC - Balanço hídrico climatológico
CAD - Capacidade de água disponível
CCM - Complexos Convectivos de Mesoescala
CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
CMIP5 - *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*
CTC - Centro de Tecnologia Canavieira
DEF - Deficiência hídrica
DHA - Demanda hídrica atmosférica
DP - Desvio padrão
ES - Espírito Santo
ETP - Evapotranspiração potencial
ETR - Evapotranspiração Real
EXC - Excedente hídrico
FCT - Frutíferas de Clima Temperado
FC – Frutas de Carço
FD - Futuro Distante
FP - Futuro Próximo
IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INIA - *Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria*
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
INTA - *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*
IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*
IPCC AR5 - Quinto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change*
IQR - *Inter Quartile Range*
MG - Minas Gerais
NEGACUM - Negativo acumulado
NEX-GDDP - *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections*
NHF - Número de horas de frio
PH - Período Histórico
PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
P - Precipitação
PP - Período Presente
PR - Paraná
Q1 - Primeiro quartil
Q3 - Terceiro quartil
RCPs - *Representative Concentration Pathways*
RJ - Rio de Janeiro

RS - Rio Grande do Sul

SC - Santa Catarina

SCM - Sistemas Convectivos de Mesoescala

SIMEPAR - Sistema Meteorológico do Paraná

SMAS - Sistema de Monção da América do Sul

SP- São Paulo

Tb - Temperatura base

Tm - Temperatura mínima do dia

TM1 - Temperatura máxima do dia anterior

TM2 - Temperatura máxima do dia

UNESP - Universidade Estadual Paulista

WMO - *World Meteorological Organization*

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	15
CAPÍTULO I.....	18
1.1. INTRODUÇÃO.....	18
1.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
1.2.1. Dados de projeção climática.....	20
1.2.2. Dados observados e área de estudo	20
1.2.3. Médias climatológicas e desvio padrão	22
1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
1.3.1. Média climatológica sazonal para o período presente.....	25
1.3.2. Incertezas das projeções climáticas para as regiões Sul e Sudeste do Brasil	29
1.3.3. Projeções climáticas para as regiões Sul e Sudeste do Brasil	34
1.4. CONCLUSÕES	40
1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
CAPÍTULO II.....	45
2.1. INTRODUÇÃO.....	45
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	49
2.2.1. Dados observados.....	49
2.2.2. Dados de projeções climáticas.....	49
2.2.3. Grupos de exigência em horas de frio (HF)	49
2.2.4. Estimativa do Número de Horas de Frio Observado.....	50
2.2.5. Projeção do Número de Horas de Frio	52
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
2.3.1. Climatologia mensal de NHF.....	54
2.3.2. Climatologia anual de NHF para o Período Presente e projeções futuras.....	58
2.4. CONCLUSÕES	66
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
CAPÍTULO III	74
3.1. INTRODUÇÃO.....	74
3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	76

3.2.1. Dados observados.....	76
3.2.2. Dados de projeções climáticas.....	76
3.2.3. Projeção de temperatura e precipitação.....	76
3.2.4. Evapotranspiração potencial.....	77
3.2.5. Capacidade de água disponível.....	78
3.2.6. Balanço hídrico climatológico.....	79
3.2.7. Necessidade hídrica.....	81
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	82
3.4. CONCLUSÕES.....	90
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
DISCUSSÃO GERAL E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS.....	103
ANEXOS.....	106

INTRODUÇÃO GERAL

A fruticultura é um ramo da agricultura importante para a economia nacional, uma vez que o Brasil é o terceiro maior produtor de frutas no mundo; ficando atrás somente da China e da Índia (TREICHEL et al., 2016). Segundo Carvalho et al. (2017), em 2016 foram colhidos cerca de 39,3 milhões de toneladas de frutas frescas no Brasil. Devido à grande extensão territorial, posição geográfica, tipo de solos e condições climáticas, o Brasil consegue produzir uma grande variedade de frutas temperadas, subtropicais e tropicais (REETZ et al., 2015), movimentando o mercado nacional o ano todo.

Ao contrário do Hemisfério Norte que grande parte das frutas produzidas e consumidas são de clima temperado (TREICHEL et al., 2016), no Brasil a produção é maior com frutas de clima tropical e subtropical (FACHINELLO et al., 2011). No entanto, a produção de frutas de clima temperado possui importância socioeconômica, principalmente nos estados das regiões Sul e Sudeste do Brasil (WREGGE et al., 2015), onde essa atividade é praticada principalmente em pequenas propriedades familiares (FACHINELLO et al., 2011). Além disso, as frutas de clima temperado, como a uva, maçã, pêsego, figo, damasco e oliva, possuem alto valor agregado (GOU et al., 2014). Um exemplo disso é a uva, principal fruta de clima temperado exportada pelo Brasil, que em 2016 teve um preço médio de exportação de 2,12 US\$ Kg⁻¹, aproximadamente 7,39 R\$ Kg⁻¹ (CARVALHO et al., 2017). Em comparação, para o mesmo período, a manga, que é a principal fruta de clima tropical exportada pelo país, teve um preço médio de exportação de 1,17 US\$ Kg⁻¹, aproximadamente 4,08 R\$ Kg⁻¹ (CARVALHO et al., 2017).

Programas de melhoramento genético tem contribuído para a melhoria da produção das frutíferas de clima temperado (FCT), introduzindo novos genótipos com menor exigência de frio invernal (BRUNETTO et al., 2016), possibilitando a adaptação e o estabelecimento em regiões em que o cultivo não é tradicional, principalmente pela não ocorrência de temperaturas inverniais muito baixas. Esse tipo de expansão nas áreas cultivadas com FCT tem ocorrido em maior escala na região Sudeste, principalmente em São Paulo (SP) e Minas Gerais (MG), ampliando o cultivo territorial (BRUNETTO et al., 2016).

Por esses motivos, as principais regiões produtoras de FCT do país são as regiões Sul e Sudeste do Brasil, que juntas são responsáveis por aproximadamente 91% da produção nacional (FACHINELLO et al., 2011). As regiões de Juazeiro na Bahia, Petrolina no Pernambuco e Chapada Diamantina na Bahia também produzem FCT, mas não devido ao clima e sim por causa de técnicas agronomicas. Segundo Fachinello et al. (2011), Brunetto et

al. (2016), Treichel et al. (2016) e Carvalho et al. (2017), as FCT que merecem destaque são: a uva, maçã, figo e as frutas de caroço (FC); como pêssego, ameixa e nectarina (Tabela 1). Além dessas, a oliveira tem apresentado grande expansão de áreas cultivadas no Brasil, principalmente nas regiões Sul e Sudeste (MARTINS et al., 2012; 2014; SANTOS et al., 2017; VIEIRA NETO et al., 2011; WREGGE et al., 2015).

Tabela 1 - Receita de exportações e porcentagem de produção no Sul e Sudeste das principais frutas de clima temperado produzidas no Brasil.

Frutas	Produção no Sul (%)	Produção no Sudeste (%)	Receita de exportações (US\$ Milhões)*
Uva**	67,0	11,6	65,3
Maçã**	99,3	0,6	18,3
Figo***	58,8	41,2	6,3
Frutas de caroço**	78,3	21,7	1,9

*As receitas de exportações foram adaptadas de Carvalho et al. (2017), **as porcentagens de produção no Sul e no Sudeste da uva, maçã e FC foram adaptadas de Brunetto et al. (2016), *** as porcentagens de produção do figo foram adaptadas de Fachinello et al. (2011).

Mesmo com o melhoramento genético e com a crescente expansão da fruticultura de espécies de clima temperado na região Sudeste (BRUNETTO et al., 2016), as áreas aptas e a produção podem ser reduzidas devido as mudanças climáticas (GOU et al., 2014; SANTOS et al., 2017). No Brasil, as projeções de mudanças climáticas para o final do século indicam aumento mínimo de 2 °C na temperatura, em todo o território nacional, sendo que a região Amazônica apresenta as maiores mudanças, com aumento projetado de até 5 °C ou mais (IPCC, 2013; TORRES, 2014). Já as projeções de mudança na precipitação indicam tendências heterogêneas, com aumento da precipitação em algumas áreas e redução em outras (WOLDEMESKEL et al., 2016).

Esses prognósticos indicam que grande parte do Brasil será afetado pelas mudanças climáticas (TORRES et al., 2012; TORRES; MARENGO, 2014), principalmente as regiões no qual suas economias são altamente associadas ao agronegócio (CERA; FERRAZ, 2015) como é o caso das regiões Sul e Sudeste. Isso ocorre, uma vez que modificações nos padrões climáticos alteram drasticamente as áreas aptas ao cultivo de determinadas culturas (ASSAD et al., 2013), principalmente as FCT que dependem da disponibilidade e acúmulo de frio invernal e padrões regulares de precipitação (MORIONDO et al., 2015; SANTOS et al., 2017; STEDUTO et al., 2012; TANASIJEVIC et al., 2014; WREGGE et al., 2015). Além disso, as mudanças climáticas podem modificar os padrões de evapotranspiração, assim como a duração dos estágios fenológicos; o que deve gerar grande impacto negativo no cultivo dessas

culturas (GARCÍA-MOZO et al., 2010; GOU et al., 2014; SANTOS et al., 2017; TANASIVEJIC et al., 2014).

Nesse contexto, esforços devem ser realizados a fim de determinar as áreas propícias à produção de FCT, assim como analisar as alterações nessas áreas em decorrência das mudanças climáticas. No Brasil, esse tipo de estudo é ainda mais importante, devido a lacuna significativa na avaliação dos impactos das mudanças climáticas em FCT cultivadas no país, especialmente na região Sudeste, o que serviu de incentivo para a realização deste estudo.

Por isso, o objetivo geral desta dissertação foi avaliar o impacto das mudanças climáticas no zoneamento de aptidão climática das principais frutíferas de clima temperado nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, por meio de 21 modelos de projeções climáticas, considerando dois períodos futuros (2021-2050, 2071-2100). Esta dissertação está dividida em três capítulos: o Capítulo I teve como objetivo verificar as projeções climáticas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, utilizando o conjunto dados do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) regionalizados através de *downscaling* estatístico pelo *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections* (NEX-GDDP), nos cenários forçantes chamados *Representative Concentration Pathways* (RCP) 4.5 e 8.5; o Capítulo II teve como objetivo verificar como o número de horas de frio delimita as áreas aptas das principais FCT, para as condições climáticas atuais e futuras; e o Capítulo III teve como objetivo determinar o balanço hídrico climatológico para as condições climáticas atuais e futuras para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, e verificar como a deficiência hídrica influenciará na delimitação das áreas aptas do cultivo das FCT.

CAPÍTULO I

PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS REGIÕES SUL E SUDESTE DO BRASIL

1.1. INTRODUÇÃO

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (sigla em inglês, IPCC), em seu quinto relatório de avaliação (sigla em inglês, IPCC AR5), utilizando observações desde o século XX; evidenciou variações significativas nos parâmetros climáticos por todo o globo (IPCC, 2013; PENNEREIRO et al., 2016). Segundo o IPCC (2013), a ocorrência dessas variações dos parâmetros com significância estatística, que se mantêm ao longo do tempo (acima de várias décadas), caracterizam mudanças climáticas. Apesar do clima apresentar uma variabilidade natural, nas últimas décadas vários fenômenos e eventos atmosféricos estão acontecendo em uma frequência e magnitude jamais observados no passado, evidenciando as mudanças climáticas (IPCC, 2013).

As projeções climáticas dos modelos integrantes do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5), usado no IPCC AR5, apontam para o final do século XXI alterações nos padrões climáticos em diversos elementos meteorológicos, principalmente na precipitação e na temperatura do ar (IPCC, 2013; TORRES et al., 2012; TORRES, 2014; TORRES; MARENGO, 2014). As projeções climáticas do CMIP5 são realizadas utilizando-se a nova geração de cenários forçantes intitulados *Representative Concentration Pathways* – RCPs e denominados como RCP 2.6, 4.5, 6.0, e 8.5 que correspondem a uma forçante radiativa aproximada no final do século XXI de 2.6, 4.5, 6.0, e 8.5 $W.m^{-2}$, respectivamente, relativo às condições pré-industriais (MOSS et al., 2010). Com relação às concentrações de CO_2 equivalente, os RCPs 2.6, 4.5, 6.0, e 8.5, correspondem, respectivamente, a 490, 650, 850, e 1370 ppm, em 2100 (VAN VUUREN et al., 2011).

De acordo com os prognósticos das projeções climáticas, o Brasil deve ser uma das regiões mais impactadas pelas mudanças climáticas (TORRES; MARENGO, 2014); tendo em vista a grande participação do agronegócio na economia nacional (MOREIRA et al., 2016), a dependência das condições climáticas do sistema energético brasileiro (SCHAEFFER et al., 2008), a suscetibilidade a ocorrências de doenças epidêmicas (CONFALONIERI et al., 2014) e a vulnerabilidade a eventos extremos (RUSTICUCCI et al., 2010).

No contexto regional, as regiões Sudeste e Sul também devem sofrer impactos das mudanças climáticas, mesmo essas regiões sendo as mais ricas do país e juntas somarem aproximadamente 72% do PIB nacional (IBGE, 2011). Segundo Torres et al. (2012) e Darela Filho (2016), a região Sudeste (que comporta mais de 42% da população nacional), sobretudo as regiões metropolitanas, podem ser bastante afetadas pelas mudanças climáticas, principalmente aquelas relacionadas com alterações no regime de precipitação, temperatura e extremos climáticos. Já a região Sul que possui uma contribuição de 36% (IBGE, 2017) na produção agrícola nacional, tem sua economia amplamente baseada no agronegócio e, portanto, também pode ser impactado pelas mudanças climáticas (CERA; FERRAZ, 2015).

Para realizar as projeções climáticas os cientistas utilizam os chamados Modelos do Sistema Terrestre, que tentam representar em códigos computacionais o comportamento geral da atmosfera, hidrosfera, biosfera, litosfera e criosfera. No entanto, mesmo com os avanços desses modelos e o crescimento de recursos computacionais, os modelos continuam sendo processados com baixa resolução espacial, da ordem de centenas de quilômetros (PEREIRA, 2015). Para minimizar esse problema de resolução espacial foi gerado o conjunto de dados *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections* (NEX-GDDP) pela NASA (THRASHER et al., 2012). O conjunto de dados do NEX-GDDP compilou 42 projeções climáticas de 21 modelos do CMIP5 em dois RCPs: o RCP 4.5 e o 8.5. Essas regionalizações do NEX-GDDP utilizaram um método de *downscaling* estatístico para produzir um conjunto de dados em escala reduzida das projeções climáticas do CMIP5, o qual facilita a avaliação dos impactos das mudanças climáticas em questões de menor escala (THRASHER et al., 2012); como questões agrícolas. Portanto, cada projeção climática dos modelos do NEX-GDDP possuem resolução espacial de 0,25 graus de latitude x 0,25 graus de longitude, cerca de 25 km x 25 km.

Nesse contexto, as projeções do NEX-GDDP constituem uma fonte de dados importante para verificar os impactos de mudanças climáticas, principalmente em regiões que possuem sua economia baseada em agronegócios. Por isso, o objetivo deste capítulo foi verificar as projeções climáticas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, utilizando o conjunto de dados do NEX-GDDP.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1. Dados de projeção climática

Para as projeções do clima futuro foram utilizadas as simulações e projeções dos 21 modelos integrantes do conjunto de dados NEX-GDDP (THRASHER et al., 2012) mencionados anteriormente; que derivam das projeções climáticas do conjunto de Modelos do Sistema Terrestre integrantes do CMIP5 (analisados no IPCC AR5), fornecidas pelo *Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison* e disponibilizados pelo *Earth System Grid data portal* (TAYLOR et al., 2012). Os 21 modelos regionalizados pelo NEX-GDDP são: ACCESS1-0; BCC-CSM1-1; BNU-ESM; CanESM2; CCSM4; CESM1-BGC; CNRM-CM5; CSIRO-Mk3-6-0; GFDL-CM3; GFDL-ESM2G; GFDL-ESM2M; INMCM4; IPSL-CM5A-LR; IPSL-CM5A-MR; MIROC-ESM; MIROC-ESM-CHEM; MIROC5; MPI-ESM-LR; MPI-ESM-MR; MRI-CGCM3; NorESM1-M.

O conjunto de dados do NEX-GDDP possui projeções para os cenários de forçante radiativa RCPs 4.5 e o 8.5. O RCP 4.5 é um cenário que representa um comportamento intermediário dos cenários RCPs, já o RCP 8.5 representa o cenário com a forçante mais intensa e, portanto, o cenário que conduz as maiores modificações no regime pluviométrico e os maiores aumentos de temperatura por todo o globo.

Foram utilizados dados diários de P (mm dia⁻¹), TM e Tm do ar próximo à superfície (°C) simulados e projetados pelos modelos regionalizados do NEX-GDDP. Os dados são originalmente simulados para um período de 1950 a 2005, chamado período *historical*, mas afim de comparação com os dados observados foram utilizados como Período Histórico (PH) os dados simulados para o período de 1981 a 2005. Para as projeções climáticas foram considerados dois períodos futuros: Futuro Próximo (FP) de 2021 a 2050 e Futuro Distante (FD) de 2071 a 2100.

1.2.2. Dados observados e área de estudo

Para validar os dados projetados, foram utilizados dados diários observados de precipitação acumulada (P, mm dia⁻¹), temperaturas máxima (TM) e mínima (Tm) do ar (°C). Esses dados foram obtidos de 151 estações meteorológicas (Anexo 1); sendo: 113 estações meteorológicas convencionais e 1 estação meteorológica automática pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 6 estações meteorológicas convencionais pretencentes ao Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), 18 estações meteorológicas automáticas pertencentes ao Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), 4 estações meteorológicas

automáticas pertencentes a Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2 estações meteorológicas automáticas pertencentes ao Centro de Tecnologia Canaveira (CTC), 3 estações meteorológicas convencionais pertencentes ao *Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria* (INIA) do Uruguai, 3 estações meteorológicas convencionais pertencentes ao *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria* (INTA) da Argentina e uma estação meteorológica convencional pertencente ao Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI).

Dessas estações, 133 estão localizadas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. As 18 demais estão localizadas próximas as fronteiras dessa região, pois dessa forma a interpolação dos dados consegue abranger toda a área das regiões Sul e Sudeste com maior precisão (Figura 1.1).

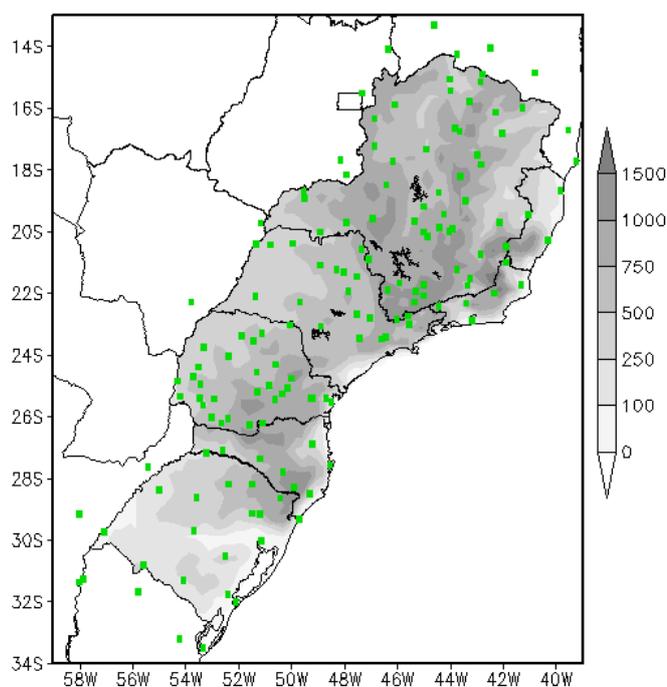


Figura 1.1 - Disposição geográfica das estações meteorológicas. Em verde a localização das estações meteorológicas e em cinza a topografia da área de estudo, em metros acima do nível do mar.

Essas estações meteorológicas foram selecionadas, pois apresentavam séries históricas suficientes para a realização de estudos de zoneamento de aptidão climática, que necessita de um período mínimo de 10 anos segundo o recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (sigla do inglês, WMO) (SUGAHARA, 1999). O período de dados utilizado foi de 1981 a 2015, denominado Período Presente (PP). Meses com 5 ou mais dias de dados faltantes foram considerados insuficientes e foram excluídos da série (WMO, 1989).

A partir da série de dados diários foram calculados o acumulado mensal de precipitação e as médias mensais de temperatura média, máxima e mínima. Série de dados

podem apresentar dados errôneos e para identificá-los foram estabelecidos limites inferiores e superiores para cada variável em cada estação meteorológica. Desta forma, os valores abaixo ou acima desses limites; que não se apresentam semelhantes as estações vizinhas, são considerados dados errôneos.

Tais limites foram determinados pela Variação Interquartil (*Inter Quartile Range*, IQR), em que IQR é igual a diferença entre o terceiro quartil (Q3) e o primeiro quartil (Q1) (GONZÁLEZ-ROUCO et al., 2001). Para a precipitação o limite inferior foi estabelecido como zero (LI = 0) e o limite superior por $LS = P98 + 3IQR$; em que P98 é o percentil 98º (REBOITA et al., 2015). Com relação a temperatura, o limite inferior foi definido por $LI = Q3 - 3 IQR$ e o limite superior por $LS = Q3 + 3 IQR$ (SEO, 2006). Para a temperatura, o cálculo foi realizado para os meses com menos de 5 dias faltantes (WMO, 1989), apesar da precipitação necessitar meses com nenhum dia sem dados, foi considerado a mesma regra da temperatura, por ser menos restritivo.

Nessa análise para as temperaturas não foram encontrados dados fora dos limites inferiores e superiores. Para a precipitação foram encontrados dados errôneos em Cordeiro no Rio de Janeiro (RJ) (01/2007), Marinópolis em SP (01/2005), Pirapora em MG (01/1983), Itamarandiba em MG (01/1985) e Vitória da Conquista na Bahia (03/2004). Esses meses com dados errôneos de precipitação foram retirados da série e conseqüentemente dos próximos cálculos.

1.2.3. Médias climatológicas e desvio padrão

Para as três variáveis e para os períodos PP, PH, FP e FD foram calculadas as médias climatológicas seguindo as recomendações da WMO (1989), estabelecidas no documento técnico WMO/TD-Nº. 341. Para o PP foram utilizados os dados observados das 151 estações meteorológicas. Para o PH foram utilizados os dados observados das estações meteorológicas com mais de 10 anos de dados para o período e a média dos dados simulados dos 21 modelos do NEX-GDDP. Para os períodos FP e FD foram utilizadas as médias dos dados das projeções climáticas dos 21 modelos do NEX-GDDP, exceto para a P, que utilizou apenas 20 modelos, pois o modelo ACCESS1-0 não apresentou dados consistentes para essa variável. Considerando x como os meses variando de janeiro a dezembro, sendo janeiro igual 1 e dezembro igual a 12, temos:

$$\overline{TM}_x = \frac{\sum_{i=1}^n TM_x}{n} \quad (1)$$

$$\overline{Tm}_x = \frac{\sum_{i=1}^n Tm_x}{n} \quad (2)$$

$$\overline{P}_x = \frac{\sum_{i=1}^n P_x}{n} \quad (3)$$

em que: n é o número de anos do período, \overline{TM}_x é a média climatológica da temperatura máxima para o x -ésimo mês ($^{\circ}\text{C}$), TM_x é a média da temperatura máxima para o x -ésimo mês do i -ésimo ano ($^{\circ}\text{C}$), \overline{Tm}_x é a média climatológica da temperatura mínima para o x -ésimo mês ($^{\circ}\text{C}$), Tm_x é a média da temperatura mínima para o x -ésimo mês do i -ésimo ano ($^{\circ}\text{C}$), \overline{P}_x é a média climatológica da precipitação para o x -ésimo mês (mm mês^{-1}) e P_x é o acumulado de precipitação para o x -ésimo mês do i -ésimo ano (mm mês^{-1}).

As mudanças das projeções climáticas em relação ao PH para a precipitação ($\overline{\Delta P_{F_RCP}}$), a temperatura máxima ($\overline{\Delta TM_{F_RCP}}$) e a temperatura mínima ($\overline{\Delta Tm_{F_RCP}}$) foram calculadas mensalmente e posteriormente sazonalmente. Esses cálculos foram realizados pela diferença entre as médias climatológicas dos períodos futuros (FP e FD) e a média climatológica do PH:

$$\overline{\Delta TM_{F_RCP}_x} = \overline{TM_{F_RCP}_x} - \overline{TM_{PH}_x} \quad (4)$$

$$\overline{\Delta Tm_{F_RCP}_x} = \overline{Tm_{F_RCP}_x} - \overline{Tm_{PH}_x} \quad (5)$$

$$\overline{\Delta P_{F_RCP}_x} = \overline{P_{F_RCP}_x} - \overline{P_{PH}_x} \quad (6)$$

em que: F é o período futuro (FP ou FD), RCP é o cenário forçante (RCP 4.5 ou 8.5), $\overline{TM_{PH}_x}$ é a média climatológica de temperatura máxima do PH para o x -ésimo mês ($^{\circ}\text{C}$), $\overline{TM_{F_RCP}_x}$ é a média climatológica de temperatura máxima dos cenários futuros para o x -ésimo mês ($^{\circ}\text{C}$), $\overline{Tm_{PH}_x}$ é a média climatológica de temperatura mínima do PH para o x -ésimo mês ($^{\circ}\text{C}$), $\overline{Tm_{F_RCP}_x}$ é a média climatológica de temperatura mínima dos cenários

futuros para o x -ésimo mês ($^{\circ}\text{C}$), $\overline{P_{PH_x}}$ é a média climatológica de precipitação do PH para o x -ésimo mês (mm mês^{-1}), $\overline{P_{F_RCP_x}}$ é a média climatológica de precipitação dos cenários futuros para o x -ésimo mês (mm mês^{-1}).

Para verificar a concordância dos modelos do NEX-GDDP também foi calculado mensalmente e posteriormente sazonalmente o desvio padrão (DP). O desvio padrão é uma medida que indica a dispersão em torno da média, ou seja, quanto menor o desvio padrão maior a convergência das projeções dos modelos. Considerando x como os meses variando de janeiro a dezembro, isto é, x variando de 1 a 12, temos:

$$DPTM_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^z (\overline{TM_{z,x}} - \overline{TM_x})^2}{z-1}} \quad (7)$$

$$DPTm_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^z (\overline{Tm_{z,x}} - \overline{Tm_x})^2}{z-1}} \quad (8)$$

$$DPP_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^z (\overline{P_{z,x}} - \overline{P_x})^2}{z-1}} \quad (9)$$

em que: z é o número de modelos, $DPTM_x$ é o desvio padrão da média climatológica da temperatura máxima, $\overline{TM_{z,x}}$ é a média climatológica da temperatura máxima no modelo z para o x -ésimo mês ($^{\circ}\text{C}$), $DPTm_x$ é o desvio padrão da média climatológica da temperatura mínima, $\overline{Tm_{z,x}}$ é a média climatológica da temperatura mínima no modelo z para o x -ésimo mês ($^{\circ}\text{C}$), DPP_x é o desvio padrão da média climatológica da precipitação e $\overline{P_{z,x}}$ é a média climatológica da precipitação no modelo z para o x -ésimo mês (mm mês^{-1}).

Uma vez calculadas as médias climatológicas com os dados observados para o PP, esses dados foram espacializados para uma grade regular cobrindo toda a área de estudo, utilizando-se o método Ordinary Krigging (CRESSIE, 1988; WICKHAM, 2014) implementado no software R versão 3.4.1 (R CORE TEAM, 2017). O método de Kriging foi selecionado por ser o mais adequado na transformação de dados dispersos para uma grade regular (CHEN; KNUTSON, 2008; JONES, 1999).

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1. Média climatológica sazonal para o período presente

A TM apresenta grande variabilidade espacial nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, variando de 18 °C na fronteira sul do Rio Grande do Sul (RS) a mais de 33 °C no norte de MG (Figura 1.2).

No verão os raios solares incidem perpendiculares a grande parte das regiões Sul e Sudeste (REBOITA et al., 2012) determinando esta estação como a mais quente do ano (Figura 1.2a-e). Isso ocorre devido a inclinação do eixo da Terra, pois a medida que o planeta realiza o movimento de translação, o seu eixo de inclinação permite que um dos hemisférios receba maior radiação solar, e conseqüentemente maior aquecimento (REBOITA et al., 2012); no verão austral o Hemisfério Sul recebe maior radiação solar. Apenas no centro-norte de MG a primavera é a estação do ano que apresenta as maiores temperaturas máximas (Figura 1.2d-h); isso acontece, pois apesar da quantidade de radiação solar ser semelhante ao verão, na primavera a insolação é maior nessa região do estado (CEMIG, 2012). Durante os meses de verão ocorrem as maiores atividades convectivas, ocasionando grande nebulosidade (QUADRO et al., 1996), conseqüentemente menos insolação.

No inverno são registradas as menores temperaturas máximas em toda a região (Figura 1.2c-g). Na região Sul e nas serras da região Sudeste a diferença entre as temperaturas máximas do verão e do inverno são grandes, entre 12 a 15 °C (Figuras 1.2a e 1.2c). Isso ocorre, pois ao contrário do verão, no inverno os raios solares incidem com o máximo de inclinação sobre as regiões Sul e Sudeste do Brasil (REBOITA et al., 2012), caracterizando menor incidência de radiação solar. Exceto pelas regiões serranas, nas demais áreas da região Sudeste a TM não apresenta grande diferença entre verão e inverno (Figuras 1.2a e 1.2c), pois nessas áreas, nos meses de inverno, registra-se mais horas de insolação (CEMIG, 2012), devido à baixa nebulosidade. No inverno a nebulosidade é baixa na região Sudeste, pois o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) adentra o continente e atua sobre essa região do país. O ASAS é uma região de alta pressão atmosférica com centro no oceano Atlântico Sul e movimentos de subsidência de ar, que inibem a formação de nuvens (DEGOLA, 2013).

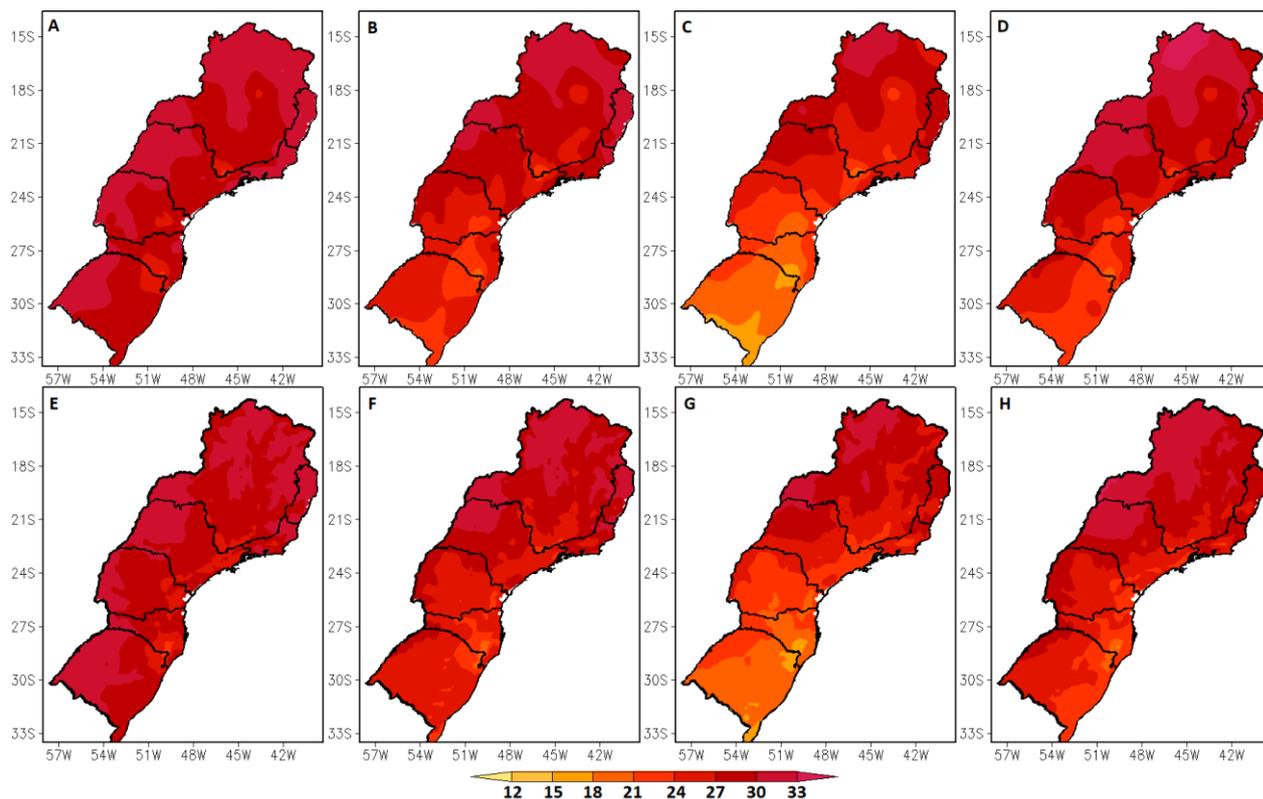


Figura 1.2 - Média climatológica de temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) para as regiões Sul e Sudeste no verão, no outono, no inverno e na primavera; observados para o período de 1981 a 2015 (a, b, c e d, respectivamente) e simulados para o período de 1981 a 2005 (e, f, g e h, respectivamente).

A média climatológica da Tm nas regiões Sul e Sudeste (Figura 1.3) apresentam comportamento semelhante a TM (Figura 1.2), com valores maiores registrados no verão (Figura 1.3a-e) e valores menores registrados no inverno (Figura 1.3c-g) em toda a área. Enquanto em grande parte da região Sul e nas regiões serranas do Sudeste a média da Tm no inverno fica abaixo de 12°C , no verão chegam a mais de 24°C no Triângulo Mineiro, nordeste de MG, norte de SP, norte do Paraná (PR) e nas regiões litorâneas do Rio de Janeiro e do Espírito Santo (ES). Na Serra da Mantiqueira, localizada na divisa entre o sul de MG e SP e na Serra Geral, localizada na divisa entre Santa Catarina (SC) e o RS, a média climatológica de temperatura mínima é inferior a 12°C não apenas no inverno (Figura 1.3c-g) como também no outono (Figura 1.3b-f) e na primavera (Figura 1.3d-h).

No verão, a alta nebulosidade dificulta a perda radiativa noturna, favorecendo o aumento de Tm (Figura 1.3a-e). Apenas nas regiões da Serra do Espinhaço (em Minas Gerais), Serra da Mantiqueira (em MG e SP), Serra do Mar (porção localizada apenas no PR) e Serra Geral (SC e RS), as temperaturas mínimas são mais amenas, registrando cerca de 18°C . No inverno com a menor nebulosidade no Sudeste devido ao ASAS (DEGOLA, 2013), tem-se que grande parte da radiação solar recebida é perdida para o espaço, favorecendo o

resfriamento noturno e as menores temperaturas mínimas (Figura 1.3c-g), principalmente nas regiões serranas.

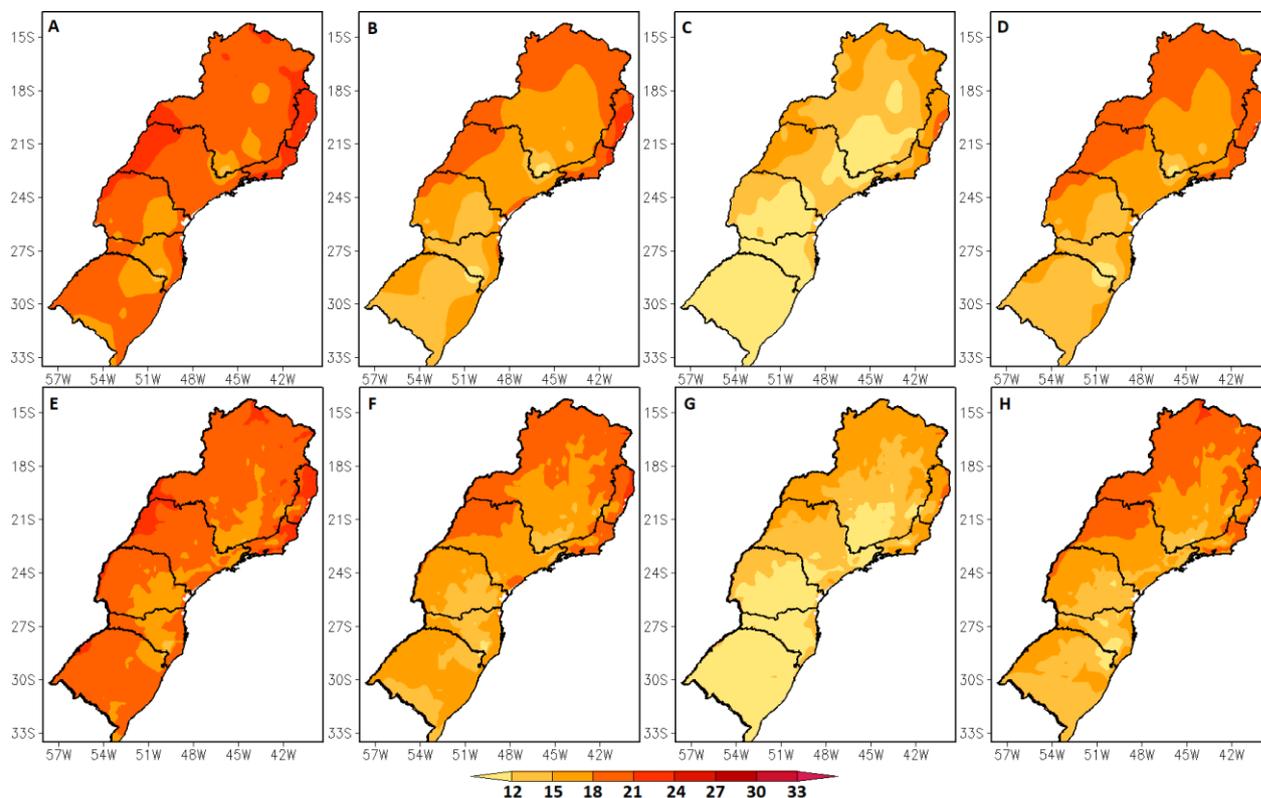


Figura 1.3 - Média climatológica de temperatura mínima (°C) para as regiões Sul e Sudeste no verão, no outono, no inverno e na primavera; observados para o período de 1981 a 2015 (a, b, c e d, respectivamente) e simulados para o período de 1981 a 2005 (e, f, g e h, respectivamente).

A distribuição da média climatológica de P nas regiões Sul e Sudeste do Brasil no verão (Figura 1.4a-e), outono (Figura 1.4b-f), inverno (Figura 1.4c-g) e primavera (Figura 1.4d-h) demonstram que a região Sudeste do Brasil apresenta bastante heterogeneidade na distribuição anual de chuvas (REBOITA et al., 2012), com maiores precipitações no verão (Figura 1.4a-e) e menores valores no inverno (Figura 1.4c-g), em toda sua extensão. Os maiores valores são registrados nas regiões sul e litoral de SP e oeste de MG; enquanto que os menores valores são registrados no norte de MG. Analogamente a região Sul do Brasil apresenta bastante homogeneidade na distribuição anual de chuvas (REBOITA et al., 2012), com valores mais elevados no centro-este dessa região e valores menores de P diária no sul do RS.

A grande variabilidade temporal na distribuição de P diária no Sudeste ocorre, pois, a região pertence ao Sistema de Monção da América do Sul (SMAS), e por isso apresenta grandes contrastes entre inverno seco (Figura 1.4c-g) e verão chuvoso (Figura 1.4a-e) (GARCIA; KAYANO, 2009; RAO et al., 1996). Associada ao SMAS está uma banda de

nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste, o qual é relacionada a uma forte região de convergência em baixos níveis, que se estende desde a Amazônia até o Atlântico Sul (QUADRO et al., 2016). Essa banda de nebulosidade é denominada Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (QUADRO et al., 2016; REBOITA et al., 2012) e é responsável por transportar umidade da região Amazônica para a região Sudeste, contribuindo bastante para os elevados totais pluviométricos durante o seu período de atuação, que se inicia no fim da primavera (Figura 1.4d-h) e se estende durante todo o verão austral (Figura 1.4a-e). No inverno, o ASAS atua sobre o Sudeste do país. O ASAS é uma região de alta pressão atmosférica com centro no oceano Atlântico Sul no qual predominam movimentos subsidentes de ar, os quais afastam as instabilidades tropicais, inibem a passagem de frentes frias e a formação de nuvens, entre outras influências (DEGOLA, 2013). Por isso no inverno a P diária diminui em praticamente toda a região Sudeste (Figura 1.4c-g). A precipitação sazonal no Sudeste também apresenta grande variabilidade espacial; isso ocorre principalmente pois o período chuvoso tende a ter início mais precoce e duração maior em grande parte do litoral paulista; em média inicia-se em meados de setembro e possui duração entre 210 a 229 dias, enquanto nas regiões do Vale do Jequitinhonha e norte de Minas Gerais, o início das chuvas ocorre em média no final de outubro e tem duração entre 155 dias e 173 dias (MINUZZI et al., 2007). Além disso, durante o inverno, os sistemas frontais que adentram a região Sudeste geralmente são deslocados em direção ao Atlântico, contribuindo com P somente nas regiões litorâneas (Figura 1.4) (MINUZZI et al., 2007).

Segundo Reboita et al. (2012), a atuação dos sistemas frontais, dos sistemas convectivos de mesoescala (SCM), e dos ciclones extratropicais, contribuem para a região Sul ter altos valores pluviométricos e baixa variabilidade de precipitação diária entre as estações do ano (Figura 1.4). Segundo os mesmos autores, os sistemas frontais correspondem à zona de transição entre duas massas de ar, sendo uma de ar mais frio e denso, e uma de ar mais quente e menos denso. Em frentes frias, por exemplo, a massa de ar frio força a massa de ar quente a subir, favorecendo a formação de nuvens e chuva. Dentre os SCM, os complexos convectivos de mesoescala (CCMs) são os mais comuns na região Sul. Segundo Viana et al. (2009), os CCMs são aglomerados de nuvens convectivas com formato aproximadamente circular e desenvolvimento rápido (entre seis e doze horas). Já os ciclones são regiões de baixa pressão sobre os oceanos, onde os ventos se convergem e favorecem a formação de nuvens, chuvas e ventos fortes (REBOITA et al., 2009). Por fim, a ZCAS pode influenciar indiretamente no

regime de P, por induzir movimentos descendentes intensos no sul do Brasil (REBOITA et al., 2012).

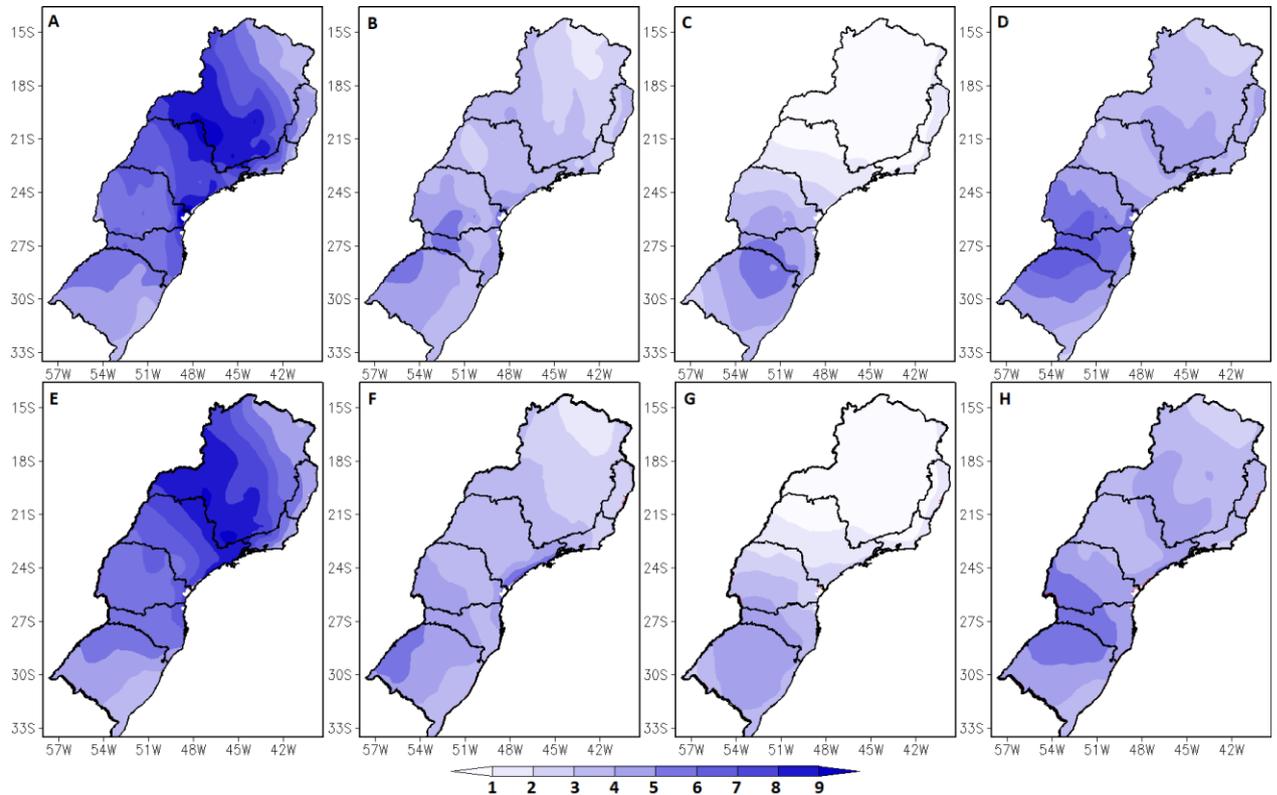


Figura 1.4 - Média climatológica de precipitação diária (mm dia^{-1}) para as regiões Sul e Sudeste no verão, no outono, no inverno e na primavera; observados para o período de 1981 a 2015 (a, b, c e d, respectivamente) e simulados para o período de 1981 a 2005 (e, f, g e h, respectivamente).

1.3.2. Incertezas das projeções climáticas para as regiões Sul e Sudeste do Brasil

Para verificar a representatividade da simulação dos modelos foi realizada uma análise do conjunto de dados observados e simulados para o período de 1981 a 2005. Essa análise consiste em verificar se o padrão sazonal e espacial da série observada é bem representado pela simulação dos modelos. Segundo Valverde e Marengo (2010) e Torres (2014), quando os modelos climáticos conseguem simular o clima sazonal presente e passado, há grandes possibilidades de suas projeções futuras serem mais assertivas.

Um método bastante usado para sintetizar os resultados de uma projeção por conjunto é a produção de uma média simples, onde para cada membro é atribuído igual probabilidade de ocorrência (SANTOS et al., 2015). Segundo Santos et al. (2015), esta metodologia tem-se demonstrado hábil em produzir resultados mais próximos aos observados do que qualquer membro isolado do conjunto, principalmente em regiões amplas como as regiões Sul e

Sudeste do Brasil. Em regiões grandes, um modelo isolado pode representar bem uma área e mal uma outra área, quando utiliza-se um conjunto de modelos as áreas que não são bem representadas terminam-se anulando ou minimizando, restando apenas as mais significativas.

Para a região Sudeste a TM simulada pelos modelos tende a superestimar a média climatológica observada, de maio a setembro (Figura 1.5a). O mês com maior diferença entre a média dos modelos e os dados observados foi o mês de julho, com diferença de 0,75 °C. Nos meses de outubro a dezembro, os modelos subestimaram em -0,55 °C a média climatológica de TM para a região Sudeste. Para a região Sul tende a superestimar o ano todo, mas principalmente no outono e no inverno; com maior diferença de 0,95 °C no mês de julho (Figura 1.5b). Por fim, nas duas regiões em nenhum mês a diferença entre simulado e observado foi maior que 1 °C, além disso o ciclo médio anual e sazonal foi bem representado, sugerindo que a média dos modelos pode ser utilizada.

As simulações dos modelos tendem a superestimar a média climatológica de Tm, principalmente nos meses de inverno em ambas as regiões Sul e Sudeste (Figura 1.5c-d). O mês com a maior diferença entre os dados simulados e observados também foi o mês de julho na região Sudeste, com diferença aproximada de 0,9 °C. Já para a região Sul, o mês com maior diferença foi o mês de setembro, com 0,85 °C. Essa maior diferença nos meses mais frios também foi observada por Woldemeskel et al. (2016), que identificaram que a incerteza dos modelos para a temperatura, é maior nas épocas mais frias e nas regiões frias extratropicais. Assim como a TM, em nenhum dos meses a diferença entre a média da simulação dos modelos e o observado foi maior que 1 °C; e apesar das superestimativas, o ciclo médio anual e sazonal foi bem representado. Portanto a média dos modelos pode também ser utilizada como forma de representar o comportamento sazonal médio da Tm.

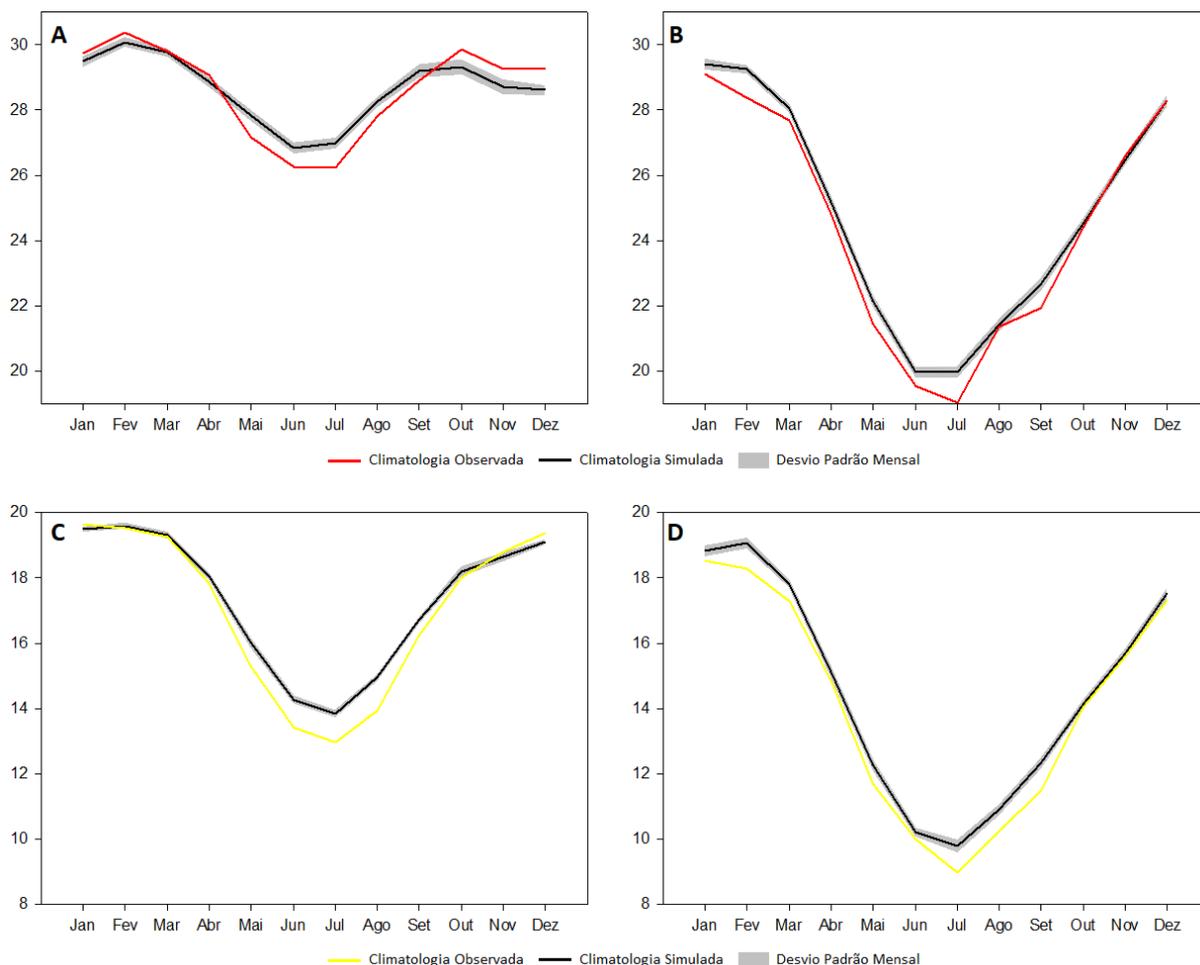


Figura 1.5 - Média climatológica mensal observada e simulada para as regiões Sudeste e Sul de temperatura máxima (°C) (a e b, respectivamente) e temperatura mínima (°C) (c e d, respectivamente), assim como o seu desvio padrão; para o período de 1981 a 2005.

Para a região Sudeste (Figura 1.6a), apenas em julho e em outubro a média climatológica de P mensal foi maior que a média das simulações mais o desvio padrão, sendo o mês de outubro o que possui maior diferença (aproximadamente 13 mm m-1). Já a região Sul apresentou maiores diferenças entre o observado e o simulado pelos modelos, sendo que em geral os modelos superestimam a P (Figura 1.6b). O mês que mais apresentou diferenças entre o observado e o simulado na região Sul foi o mês de maio, com diferença de aproximadamente 22 mm m-1 . Apesar das diferenças, o ciclo médio anual e sazonal foi bem representado, principalmente na região Sudeste, portanto a média dos modelos pode ser utilizada para representar o comportamento sazonal médio da P mensal.

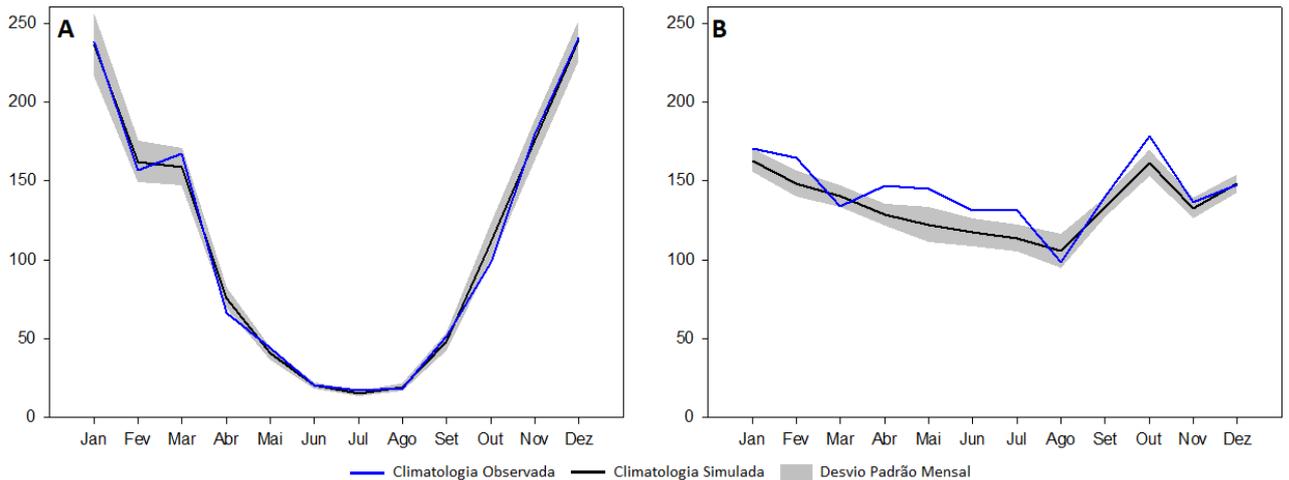


Figura 1.6 - Média climatológica mensal observada e simulada da precipitação (mm mês^{-1}) para as regiões Sudeste e Sul (a e b, respectivamente), assim como o seu desvio padrão; para o período de 1981 a 2005.

Segundo Woldemeskel et al. (2016) a incerteza dos modelos é decorrente principalmente, de uma compreensão incompleta do sistema climático e/ou a dificuldade em incorporar esse entendimento nos modelos. Portanto, uma abordagem mais viável é caracterizar a incerteza através da análise multimodal, ou seja, forçar modelos de avaliação de impacto através de resultados de um conjunto de modelos climáticos para uma variedade de modificações e forçantes radiativas.

Com o desvio padrão médio sazonal dos modelos NEX-GDDP é possível verificar as áreas com maiores discrepâncias entre os modelos e, portanto, as áreas e cenários com maiores incertezas (Tabela 1.1). Considerando todas as variáveis, o desvio padrão apresenta pequena diferença em relação a sazonalidade; porém observa-se uma clara tendência crescente em relação à incerteza nos cenários com RCP 8.5 e no FD.

Com relação às temperaturas, no PH os modelos apresentam discrepâncias muito baixas, pois apresentam desvio padrão menor que $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ em toda a área, nas quatro estações do ano. Para o período FP, nos dois RCPs, o desvio padrão não supera $0,85\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo maior na primavera. Para o período FD o máximo desvio padrão é de $1,544\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo que no RCP 8.5 estão os maiores, principalmente no verão e na primavera.

Para a P média sazonal (mm mês^{-1}) é apresentado o desvio padrão de 20 modelos do NEX-GDDP, pois o modelo ACCESS1-0 não apresentou série de dados válidos. Como no verão chove mais na região Sudeste e no inverno e primavera chove mais na região Sul, os desvios padrões seguiram esse comportamento.

Tabela 1.1 - Desvio padrão médio sazonal das regiões Sul e Sudeste do Brasil, para as variáveis temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C) e precipitação; nos períodos PH, FP e FD; nos RCPs 4.5 e 8.5.

Cenário	Estação	Temperatura Máxima		Temperatura Mínima		Precipitação	
		Sudeste	Sul	Sudeste	Sul	Sudeste	Sul
PH	Verão	0,16	0,17	0,09	0,16	17,7	10,4
PH	Outono	0,16	0,17	0,13	0,17	9,4	11,1
PH	Inverno	0,17	0,17	0,12	0,17	2,8	11,1
PH	Primavera	0,24	0,19	0,14	0,15	10,5	9,4
RCP 4.5 FP	Verão	0,62	0,52	0,43	0,44	28,0	17,3
RCP 4.5 FP	Outono	0,60	0,44	0,41	0,40	14,9	15,3
RCP 4.5 FP	Inverno	0,59	0,48	0,45	0,40	4,1	16,6
RCP 4.5 FP	Primavera	0,81	0,76	0,52	0,55	18,2	19,4
RCP 4.5 FD	Verão	0,86	0,76	0,67	0,64	31,4	19,2
RCP 4.5 FD	Outono	0,74	0,56	0,61	0,54	16,7	18,8
RCP 4.5 FD	Inverno	0,79	0,67	0,68	0,60	5,1	20,3
RCP 4.5 FD	Primavera	1,21	1,11	0,89	0,77	19,8	23,4
RCP 8.5 FP	Verão	0,64	0,56	0,46	0,45	26,5	16,6
RCP 8.5 FP	Outono	0,56	0,44	0,41	0,38	14,3	15,2
RCP 8.5 FP	Inverno	0,48	0,51	0,41	0,40	3,8	15,3
RCP 8.5 FP	Primavera	0,77	0,80	0,53	0,58	16,3	19,8
RCP 8.5 FD	Verão	1,34	1,19	1,09	1,01	46,3	27,4
RCP 8.5 FD	Outono	1,13	0,97	1,07	0,91	25,9	25,3
RCP 8.5 FD	Inverno	1,05	0,96	0,99	0,83	5,5	22,3
RCP 8.5 FD	Primavera	1,42	1,54	1,17	1,11	27,4	35,4

De acordo com Santos et al. (2015), no verão da região Sudeste, a incerteza dos modelos é maior que nos meses de inverno, devido à maior variabilidade da precipitação neste período. Esses autores concluem também que a confiabilidade das projeções de P na América do Sul aumenta quando faz-se o estudo sazonalmente e que as simulações dos modelos do CMIP5 apresentam alta confiabilidade para quase toda a América do Sul. Segundo Woldemeskel et al. (2016) para a P, a incerteza dos Modelos do Sistema Terrestre, como os modelos do CMIP5 do qual os modelos do NEX-GPPD derivam, é maior em regiões do mundo que recebem chuvas intensas, bem como áreas montanhosas e costeiras. Eles ainda afirmam que melhorias nas parametrizações dos modelos geraram menores incertezas na P nas projeções do CMIP5, em relação as projeções anteriores, garantindo dados bastantes confiáveis.

Segundo Valverde e Marengo (2010), a discrepância entre os modelos também está associada a diferença em reproduzir a posição climatológica de alguns sistemas atmosféricos. De acordo com esses autores alguns modelos como o GFDL, entre outros, apresentam,

principalmente, no verão e na primavera, deslocamento da baixa continental, para o sudoeste da sua posição climatológica. Além disso, eles também afirmam que existe discrepâncias entre os modelos na posição e intensidade das ZCAS, o que se reflete diretamente na quantidade de chuva sobre as regiões Sul e Sudeste do Brasil, uma vez que a ZCAS é a principal contribuidora de chuvas para a região Sudeste e o seu posicionamento pode induzir movimentos descendentes intensos no sul do Brasil, inibindo a formação de nuvens e precipitação (REBOITA et al., 2012).

1.3.3. Projeções climáticas para as regiões Sul e Sudeste do Brasil

As projeções de aumento de TM média sazonal para o período FP com RCP 4.5 (Figuras 1.7a-d), para o período FP com RCP 8.5 (Figuras 1.7e-h), para o período FD com RCP 4.5 (Figuras 1.7i-l) e para o período FD com RCP 8.5 (Figuras 1.7m-p); indicam um aumento de TM de pelo menos 1 °C, sendo menor no RCP 4.5 e maior no RCP 8.5, e mais acentuado no FD em comparação ao FP.

Todos os cenários indicam um aumento de TM mais intenso na primavera e menores no verão e outono. O comportamento das projeções de TM é semelhante no verão e outono, além disso é importante destacar que as regiões litorâneas apresentam elevações na temperatura mais moderadas que as regiões no interior do continente. Observando o cenário com as maiores mudanças de TM, isto é, o RCP 8.5 no período FD, é possível notar que o mínimo aumento de temperatura é de 3 °C na região costeira do RS e mais de 5 °C em grande parte de SP, PR e MG.

Minuzzi et al. (2010) já observaram em MG que as TM e Tm aumentaram no período 1960-2004, mais de 1°C e 3,5 °C, respectivamente, e o maior aumento da TM ocorreu na primavera e início do verão. Segundo as projeções esse aumento da TM deve permanecer em Minas Gerais, principalmente na primavera.

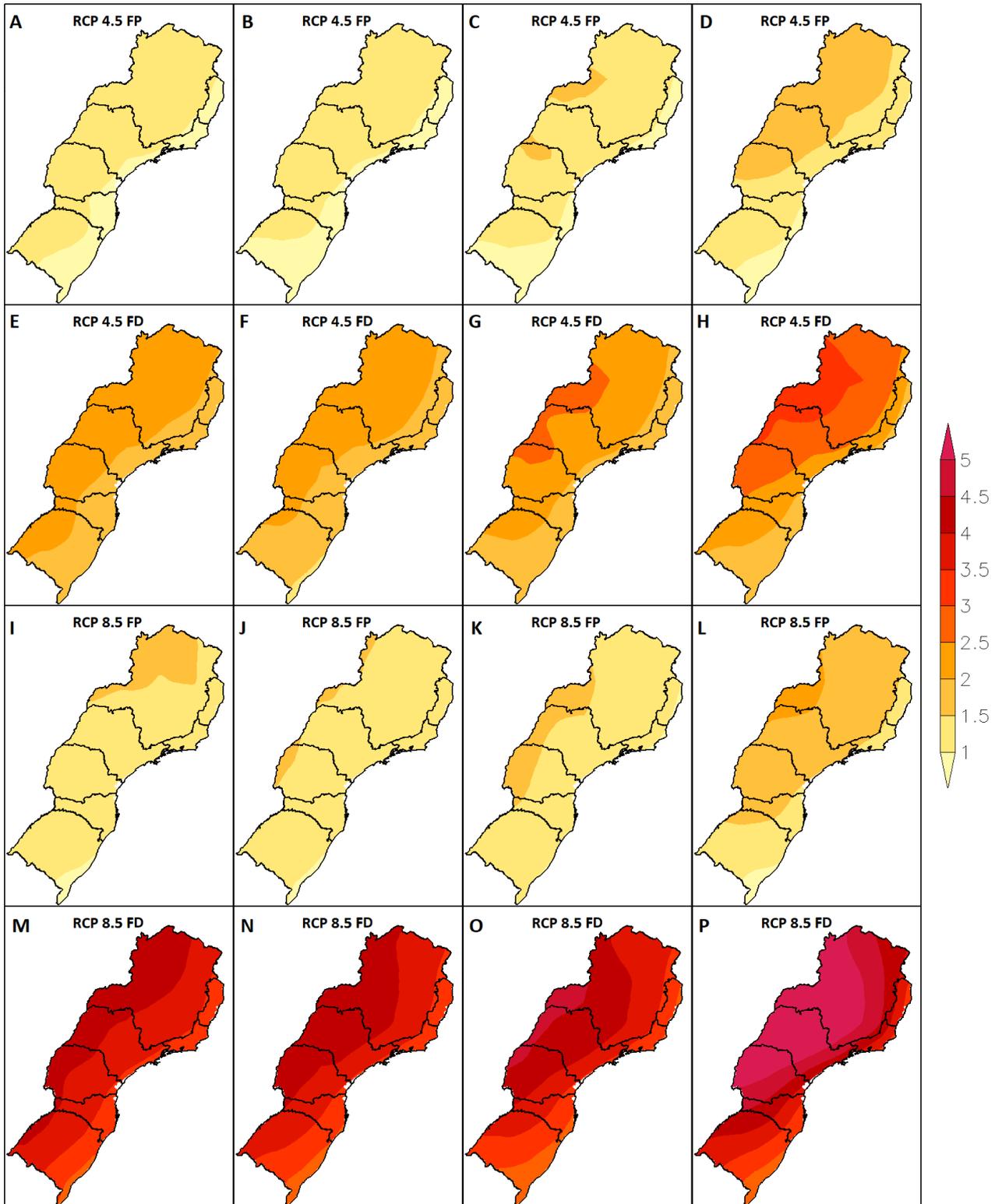


Figura 1.7 - Projeções de mudanças de temperatura máxima média (°C) para as regiões Sul e Sudeste para o verão, outono, inverno e primavera nos períodos FP com RCP 4.5 (a, b, c e d, respectivamente), FP com RCP 8.5 (e, f, g e h, respectivamente), FD com RCP 4.5 (i, j, k e l, respectivamente) e FD com RCP 8.5 (m, n, o e p, respectivamente).

As projeções de aumento de Tm média sazonal para o período FP com RCP 4.5 (Figuras 1.8a-d), para o período FP com RCP 8.5 (Figuras 1.8e-h), para o período FD com

RCP 4.5 (Figuras 1.8i-l) e para o período FD com RCP 8.5 (Figuras 1.8m-p); indicam aumento de 1 °C, sendo o FP com RCP 4.5 o cenário mais ameno, semelhante ao esperado para a TM (Figura 1.7).

Com relação ao FP no cenário RCP 4.5 (Figuras 1.8a-d), o aumento de Tm não ultrapassa 2° C, sendo que a maior elevação ocorre na primavera nas regiões próximas as fronteiras com os estados de Mato Grosso do Sul e Goiás, já a menor elevação de temperatura ocorre no verão, principalmente em grande parte da região Sul e nas regiões costeiras. No FD com RCP 4.5 (Figuras 1.8e-h), o comportamento é semelhante ao anterior, apenas com um aumento de temperatura mínima mais intenso, chegando a 3 °C na primavera. No FP com RCP 8.5 (Figuras 1.8i-l) o aumento mínimo é de 1,5 °C e o aumento máximo de 2 °C, sendo que novamente a estação da primavera é a que apresenta maiores tendências de elevação de Tm. Além disso, as áreas mais continentais apresentam maior aumento de temperatura em relação as áreas litorâneas. Por fim, no FD com RCP 8.5 (Figuras 1.8m-p), os padrões de mudança de temperatura mínima apresentam-se semelhantes ao dos demais períodos e RCPs, mas é o mais intenso, com um aumento de até 4,5 °C na primavera próximo as fronteiras com os estados de Mato Grosso do Sul e Goiás. Assim como os demais cenários, no verão devem ocorrer as menores elevações de Tm e as regiões costeiras são as que menos apresentam mudanças. Lacerda et al. (2016) também encontraram um menor aquecimento nas regiões litorâneas em relação as regiões do interior do continente; devido, principalmente, a maior capacidade térmica do oceano em reter calor, o que evita grandes gradientes térmicos.

As projeções climáticas para a Tm são condizentes com os dados observados nos últimos anos. As tendências de elevação das Tm já são observadas nos dados atuais, principalmente nos meses de primavera, em algumas áreas das regiões Sul e Sudeste, como em grande parte de Minas Gerais (ÁVILA et al., 2014) e no Paraná (MINUZZI et al., 2011). Ainda, segundo Ávila et al. (2014) essas tendências de aumento nas temperaturas são esperadas mais comumente no sentido sul–norte do estado de Minas Gerais.

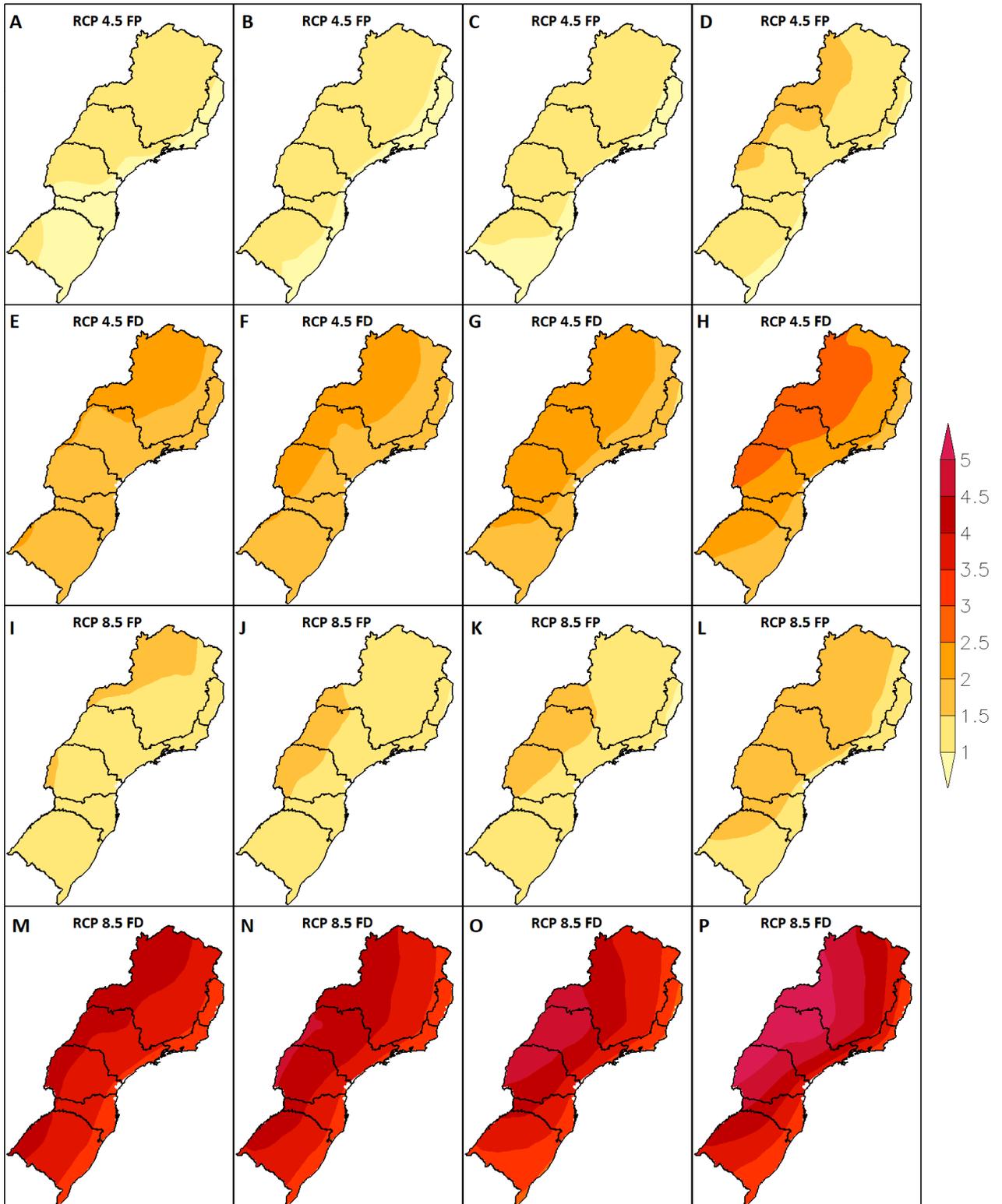


Figura 1.8 - Projeções de mudanças de temperatura mínima média (°C) para as regiões Sul e Sudeste para o verão, outono, inverno e primavera nos períodos FP com RCP 4.5 (a, b, c e d, respectivamente), FP com RCP 8.5 (e, f, g e h, respectivamente), FD com RCP 4.5 (i, j, k e l, respectivamente) e FD com RCP 8.5 (m, n, o e p, respectivamente).

Ao contrário das temperaturas (Figuras 1.7 e 1.8), as projeções de mudança de P média sazonal apresentam padrões espaciais bem irregulares (Figura 1.9).

No verão, em todos os períodos e RCPs, existe um aumento de P média diária, com valores de $0,5 \text{ mm dia}^{-1}$ no período mais próximo (FP) com RCP intermediário (RCP 4.5) (Figura 1.9a) e valores de $1,5 \text{ mm dia}^{-1}$ no período mais distante (FD) com o RCP com maior forçante (RCP 8.5) (Figura 1.9m). Apenas no ES, no nordeste de MG e norte do RJ, existe uma possível diminuição de até $0,5 \text{ mm dia}^{-1}$ (Figura 1.9e).

Nas estações de transição, isto é, no outono e na primavera, os modelos indicam um comportamento oposto entre as regiões Sul e Sudeste, com aumento de P média diária na região Sul e diminuição na região Sudeste. Apenas no período FD no RCP 8.5 há projeção de aumento de P média diária no outono em grande parte de MG e sul de SP (Figura 1.9n). No outono (Figuras 1.9b-n), as projeções de diminuição de P são mais amenas do que as projeções da primavera (Figuras 1.9d-p). Enquanto no outono as mudanças de P no Sudeste ficam na ordem de $-0,5 \text{ mm dia}^{-1}$, na primavera essas mudanças chegam a $-1,5 \text{ mm dia}^{-1}$. No norte do Paraná, na primavera do período FD, também há tendências de diminuição de P, enquanto no outono e primavera do FP, não há tendências bem definidas. O restante da região Sul apresenta um comportamento semelhante entre si; nessas áreas tanto no outono, quanto na primavera; as projeções indicam aumento de P média diária entre $0,5$ e 1 mm dia^{-1} .

No inverno, as projeções dos modelos indicam diminuição na P média diária em até $-0,5 \text{ mm dia}^{-1}$ nas regiões mais afastadas do litoral e no norte do RJ e ES (Figuras 1.9c-o). Já próximo ao litoral de toda a região Sul e sul de São Paulo, os modelos exibem um aumento de até $0,5 \text{ mm dia}^{-1}$. O aumento de P em grande parte do RS já é observado nos últimos anos, principalmente durante o verão (CERA; FERRAZ; 2015).

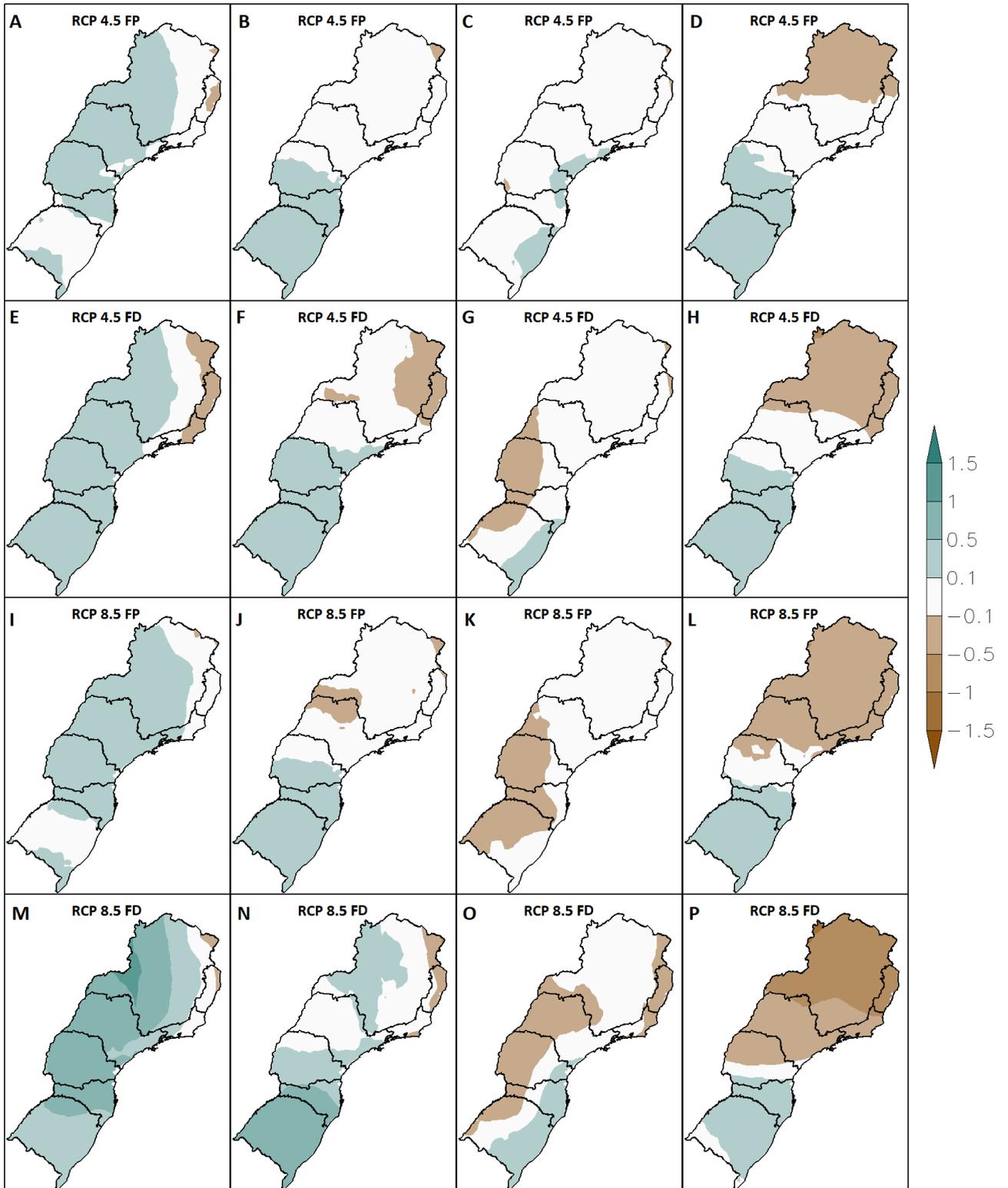


Figura 1.9 - Projeções de mudanças de precipitação média diária (mm dia^{-1}) para as regiões Sul e Sudeste para o verão, outono, inverno e primavera nos períodos FP com RCP 4.5 (a, b, c e d, respectivamente), FP com RCP 8.5 (e, f, g e h, respectivamente), FD com RCP 4.5 (i, j, k e l, respectivamente) e FD com RCP 8.5 (m, n, o e p, respectivamente).

1.4. CONCLUSÕES

A média simples das simulações dos modelos pertencentes ao NEX-GDDP consegue reproduzir bem o ciclo anual de temperatura máxima, mínima e precipitação mensal nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. A divergência dos modelos apresenta tendência crescente em relação aos cenários e escala temporal de análise, sendo mais pronunciada no cenário RCP 8.5 e no período FD. Além disso, a discrepância entre os modelos é maior no verão e na primavera, principalmente sobre a região Sudeste, nas áreas mais interiores do continente.

Em relação as projeções de temperatura o menor aumento projetado é de 1 °C podendo chegar a mais de 5 °C em algumas localidades. As maiores mudanças de temperatura nas regiões Sul e Sudeste devem ocorrer próximo à fronteira com o Centro-Oeste, sendo mais intensa na primavera. Em relação a projeção de precipitação espera-se um aumento em todas as estações do ano na região Sul, com exceção do norte do Paraná. Já no norte do Rio de Janeiro, Espírito Santo e nordeste de Minas Gerais espera-se uma diminuição na precipitação o ano inteiro. Por fim, nas estações de outono e primavera, as regiões Sul e Sudeste têm comportamento oposto, com diminuição de precipitação na região Sudeste e aumento de precipitação na região Sul.

1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; YANAGI, S. N. M.; NETO, O. B. S. Tendências de temperaturas mínimas e máximas do ar no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 4, p. 247-256, 2014.
- CEMIG. **Atlas Solarimétrico de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CEMIG, 2012. 80p.
- CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 30, n. 1, p. 81-88, 2015.
- CHEN, C. T.; KNUTSON, T. On the verification and comparison of extreme rainfall indices from climate models. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 21, p. 1605-1621, 2008.
- CRESSIE, N. Spatial prediction and ordinary kriging. **Mathematical Geology**, [S. l.], v. 20, n. 4, p. 405-421, 1988.
- CONFALONIERI, ULISSES E.C.; DUTRA, F. R. L. S. Climate Change and Vectorborne diseases in Latin America. In: MALIK, A; GROHMANN, E; AKHTAR, R. (Org.). **Environmental Deterioration and Human Health**. 1ed. Dordrecht: Springer, 2014. p. 315-324.
- DARELA FILHO, J. P.; LAPOLA, D. M.; TORRES, R. R.; LEMOS, M. C. Socio-climatic hotspots in Brazil: how do changes driven by the new set of IPCC climatic projections affect their relevance for policy?. **Climatic change**, v. 136, n. 3-4, p. 413-425, 2016.
- DEGOLA, T. S. D. **Impactos e variabilidade do anticiclone subtropical do atlântico sul sobre o Brasil no clima presente e em cenários futuros**. 2013. 112 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- GARCIA, S. R.; KAYANO, M. T. Determination of the onset dates of the rainy season in Central Amazon with equatorially antisymmetric outgoing longwave radiation. **Theoretical and Applied Climatology**, Vienna, v. 97, p. 361-372, 2009.
- GONZÁLEZ-ROUCO, J.F.; JIMÉNEZ, J. L.; QUESADA, V.; VALERO, F. Quality control and homogeneity of precipitation data in the southwest of Europe. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 14, p. 964-978, 2001.
- IBGE. **CENSO DEMOGRÁFICO 2010 - Características da população e dos domicílios: resultados do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.
- IBGE. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. **Levantamento sistemático da produção agrícola**, Rio de Janeiro, v. 30, n.6, p.1-83, 2017.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change - Summary for Policymaker. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Eds). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of

the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

JONES, P. W. First and second-order conservative remapping schemes for grids in spherical coordinates. **Monthly Weather Review**, [S.l.], v.127, p.2204-2210, 1999.

LACERDA, F. F.; NOBRE, P.; SOBRAL, M. C. M.; LOPES, G. M. B.; ASSAD, E. D. Tendência do clima do semiárido frente as perspectivas das mudanças climáticas globais; o caso de Araripina, Pernambuco. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 31, p. 132-141, 2016.

MINUZZI, R.B.; CARAMORI, P.H.; BORROZINO, E. Tendências na variabilidade climática sazonal e anual das temperaturas máxima e mínima do ar no Estado do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 471-479, 2011.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; BARBOSA, E. M.; MELO JÚNIOR, J. C. F. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.22, n.3, p.338-344, 2007.

MINUZZI, R. B.; VIANELLO, R. L. SEDIYAMA, G. C. Oscilações climáticas em minas gerais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 2, p. 227-236, 2010.

MOREIRA, V. R.; KURESKI, R.; VEIGA, C. P. Assessment of the Economic Structure of Brazilian Agribusiness. **The Scientific World Journal**, [S.l.], v. 2016, p. 10, 2016.

MOSS, R. H.; EDMONDS, J. A.; HIBBARD, K. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S. K.; VAN VUUREN, D. P.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T; MEEHL, G. A.; MITCHELL, J. F. B.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S. J.; STOUFFER, R. J.; THOMSON, A.; WEYANT, J. P.; WILLBANKS, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, [S. l.], v. 463, p. 747-756, 2010.

PENEREIRO, J. C.; MARTINS, L. L. S.; BERETTA, V. Z. Identificação de variabilidades e tendências interanuais em medidas hidro-climáticas na região hidrográfica do Tocantins Araguaia, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 18, p. 219-241, 2016.

PEREIRA, H. R. **Projeções de mudanças no regime de precipitação e temperatura na região sudeste do Brasil baseado nos novos modelos climáticos do IPCC AR5**. 2015. 75p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Atmosféricas) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.

QUADRO, M. F. L.; MACHADO, L. H. R.; CALBETE, S.; BATISTA, N. N. M.; SAMPAIO, G. Climatologia e Precipitação e Temperatura no período de 1986 a 1996. **Revista Climanalise**, São José dos Campos, Edição Comemorativa de 10 anos, p. 9, 1996.

QUADRO, M. F. L.; PEZZI, L. P.; ROSA, E. B. O Climanálise e o monitoramento da ZCAS nos últimos 30 anos. **Revista Climanalise**, São José dos Campos, v. 04, p. 19-25, 2016.

R CORE TEAM. R: The R Project for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, 2017. Disponível em: <(https://www.r-project.org/)>. Acesso em: 30/06/2017.

RAO, V. B.; CAVALCANTI, I. F. A.; HADA, K. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research**, [S. l.], v. 101, p. 23539-26551, 1996.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terræ didática**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

REBOITA, M. S.; DA ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T.; SUGAHARA, S. South Atlantic Ocean Cyclogenesis Climatology Simulated by Regional Climate Model (RegCM3). **Climate Dynamics**, [S. l.], v. 35, n. 7–8, p. 1331–1347, 2009.

REBOITA, M.S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 17, p. 206-226, 2015.

RUSTICUCCI, M.; MARENGO, J. A.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of model-simulated in extreme rainfall and temperature events during the last half of the XX century: Part 1: Mean values and variability. **Climatic Change**, [S.l.], v. 98, n. 3-4, p. 493 - 508, 2010.

SANTOS, T. S.; MENDES, D.; CASTRO, A. A.; SILVA, A. R. Incertezas das projeções de mudanças climáticas: Análise preliminar. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, Ed. Especial SIC, p. 63 - 68, 2015.

SEO, S. **A review and comparison of methods for detecting outliers in univariate data sets**. 2006. 59 p. Dissertação (Master of Science) – University of Pittsburgh, Pittsburgh, 2006.

SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. S.; LUCENA, A. F. P.; SOUZA, R. R.; BORBA, B. S. M. C.; COSTA, I. V. L.; PEREIRA JÚNIOR, A. O.; CUNHA, S. H. F. **Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008. 67p.

SUGAHARA, S. **Normais climatológicas das estações de superfície do Brasil, para o período de 1961-1990**. Bauru: Instituto de Pesquisas Meteorológicas/UNESP, 1999.

TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. An overview of CMIP5 and the experiment desing. **Bulletin of the American Meteorological Society**, [S. l.], v.93, p.485-498, 2012.

THRASHER, B.; MAURER, E. P.; MCKELLAR, C.; DUFFY, P. B. Technical Note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S. l.], v. 16, n. 9, p. 3309-3314, 2012.

TORRES, R. R. **Análise de incertezas em projeções de mudanças climáticas na América do Sul**. 2014. 239 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

TORRES, R. R.; LAPOLA, D. M.; MARENGO, J. A.; LOMBARDO, M. A. Socio-climatic hotspots in Brazil. **Climatic Change**, [S. l.], v. 115, n. 3-4, p. 597-609, 2012.

TORRES, R. R.; MARENGO, J. A. Climate change hotspots over South America: from CMIP3 to CMIP5 multi-model datasets. **Theoretical and Applied Climatology**, Vienna, v. 117, n. 3, p. 579-587, 2014.

VIANA, D. R.; AQUINO, F. E.; MUÑOZ, V. A. Avaliação de desastres no Rio Grande do Sul associados a complexos convectivos de mesoescala. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 2, p. 91-105, 2009.

VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 1, 125-145, 2010.

VAN VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; HURTT, G. C.; KRAM, T.; KREY, V.; LAMARQUE, J. F.; MAUSI, T.; MEINSHAUSEN, M.; NAKICENOVIC, N.; SMITH, S. J.; ROSE, S. K. The representative concentration pathways: an overview. **Climatic Change**, [S.l.], v. 109, p. 5-31, 2011.

WICKHAM, H. **Advanced R Series: Chapman & Hall/CRC The R Series**. 1. ed. London: CRC Press, 2014. 476p.

WOLDEMESKEL, F. M.; SHARMA, A.; SIVAKUMAR, B.; MEHROTRA, R. Quantification of precipitation and temperature uncertainties simulated by CMIP3 and CMIP5 models. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, [S. l.], v. 120, p. 1-15. 2016.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals**. Geneva, 1989. (WMO. Technical document, n. 341; WCDP, n. 10). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>> Acesso em 20 out. 2016.

CAPÍTULO II

NÚMERO DE HORAS DE FRIO NAS REGIÕES SUL E SUDESTE DO BRASIL PARA AS PRINCIPAIS FRUTÍFERAS DE CLIMA TEMPERADO

2.1. INTRODUÇÃO

As frutíferas de clima temperado (FCT) são caracterizadas por apresentarem um período de repouso vegetativo que ocorre durante o inverno, denominado de dormência, no qual há redução das atividades fisiológicas e metabólicas e ausência de crescimento visível (LUEDELING et al., 2011). O repouso vegetativo é uma estratégia adaptativa para proteger o tecido vegetal das condições meteorológicas desfavoráveis (GOU et al., 2014), além de ser necessário para que ocorram as transformações hormonais inerentes a este tipo de planta. É iniciado após as primeiras temperaturas baixas do ano e aumenta sua intensidade até alcançar a dormência profunda (HAWERROTH et al., 2010), sendo cessado após o acúmulo mínimo da quantidade de frio necessária, denominada número de horas de frio (NHF), suficiente para quebrar o efeito de dormência (HELDWEIN et al., 1989; LUEDELING et al., 2011). O NHF corresponde ao número de horas em que a temperatura do ar permanece abaixo de determinada temperatura base (T_b) (ANGELOCCI et al., 1979; BURIOL et al., 2000), tanto o NHF quanto a T_b dependem de cada espécie/cultivar/variedade¹ (HELDWEIN et al., 2000).

Durante o repouso vegetativo, a exposição a baixas temperaturas estimula as atividades bioquímicas e a concentração de hormônios, mobilizando carboidratos que favorecem a brotação das gemas vegetativas e floríferas (ALMEIDA; ANTUNES, 2012; ALVARENGA et al., 2002; WREGE et al., 2016). Após o repouso, a planta está apta a brotar e florescer normalmente, considerando-se então quebrada a dormência natural das gemas (ALVARENGA et al., 2002). A insuficiência de frio invernal causa inúmeras anomalias fisiológicas, como a queda das gemas frutíferas, atraso, irregularidade ou inibição da brotação e floração, afetando negativamente o desenvolvimento, crescimento e a produtividade das FCT (BURIOL et al., 2000; HELDWEIN et al., 2000; SANTOS et al., 2017).

¹Espécie: grupo de indivíduos que se reproduzem de forma espontânea na natureza produzindo descendentes férteis. Variedade: um conjunto de plantas com características comuns, sendo que a determinação das características ocorre de forma natural. Cultivar: variedade cultivada, melhorada e mais homogênea; essas características são obtidas por força da seleção do homem.

Devido a essa limitação é necessário verificar o limar de Tb e a exigência de NHF em cada espécie/variedade de FCT (BURIOL et al., 2000). Geralmente os valores de Tb mais utilizados para quantificar o NHF em FCT são de 7 °C e 13 °C (ANGELOCCI et al., 1979; HELDWEIN et al., 1989; PEDRO JÚNIOR et al., 1979; POLA; ANGELOCCI, 1993), sendo 7 °C utilizado para as mais exigentes e 13 °C para as menos exigentes em frio. Com relação ao NHF, os valores diferem de acordo com as classificações de exigências cada espécie, cultivar e variedade (HELDWEIN et al., 2000) (Tabela 2.1).

Para as principais FCT cultivadas no Brasil as exigências do NHF seguem a ordem: macieira > ameixeira > pessegueiro > videira > figueira (LUMBRERAS et al., 2003), dependendo da cultivar. Dentre as FCT a macieira é uma das mais exigentes em NHF (BRAGA et al., 2001) e a figueira uma das menos exigente em NHF (NIENOW et al., 2006).

Com relação à maçã, as principais cultivares plantadas no Brasil são a Gala e a Fuji, que juntas são responsáveis por cerca de 90% da produção nacional (PETRI et al., 2011). Ambas são altamente exigentes em frio; requerendo até 800 NHF $\leq 7,2$ °C (Tb) para superar a dormência (CHAGAS, 2011; MORAIS; CARBONIERI, 2015; OLIVEIRA et al., 2013). Devido ao alto NHF, tem-se investido na criação de cultivares menos exigentes através de técnicas de melhoramento genético, como exemplo, a cultivar Eva (IAPAR-75) (≈ 250 NHF $\leq 7,2$ °C) (CHAGAS, 2011). A classificação de NHF para a maçã é (Tabela 2.1): baixa exigência - cultivares que necessitam até 450 NHF; média exigência - cultivares que exigem pelo menos 600 NHF; alta exigência em frio – cultivares que necessitam ≥ 600 NHF (BRAGA et al., 2001; CHAGAS, 2011; MORAIS; CARBONIERI, 2015; OLIVEIRA et al., 2013; PETRI et al., 2011; PUTTI et al., 2003).

Já as ameixeiras, nectarineiras e pessegueiros, também estão entre as principais FCT e constituem o grupo de frutas de caroço (FC), as quais apresentam grande variedade de NHF (Anexo 2), entre 75 a 1100 NHF para o pessegueiro e de 300 a 1200 NHF para a nectareira (CARAMORI et al., 2008). Campos (2011) também afirma a grande variedade de necessidade de NHF para as FC, podendo necessitar de 75 a 150 NHF, até valores ≥ 700 NHF, sendo que para as variedades do Brasil a faixa ideal varia de 100 a 500 NHF.

As principais cultivares de ameixeira cultivadas no Sul do Brasil são as Fortune e Letícia, e com menor área plantada a Gulfbreeze, Pluma 7, Reubenel, Irati e Amarelinha (Souza, 2016). Também se diferenciam quanto a classificação de NHF (Tabela 2.1): baixa exigente quando necessitam até 300 NHF; média exigente quando necessitam entre 300 a 450

NHF; alta exigente quando necessitam de 450 a 600 NHF; e extremamente exigente quando necessitam ≥ 600 NHF (ANZANELLO; BIASI, 2016; EPAGRI, 2016; SOUZA, 2016).

As nectarineiras mais cultivadas no Brasil são originárias da América do Norte; como as cultivares Sunblaze, Sungold e a Sunraycer (RASEIRA, 2015). São classificadas como (Tabela 2.1): baixa exigência as FCT que requerem até 300 NHF; alta exigência quando requerem entre 450 e 600 NHF; e de extrema exigência quando requerem ≥ 600 NHF, sendo estas raras no Brasil (CARCELEN, 1988; EPAGRI, 2016; RAMOS; LEONEL, 2008).

O pessegueiro também é uma das FCT bastante cultivada nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Dentre as cultivares de maior representatividade estão a Aurora, Douradão, Fascínio, Pampeano e Tropic Beauty (RASEIRA, 2015). No Sul do país também são cultivadas as cultivares Chimarrita, Barbosa, Chiripá, Coral, Della Nona, Eragil, Marli, Planalto (RASEIRA, 2015). São classificadas como (Tabela 2.1): baixa exigentes as cultivares que requerem entre 150 e 300 NHF; média exigentes as cultivares que requerem de 300 a 450 NHF; e alta exigentes as que necessitam ≥ 450 NHF (ANZANELLO; BIASI, 2016; CHAULFUN, 2002; CITADIN et al., 2002; EMBRAPA, 1993; EPAGRI, 2016).

Outra FCT bastante cultivada nas regiões Sul e Sudeste do Brasil é a videira, com destaque para as principais cultivares destinadas a produção de suco Isabel, Concord e Bordô; todas de origem americana, e destinadas a mesa a Itália, Isabel e Niágara Rosada (MAIA; RITSCHER, 2015). A maioria das videiras de origem francesa, espanhola e italiana, necessitam acumular cerca de 150 a 450 NHF (ANZANELLO; BIASI, 2016; CARA GARCIA, 2010; DOKOOZLIAN; WILLIAMS 1995). São classificadas como (Tabela 2.1): baixa exigente quando requerem de 150 a 300 NHF, e alta exigente quando requerem entre 300 e 450 NHF (ANZANELLO; BIASI, 2016; BRASIL, 2011).

Com relação a figueira, a principal cultivar produzida comercialmente no Brasil é a Roxo de Valinhos (CHALFUN et al., 2002; RODRIGUES et al., 2009), que é adaptada para as regiões de clima subtropical (DALASTRA et al., 2011), com exigência média de 100 NHF abaixo da $T_b=7$ °C. Alvarenga et al. (2002) e Ferraz (2017) indicam 150 NHF como o suficiente para a quebra da dormência de figueiras.

Outra FCT que merece destaque é a oliveira, principalmente pela expansão de áreas cultivadas no Brasil, principalmente nas regiões Sul e Sudeste (MARTINS et al., 2012; MARTINS et al., 2014; VIEIRA NETO et al., 2011; WREGGE et al., 2015), sendo as cultivares mais comuns, a Arbequina, Grappolo, Maria da Fé, Arbosana, Koroneikei e Ascolana (BERTOCINI et al., 2010; SILVA et al., 2012). A exigência em frio dessa cultura

varia de 200 a 1000 NHF, geralmente abaixo da $T_b = 10^\circ \text{C}$ (PANTANO et al., 2012). No entanto, para as condições de Minas Gerais, a qual pode ser extrapolada para a região Sudeste, considera-se uma necessidade aproximada de 300 NHF (MELO-ABREU et al., 2004) considerando a $T_b = 9,5^\circ \text{C}$ (GARCIA et al., 2018). Para Mota (1989) a necessidade das oliveiras é cerca de 400 NHF, para $T_b = 10^\circ \text{C}$, já Pantano et al. (2012) e Pantano et al. (2014) comentam a necessidade de 500 NHF abaixo da $T_b = 13^\circ \text{C}$.

Tabela 2.1 – Exigência em frio para as principais cultivares de frutíferas de clima temperado.

Exigências em frio	Frutíferas de clima temperado e suas cultivares
Baixa	Ameixeira: Gulfblaze; Figueira: Roxo de Valinhos Pessequeiros: Aurora, Chimarrita, Dourado, Fascínio e Pampeano; Macieiras: Anna, Condessa, Eva e Princesa; Nectarineiras: Sunblaze, Sunripe e Suraycer; Videiras: Bordô, Chardonnay, Concord Isabel e Niágara Rosada
Média	Ameixeiras: Amarelinha, Fortune, Irati e Reubenel; Macieiras: Golden Delicious e Imperatriz; Oliveiras: Arbequina, Grappolo e Maria da Fé; Pessequeiros: Coral, Della Nona, Marli e Planalto;
Alta	Nectarineiras: Maybelle e Sungold; Macieiras: Fugi e Gala; Pessequeiros: Chiripá e Eragil Videira: Cabernet Sauvignon
Extremamente alta	Ameixeiras: Letícia e Pluma 7; Nectarineiras: Flavortop, Fuzalode e Sweet Gold

Dessa forma, no Brasil, somente as regiões Sul e Sudeste do Brasil apresentam condições de acúmulo de NHF, satisfazendo a exigência de NHF, sendo, portanto, as principais regiões climaticamente aptas a produção de FCT. No entanto, essas regiões, são suscetíveis as mudanças climáticas projetadas para o decorrer do século XXI (IPCC, 2013; NATIVIDADE et al., 2017; TIRONI et al., 2017), o que pode proporcionar redução na produção nacional das FCT, principalmente pela indisponibilidade e acúmulo de frio invernal (MORIONDO et al., 2015; WREGE et al., 2015). Campos (2011) avaliou o impacto das mudanças climáticas nos cultivos de pêssigo e de nectarina em Santa Catarina e concluiu que em ambos os cenários avaliados (A2 e B2), obteve-se menos NHF, o que deve forçar uma redução de áreas aptas ao plantio do pêssigo e da nectarina no estado.

Por esse motivo, o objetivo deste capítulo foi determinar o NHF para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, e verificar como o NHF delimita as áreas aptas das principais FCT; para as condições climáticas atuais e futuras. É importante destacar que, com exceção das FC (CAMPOS, 2011), são raros os estudos recentes que avaliam os impactos das mudanças climáticas no NHF e seus impactos nas FCT para ambas regiões.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Dados observados

Neste capítulo foram utilizados dados diários de temperaturas máxima (TM) e mínima (Tm) do ar (°C), obtidos de 151 estações meteorológicas convencionais e automáticas (Figura 1.1), pertencentes ao INMET, IAPAR, SIMEPAR, UNESP, CTC, INIA, INTA e CEPAGRI (Anexo 1). O período de dados utilizado foi de 1981 a 2015, denominado Período Presente (PP). Anos com mais de 5% de dados faltantes de maio a setembro, foram considerados insuficientes e foram desconsiderados no cálculo da média climatológica de NHF (SANTOS et al., 2017).

2.2.2. Dados de projeções climáticas

Para as projeções do clima futuro foram utilizadas as simulações de 21 modelos integrantes do conjunto de dados NEX-GDDP (THRASHER et al., 2012). Os cenários forçantes disponíveis pelo conjunto NEX-GDDP são o RCPs 4.5 e o 8.5. O RCP 4.5 é a forçante que representa um comportamento intermediário dos cenários (RCPs 2.6, 4.5, 6.0, e 8.5), já o RCP 8.5 representa o cenário com a forçante mais intensa e, portanto, o cenário com as maiores modificações no regime pluviométrico e os maiores aumentos de temperatura.

Foram utilizados dados diários de TM e Tm do ar próximo à superfície (°C) e os períodos utilizados foram: Período Histórico (PH), referente a 1981 a 2005; e os períodos futuros: Futuro Próximo (FP) de 2021 a 2050 e Futuro Distante (FD) de 2071 a 2100.

2.2.3. Grupos de exigência em horas de frio (HF)

Considerando as necessidades de NHF das principais FCT e suas cultivares mais comuns no país, optou-se por determinar 5 grupos de exigência de NHF (Tabela 2.2), esses grupos serão utilizados para determinar quais FCT são aptas a uma determinada região. Desta forma, para uma região ser apta ao cultivo de uma FCT essa área tem que apresentar NHF maior ou igual a exigência do grupo de NHF correspondente a essa FCT.

Tabela 2.2 – Grupos de exigência em frio e intervalo de necessidade de horas de frio para as principais frutíferas de clima temperado e suas respectivas cultivares.

Grupos	Intervalo de Horas de Frio necessário	Frutíferas de clima temperado e suas cultivares
I	100 a 150	Figueira: Roxo de Valinhos
II	150 a 300	Ameixeira: Gulfblaze; Nectarineiras: Sunblaze, Sunripe e Suraycer; Pessequeiros: Aurora, Chimarrita, Dourado, Fascínio, Pampeano e Tropic Beauty; Videiras: Bordô, Chardonnay, Concord Isabel e Niágara Rosada
III	300 a 450	Ameixeiras: Amarelinha, Fortune, Irati e Reubenel; Macieiras: Anna, Condessa, Eva e Princesa; Oliveiras: Arbequina, Grappolo, Maria da Fé e Ascolono; Pessequeiros: Coral, Della Nona, Marli e Planalto; Videira: Cabernet Sauvignon
IV	450 a 600	Macieiras: Golden Delicious e Imperatriz; Nectarineiras: Maybelle e Sungold; Pessequeiros: Chiripá e Eragil
V	> 600	Ameixeiras: Letícia e Pluma 7; Macieiras: Fuji e Gala; Nectarineiras: Flavortop, Fuzalode e Sweet Gold

2.2.4. Estimativa do Número de Horas de Frio Observado

Neste estudo foram considerados três valores de T_b : 7 °C, 9,5 °C e 13 °C. Os valores de 7 °C e 13 °C foram escolhidos em função do uso frequente na determinação do NHF e por serem descritos como limites necessários à superação da dormência em FCT mais exigentes e pouco exigentes em frio, respectivamente (ANGELOCCI et al., 1979; BURIOL et al., 2000; HELDWEIN et al., 2000). O valor de 9,5 °C foi utilizado como limite para as culturas que apresentam exigência média em frio (MARTINS et al., 2012; SOUZA; MARTINS, 2014).

O método utilizado para estimar o NHF foi o método analítico de Pola e Angelocci (1993), o qual além de requerer como dados de entrada apenas a T_M e T_m diária, é capaz de estimar o NHF para qualquer valor de T_b . Além disso, é considerado um excelente método para estimar o NHF observado (SANTOS et al., 2017).

O método de Pola e Angelocci (1993) baseia-se na reconstrução da curva ondulatória média da temperatura do ar, com seu valor mínimo (T_m) próximo ao nascer do sol (\approx às 7h) e o valor máximo (T_M) próximo às 15h. Dessa forma, o ciclo diurno de temperatura é aproximado por duas funções senoidais, uma de resfriamento (aplicada no intervalo de tempo entre a T_M do dia anterior e a T_m) e uma de aquecimento (aplicada no intervalo de tempo entre a T_m e a T_M do dia atual). As funções de resfriamento e aquecimento devem ser calculadas de forma horária, para detectar os momentos (tempos) em que as temperaturas tornam-se $\leq T_b$ (SANTOS et al., 2017).

Considerando que a T_m ocorre próxima as 7h e as temperaturas máximas do dia anterior ($TM1$) e do dia atual ($TM2$) ocorrem próximas às 15h; consequentemente tem-se que entre as duas temperaturas máximas há um período de tempo de 24 horas. Dessa forma a $TM1$ ocorre no tempo inicial igual a zero ($t_{M1}=0$), a T_m ocorre no tempo 16 ($t_m=16$, sendo o tempo decorrido das 15h do dia anterior até às 7h do dia considerado) e a $TM2$ ocorre no tempo final ($t_{M2}=24$). Portanto entre os tempos t_{M1} e t_m ($0 \leq t \leq 16$) a temperatura diminui (resfriamento) e entre os tempos t_m e t_{M2} ($16 \leq t \leq 24$) a temperatura volta a aumentar (aquecimento). As temperaturas de aquecimento e resfriamento são obtidas com as seguintes equações:

$$Tr(t) = TM1 + (Tm - TM1) \operatorname{sen} \left| \frac{\pi (t - t_{M1})}{2 (t_m - t_{M1})} \right| \quad (1)$$

$$Ta(t) = Tm + (TM2 - Tm) \operatorname{sen} \left| \frac{\pi (t - t_m)}{2 (t_{M2} - t_m)} \right| \quad (2)$$

em que: $Tr(t)$ é a temperatura estimada no tempo t durante o resfriamento diário ($^{\circ}\text{C}$) e $Ta(t)$ é a temperatura estimada no tempo t durante o aquecimento diário ($^{\circ}\text{C}$).

Representando por "ta" o tempo que $Tr(t)$ fica menor ou igual a Tb ($Tr(ta) \leq Tb$), e por "tz" o tempo que $Ta(t)$ fica maior ou igual a Tb ($Ta(tz) \geq Tb$) (Figura 4); pode-se determinar o NHF através de 5 casos:

$$NHF = \begin{cases} 0 & \dots \dots \dots TM1 > Tb; TM2 > Tb; Tm > Tb \\ 24 & \dots \dots \dots TM1 < Tb; TM2 < Tb \\ tz - ta & \dots \dots \dots TM1 > Tb; TM2 > Tb; Tm < Tb \\ tz - t_{M1} & \dots \dots \dots TM1 \leq Tb; TM2 > Tb; Tm < Tb \\ t_{M2} - ta & \dots \dots \dots TM1 > Tb; TM2 \leq Tb \end{cases} \quad (3)$$

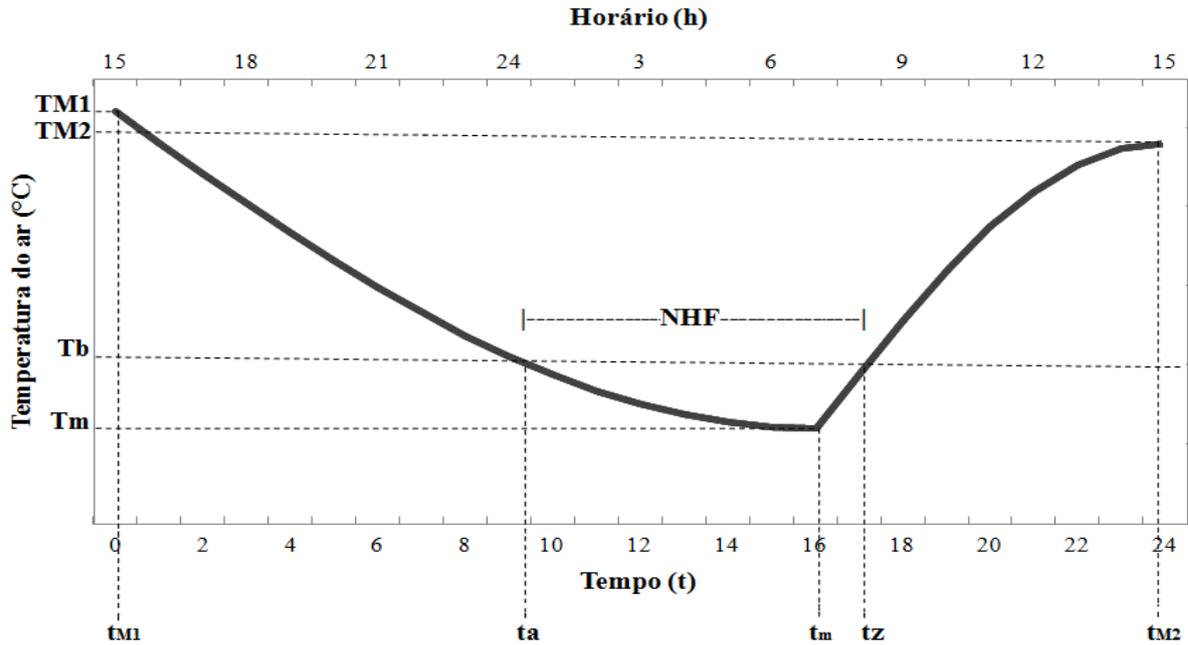


Figura 2.1 - Representação gráfica das temperaturas e dos tempos utilizados no método de Pola e Angelocci (1993). Adaptado de Santos et al. (2017).

O NHF foi calculado diariamente considerando somente os meses de maio a setembro, que correspondem aos meses de ocorrência de frio invernal (WREGGE et al., 2016; SANTOS et al., 2017) para todo o PP, e posteriormente foram acumulados para valores anuais (NHF_{PP}). Por fim, determinou-se a média climatológica de NHF anual para o PP (\overline{NHF}_{PP}), o qual representa a quantidade média de NHF registrada nos anos analisados (1981-2015):

$$\overline{NHF}_{PP} = \frac{\sum_{i=1}^n NHF_{PP}}{n} \quad (4)$$

em que: n é o número de anos do período e NHF_{PP} é o número de horas de frio (para as T_b s de 7 °C, 9,5 °C e 13 °C) acumulado anual do i -ésimo ano (horas).

2.2.5. Projeção do Número de Horas de Frio

Utilizando o método de Pola e Angelocci (1993) foram calculados os NHF médio anual para cada uma das 151 estações meteorológicas, para cada um dos 21 modelos de projeção climática, para o PH FP e FD e para os RCP's 4.5 e 8.5. Após isso, foi calculado para cada RCP e período, a média de NHF médio anual dos 21 modelos. Por fim, calculou-se para cada estação meteorológica, a diferença entre \overline{NHF}_{PP} do PH e a média climatológica do NHF de cada cenário futuro:

$$\Delta NHF_{F_RCP} = \overline{NHF_{F_RCP}} - \overline{NHF_{PH}} \quad (5)$$

em que: F é o período futuro (FP ou FD), RCP é o cenário forçante (RCP 4.5 ou 8.5), $\overline{NHF_{PH}}$ é a média climatológica do NHF anual para o PH (horas.ano⁻¹), $\overline{NHF_{F_RCP}}$ é a média climatológica projetada do NHF anual para o cenário forçante futuro (FP com RCP 4.5, ou FP com RCP 8.5, ou FD com RCP 4.5 ou FD com RCP 8.5) (horas.ano⁻¹), ΔNHF_{F_RCP} é a variação de NHF médio anual entre o PH e o cenário forçante futuro (horas.ano⁻¹).

Essas mudanças de NHF médio anual foram adicionadas ao NHF médio anual do PP; dessa forma obteve-se o NHF médio anual para cenário de mudanças climáticas:

$$\overline{NHF_{\Delta F_RCP}} = \Delta NHF_{F_RCP} + \overline{NHF_{PP}} \quad (6)$$

em que: F é o período futuro (FP ou FD), RCP é o cenário forçante (RCP 4.5 ou 8.5), $\overline{NHF_{\Delta F_RCP}}$ é a média climatológica do NHF anual para o cenário forçante futuro (horas.ano⁻¹).

Uma vez calculadas as médias climatológicas de NHF para o PP e para os cenários futuros, esses dados foram espacializados para uma grade regular cobrindo toda a área de estudo (Figura 1.1), utilizando-se o método Ordinary Krigging (CRESSIE, 1988; WICKHAM, 2014) implementado no software R versão 3.4.1 (R CORE TEAM, 2017).

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Climatologia mensal de NHF

O mês de julho é o que apresenta o maior NHF para toda a área de estudo considerando a $T_b=7^{\circ}\text{C}$ (Figura 2.2). Em todos os meses, os maiores acúmulos de NHF são registrados nos municípios mais elevados da Serra da Mantiqueira e Serra Geral. Na Serra da Mantiqueira se destacam Campos de Jordão (SP) e Monte Verde (MG); nessas duas localidades foram observadas respectivamente, uma média de 675 e 557 NHF anuais (Anexo 3). Campos do Jordão é o município mais elevado do Brasil com aproximadamente 1642 metros de altitude e Monte Verde (distrito de Camanducaia em MG) é o distrito mais elevado de MG com aproximadamente 1500 metros de altitude. Na Serra Geral se destacam os municípios de São Joaquim (SC) e Bom Jesus (RS); nesses dois municípios foram registradas respectivamente, uma média de 758 e 665 NHF anuais (Anexo 3). São Joaquim é o município mais elevado da região Sul com aproximadamente 1415 metros de altitude e Bom Jesus também pode ser considerado um município elevado, localizado a aproximadamente 1048 metros de altitude. Em contrapartida, os locais que apresentaram menor NHF estão localizados, principalmente, nas regiões litorâneas como Vitória (ES) e Rio de Janeiro (RJ). Esse padrão de acúmulo é esperado, tendo em vista que as Serras da Mantiqueira e Geral apresentam topografia elevada (Figura 1.1) o que favorece os menores valores de temperatura do ar, com T_m mais baixas no outono, inverno e primavera (Figura 1.3). Já as regiões de baixa altitude, são formadas geralmente por vales e rios, o que desfavorece o acúmulo de NHF (WREGE et al., 2016).

De maneira geral, a região Sul apresenta um NHF maior que o Sudeste, com exceção da Serra da Mantiqueira que apresenta valores com magnitudes semelhantes aos estados do Sul. A totalidade dos estados do RJ e ES, em grande parte de MG e SP e no norte do PR, o início do período de ocorrência de NHF (T_b de 7°C) ocorre tardiamente e em alguns casos não é registrado NHF no mês de maio (Figura 2.2a). Além disso, o término do período do acúmulo de NHF ocorre precocemente, sendo que em alguns municípios não é registrado NHF em agosto e setembro (Figura 2.2e). Esse início tardio e término precoce caracterizam um período menor de registro de NHF e conseqüentemente, menor acúmulo de NHF, caracterizando-se como regiões não aptas ao cultivo ou introdução de FCT com média e alta exigência em NHF (WREGE et al., 2016).

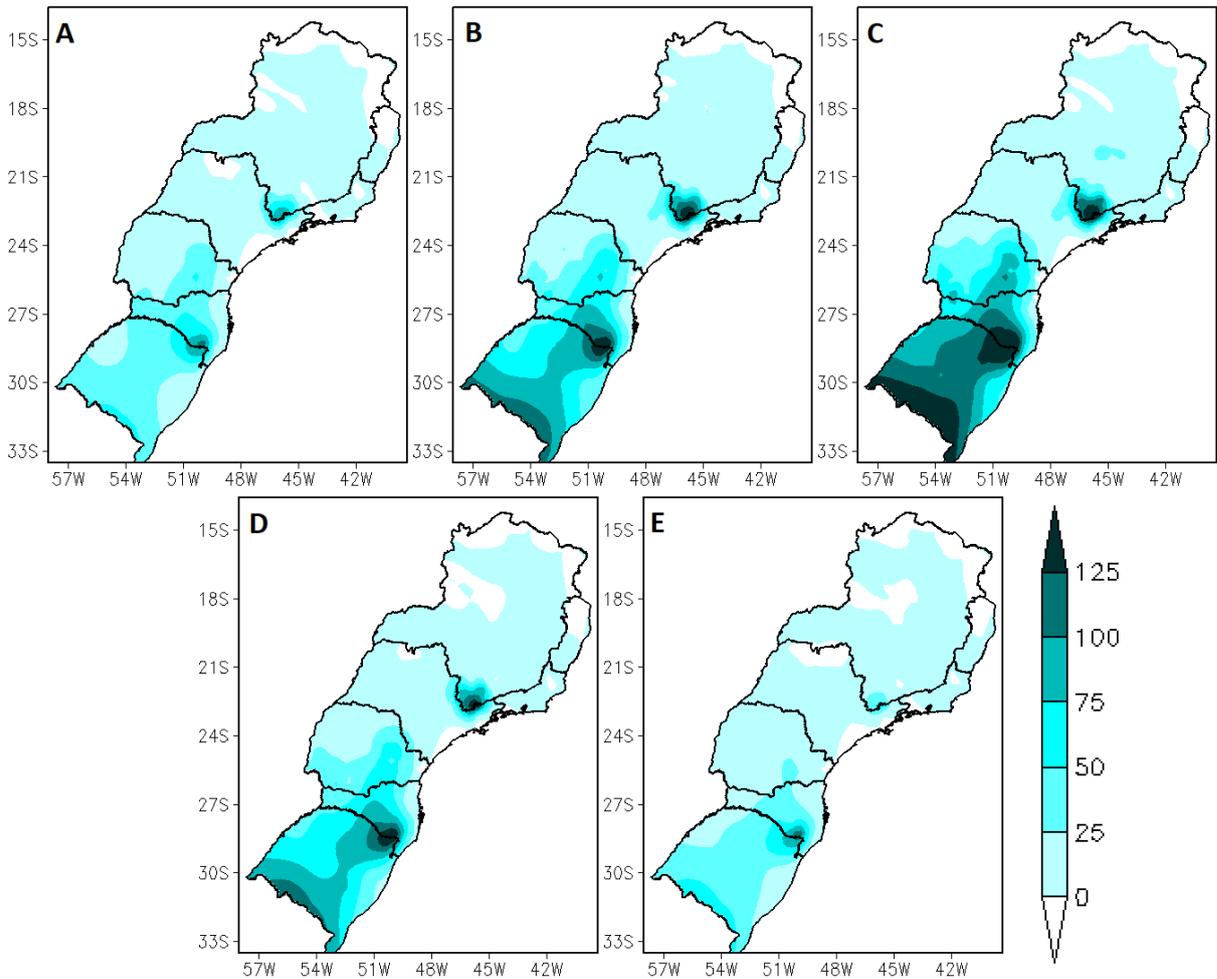


Figura 2.2 – Médias climatológicas mensais do período de 1981 a 2015, do número de horas de frio abaixo de 7 °C (em horas), para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, para os meses de maio (a), junho (b), julho (c), agosto (d) e setembro (e).

A distribuição espacial considerando a $T_b=9,5^{\circ}\text{C}$ (Figura 2.3) e 13°C (Figura 2.4) é semelhante a da $T_b=7^{\circ}\text{C}$, porém com maiores magnitudes, principalmente para a $T_b=13^{\circ}\text{C}$. Considerando a $T_b=9,5^{\circ}\text{C}$ verifica que a ocorrência de NHF também é maior no mês de julho e os maiores acúmulos de NHF também ocorrem nos municípios mais elevados das Serras da Mantiqueira e Geral. Em São Joaquim (SC), Campos de Jordão (SP), Bom Jesus (RS) e Monte Verde foram registrados respectivamente, 1334, 1178, 1156 e 1066 NHF; sendo os maiores valores de NHF registrados em toda a área do estudo (Anexo 3). No ES, RJ, norte de MG e litoral paulista o período de ocorrência de NHF é mais curto resultando em menor NHF anual.

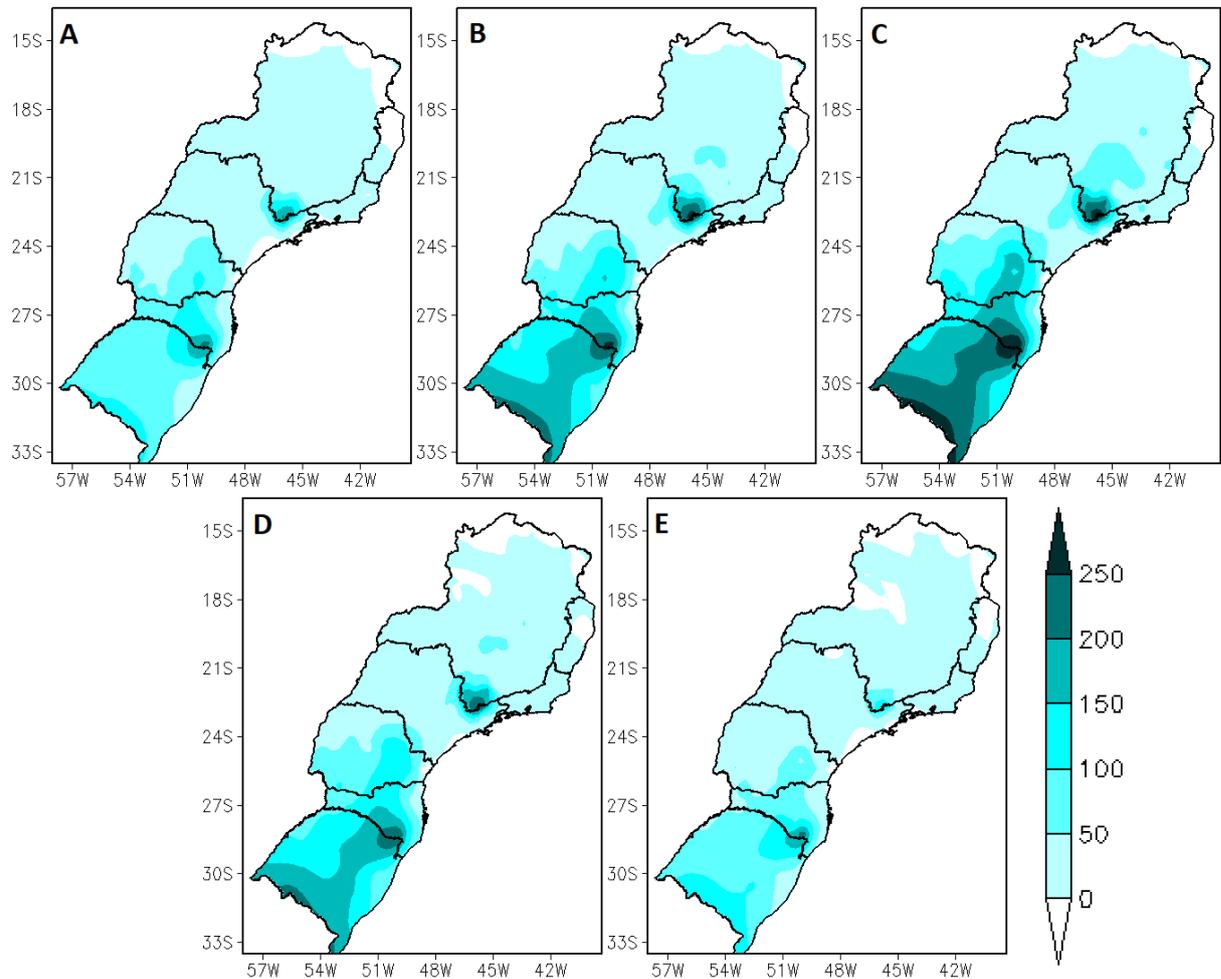


Figura 2.3 - Médias climatológicas mensais do período de 1981 a 2015, do número de horas de frio abaixo de 9,5 °C (em horas), para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, para os meses de maio (a), junho (b), julho (c), agosto (d) e setembro (e).

Para a $T_b=13^{\circ}\text{C}$ foram registrados em São Joaquim (SC), Campos de Jordão (SP), Bom Jesus (RS) e Monte Verde (MG) respectivamente, 2307, 2059, 2043 e 1951 NHF; sendo os maiores valores de NHF registrados nas regiões Sul e Sudeste (Anexo 3). Para essa T_b , somente no norte do ES, RJ e MG o período de acúmulo de NHF é menor, resultando em menor NHF anual.

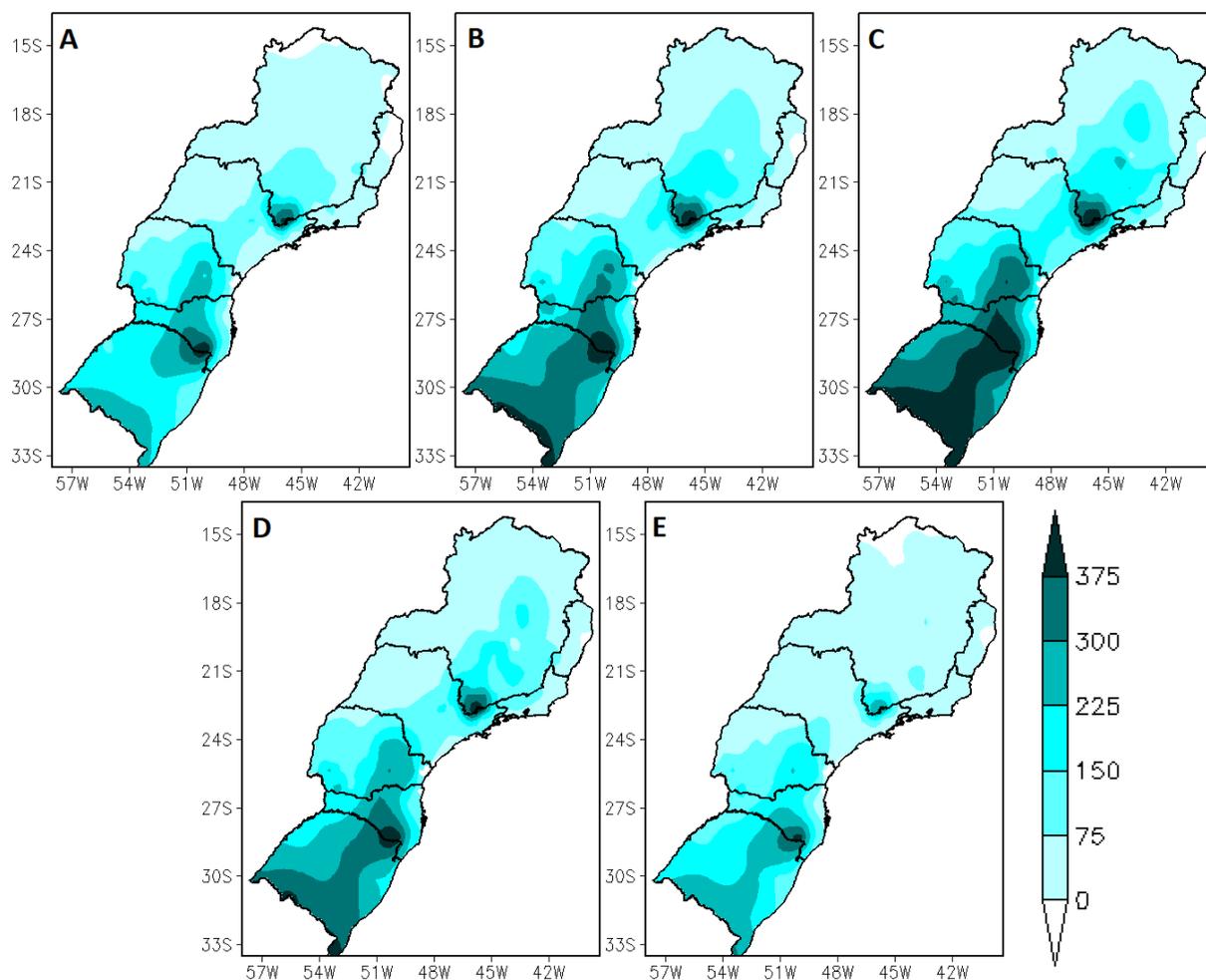


Figura 2.4 - Médias climatológicas mensais do período de 1981 a 2015, do número de horas de frio abaixo de 13 °C (em horas), para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, para os meses de maio (a), junho (b), julho (c), agosto (d) e setembro (e).

As estimativas de NHF (Anexo 3), considerando o PP para as regiões Sul e Sudeste indicam que São Joaquim (SC) é o município com maiores registros de NHF. Por essa razão, é o município que apresenta as melhores condições climáticas para o cultivo de macieira em todo o território nacional (IUCHI et al., 2002) e, conseqüentemente, onde podem ser cultivadas a maioria das frutíferas de clima temperado, com diferentes exigências em frio.

O município que apresentou os menores valores de NHF foi Vitória (ES); tendo, em média, 0 NHF para as três Tbs (7, 9,5 e 13 °C). Vitória ao contrário de São Joaquim, possui altitude baixa (36,2 m) e é localizada no nordeste da região Sudeste, sendo escassas as passagens de frentes frias, as quais favorecem a queda de temperatura (MONTEIRO, 2001). Assim como Vitória (ES), adicionalmente, as regiões litorâneas do RJ (± 0 NHF para $T_b = 7$ °C), SC (± 28 NHF para $T_b = 7$ °C), PR ($\pm 14,5$ NHF para $T_b = 7$ °C), também apresentam baixo acúmulo de NHF, principalmente para a $T_b = 7$ °C, devido a propriedade

termorreguladora da água (WREGGE et al., 2016), a qual desfavorece a amplitude térmica diária e evita o intenso resfriamento noturno (SILVA; DERECZYNSKI, 2014).

No Sudeste a diferença entre o município com maior NHF (Campos do Jordão - SP) e o município com menor NHF (Vitória - ES) é de 675 NHF para a $T_b = 7\text{ °C}$, 1177 NHF para a $T_b = 9,5\text{ °C}$ e 2059 NHF para a $T_b = 13\text{ °C}$. Já na região Sul a diferença entre o município com maior NHF (São Joaquim - SC) e o município com menor NHF (Paranaguá - PR) é de 753 NHF para a $T_b = 7\text{ °C}$, 1307 NHF para a $T_b = 9,5\text{ °C}$ e de 2093 NHF para a $T_b = 13\text{ °C}$.

Além disso, verifica-se que os NHF anuais apresentam alto desvio e consequentemente uma variabilidade anual alta (Anexo 3). Essa variabilidade é inerente a variação anual da temperatura do ar (Figuras 1.7 e 1.8), da atuação dos sistemas frontais predominantes nos meses de inverno (CARDOZO et al., 2015) e, especialmente no Sudeste, da amplitude térmica diária. As frentes frias adentram, geralmente, pelo setor sudoeste do RS avançando para norte em direção a região Sudeste causando queda brusca nas temperaturas (COSTA; ANDRADE, 2015; FRITZSONS et al., 2008); quanto mais a norte menor a frequência da ocorrência desses sistemas (CARDOZO et al., 2015). No Sudeste, durante o verão, a alta nebulosidade dificulta a perda radiativa noturna, favorecendo baixas amplitudes térmicas; enquanto no inverno a menor nebulosidade devido ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul favorece a perda de radiação, ocasionando o resfriamento noturno e menores temperaturas mínimas (DEGOLA, 2013). Essa variabilidade anual é prejudicial às FCT exigentes em frio ($T_b \leq 7\text{ °C}$); pois a insuficiência anual de NHF dificulta o acúmulo de frio, prejudicando a brotação e o florescimento normal e por consequência causa redução na produtividade (TANASIJEVIC et al., 2014). Além disso, dificulta o planejamento, introdução e o estabelecimento dessas culturas (MORAIS; CARBONIERI, 2015; MAULIÓN et al., 2014).

2.3.2. Climatologia anual de NHF para o Período Presente e projeções futuras

Considerando o acúmulo de NHF para a T_b de 7 °C no PP (Figura 2.5a e Tabela 2.3), percebe-se que dos 1.501.392 km² que abrangem as regiões Sul e Sudeste do Brasil (IBGE, 2017), apenas 4.326 km² (0,3%) apresentam NHF suficiente para suprir as exigências em NHF das FCT do Grupo V (mais exigente em frio); 237.972 km² (15,9%) apresentam quantidade de NHF suficiente para as FCT do Grupo III (exigência média em frio), e cerca de 545.174 km² (36,3%) apresentam o NHF necessário para suprir as exigências das FCT do

Grupo I (menos exigente em frio). As regiões que apresentam maiores acúmulos de NHF estão concentradas nas áreas de maiores altitudes e conseqüentemente as menores temperaturas do ar. Em aproximadamente 956218 km² (63,7%) a falta de acúmulo de frio (<100 NHF) inviabiliza o cultivo e a introdução de qualquer FCT.

Ainda no PP, porém para a Tb de 9,5 °C (Figura 2.5b e Tabela 2.3) há um aumento do NHF e uma expansão das áreas com acúmulo de NHF, reduzindo para 691603 km² (46,1%) as áreas com inaptidão ao cultivo (<100 NHF) de FCT. Para a Tb de 13 °C (Figura 2.5c e Tabela 2.3) a área inapta (<100 NHF) às FCT é ainda menor, somente, aproximadamente, 191481 km² (12,8%).

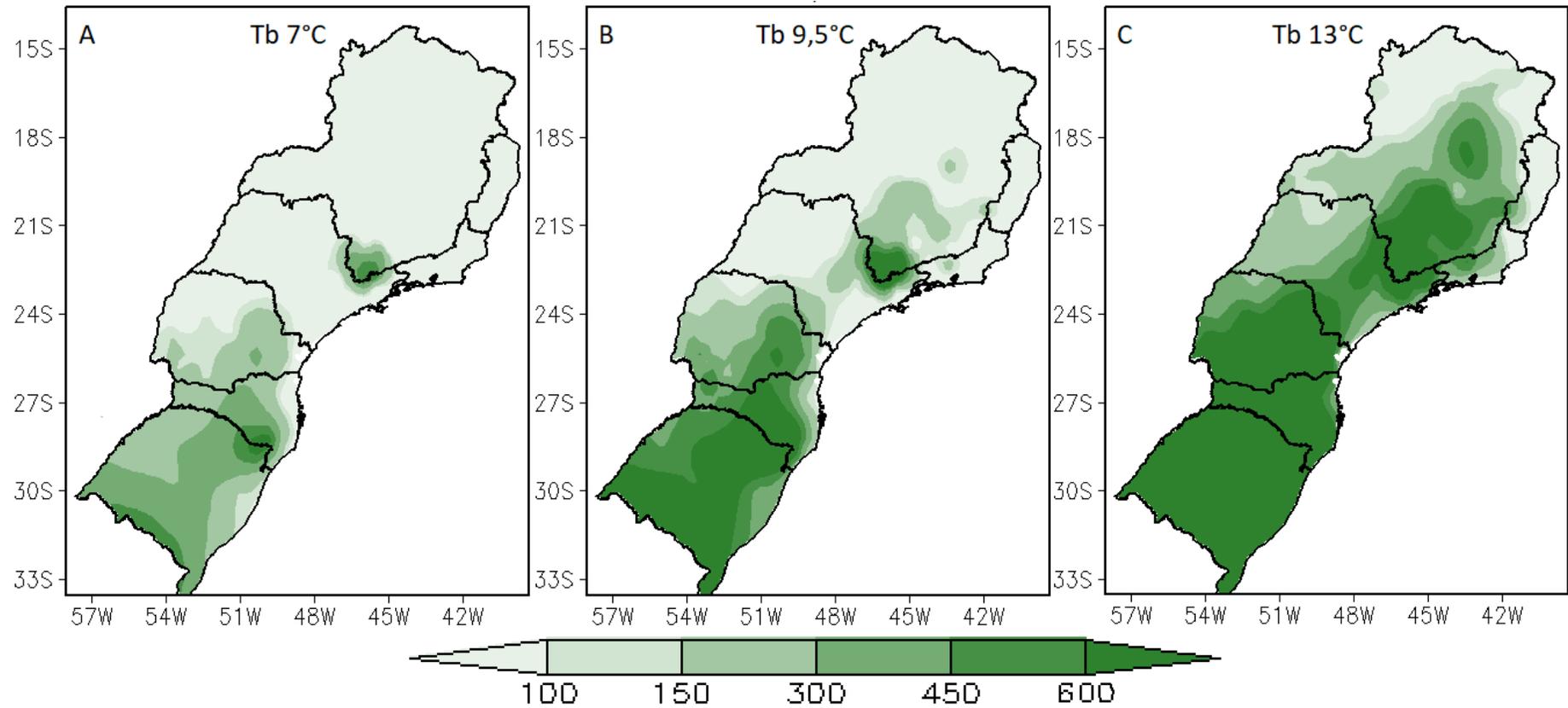


Figura 2.5 - Médias climatológicas anuais do número de horas de frio (em hoas), abaixo de 7 °C (a), 9,5 °C (b) e 13 °C (c), para o período de 1981 a 2015, para as regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Irão ocorrer modificações no zoneamento de aptidão climática para as FCT, pelas projeções de mudanças de temperatura do ar (Figuras 1.7 e 1.8). De maneira geral, projeta-se um aumento crescente e gradual de temperatura do ar, principalmente a T_m e T_m (FD) (Figuras 1.7 e 1.8). Esse aumento reduzirá o NHF (Figura 2.6) principalmente para a T_b de 7 °C (Figura 2.6a, b, c e d), em todos os cenários, com redução e deslocamento das áreas aptas ao cultivo das FCT para o extremo sul de MG, parte central do PR e partes mais altas de SC e RS.

Analisando separadamente a $T_b=7^\circ\text{C}$, observa-se que em todos os cenários, nenhuma região do Sul e Sudeste apresentam NHF suficientes para as FCT do Grupo V, inviabilizando o cultivo da maçã Fuji e da nectarina Sweet Gold; sendo recomendado a substituição por outras cultivares menos exigentes em NHF, como as cultivares de maçã Anna e Eva. Para o FP no RCP 4.5 (cenário com as menores mudanças nos padrões de temperatura) cerca de 995208 km² (66,3%) não apresentam sequer NHF suficientes para as FCT do Grupo I, que representa as FCT menos exigente em frio; sendo ainda pior no FD e no RCP 8.5 (cenário com as maiores mudanças nos padrões de temperatura) com inaptidão de 1025236 km² (68,3%) para as FCT do Grupo I.

Considerando a $T_b = 9,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 2.6e, f, g e h) é possível observar, comparativamente, redução no NHF ainda maior no sul de SP e na região Sul, principalmente nas áreas menos elevadas como o centro, oeste e norte do PR; norte e oeste de SC; Mesorregião do Noroeste e litoral do RS. Essas áreas apresentam acúmulo de NHF limítrofe (150, 300 e 450 NHF) ao exigido pelos grupos de FCT, e portanto, são as primeiras a serem afetadas pelas alterações das mudanças climáticas. Isso não ocorre nas regiões mais baixas do Sudeste, pois essas já apresentam pouco acúmulo de NHF (< 100 NHF); já as regiões mais elevadas do Sul e Sudeste apresentam bastante acúmulo de NHF (> 600 NHF) demorando mais para serem afetadas pelas mudanças climáticas. Similarmente, a $T_b = 13 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 2.6i, j, k e l) terá redução no NHF, sendo mais intenso no FD e no RCP 8.5 em todo o estado de SP, região serrana do RJ, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e Vale da Mata (MG).

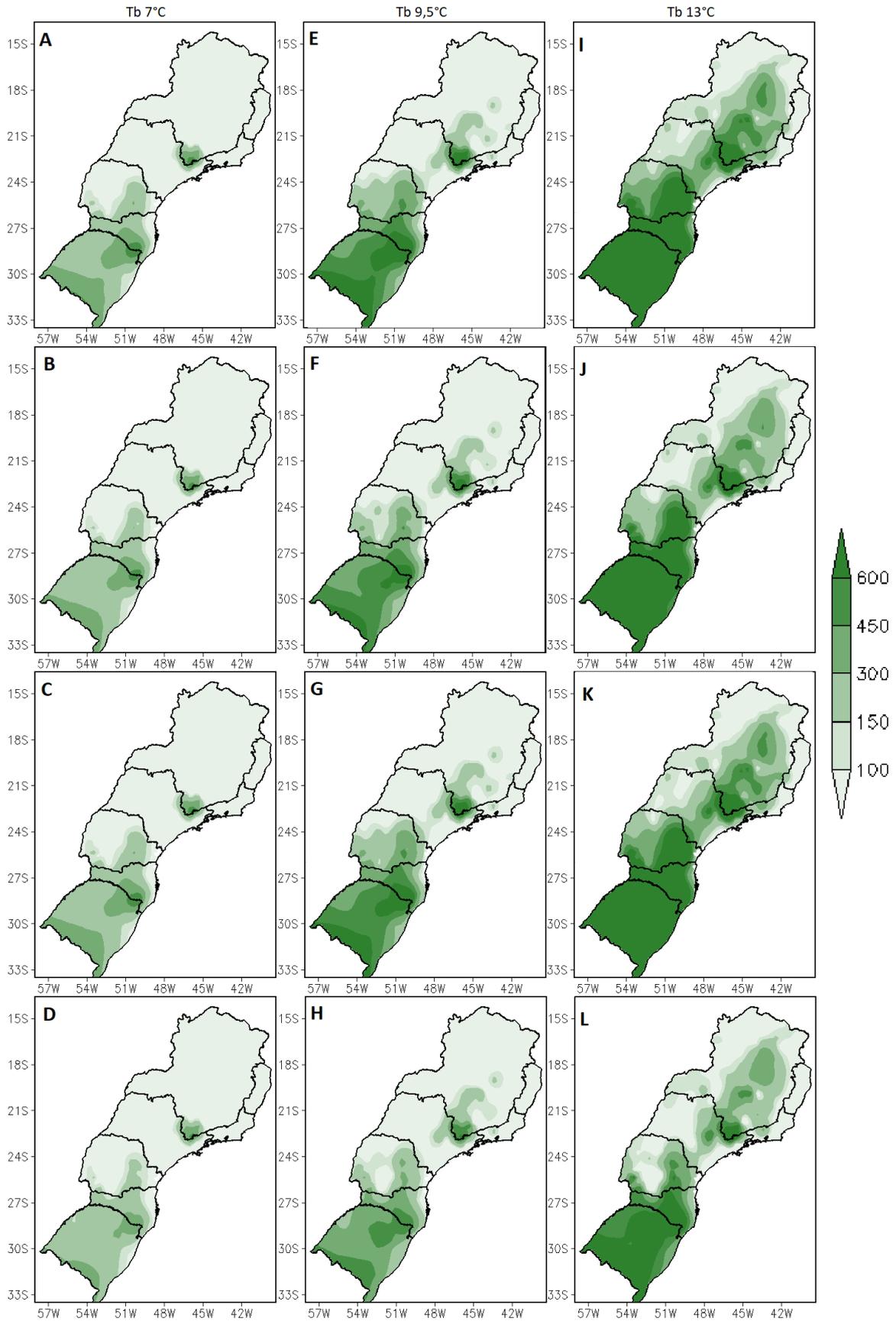


Figura 2.6 - Médias climatológicas anuais do número de horas de frio para as regiões Sul e Sudeste do Brasil; com a $T_b = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ no período FP e RCP 4.5 (a), FP e RCP 8.5 (b), FD e RCP 4.5 (c) e FD e RCP 8.5 (d); a $T_b = 9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (e, f, g e h; respectivamente) e a $T_b = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$ (i, j, k e l; respectivamente).

As prováveis mudanças climáticas projetadas para o final do século XXI, devem afetar a duração e o acúmulo de horas de frio nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, favorecendo ainda mais a ocorrência de insuficiência em horas de frio. Esse comportamento deve diminuir as áreas que apresentam aptidão climática para os 5 grupos de FCT. De modo geral, pode-se observar que a disponibilidade de NHF é similar em ambos os RCPs 4.5 e 8.5 no FP; com maior redução no FD e no RCP 8.5. Isso é evidenciado principalmente na $T_b = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$, onde as áreas com $\text{NHF} > 600$ NHF (Grupo V) apresentam diferença de apenas 0,9% entre o RCP 4.5 e o 8.5 no FP e diferença de 12,4% no FD. Observa-se que o Grupo V apresenta a maior proporção de redução da área apta e aumento da área inapta para as três T_b 's ($7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $13\text{ }^{\circ}\text{C}$), sendo uma redução de respectivamente, 100%, 98,3% e 59,6%; da área apta inicialmente. Já em termos absolutos, os grupos que apresentaram maior aumento de área inapta, são o Grupo III para a $T_b = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (11,6%), o Grupo IV para a $T_b = 9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (19,6%) e o Grupo V para a $T_b = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$ (27,3%).

Tabela 2.3 – Proporção de áreas com número de horas de frio para as regiões Sul e Sudeste, para os Grupos I, II, III, IV e V de frutíferas de clima temperado; considerando três temperaturas base (7 °C, 9,5 °C e 13 °C), dois cenários forçantes (RCP 4.5 e 8.5) e os períodos presente (PP = 1981-2015) e futuros (FP = 2021-2050 e FD = 2071-2100).

Temperatura base	Cenários	< 100	150	300	450	600	> 600
		NHF	NHF	NHF	NHF	NHF	NHF
		%					
Tb 7 °C	PP	63,7	36,3	31,4	15,9	2,6	0,3
	RCP 4.5 FP	66,3	33,7	29,1	10,6	0,9	0,0
	RCP 4.5 FD	67,0	33,0	28,4	7,8	0,6	0,0
	RCP 8.5 FP	66,3	33,7	29,1	9,5	0,9	0,0
	RCP 8.5 FD	68,3	31,7	26,9	4,3	0,3	0,0
Tb 9,5 °C	PP	46,1	53,9	46,1	34,4	27,4	17,8
	RCP 4.5 FP	50,6	49,4	42,4	30,5	20,6	9,9
	RCP 4.5 FD	52,5	47,5	39,4	27,7	16,3	3,8
	RCP 8.5 FP	50,9	49,1	42,1	29,8	19,3	7,3
	RCP 8.5 FD	55,2	44,8	36,9	24,1	7,8	0,3
Tb 13 °C	PP	12,8	87,2	81,2	65,8	55,1	45,8
	RCP 4.5 FP	16,1	83,9	71,0	55,7	42,2	34,9
	RCP 4.5 FD	22,9	77,1	66,5	47,1	35,3	30,9
	RCP 8.5 FP	17,3	82,7	70,4	54,5	40,8	34,0
	RCP 8.5 FD	30,5	69,5	56,9	39,0	27,9	18,5
		km ²					
Tb 7 °C	PP	956218	545174	471619	237973	38941	4327
	RCP 4.5 FP	995209	506184	437549	158719	12869	0
	RCP 4.5 FD	1005243	496150	427120	116487	8629	0
	RCP 8.5 FP	995159	506233	437005	142784	12980	0
	RCP 8.5 FD	1025237	476156	403231	64345	4290	0
Tb 9,5 °C	PP	691604	809789	691604	516514	411460	267012
	RCP 4.5 FP	759425	741967	637219	458274	309880	148393
	RCP 4.5 FD	787903	713490	590927	415838	245125	56904
	RCP 8.5 FP	763866	737526	632165	447784	289742	109751
	RCP 8.5 FD	829258	672135	554293	362255	117842	4365
Tb 13 °C	PP	191482	1309911	1218522	987873	826854	687594
	RCP 4.5 FP	242160	1259233	1065504	836553	634019	523946
	RCP 4.5 FD	344437	1156956	997985	706538	529903	463665
	RCP 8.5 FP	259772	1241621	1056699	818941	612005	510738
	RCP 8.5 FD	457903	1043490	854165	585587	418277	277383

Estudos realizados por Carbone e Schwartz (1993) demonstraram que o aquecimento médio de 2 °C nos meses de inverno resultaria em uma diminuição de aproximadamente 400 NHF em Carolina do Sul (EUA); acarretando em florescimento tardio de pessegueiros. Wrege

et al. (2010) verificaram que o aumento de alguns graus na T_m causará redução drástica no NHF na região Sul do Brasil; sendo necessário o desenvolvimento de cultivares com baixa exigência em NHF, ou a aplicação efetiva de produtos químicos para promover a quebra de dormência. Luedeling et al. (2011) demonstram que as regiões de clima tropical e subtropical serão as mais susceptíveis, com reduções severas no NHF, corroborando com o estudo de Luedeling et al. (2009), os quais detectaram que o aumento de 1 à 2°C impactaram em uma taxa média de redução do NHF de 1,2 a 9,5 horas/ano, tornando a península Arábica inapta as FCT.

Além da redução do NHF, o aumento da temperatura projetado para o Sul e Sudeste do Brasil, principalmente no início do florescimento e pleno florescimento (FUNES et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2012; STEDUTO et al., 2012), que ocorrem durante os meses da primavera (Figuras 1.7 e 1.8), é prejudicial, pois causa o abortamento floral que por sua vez reduz drasticamente a produção (GARCÍA-MOZO et al., 2010). Já no outono, os aumentos esperados de temperatura (Figuras 1.7 e 1.8), pode provocar o atraso da antese (ATKINSON et al., 2013), que por sua vez causaria variação no desenvolvimento das FCT, dificultaria a polinização e fertilização da flor, além de atrasar as fases fenológicas seguintes. Na prática esse atraso é ainda maior nas cultivares de floração precoce, o que ocasionaria incompatibilidade na fecundação, má formação, redução do tamanho, e baixa qualidade dos frutos, além de atraso na data da colheita.

O padrão climático sazonal da temperatura também deve ser considerado, uma vez que frio precoce no outono ou tardio na primavera pode acarretar danos as estruturas vegetativas e reprodutivas das FCT (MAN et al., 2017). Como exemplo, a oliveira tem seus brotos e ramos novos lesionados a temperaturas entre 0°C a -5°C, além de danos irreversíveis levando a morte da planta em temperaturas $\leq -10^\circ\text{C}$ (COUTINHO et al., 2009). Quanto maior o valor de T_b da espécie/cultivar/variedade, maior deverá ser a atenção, uma vez que T_b mais elevada implica em maior sensibilidade a baixas temperaturas. Além disso, a interrupção do resfriamento por temperaturas elevadas anulam o acúmulo de NHF (ATKINSON et al., 2013); o que justifica a variabilidade intrasazonal na produtividade das FCT.

2.4. CONCLUSÕES

Em todos os meses, os maiores acúmulos de NHF são registrados nos municípios mais elevados da Serra da Mantiqueira e Serra Geral, com destaque para o mês de julho. São Joaquim (SC) é o município que apresentou os maiores acúmulos de NHF enquanto que Vitória (ES) foi o que apresentou os menores valores de NHF.

Para o clima presente – PP (período médio de 1981-2015) há maior proporção de área apta para as FCT menos exigentes em frio, principalmente as do Grupo I e II. Considerando a $T_b=7\text{ }^\circ\text{C}$, cerca de 36,3% são áreas aptas às FCT menos exigentes em frio (Grupo I); enquanto que 0,3% são áreas aptas às FCT mais exigentes em NHF (Grupo V). Considerando a $T_b=9,5\text{ }^\circ\text{C}$, o percentual de áreas aptas ao Grupo I é próximo de 53,9% e ao Grupo V é próximo de 87,2%. Considerando a $T_b=13\text{ }^\circ\text{C}$, temos que 17,8% da área é apta ao Grupo I e 45,8% apta ao Grupo V. Para o cenário com as maiores alterações de mudanças climáticas (RCP 8.5 no período FD) essas áreas diminuem. Considerando a $T_b=7\text{ }^\circ\text{C}$, as áreas aptas dos Grupos I e V reduzem, respectivamente para 31,7% e 0%. Considerando a $T_b=9,5\text{ }^\circ\text{C}$, o percentual de áreas aptas dos Grupos I e V reduz, respectivamente para 44,8% e 0,3%. Considerando a $T_b=13\text{ }^\circ\text{C}$, temos que a área é apta dos Grupos I e V são reduzidas, respectivamente para 69,5% e 18,5%.

As mudanças climáticas projetadas para ocorrerem ao longo do século XXI reduzirão grande parte da área apta, além de haver um deslocamento das áreas aptas para a região central do PR e para as regiões serranas de MG, de SC e do RS. Como o maior aumento de temperatura do ar deve ocorrer durante os meses que ocorre o florescimento, essa fase fenológica deve ser a mais afetada. As FCT pertencentes aos Grupos III, IV e V serão as mais afetadas, com redução da área apta ao cultivo, devido a insuficiência do acúmulo de NHF decorrente do aumento de temperatura, sendo recomendado o desenvolvimento de cultivares menos exigentes em NHF.

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, I. R. de; ANTUNES, L. E. C. Necessidades climáticas e influência do clima sobre adaptação, produção e qualidade. In: ANTUNES, L. E. C.; HOFFMANN, A. (Eds.). **Pequenas frutas: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: EMBRAPA, 2012. p. 41-49.

ALVARENGA, A. A.; ABRAHÃO, E.; RAMOS, J. D.; CHALFUN, N. N. J. Estimativa das unidades e horas de frio em Lavras (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 6, p.1344-1347, 2002.

ANGELOCCI, L. R.; CAMARGO M. G. P.; PEDRO Jr., M. J.; ORTOLANI, A. A.; ALFONSI, R. R. Estimativa do total de horas frias abaixo de determinada temperatura-base através das medidas diárias de temperatura do ar. **Revista Científica de Agronomia**, Campinas, v. 38, n. 4, p. 27-36, 1979.

ANZANELLO, R.; BIASI, L. A. Base temperature as a function of genotype: a foundation for modeling phenology of temperate fruit species. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 4, p. 1811-1826, 2016.

ATKINSON, C. J.; BRENNAN, R. M.; JONES; H. G. Declining chilling and its impact on temperate perennial crops. **Environmental and Experimental Botany**, Barcelona, v. 91, p. 48-62, 2013.

BERTONCINI, E. I.; TERAMOTO, J. R. S; PRELA-PANTANO, A. **Desafios para produção de azeite no Brasil**. 2010. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2010_4/DesafioOliva/index.htm>. Acesso em: 9/11/2016

BRAGA, H. J.; SILVA JR., V. P.; PANDOLFO, C.; PEREIRA, E. S. Zoneamento de riscos climáticos da cultura da maçã no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 439-445, 2001.

BRASIL. Portaria n. 65-68, de 17 de fevereiro de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, 21 fev. 2011. Seção 1, p. 11-15.

BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; SCHNEIDER, F. M.; ESTEFANEL, V.; OLINVEIRA, H. T.; DIDONÉ, M. A. Disponibilidade de horas de frio na região central do Rio Grande do Sul: 2 – Distribuição geográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 5, p. 755-759, 2000.

CAMPOS, C. G. C. **Padrões climáticos atuais e futuros de temperatura do ar na região sul do Brasil e seus impactos nos cultivos de pêssigo e de nectarina em Santa Catarina**. 2010. 165 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

CARA GARCÍA, J. A. Características agroclimáticas de la vid (*Vitis vinifera L. subsp. vinifera*). **Calendario meteorológico**, p. 236-239, 2010.

CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; WREGGE, M. S.; HERTER, F. G.; HAUAGGE, R.; GONÇALVES, S. L.; CITADIN, I.; RICCE, W. S. Zoneamento agroclimático para o

pessegueiro e a nectarineira no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 1040-1044, 2008.

CARBONE, G. J.; SCHWARTZ, M. D. Potential impact of winter temperature increases on South Carolina peach production. **Climate Research**, [S. l.], v. 2, p. 225-233, 1993.

CARCELEN, E. **Arboricultura Especial**. Lugo: Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos, 1988. 64p.

CARDOZO, A. B.; REBOITA, M. S.; GARCIA, S. R. Climatologia de frentes frias na América do Sul e sua relação com o modo anular sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 17, p. 9-26, 2015.

CHALFUN, N. N. J.; ANTUNES, L. E. C.; PIO, R. **Cultivares de Pessegueiro, Videira e Figueira**. Lavras-MG: UFLA, 2002. (Boletim de Extensão)

CHAGAS, P. C. **Produção e qualidade de cultivares de macieira no leste paulista**. 2011. 84 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

CITADIN, I.; RASEIRA, M. C. B.; HERTER, F. G.; SILVEIRA, C. A. P. Avaliação da necessidade de frio em pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 703-706, 2002.

COSTA, C.; ANDRADE, A. R. Gênese e evolução das temperaturas mínimas absolutas na região centro-sul do Paraná: a influência da dinâmica atmosférica e do relevo local. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 452-471, 2015.

COUTINHO, E. F.; RIBEIRO, F. C.; CAPPELLARO, T. H. **Cultivo de oliveira (*Olea europaea* L.)**. Pelotas: EMBRAPA clima temperado, 2009. 125p. (Sistema de produção, 16)

CRESSIE, N. Spatial prediction and ordinary kriging. **Mathematical Geology**, [S. l.], v. 20, n. 4, p. 405-421, 1988.

DALASTRA, I. M.; PIO, R.; CAMPAGNOLO, M. A.; DALASTRA, G. M.; GUIMARÃES, V. F.; CHAGAS, E. A. Número de ramos na produção de figos verdes ‘Roxo de Valinhos’ no oeste do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 1029-1034, 2011.

DEGOLA, T. S. D. **Impactos e variabilidade do anticiclone subtropical do atlântico sul sobre o Brasil no clima presente e em cenários futuros**. 2013. 112 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

DOKOOZLIAN, N. K.; WILLIAMS, L. E. Chilling exposure and hydrogen cyanamide interact in breaking dormancy in grape buds. **HortScience**, Virgínia, v. 30, p. 1244-1247, 1995.

EMBRAPA. **A cultura do pêssigo**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado, 1993. 60p. (Coleção Plantar; v. 6)

EPAGRI. **Avaliação de cultivares para o estado de Santa Catarina 2015-2016**. Florianópolis: EPAGRI, 2016. 73p. (Boletim Técnico, n. 171). Online.

FERRAZ, R. A. **Propagação e desempenho agrônomico de variedades de figueira (*Ficus carica* L.) com potencial de cultivo**. 2017. 99 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.

FRITZSONS, E.; MONTOVANI, L. E.; AGUIAR, A. V. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná. **Revista de estudos ambientais**, Blumenau, v. 10, n. 1, p. 49-64, 2008.

FUNES, I.; Aranda, X.; Biel, C.; Carbó, J.; Camps, F.; Molina, A. J.; Herralde, F.; Grau, B.; Savé, R. Future climate change impacts on apple flowering date in a Mediterranean subbasin. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 164, p. 19-27, 2016.

GARCIA, S. R.; MARTINS, F. B.; SANTOS, D. F.; TORRES, R. R. Aspectos climatológicos associados ao cultivo da oliveira (*Olea europaea* L.) em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 22, 2018. (No prelo)

GARCÍA-MOZO, H.; MESTRE, A.; GALÁN, C. Phenological trends in southern Spain: A response to climate change. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 150, p. 575–580, 2010.

GOU, L.; DAI, J.; RANJITKAR, S.; YU, H.; XU, J.; LUEDELING, E. Chilling and heat requirements for flowering in temperate fruit trees. **International Journal of Biometeorology**, [S. l.], v. 58, n. 6, p. 1195-1206, 2014.

HAWERROTH, F. J.; HERTER, F. G.; PETRI, J. L.; LEITE, G. B.; PEREIRA, J. F. M. **Dormência em frutíferas de clima temperado**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2010. 57p.

HELDWEIN, A. B.; ANGELOCCI, L. R.; ESTEFANEL, V.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A. Avaliação de modelos de estimativa de horas de frio para Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 19, p. 45-92, 1989.

HELDWEIN, A. B.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; PRESTES, S. D. Disponibilidade de horas de frio na região central do Rio Grande do Sul: 1 - Ocorrência de valores acumulados para diferentes níveis de probabilidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 5, p. 747-754, 2000.

IBGE. Área Territorial Brasileira. **IBGE**, Rio de Janeiro, DOU n° 30, Seção 1, p.96, 2017. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm>. Acesso em: 18/01/2018.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change - Summary for Policymaker. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Eds). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of

the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

IUCHI, V. L.; IUCHI, T.; BRIGHENTI, E.; DITRICH, R. Quebra da dormência da macieira (*Malus domestica Borkh*) em São Joaquim – SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 168-174, 2002.

LUEDELING, E.; GEBAUER, J.; BUERKERT, A. Climate change effects on winter chill for tree crops with chilling requirements on the Arabian Peninsula. **Climatic Change**, [S. l.], v. 96, p. 219-237, 2009.

LUEDELING, E.; GIRVETZ, E. H.; SEMENOV, M. A.; BROWN, P. H. Climate change affects winter chill for temperate fruit and nut trees. **Plos One**, San Francisco, v. 6, n. 5, p. 1-13, 2011.

LUMBRERAS, J. F.; NAIME, U. J.; CARVALHO FILHO, A.; WITTERN, K. P.; SHINZATO, E.; DANTAS, M. E.; PALMIERI, F.; FIDALGO, E. C. C.; CALDERANO, S. B.; MEDINA, A. I. M.; PIMENTEL, J.; CHAGAS, C. S.; GONÇALVES, A. O.; MARTORANO, L. G.; TÔSTO, S. G.; BRANDÃO, E. S.; AMARAL, F. C. S.; LIMA, J. A. S.; VALLE, L. C. S.; PEREIRA, N. R.; BARUQUI, A. M.; PRADO, R. B.; OLIVEIRA, R. P.; AGLIO, M. L. D.; SANTOS, L. C. O.; ANJOS, G. T. **Zoneamento agroecológico do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 33, 113p.

MAIA, J. D. G.; RITSCHER, P. S. Novas cultivares de videira para elaboração de suco e para mesa. In: **14º Encontro nacional sobre fruticultura de clima temperado**. Palestra. Caçador: Epagri, 2015. v. 2. p. 81-90.

MAN, R.; LU, P.; DANG, Q. L. Insufficient chilling effects vary among boreal tree species and chilling duration. **Frontiers in Plant Science**, Melbourne, v. 8, p. 1-9, 2017.

MARTINS, F. B. PEREIRA, R. A. A.; PINHEIRO, M. V. M.; ABREU, M. C. Desenvolvimento foliar em duas cultivares de oliveira estimado por duas categorias de modelos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n. 4, p. 505-514, 2014.

MARTINS, F. B.; REIS, D. F. da; PINHEIRO, M. V. M. Temperatura base e filocrono em duas cultivares de oliveira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n.11, p. 1975-1981, 2012.

MAULIÓN, E.; VALENTINI, G. H.; KOVALEVSKI, L.; PRUNELLO, M.; MONTIA, L. L.; DAORDENB, M. E.; QUAGLINOC, M.; CERVIGNI, G. D. L. Comparison of methods for estimation of chilling and heat requirements of nectarine and peach genotypes for flowering. **Scientia Horticulturae**, [S. l.], v. 177, p. 112–117, 2014.

MELO-ABREU, J. P.; BARRANCO, D.; CORDEIRO, A. M.; TOUS, J.; ROGADO, B. M.; VILALOBOS, F. J. Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 125, n. 1-2, p. 117-127, 2004.

- MONTEIRO, M .A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**, Florianópolis, v. 16, n. 31, p. 69-78, 2001.
- MORAIS, H.; CARBONIERI, J. Horas e unidades de frio em pomares de maçã com diferentes microclimas. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 1, p. 1-12, 2015.
- MORIONDO, M.; FERRISE, R.; TROMBI, G.; BRILLI, L.; DIBARI, C.; BINDI, M. Modelling olive trees and grapevines in a changing climate. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v. 72, n. C, p. 387-401, 2015.
- MOTA, F. S. Região edafoclimática para produção de azeite de oliva e azeitonas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 7, p. 793-796, 1989.
- NATIVIDADE, U. A.; GARCIA, S. R.; TORRES, R. R. Tendências dos Índices de Extremos Climáticos Observados e Projetados no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 32, n. 4, p. 600-614, 2017.
- NIENOW, A. A.; CHAVES, A.; LAJÚS, C. R.; CALVETE, E. O. Produção da figueira em ambiente protegido submetida a diferentes épocas de poda e número de ramos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 421-424, 2006.
- OLIVEIRA, I. V. M.; LOPES, P. R. C.; SILVA-MATOS, R. R. S. Caracterização fenológica e frutificação efetiva de macieiras 'Daiane' sob condições semiáridas no Nordeste do Brasil. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 11, n. 2, p. 153-158, 2013.
- OLIVEIRA, M. C. de; RAMOS, J. D.; PIO, R.; CARDOSO, M. G. das. Características fenológicas e físicas e perfil de ácidos graxos em oliveiras no sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.1, p. 30-35, 2012.
- PANTANO, A P.; BEERTONCINI, E. I.; TERAMOTO, J. R. S. **III Encontro da cadeia produtiva da olivicultura**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2012. 60p; (Documentos IAC, n°108).
- PANTANO, A P.; BEERTONCINI, E. I.; WREGE, M. S. Pré-zoneamento para a cultura da oliveira no Estado de São Paulo. **O Agrônômico**, Campinas, v. 64-66, p. 52-55, 2014.
- PEDRO JÚNIOR, M. J.; ORTOLONI, A. A.; RIGITANO, O.; ALFONSI, R. R.; PINTO, H. S.; BRUNINI, O. Estimativa de horas de frio abaixo de 7 °C e 13 °C para regionalização da fruticultura de clima temperado no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 38, n. 13, p. 123-130, 1979.
- PETRI, J. L.; LEITE, G. B.; COUTO, M.; FRANCESCATTO, P. Avanços na cultura da macieira no Brasil. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. Especial, p. 48-56, 2011.
- POLA, A. C.; ANGELOCCI, L. R. Avaliação de modelos de estimativa do número diário de "horas de frio" para o estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, p. 105-116, 1993.

PUTTI, G. L.; PETRI, J. L.; MENDEZ, M. E. Temperaturas efetivas para a dormência da macieira (*Malus domestica* Borkh). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 210-212, 2003.

R CORE TEAM. R: The R Project for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, 2017. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 30/06/2017.

RAMOS, D. P.; LEONEL, S. Características dos frutos de cultivares de pessegueiros e de nectarineira, com potencial de cultivo em Botucatu, SP. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 1, p. 10-18, 2008.

RASEIRA, M. C. B. **Cultivares de pêssego: opções variadas para cada necessidade**. Uberlândia: Campo & Negócio - Hortifruti, 2015. 59p. (Informe Técnico).

RODRIGUES, M. G. F.; CORREA, L. S.; BOLIANI, A. C. Avaliação de seleções mutantes de figueira cv. Roxo-de-Valinhos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 771-777, 2009.

SANTOS, D. F.; MARTINS, F. B.; LEITE, R. R. M. Avaliação dos métodos de estimativa de número de horas frio para o sul e sudoeste do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 21, p. 401-416, 2017.

SILVA, W. L.; DEREZYNSKI, C. P. Caracterização Climatológica e Tendências Observadas em Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 2, p. 123-138, 2014.

SILVA, L. F. O.; OLIVEIRA, A. F.; PIO, R.; ALVES, T. C.; ZAMBON, C. R. Variação na qualidade do azeite em cultivares de oliveira. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 2, p. 202-209, 2012.

SOUZA, A. L. K. Manejo e condução da ameixeira. **Revista Agropecuária Catarinense**, São Joaquim, v. 29, Suplemento, p. 132-139, 2016.

SOUZA, P. M. B; MARTINS, F. B. Estimativa da Temperatura Basal Inferior para as Cultivares de Oliveira Grappolo e Maria da Fé. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n. 2, p. 307-313, 2014.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; RAES, D. **Crop yield response to water**. 66. ed. Rome: FAO. Irrigation and Drainage Paper, 2012. 498p.

TANASIJEVIC, L.; TODOROVIC, M.; PEREIRA, L. S.; PIZZIGALLI, C.; LIONELLO, P. Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 144, p. 54-68, 2014.

THRASHER, B.; MAURER, E. P.; MCKELLAR, C.; DUFFY, P. B. Technical Note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S. l.], v. 16, n. 9, p. 3309-3314, 2012.

TIRONI, L. F.; STRECK, N. A.; SANTOS, A. T. L.; FREITAS, C. P. O. de; UHLMANN, L. O.; OLIVEIRA JÚNIOR, W. C. de; FERRAZ, S. E. T. Estimating cassava yield in future IPCC scenarios for the Rio Grande do Sul State, Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 2, p. 1-10, 2017.

VIEIRA NETO, J.; OLIVEIRA, A. F.; CAPRONI, C. M.; VILLA, F.; SILVA, L. F. O. Desempenho de jardins clonais de oliveira (*Olea europaea* L.) em cortes sucessivos visando a sua propagação por estaquia. **Cerne**, Lavras, v.17, n.1, p.117-122, 2011.

WICKHAM, H. **Advanced R Series: Chapman & Hall/CRC The R Series**. 1. ed. London: CRC Press, 2014. 476p.

WREGGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; HERTER, F. G.; STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, C.; MATZENAUER, R.; BRAGA, H. J. Impact of global warming on the accumulated chilling hours in the southern region of Brazil. **Acta Horticulturae**, [S. l.], v. 872, p. 31-40, 2010.

WREGGE, M. S.; COUTINHO, F. E.; PANTANO, A. P.; JORGE, R. O. Distribuição Potencial de oliveiras no Brasil e no mundo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 3, p. 656-666, 2015.

WREGGE, M. S.; HERTER, F. G.; FRITZSONS, E. Regiões com similaridade de horas de frio no outono-inverno no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 18, p. 108-121, 2016.

CAPÍTULO III

BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO NAS REGIÕES SUL E SUDESTE DO BRASIL PARA AS PRINCIPAIS FRUTIFERAS DE CLIMA TEMPERADO

3.1. INTRODUÇÃO

As frutíferas de clima temperado (FCT) são espécies que apresentam um período de repouso vegetativo durante o inverno (LUEDELING et al., 2011). Essas frutíferas são importantes para a economia nacional, principalmente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (FACHIANELLO, 2011) uma vez que são responsáveis por uma receita anual de exportação de aproximadamente US\$ 92 milhões (CARVALHO et al., 2017). As principais FCT cultivadas nas duas regiões são a uva, maçã, figo, além das frutas de caroço como o pêssigo, ameixa e nectarina (CARVALHO et al., 2017) e a oliveira, espécie que tem apresentado expansão de áreas cultivadas no país (MARTINS et al., 2012; MARTINS et al., 2014; WREGGE et al., 2015).

No entanto, para garantir a continuidade e o aumento da produção, melhoria da qualidade dos frutos e também a expansão das áreas cultivadas é necessário investir em programas de melhoramento genético (BRUNETTO et al., 2016; FACHIANELLO, 2011), assim como avaliar os impactos decorrentes das mudanças climáticas projetadas para ocorrerem ao longo do século XXI, os quais alterarão os padrões climáticos atuais (IPCC, 2013; TORRES, 2014).

Alterações nos padrões climáticos atuais, decorrentes das mudanças climáticas, podem impactar e até inviabilizar o cultivo de determinadas FCT, principalmente, devido às modificações nos padrões de evapotranspiração e do balanço hídrico, assim como alterações nas respostas fisiológicas, fenológicas e duração dos estágios de desenvolvimento (TANASIJEVIC et al., 2014; MORIONDO et al., 2015; SANTOS et al., 2017; GARCIA et al., 2018).

O aumento de temperatura acarreta em elevação da evapotranspiração, fazendo com que as plantas percam água para a atmosfera em taxas elevadas. Através da evapotranspiração, as plantas dissipam o calor proveniente da radiação solar para a atmosfera,

mantendo a temperatura dos tecidos em níveis adequados ao metabolismo das plantas (MORENO-FONSECA, 2009). Nas FCT e em condições de temperatura elevada ocorre o efeito de Warburg, onde o O₂ inibe a fixação da CO₂ pela enzima Rubisco², reduzindo a fotossíntese e elevando a fotorrespiração (MARENCO; LOPES, 2009). Já com a redução da precipitação a oferta de água é inferior a taxa evaporativa, podendo resultar em uma situação de deficiência hídrica (DEF), ocasionando estresse hídrico nas FCT (SHAO et al., 2009, SANTOS et al., 2017). Esses fatores aliados, reduzem a produtividade e a qualidade de produção (ASSAD et al., 2004; SHAO et al., 2009), inclusive nas FCT (MORIONDO et al., 2015; SANTOS et al., 2017; TANASIJEVIC et al., 2014).

Para verificar o impacto das mudanças climáticas na evapotranspiração e na DEF, convencionou-se utilizar o extrato do balanço hídrico climatológico (BHC), o qual quantifica mensalmente todos os ganhos e perdas hídricas sobre um terreno (ASSAD et al., 2004; SEDIYAMA et al., 2001). Desta forma, o BHC contabiliza todos os fluxos de entrada (positivos) e de saída (negativos) de água no solo, sendo que ambos os fluxos decorrem de trocas com a atmosfera, como a precipitação, condensação, evaporação e transpiração, e do próprio movimento superficial (escoamento) e subterrâneo (percolação) (VAREJÃO-SILVA, 2006, SENTELHAS et al., 2008). No conceito de balanço hídrico proposto por Thornthwaite (1948) e melhorado por Thornthwaite e Mather (1955), o solo acumula água até a sua máxima capacidade de armazenamento e perde água apenas por remoção das plantas pela ação das raízes. As componentes iniciais do BHC são os processos de evapotranspiração potencial (ETP) e precipitação, enquanto o excedente (EXC) e DEF são os principais extratos (PEREIRA, 2005).

Nesse contexto, o objetivo deste capítulo foi determinar o BHC para as condições climáticas atuais e futuras, para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, e verificar como a DEF influenciará na delimitação das áreas aptas do cultivo das FCT. Ressalta-se que com exceção da oliveira (SANTOS et al., 2017), não existem estudos recentes que avaliem os impactos das mudanças climáticas no BHC das regiões Sul e Sudeste do Brasil e seus impactos nas FCT o que caracteriza a importância deste capítulo.

²Rubisco = ribulose 1-5 bifosfato carboxilase-oxigenase responsável pelo processo metabólico que governa a fotossíntese.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Dados observados

Neste capítulo foram utilizados dados diários de precipitação (P, mm dia⁻¹) e de temperaturas máxima (TM) e mínima (Tm) do ar (°C). Esses dados foram obtidos de 151 estações meteorológicas convencionais e automáticas (Figura 1.1), pertencentes ao INMET, IAPAR, SIMEPAR, UNESP, CTC, INIA, INTA e CEPAGRI (Anexo 1). O período de dados utilizado foi de 1981 a 2015, denominado Período Presente (PP). Meses com 5 ou mais dias de dados faltantes foram considerados insuficientes e foram excluídos da série (WMO, 1989).

3.2.2. Dados de projeções climáticas

Para as projeções do clima futuro foram utilizadas as simulações de 21 modelos integrantes do conjunto de dados NEX-GDDP (THRASHER et al., 2012). Os cenários forçantes disponíveis pelo conjunto NEX-GDDP são o RCPs 4.5 e o 8.5. O RCP 4.5 é a forçante que representa um comportamento intermediário dos cenários (RCPs 2.6, 4.5, 6.0, e 8.5), já o RCP 8.5 representa o cenário com a forçante mais intensa e, portanto, o cenário com as maiores modificações no regime pluviométrico e os maiores aumentos de temperatura.

Foram utilizados dados diários de temperaturas máxima (TM) e mínima (Tm) do ar próximo à superfície (°C) e dados de precipitação diária (P) (mm dia⁻¹). Os períodos utilizados foram o Período Histórico (PH), que ocorre de 1981 a 2005; e os períodos futuros: Futuro Próximo (FP) de 2021 a 2050 e Futuro Distante (FD) de 2071 a 2100.

3.2.3. Projeção de temperatura e precipitação

Primeiramente, para todas as 151 estações meteorológicas foi calculada a média climatológica de temperatura média (\overline{Tmed}_x) para os períodos PP, PH, FP e FD, sendo nos dois últimos calculada a climatologia para os dois cenários forçantes (RCP 4.5 e 8.5):

$$\overline{Tmed}_x = \frac{\overline{Tm}_x + \overline{TM}_x}{2} \quad (1)$$

em que: \overline{Tmed}_x é a média climatológica de temperatura média para o x -ésimo mês (°C).

Para cada uma das 151 estações meteorológicas foi calculado a média climatológica de precipitação (mm mês⁻¹) e temperatura média (°C), para os períodos FP e FD e para os RCPs 4.5 e 8.5. Para isso, foi utilizado às mudanças médias das projeções climáticas em relação ao

PH projetadas pelos 21 modelos climáticos para as variáveis precipitação ($\overline{\Delta P_{F_RCP}}$) e temperatura média ($\overline{\Delta Tmed_{F_RCP}}$). Essas mudanças (média dos modelos) foram adicionadas as médias climatológicas do PP a fim de obter as médias climatológicas dos cenários futuros:

$$\overline{P_{F_RCP_x}} = \overline{\Delta P_{F_RCP_x}} + \overline{P_{PP_x}} \quad (2)$$

$$\overline{Tmed_{F_RCP_x}} = \overline{\Delta Tmed_{F_RCP_x}} + \overline{Tmed_{PP_x}} \quad (3)$$

em que: F é o período futuro (FP ou FD), RCP é o cenário forçante (RCP 4.5 ou 8.5), $\overline{P_{F_RCP_x}}$ é a média climatológica de precipitação para o cenário forçante futuro, para o x -ésimo mês (mm mês^{-1}) e $\overline{Tmed_{F_RCP_x}}$ é a média climatológica da temperatura média para o cenário forçante futuro, para o x -ésimo mês ($^{\circ}\text{C}$).

3.2.4. Evapotranspiração potencial

A ETP é o processo simultâneo de transferência da água para a atmosfera através da evaporação da água do solo e da transpiração das plantas (PEREIRA et al., 2002; SENTELHAS et al., 2008). A ETP refere-se ao conteúdo de água utilizada por uma extensa superfície vegetada de porte baixo, em crescimento ativo, sendo utilizada a grama como vegetação padrão, sem deficiência hídrica (ALLEN et al., 1998).

Por ser uma variável de difícil medição, convencionou-se estimar a ETP. O método de estimativa utilizado neste capítulo foi o método empírico de Thornthwaite (1948), o qual é o mais adequado para estimativa de ETP em estudos climáticos de BHC e bastante difundido no Brasil (SENTELHAS et al., 2008). Portanto, com as médias climatológicas de temperatura média para o PP ($\overline{Tmed_{PP_x}}$) e para os cenários futuros ($\overline{Tmed_{F_RCP_x}}$), foram calculadas as respectivas ETPs:

$$\overline{Tannual} = \sum_{x=1}^{12} \left(\frac{\overline{Tmed_x}}{12} \right) \quad (4)$$

$$I = 12 \left(\frac{\overline{Tannual}}{5} \right)^{1,514} \quad (5)$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239 \quad (6)$$

$$ETP_x = 16 \left(10 \frac{\overline{Tmed}_x}{I} \right)^a; \text{ quando } 0 \text{ } ^\circ\text{C} \leq \overline{Tmed}_x < 26,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

$$ETP_x = -415,85 + 32,24 \cdot \overline{Tmed}_x - 0,43 \cdot (\overline{Tmed}_x)^2; \text{ quando } \overline{Tmed}_x \geq 26,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (8)$$

$$N_x = \frac{2}{15} \cdot \arccos[-1 \cdot (\text{tg} \phi \cdot \text{tg} \delta_x)] \quad (9)$$

$$C_x = \frac{N_x}{12} \cdot \frac{NDP_x}{30} \quad (10)$$

$$\overline{ETP}_x = ETP_x \cdot C_x \quad (11)$$

em que: x representa cada mês do ano e varia de 1 (janeiro) a 12 (dezembro), \overline{Tmed}_x é a média climatológica da temperatura média para o x -ésimo mês ($^\circ\text{C}$), $\overline{Tannual}$ é a média climatológica da temperatura média anual ($^\circ\text{C}$), I é o índice térmico anual, a é o índice térmico de ajuste, ETP_x é a evapotranspiração potencial não corrigida para o x -ésimo mês ($\text{mm} \cdot \text{mês}^{-1}$), N_x é o fotoperíodo do 15º dia do x -ésimo mês (horas), considerado representativo da média mensal, ϕ é a latitude ($^\circ$), δ_x é a declinação solar do 15º dia do x -ésimo mês ($^\circ$), C_x é o fator de correção, NDP_x é o número de dias do x -ésimo mês (dias) e \overline{ETP}_x é a evapotranspiração potencial corrigida para o x -ésimo mês ($\text{mm} \text{ mês}^{-1}$).

3.2.5. Capacidade de água disponível

A capacidade de água disponível (CAD) representa a capacidade de total de água que determinado tipo de solo consegue armazenar, até uma profundidade específica, dada pelo comprimento radicular. Dessa forma a CAD é definida em função das características físico-hídricas do solo e do comprimento radicular da FCT em questão (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Como os solos das regiões Sul e Sudeste apresentam grande diversidade, também se tem grande variedade nas suas características físico-hídricas. Além disso, os comprimentos radiculares das FCT apresentam uma grande variação. A oliveira, por exemplo, apresenta raízes com comprimento variável entre 1,2 e 1,7 m (vias de reprodução vegetativa); já a macieira e o pessegueiro apresentam raízes com comprimento variável entre 1,0 e 2,0 m (ALLEN et al., 1998; DOORENBOS; PRUITT, 1977). Por esses motivos são apresentados na literatura diferentes valores de CAD para cada uma das FCT.

Segundo Pereira et al. (2002), como o BHC é utilizado para fins climatológicos, a determinação da CAD deve considerar prioritariamente o tipo de cultura do que o tipo de solo. Desta forma, independentemente do tipo de solo, são recomendados valores de CAD

entre 100 e 125 mm, para culturas perenes; como é o caso das FCT (PEREIRA et al., 2002; BRANCO et al., 2016). Pastor e Orgaz (1994) recomendam para a oliveira valores de CAD entre 150 a 200 mm; já Maluf et al. (2011) recomendam valor de CAD de 125 mm para estudos de zoneamento agroclimático da macieira para o Rio Grande do Sul; enquanto Ricce et al. (2014) utilizaram valor de CAD de 100 mm para o zoneamento agroclimático da videira no Paraná. Brasil (2011a) e Brasil (2011b), considerando 3 tipos de solo, recomendam para ameixeiras e nectarineiras valores de CAD de 80 mm, 100 mm e 125 mm no Rio Grande do Sul; e Campos (2011), considerando 2 tipos de solos, recomendarm valores de CAD de 125 mm e 150 mm para nectarineiras e pessegueiros em Santa Catarina.

Considerando todas essas informações e a fim de conseguir abranger a maioria das FCT, foram considerados neste capítulo três valores de CADs: CAD 1 = 100 mm, a CAD 2 = a 125 mm e a CAD 3 = 150 mm.

3.2.6. Balanço hídrico climatológico

Para o cômputo do balanço hídrico climatológico (BHC) foi utilizado o método proposto por Thornthwaite e Mather (1955, 1957) e simplificado por Pereira (2005), o qual fornece a quantidade de água armazenada no solo, evapotranspiração real (ETR), deficiência (DEF) e excedente hídrico (EXC) em nível regional (SENTELHAS et al., 2008). Este método requer como dado de entrada as médias climatológicas de precipitação (\overline{P}_x) e de evapotranspiração potencial (\overline{ETP}_x), além da CAD para as principais FCT. Portanto, para todas as 151 estações meteorológicas foi calculado o BHC em cada período e RCP (PP, FP com RCP 4.5, FP com RCP 8.5, FD com RCP 4.5 e FD com RCP 8.5) e cada CAD (CAD 1, CAD 2, CAD 3).

No método do BHC são calculados os valores mensais de demanda hídrica atmosférica (DHA), negativo acumulado (NEGACUM), armazenamento de água no solo (ARM), alteração do armazenamento (ALT), ETR, DEF e EXC (Anexo 4). A primeira etapa desta metodologia consistiu em calcular a DHA e determinar o mês de inicialização das próximas etapas:

$$DHA_x = \overline{P}_x - \overline{ETP}_x \quad (12)$$

$$M = \sum (DHA_x)^+ \quad (13)$$

$$N = \sum (DHA_x)^- \quad (14)$$

em que: representa os meses e varia de 1 (janeiro) a 12 (dezembro), M é o somatório do $DHA_x \geq 0$ (estação chuvosa) e N é o somatório do $DHA_x < 0$ (estação seca).

Na segunda etapa o cálculo deve ser iniciado no primeiro mês com DHA_x negativo ($DHA_x < 0$) que sucede um período com DHA_x positivo ($DHA_x \geq 0$), ou seja, o início da estação seca. Nessa etapa, o cálculo do NEGACUM e do ARM é realizado simultaneamente (PEREIRA et al., 2002; PEREIRA, 2005). Quando o ARM é superior ao valor da CAD, assume-se que $ARM = CAD$. Para calcular o NEGACUM e o ARM do primeiro mês de inicialização do BHC dois casos podem ocorrer (VAREJÃO-SILVA, 2006):

$$\text{Quando } \sum(DHA_x) \geq 0 \text{ ou } M \geq CAD: NEGACUM_x = DHA_x \quad (15)$$

$$\text{Quando } \sum(DHA_x) < 0 \text{ e } M < CAD: NEGACUM_x = CAD \cdot \ln \left(\frac{\frac{M}{CAD}}{1 - e^{-\left(\frac{N}{CAD}\right)}} \right) \quad (16)$$

$$ARM_x = CAD \cdot e^{\left(\frac{NEGACUM_x}{CAD}\right)} \quad (17)$$

Nos meses seguintes se $DHA_x < 0$ calculou-se primeiro o NEGACUM e posteriormente ARM:

$$NEGACUM_x = NEGACUM_{x-1} + DHA_x \quad (18)$$

Neste caso, o cálculo do ARM_x foi realizado da mesma forma que na equação 17.

Nos meses seguintes se $DHA_x \geq 0$ calculou-se primeiro o ARM e posteriormente NEGACUM.

$$ARM_x = ARM_{x-1} + DHA_x \quad (19)$$

$$NEGACUM_x = CAD \cdot \ln \left(\frac{ARM_x}{CAD} \right) \quad (20)$$

A terceira etapa consistiu em calcular a ALT e a ETR. A ETR refere-se a real transferência vertical turbulenta do vapor d'água para a atmosfera pela cultura:

$$ALT_x = ARM_x - ARM_{x-1} \quad (21)$$

$$ETR_x = \overline{ETP}_x, \text{ quando } DHA_x \geq 0 \quad (22)$$

$$ETR_x = \overline{P}_x - |ATL_x|, \text{ quando } DHA_x < 0 \quad (23)$$

A quarta etapa refere-se ao cálculo da DEF e do EXC. A DEF refere-se à quantidade de água que falta para completar a CAD em determinado período; já o EXC refere-se à quantidade de água extra drenada, por percolação (drenagem profunda):

$$DEF_x = 0, \text{ quando } DHA_x \geq 0 \quad (24)$$

$$DEF_x = \overline{ETP}_x - ETR_x, \text{ quando } DHA_x < 0 \quad (25)$$

$$EXC_x = 0, \text{ quando } ARM_x < CAD \quad (26)$$

$$EXC_x = DHA_x - ATL_x, \text{ quando } ARM = CAD \quad (27)$$

A quinta e última etapa consiste em realizar a aferição do BHC. Isto é possível, porque o esse método baseia-se no princípio de conservação de massa e conseqüentemente, no equilíbrio entre as entradas e saídas de água do sistema (PEREIRA et al., 2002; SENTELHAS et al., 2008):

$$\sum_{x=1}^{12} \overline{P}_x = \sum_{x=1}^{12} \overline{ETP}_x + \sum_{x=1}^{12} (\overline{P}_x - \overline{ETP}_x) \quad (28)$$

$$\sum_{x=1}^{12} \overline{P}_x = \sum_{x=1}^{12} ETR_x + \sum_{x=1}^{12} EXC_x \quad (29)$$

$$\sum_{x=1}^{12} \overline{ETP}_x = \sum_{x=1}^{12} ETR_x + \sum_{x=1}^{12} DEF_x \quad (30)$$

$$\sum_{x=1}^{12} ALT_x = 0 \quad (31)$$

3.2.7. Necessidade hídrica

As necessidades hídricas de uma cultura são atendidas se determinada região apresenta um somatório anual de DEF inferior a CAD considerada, sendo então apta ao cultivo (ASSAD et al., 2004; RICCE et al., 2014; SANTOS et al., 2017; SEDIYAMA et al., 2001). Considerando a CAD1, as regiões aptas ao cultivo das FCT apresentam o somatório de DEF anual menor que 100 mm ($\sum_{x=1}^{12} DEF_x \leq 100mm$); para a CAD 2, as regiões aptas ao cultivo de

FCT apresentam DEF anual menor que 125 mm ($\sum_{x=1}^{12} DEF_x \leq 125mm$), e para a CAD 3, as regiões aptas ao cultivo de FCT apresentam DEF anual menor que 150 mm ($\sum_{x=1}^{12} DEF_x \leq 150mm$).

Uma vez calculadas as médias climatológicas de DEF no PP e nos períodos futuros (FP, FD), para as três CADs; esses dados foram espacializados para uma grade regular cobrindo a área de estudo. O método utilizado foi o Ordinary Krigging (CRESSIE, 1988; WICKHAM, 2014) implementado no software R versão 3.4.1 (R CORE TEAM, 2017).

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando o PP e a CAD 1 (Figura 3.1a e Tabela 3.1), percebe-se que dos 1.501.392 km² de extensão total das regiões Sul e Sudeste do Brasil, cerca de 886.266 km² (59,0%) apresentaram áreas aptas ao cultivo das FCT, e portanto, com disponibilidade hídrica favorável (DEF anual \leq 100 mm), as quais estão localizadas em toda a região Sul, nas porções sul de Minas Gerais (MG); sul, centro e leste de São Paulo (SP) e no oeste do Rio de Janeiro (RJ). Para a CAD 2 (Figura 3.1b e Tabela 3.1) cerca de 972.273 km² (64,8%) apresentaram áreas aptas ao cultivo de FCT, sendo que a distribuição dessas áreas é semelhante as da CAD 1, e a maior diferença é que as áreas mais elevadas do centro de MG; como a Serra do Espinhaço. Para a CAD 3 (Figura 3.1c e Tabela 3.1) aproximadamente 1.039.525 km² (69,2%) apresentaram áreas aptas às necessidades hídricas das FCT e a distribuição dessas áreas também seguiu o padrão das CADs 1 e 2, no entanto o limite de inaptidão (DEF > CAD 3) se deslocou mais para o norte de SP e MG; resultando em maior área apta.

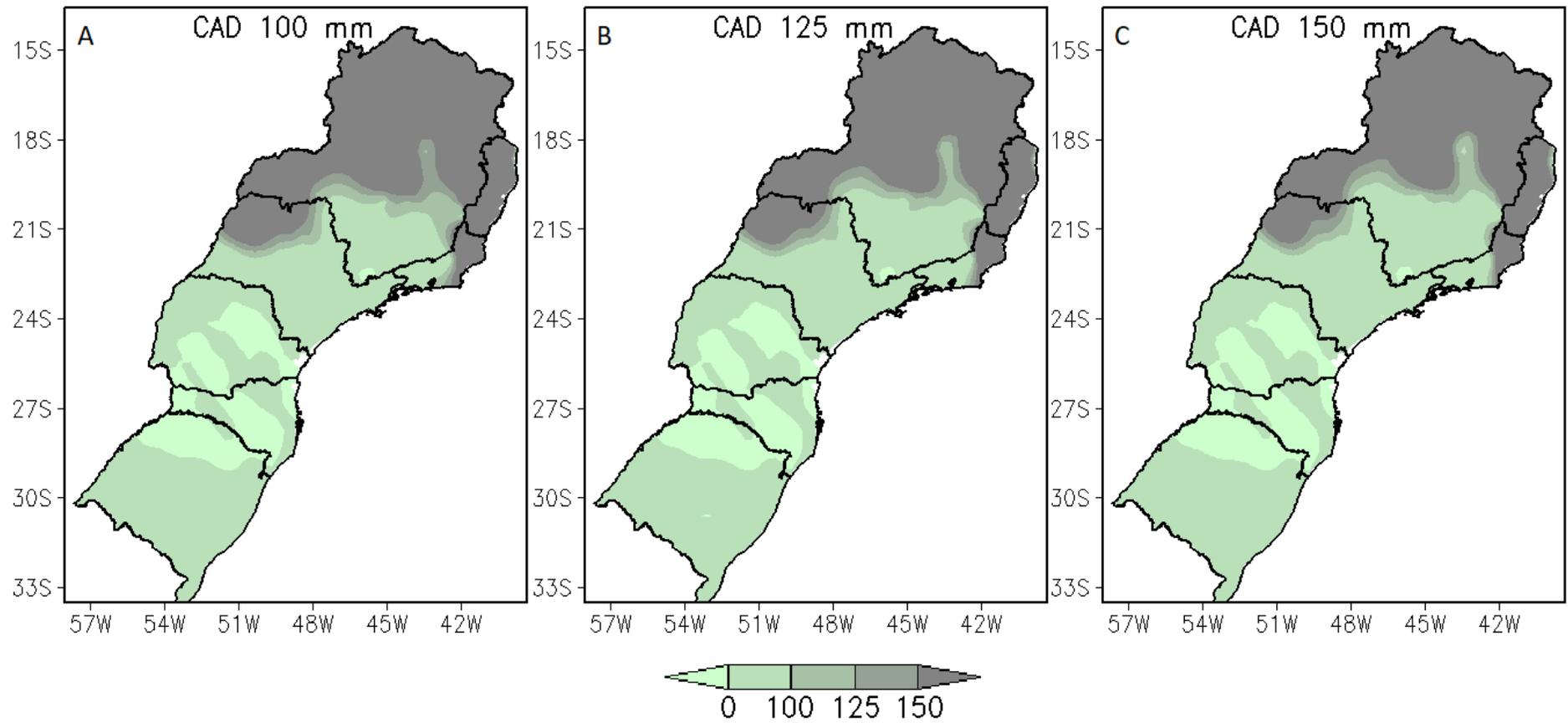


Figura 3.1 – Deficiência hídrica anual (mm ano⁻¹) para do período de 1981 a 2015, utilizando a CAD 1 (a), CAD 2 (b) e CAD 3 (c), para as regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Devem ocorrer modificações na distribuição de DEF anual nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (Figura 3.2), em decorrência das projeções de diminuição de precipitação (Figura 1.9) e do aumento de temperatura (Figura 1.7 e 1.8) na primavera (consequente aumento de evapotranspiração); especialmente na região Sudeste. Em todos os cenários e para todas as CADs, as áreas com maior DEF anual ($DEF \text{ anual} > 150 \text{ mm}$) devem aumentar e a transição entre áreas aptas e inaptas deve se deslocar mais para sul da região Sudeste.

Considerando a CAD 1 (Figura 3.2 a, b, c e d), pode-se observar que as áreas aptas, as quais não possuem restrições hídricas ($DEF \text{ anual} < CAD \ 1$) devem diminuir em todos os cenários, principalmente no RCP 8.5. Para o FD e no RCP 8.5 em praticamente toda a região Sudeste não terá áreas aptas ao cultivo de FCT, sendo restritos os cultivos apenas no sul de SP e na Serra da Mantiqueira na divisa entre SP e MG. A região Sul não terá redução nas áreas aptas ao cultivo das FCT para a CAD1. Porém, somente no FD e no RCP 8.5 apresentará áreas com restrições hídricas, principalmente no norte do Paraná (PR) e extremo centro-leste do Rio Grande do Sul (RS). Com relação a CAD 2 (Figura 3.2 e, f, g e h) percebe-se um comportamento semelhante aos da CAD 1. De acordo com o extrato do balanço hídrico, as primeiras áreas que devem deixar de ser aptas são a Serra do Espinhaço, no centro de MG, e o oeste do RJ. A CAD 3 (Figura 3.2 i, j, k e l) apresenta o mesmo comportamento da distribuição de DEF anual da CAD 1 e 2, porém com maior extensão de áreas aptas, uma vez que o limite para a restrição hídrica é maior ($>150\text{mm}$) e, portanto, menos exigente.

Como esperado, ao se acrescentar as projeções de temperatura do ar e de precipitação (Figuras 1.7, 1.8 e 1.9), observou-se alteração nas áreas aptas (Tabela 3.1). De maneira geral, um aumento na temperatura do ar e padrões heterogêneos de precipitação reduzem as áreas aptas em todos os cenários, principalmente no FD e no RCP 8.5 (41,5% porcentagem média de área apta entre as CADs), sendo o cenário de maiores alterações. Esses resultados corroboram com os de Kapur et al. (2010), que encontraram aumento da DEF em todo o Sul da Itália (região da Apúlia) no final do século XXI, principalmente em decorrência do aumento da ETP, afetando os cultivos de FCT; e de Rodríguez-Carretero et al. (2013), os quais constataram redução de 21% da precipitação anual e aumento de 13% da ETP no sul da Espanha, causará impactos severos na produtividade da oliveira e prejuízos na rentabilidade.

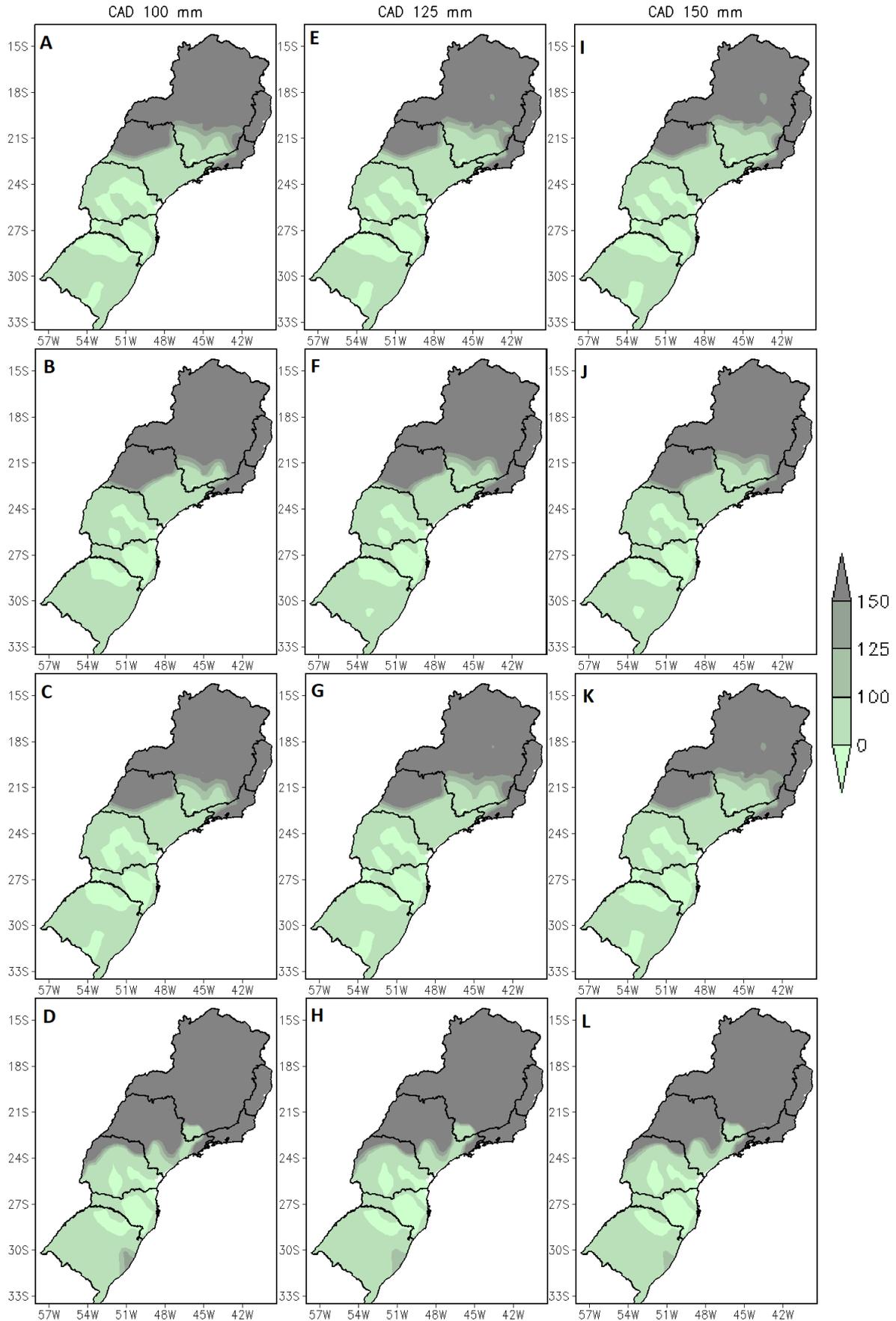


Figura 3.2 – Deficiência hídrica anual (mm ano^{-1}) para as principais frutíferas de clima temperado para as regiões Sul e Sudeste do Brasil; com a CAD 1 = 100 mm no período FP e RCP 4.5 (a), FP e

RCP 8.5 (b), FD e RCP 4.5 (c) e FD e RCP 8.5 (d); a CAD 2 = 125 mm (e, f, g e h; respectivamente) e a CAD 3 = 150 mm (i, j, k e l; respectivamente).

Comparando o PP com as projeções para o FP e FD, observa-se maior redução da área apta para a CAD 1 (100 mm), com redução de 13,1% para o FP e 35,1% para o FD, ambos considerando o RCP 8.5 (Tabela 3.1). Para a CAD 2 (125 mm), no RCP 8.5, a redução da área apta é de 14,7% para o FP e de 31,8% para o FD. Já para a CAD 3 (150 mm) a redução da área apta é maior, com redução de 13,9% para o FP e 36,3% para o FD, ambos para o RCP 8.5. Esse padrão demonstra que a influência dos períodos é maior que o valor de CAD considerado.

Tabela 3.1 – Proporção de áreas aptas e inaptas para as frutíferas de clima temperado; considerando a DEF anual de três CADs (100 mm, 125 mm e 150 mm), dois cenários forçantes (RCP 4.5 e 8.5) e os períodos presente (PP = 1981-2015) e futuros (FP = 2021-2050 e FD = 2071-2100).

CADs	Cenários	Apta (%)	Apta (km ²)	Inapta (%)	Inapta (km ²)
CAD 100 mm	PP	59,0	886266	41,0	615127
	RCP 4.5 FP	53,2	799232	46,8	702161
	RCP 4.5 FD	49,5	742555	50,5	758837
	RCP 8.5 FP	51,3	770043	48,7	731350
	RCP 8.5 FD	38,3	574539	61,7	926854
CAD 125 mm	PP	64,8	972273	35,2	529120
	RCP 4.5 FP	57,7	866501	42,3	634892
	RCP 4.5 FD	52,7	791877	47,3	709515
	RCP 8.5 FP	55,3	830267	44,7	671126
	RCP 8.5 FD	42,2	633307	57,8	868086
CAD 150 mm	PP	69,2	1039525	30,8	461868
	RCP 4.5 FP	62,0	930580	38,0	570813
	RCP 4.5 FD	56,1	842266	43,9	659127
	RCP 8.5 FP	59,6	895193	40,4	606200
	RCP 8.5 FD	44,1	662592	55,9	838800

Modificações de temperatura do ar (Figura 1.7 e 1.8) e precipitação (Figura 1.9), afetam negativamente as FCT, principalmente por alterar a ETP e aumentar a DEF (TANASIJEVIC et al., 2014). Através da ETP, as plantas dissipam o calor proveniente da radiação solar para a atmosfera, mantendo a temperatura dos tecidos vegetais em padrões apropriados ao metabolismo das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013). O aumento de temperatura tende a elevar a ETP, fazendo com que as plantas percam água para a atmosfera em taxas elevadas. No entanto, com a redução da precipitação (Figura 1.9), a oferta de água para as plantas é inferior à taxa evaporativa, podendo resultar em uma situação de DEF, sendo a

redução da área foliar e o fechamento estomático as principais estratégias de defesa da planta (SHAO et al., 2009; TAIZ; ZEIGER, 2013) e como consequência, há redução das trocas gasosas (transpiração e assimilação de CO₂ para a realização da fotossíntese). Esses fatores aliados são os responsáveis pela redução da produtividade e da qualidade da produção das FCT (GARCÍA-MOZO et al., 2010; TANASIJEVIC et al., 2014; MORIONDO et al., 2015).

Em nível fisiológico, com a redução do conteúdo de água disponível às FCT há contração celular e as paredes celulares afrouxam (TAIZ; ZEIGER, 2013). Esse decréscimo de volume celular resulta em menor pressão de turgor e perda de solutos pelas células, o que afeta a expansão celular, assim como todas as atividades dependentes do conteúdo de água nas células (SHAO et al., 2009), como: expansão foliar, crescimento dos ramos, tronco e tamanho dos frutos.

As respostas das FCT são distintas, como exemplo, as macieiras são mais sensíveis à DEF, principalmente se a DEF ocorre durante a frutificação, que por sua vez ocorre durante os meses da primavera; justamente no período de maior aumento de temperatura (Figura 1.7 e 1.8), e a ocorrência de DEF essa fase fenológica pode diminuir o tamanho e o peso dos frutos (BRAGA et al., 2001). Além disso, Gindaba (2005) indica que quanto maior a DEF, menor o transporte de nutrientes presentes no solo para as plantas; sendo que o estresse hídrico é capaz de induzir deficiências de cálcio nos frutos, podendo gerar competição nutricional entre folhas e frutos (ARGENTA, 2016). Quando a DEF é grave, uma das estratégias de defesa das maçãs é o fechamento estomático para evitar a perda de água das folhas para a atmosfera; resultando em menores taxas de fotossíntese e, portanto, menores produções de carboidratos (GINDABA, 2005).

As frutas de caroço são mais sensíveis ao DEF no florescimento e frutificação; que ocorrem durante os meses da primavera e início do verão (NAVA, 2010). O estresse hídrico durante a frutificação causa diminuição significativa no tamanho, peso e no rendimento médio da fruta, além de acelerar a maturação (STEDUTO et al., 2012). Esses autores ainda indicam que o DEF na pós-colheita causa desfolha e afeta o desenvolvimento de brotos florais para a temporada seguinte; principalmente em ameixeiras e pessegueiros.

No caso da videira, dependendo da variedade, a DEF durante a frutificação e maturação dos frutos implica em redução do peso do fruto, tamanho e qualidade da baga, que associados alteram o sabor da uva (SADRAS; SCHULTZ, 2012). Sadras e Schultz (2012) também indicam que além da DEF, aumento de temperatura refletem em encurtamento do ciclo de desenvolvimento. Encurtamento do ciclo de desenvolvimento diminui a fotossíntese e

produção de fotoassimilados com o aumento da respiração (MARENCO; LOPES, 2009; TAIZ; ZEIGER, 2013) sendo responsável pela redução da qualidade do fruto e uma queda de rendimento das videiras.

Para a oliveira, o aumento da temperatura do ar (Figuras 1.7 e 1.8) além de aumentar a ETP, também prejudica o desempenho de todos os estágios reprodutivos (florescimento, polinização, frutificação e maturação), encurta a duração dos estádios de floração e frutificação, e pode causar o abortamento floral (GARCÍA-MOZO et al., 2010; SANTOS et al., 2017; TANASIJEVIC et al., 2014). Temperaturas do ar acima da temperatura ideal, também reduzem a fotossíntese, principalmente devido ao aumento da respiração do tecido celular (TAIZ; ZEIGER, 2013) levando a menor produtividade. Isso ocorre devido a duas razões: primeiro, em condições de temperatura elevada ocorre o efeito de Warburg, onde o O₂ inibe a fixação da CO₂ pela rubisco, reduzindo a fotossíntese e elevando a fotorrespiração (MARENCO; LOPES, 2009). A segunda razão é que o aumento da temperatura tende a elevar os custos de manutenção, por aumentar a renovação de proteínas e a manutenção do balanço de íons (MARENCO; LOPES, 2009), afetando a taxa de respiração de manutenção, processo que consome energia (ATP e NADPH) ou esqueletos carbonados provenientes da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A diminuição da precipitação na primavera (Figura 1.9), principalmente na região Sudeste deve agravar o DEF prejudicando a oliveira. Se a DEF ocorrer na fase da inflorescência e início da floração, que ocorre entre agosto e setembro (OLIVEIRA et al., 2012), haverá redução do número de inflorescência, aumento na produção de flores imperfeitas e abortamento floral (ORGAZ; FERERES, 1999). Por outro lado, excesso de precipitação na plena floração, entre meados de setembro a novembro, pode ocasionar a lavagem dos pólenes; dificultando a efetivação da polinização e consequentemente a formação dos frutos (SANTOS et al., 2017). Durante a frutificação a resposta a DEF pode ser mais complexa, pois a ocorrência de DEF nessa fase fenológica reduz o crescimento, gera má formação e até senescência dos frutos (ORGAZ; FERERES, 1999); já o excedente hídrico pode causar redução no teor de óleo do fruto (SANTOS et al., 2017). Em algumas áreas, principalmente da região Sudeste, deve ocorrer diminuição da precipitação entre meados de janeiro a março; justamente quando ocorre a maturação da oliveira. A DEF nessa época origina frutos pequenos, baixa quantidade de polpa, redução na produtividade e má qualidade da floração do ano seguinte (ORGAZ; FERERES, 1999).

De qualquer maneira alterações nas fases de desenvolvimento das FCT impactarão no manejo da cultura com antecipação do florescimento e maturação, adiantando a colheita, e provável ocorrência de eventos meteorológicos adversos durante essas fases. Por esses motivos, as projeções dos modelos do CMIP5, tanto em temperatura quanto em precipitação, irão afetar o cultivo das FCT, reduzindo substancialmente a área apta nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

3.4. CONCLUSÕES

As áreas com menores valores de deficiência hídrica ($DEF < 100$ mm) estão localizadas em toda a região Sul, nas porções sul de Minas Gerais; sul, centro e leste de São Paulo e no oeste do Rio de Janeiro; sendo considerada áreas aptas ao cultivo de frutíferas de clima temperado, pois não apresentam restrições hídricas. No PP; considerando a CAD = 100 mm, cerca de 59,0% da área é apta ao cultivo das FCT; considerando a CAD = 125 mm, cerca de 64,8% da área é apta ao cultivo das FCT; e considerando a CAD = 150 mm, cerca de 69,2% da área é apta ao cultivo das FCT. Para o cenário com as maiores alterações de mudanças climáticas (FD com RCP 8.5) essas áreas reduzem para 38,3% com a CAD = 100 mm, 42,2% para a CAD = 125 mm e 44,1% para a CAD = 150 mm.

As prováveis alterações climáticas devem acarretar principalmente em estresse hídrico e alteração na fenologia das plantas. A deficiência hídrica afeta várias fases fenológicas das frutíferas de clima temperado ao longo do ano, sendo a floração e a frutificação as mais afetadas; o que deve reduzir a qualidade, a quantidade das flores e frutos, além do peso e o tamanho dos frutos. Por fim, o provável aumento da temperatura e a mudança no regime de precipitação devem impactar negativamente o cultivo dessas frutíferas, reduzindo as áreas propícias a essas culturas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, especialmente na região Sudeste.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines of computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage Paper, v. 56)
- ARGENTA, L. C. Boas práticas na pré- e pós-colheita para conservação de maçãs durante a armazenagem. **Revista Agropecuária Catarinense**, São Joaquim, v. 29, Suplemento, p. 57-66, 2016.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.
- BRAGA, H. J.; SILVA JR., V. P.; PANDOLFO, C.; PEREIRA, E. S. Zoneamento de riscos climáticos da cultura da maçã no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 439-445, 2001.
- BRANCO, B. V. L.; STEINCK, R. N.; SILVEIRA, V. C.; GONÇALVES, J. L. Desktop and Mobile Applications to Calculate Water Balance. **International Journal of Engineering and Technical Research**, v. 5, n. 1, p. 188-193, 2016.
- BRASIL. Portaria n. 44-48, de 14 de fevereiro de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 fev. 2011a. Seção 1, p. 144.
- BRASIL. Portaria n. 52-55, de 17 de fevereiro de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, 21 fev. 2011b. Seção 1, p. 4-6.
- BRUNETTO, G.; ROZANE, D. E.; MELO, G. W. B.; ZALAMENA, J.; GIROTTO, E.; LOURENZI, C.; COUTO, R. R.; TIECHER, T.; KAMINSKI, J. Manejo da fertilidade de solos em pomares de frutíferas de clima temperado. In: TIECHER, T. (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: UFRGS, 2016. p. 141-158.
- CAMPOS, C. G. C. **Padrões climáticos atuais e futuros de temperatura do ar na região sul do Brasil e seus impactos nos cultivos de pêssigo e de nectarina em Santa Catarina**. 2010. 165 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.
- CARVALHO, C.; KIST, B. B.; SANTOS, C. E.; TREICHEL, M.; FILTER, C. F. **Anuário brasileiro da fruticultura 2017**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2017.88p.
- CRESSIE, N. Spatial prediction and ordinary kriging. **Mathematical Geology**, [S. l.], v. 20, n. 4, p. 405-421, 1988.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requeriments**. Rome: FAO, 1977. 306p. (Irrigation and Drainage Paper, v. 24)

FACHINELLO, J. C.; PASA, M. S.; SCHMTIZ, J. D.; BETEMPS, D. L. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. Especial, p. 109-120, 2011.

GARCIA, S. R.; MARTINS, F. B.; SANTOS, D. F.; TORRES, R. R. Aspectos climatológicos associados ao cultivo da oliveira (*Olea europaea L.*) em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 22, 2018. (No prelo)

GARCÍA-MOZO, H.; MESTRE, A.; GALÁN, C. Phenological trends in southern Spain: A response to climate change. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 150, p. 575–580, 2010.

GINDABA, J. Water stress - physiological responses of fruit trees with special reference to fruit quality in apples. **AGRIS since**, v. 1, p. 1-5, 2005.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change - Summary for Policymaker. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Eds). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

KAPUR, B.; PASQUALE, S.; TEKIN, S.; TODOROVIC, M.; SEZEN, M.; ÖZFIDANER, M.; GÜMÜS, Z. Prediction of climatic change for the next 100 years in Southern Italy. **Scientific Research and Essays**, [S. l.], v. 5, n. 12, p. 1470-1478, 2010.

LUEDELING, E.; GIRVETZ, E. H.; SEMENOV, M. A.; BROWN, P. H. Climate change affects winter chill for temperate fruit and nut trees. **Plos One**, San Francisco, v. 6, n. 5, p. 1-13, 2011.

MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; STEINMETZ, S.; MALUF, D. E. **Zoneamento agroclimático da macieira no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2011. BOLETIM FEPAGRO, n. XX, 80p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2009. 486 p.

MARTINS, F. B. PEREIRA, R. A. A.; PINHEIRO, M. V. M.; ABREU, M. C. Desenvolvimento foliar em duas cultivares de oliveira estimado por duas categorias de modelos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n. 4, p. 505-514, 2014.

MARTINS, F. B.; REIS, D. F. da; PINHEIRO, M. V. M. Temperatura base e filocrono em duas cultivares de oliveira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n.11, p. 1975-1981, 2012.

MORENO-FONCECA, L.P. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. **Agronomía Colombiana**, Bogotá, v.27, n.2, p.179-191, 2009.

MORIONDO, M.; FERRISE, R.; TROMBI, G.; BRILLI, L.; DIBARI, C.; BINDI, M. Modelling olive trees and grapevines in a changing climate. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v. 72, n. C, p. 387-401, 2015.

NAVA, G. A. Principais aspectos do cultivo comercial de fruteiras de caroço – pessegueiro, nectarineira e ameixeira - no sudoeste do Paraná. In: Martin, T. N.; Waclawovsky, A. J.; Kuss, F.; Mendes, A. S.; Brun, E. J. (Orgs.). **Sistemas de Produção Agropecuária (Ciências Agrárias, Animais e Florestais)**. Dois Vizinhos: UTFPR, 2010. p. 279-303.

OLIVEIRA, M. C. de; RAMOS, J. D.; PIO, R.; CARDOSO, M. G. das. Características fenológicas e físicas e perfil de ácidos graxos em oliveiras no sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.1, p. 30-35, 2012.

ORGAZ, F.; FERERES, E. Riego. In: BARRANCO, D. **Cultivo Del Olivo**. Madri: Mundi-Prensa. 1999. p.267-288.

PASTOR, M.; ORGAZ, F. Riego deficitário del olivar. **Agricultura**, Córdoba, v.746, p.768-776, 1994.

PEREIRA, A. R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p.311-313, 2005.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

R CORE TEAM. R: The R Project for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, 2017. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 30/06/2017.

RICCE, W. S.; CARVALHO, S. L. C.; CARAMORI, P. H.; ROBERTO, S. R. Zoneamento agroclimático da cultura da videira no Estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 2327-2336, 2014.

RODRÍGUEZ-CARRETERO, M. T.; LORITE, I. J.; RAMOS, M. R.; DOSIO, A.; GÓMEZ, J. A. Impact of climate change on water balance components in Mediterranean rainfed olive orchards under tillage or cover crop soil management. **Geophysical Research Abstracts**, Vienna, v. 15, p. 11446, 2013.

SADRAS, V. O.; SCHULTZ, H. R. Grapevine. In: STEDUTO, P; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; RAES, D. (Orgs.). **Crop yield response to water**. Rome: FAO, 2012. P. 460-485.

SANTOS, D. F.; MARTINS, F. B.; TORRES, R. R. Impacts of climate projections on water balance and implications on olive tree in Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n.2, p.77-82, 2017.

SEDIYAMA, G. C.; MELO JUNIOR, J. C. F.; SANTOS, A. R.; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; HAMAKAWA, P. J.; COSTA, J. M. N.; COSTA, L. C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 501-509, 2001.

SENTELHAS, P. C.; DOS SANTOS, D. L.; MACHADO, R. E. Water deficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 3, n. 3, p. 29-42, 2008.

SHAO, H.; CHU, L.; JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; PENNEERSELVAM, R.; SHAO, M. A. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants–biotechnologically and sustainably improving agriculture and the ecoenvironment in arid regions of the globe. **Critical Reviews in Biotechnology**, Cleveland, v. 29, n. 2, p. 131-151, 2009.

STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E.; RAES, D. **Crop yield response to water**. Rome: FAO, 2012. 498p. (Irrigation and Drainage Paper, v. 66)

TANASIJEVIC, L.; TODOROVIC, M.; PEREIRA, L. S.; PIZZIGALLI, C.; LIONELLO, P. Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 144, p. 54–68, 2014.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance**. Centerton, N. J.: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1957. 311p. (Publications in Climatology, v. 8, n. 3)

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, N. J.: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v. 8, n. 1)

THRASHER, B.; MAURER, E. P.; MCKELLAR, C.; DUFFY, P. B. Technical Note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S. l.], v. 16, n. 9, p. 3309-3314, 2012.

TORRES, R. R.; MARENGO, J. A. Climate change hotspots over South America: from CMIP3 to CMIP5 multi-model datasets. **Theoretical and Applied Climatology**, Vienna, v. 117, n. 3, p. 579-587, 2014.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital 2. Recife: INMET, 2006. 463p.

WICKHAM, H. **Advanced R Series: Chapman & Hall/CRC The R Series**. 1. ed. London: CRC Press, 2014. 476p.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals**. Geneva, 1989. (WMO. Technical document, n. 341; WCDP, n. 10). Disponível em: <(http://www.inmet.gov.br/html/clima.php)> Acesso em 20 out. 2016.

WREGE, M. S; COUTINHO, F. E; PANTANO, A. P.; JORGE, R. O. Distribuição Potencial de oliveiras no Brasil e no mundo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 3, p. 656-666, 2015.

DISCUSSÃO GERAL E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a elaboração do zoneamento de aptidão climática das frutíferas de clima temperado para as regiões Sul e Sudeste, foi considerado a CAD 2; por ser uma CAD média e representar bem o comportamento médio de exigência hídrica. Considerando os resultados de disponibilidade de NHF e os resultados da ocorrência de DEF anual foram geradas as seguintes classes de aptidão:

- Áreas inaptas, onde $NHF \text{ anual} < 100 \text{ NHF}$ ou $DEF > 125 \text{ mm}$.
- Áreas aptas do Grupo I, onde $100 \text{ NHF} \leq NHF \text{ anual} < 150 \text{ NHF}$ e $DEF \leq 125 \text{ mm}$.
- Áreas aptas do Grupo II, onde $150 \text{ NHF} \leq NHF \text{ anual} < 300 \text{ NHF}$ e $DEF \leq 125 \text{ mm}$.
- Áreas aptas do Grupo III, onde $300 \text{ NHF} \leq NHF \text{ anual} < 450 \text{ NHF}$ e $DEF \leq 125 \text{ mm}$.
- Áreas aptas do Grupo IV, onde $450 \text{ NHF} \leq NHF \text{ anual} < 600 \text{ NHF}$ e $DEF \leq 125 \text{ mm}$.
- Áreas aptas do Grupo V, onde $NHF \text{ anual} \geq 600 \text{ NHF}$ e $DEF \leq 125 \text{ mm}$.

As áreas aptas estão concentradas nos locais que apresentam os menores valores de temperatura do ar; maiores acúmulos de NHF e as menores demandas de ETP (Figura 1).

Considerando a T_b de 7 °C (Tabela 2), apenas 4.326 km² (0,3%) apresentam NHF e DEF suficientes para atingir as necessidades das FCT mais exigente em frio (Grupo V); enquanto que 545.006 km² (36,3%) apresentam NHF e níveis de DEF adequados para as FCT menos exigentes em frio (Grupo I); enquanto uma extensão de aproximadamente 956.387 km² (63,7 %) é inapta ao cultivo das FCT por não se enquadrarem em nenhuma classe ($NHF > 600 \text{ NHF}$ e $DEF > 125 \text{ mm}$). As demais classes possuem áreas intermediárias as do Grupo I e V.

Já com relação a T_b de 9,5 °C e 13 °C há uma redução da área inapta, principalmente pelo maior acúmulo de NHF, sendo que cerca de 697.045 km² (46,4%) é inapta ao cultivo das FCT de média exigência em frio ($T_b=9,5^\circ\text{C}$) e 512.650 km² (34,1 %) é inapta ao cultivo das FCT de baixa exigência em frio ($T_b=13^\circ\text{C}$).

Como o zoneamento de aptidão climática foi realizado considerando a macroescala (Figura 1), deve-se observar que não foram avaliadas as variações de menores escalas, assim como a aptidão em relação as características físicas e químicas dos solos, ou o uso da terra; sendo, portanto aconselhável a verificação desses fatores antes da implantação dessas culturas em novas áreas.

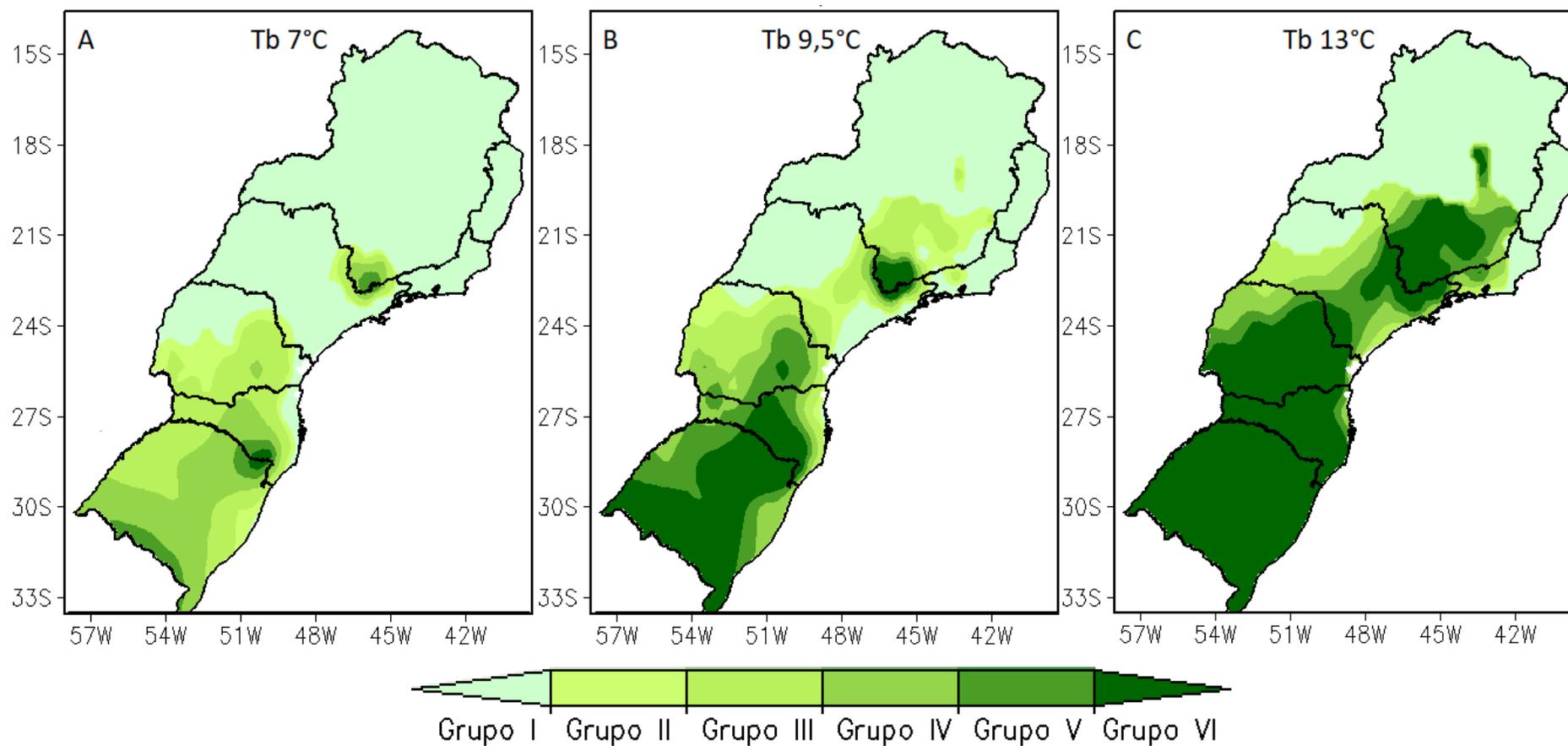


Figura 1 – Zoneamento de aptidão climática para as frutíferas de clima temperado nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, considerando o período de 1981 a 2015 e as Tbs de 7 °C (a), 9,5 °C (b) e 13 °C (c).

Considerando o zoneamento de aptidão climática para as projeções futuras (Figura 2), observa-se uma distribuição de áreas aptas semelhante ao PP, porém com diminuição das áreas aptas às FCT em todos os cenários. Também observa-se que na Serra da Mantiqueira; na divisa entre o sul de Minas Gerais e São Paulo, no sul de São Paulo, sul e leste do Paraná e os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, são as áreas que apresentam as melhores condições ao cultivo de FCT; além de serem as áreas mais resilientes e que devem continuar sendo aptas nos cenários futuros, pelo menos para culturas com menos exigência de frio ($T_b=13^{\circ}\text{C}$).

De modo geral, observa-se que o Grupo V apresenta a maior proporção de redução de área apta; sendo de 100% para a $T_b = 7^{\circ}\text{C}$, 99,4% para a $T_b = 9,5^{\circ}\text{C}$ e 59,6% para a $T_b = 13^{\circ}\text{C}$. Comparando as Tabelas 2.2, 3.1 e 2, observa-se que o NHF é mais restritivo que a DEF nas FCT de alta ($T_b = 7^{\circ}\text{C}$) e média ($T_b = 9,5^{\circ}\text{C}$) exigência em frio, pois há coincidência das áreas inaptas de DEF e NHF. Já para as FCT menos exigentes em frio ($T_b = 13^{\circ}\text{C}$) a DEF é mais restritiva que o NHF. Como o NHF apresentou maior alteração com as projeções climáticas e conseqüente maior redução de áreas aptas ao cultivo das FCT, tem-se que para as projeções futuras o que mais restringe o cultivo das FCT é a disponibilidade de NHF.

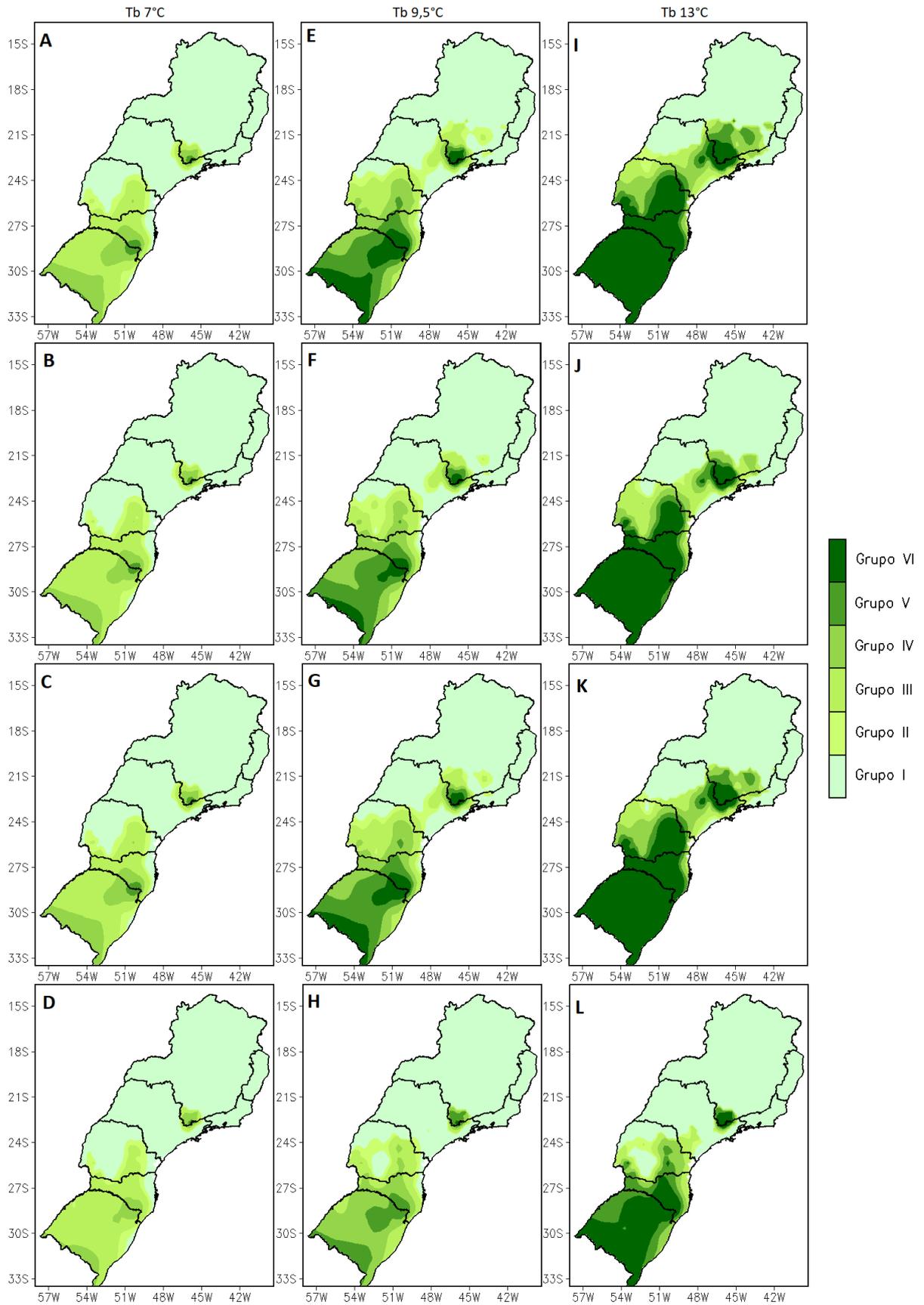


Figura 2 – Zoneamento de aptidão climática para as principais frutíferas de clima temperado para as regiões Sul e Sudeste do Brasil; com a $T_b = 7\text{ }^\circ\text{C}$ no período FP e RCP 4.5 (a), FP e RCP 8.5 (b), FD e

RCP 4.5 (c) e FD e RCP 8.5 (d); a $T_b = 9,5\text{ }^\circ\text{C}$ (e, f, g e h; respectivamente) e a $T_b = 13\text{ }^\circ\text{C}$ (i, j, k e l; respectivamente).

Tabela 2 – Proporção de áreas aptas e inaptas para os Grupos I, II, III, IV e V das frutíferas de clima temperado; considerando três temperaturas base ($7\text{ }^\circ\text{C}$, $9,5\text{ }^\circ\text{C}$ e $13\text{ }^\circ\text{C}$), dois cenários forçantes (RCP 4.5 e 8.5) e os períodos presente (PP = 1981-2015) e futuros (FP = 2021-2050 e FD = 2071-2100).

Temperatura base	Cenários	Inapto	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV	Grupo V
		%					
Tb 7 °C	PP	63,7	36,3	31,4	15,9	2,6	0,3
	RCP 4.5 FP	66,3	33,7	29,1	10,6	0,9	0,0
	RCP 4.5 FD	67,0	33,0	28,4	7,8	0,6	0,0
	RCP 8.5 FP	66,3	33,7	29,1	9,5	0,8	0,0
	RCP 8.5 FD	68,7	31,3	26,5	4,3	0,1	0,0
Tb 9,5 °C	PP	46,4	53,6	46,0	34,4	27,2	17,4
	RCP 4.5 FP	52,4	47,6	41,6	30,5	20,6	9,7
	RCP 4.5 FD	55,9	44,1	38,2	27,7	16,3	3,8
	RCP 8.5 FP	53,5	46,5	41,1	29,8	19,3	7,3
	RCP 8.5 FD	63,6	36,4	32,8	23,6	7,7	0,1
Tb 13 °C	PP	34,1	65,9	65,3	59,6	52,1	44,1
	RCP 4.5 FP	41,8	58,2	55,9	49,0	39,8	33,7
	RCP 4.5 FD	48,8	51,2	49,5	40,4	34,2	29,8
	RCP 8.5 FP	44,7	55,3	53,6	46,9	38,0	32,9
	RCP 8.5 FD	61,5	38,5	35,9	31,3	26,5	17,8
km²							
Tb 7 °C	PP	956387	545006	471437	237973	39036	4327
	RCP 4.5 FP	995423	505969	436905	158719	13513	0
	RCP 4.5 FD	1005933	495460	426396	116487	8404	0
	RCP 8.5 FP	995423	505969	436905	142632	12638	0
	RCP 8.5 FD	1031158	470235	397600	64345	2099	0
Tb 9,5 °C	PP	697045	804347	690641	516479	409090	260711
	RCP 4.5 FP	786124	715268	624707	457925	309838	146324
	RCP 4.5 FD	839542	661850	573631	415838	244727	56904
	RCP 8.5 FP	803362	698031	617778	447415	289742	109602
	RCP 8.5 FD	954325	547068	492487	353936	115459	2099
Tb 13 °C	PP	512650	988742	980759	895457	781581	662663
	RCP 4.5 FP	628108	873285	839162	735531	597777	505941
	RCP 4.5 FD	731997	769395	743763	606356	513491	447939
	RCP 8.5 FP	671300	830093	804047	703647	570899	494023
	RCP 8.5 FD	923128	578265	539295	469735	397243	267762

A diminuição da área apta deverá ocorrer principalmente pelo aumento de condições limitantes, como o aumento da DEF e a insuficiência de acúmulo de horas de frio.

De maneira geral, a ocorrência de DEF acarreta distúrbios no crescimento, desenvolvimento e na assimilação de CO₂ (STEDUTO et al., 2012). A taxa de crescimento vegetativo é retardada em qualquer órgão em expansão no momento da ocorrência da DEF (folha, fruta, ramo ou o tronco), devido à contração do volume celular. Esse decréscimo de volume celular resulta em menor pressão de turgor e perda de solutos pelas células, o que afeta a expansão celular, assim como todas as atividades dependentes do conteúdo de água nas células (SHAO et al., 2009), como: expansão foliar, modificações no sistema radicular, senescência e abscisão foliar, crescimento dos ramos, tronco e tamanho dos frutos (MARENCO; LOPES, 2009). Essa estratégia de defesa ocorre porque altas taxas de expansão exigem alta pressão dentro das células em crescimento, e essa pressão interna é diretamente dependente do estado de água do tecido (STEDUTO et al., 2012). Com a DEF as plantas fecham seus estômatos para não perder água por transpiração para a atmosfera, o que proporciona menor assimilação de CO₂ para a realização da fotossíntese e conseqüentemente desbalanceamento das trocas gasosas (TAIZ; ZEIGER, 2009). Por fim, também em resposta a DEF as plantas respondem negativamente em pequenos ou maiores intervalos de tempo (segundos, minutos ou horas) na tentativa de resistir ao déficit hídrico (SHAO et al. 2009). Essa resposta pode ser em diferentes níveis (morfológico, fisiológico, metabólico e celular) e dependente de cada FCT (TANASIJEVIC et al., 2014; MORIONDO et al., 2015).

A DEF acarreta uma série de distúrbios nas FCT, pois a água é o principal constituinte do vegetal, representando 50% da massa fresca nas plantas lenhosas, sendo necessária como reagente no metabolismo vegetal, no transporte e translocação de solutos, na turgescência celular, na abertura e fechamento dos estômatos e na penetração do sistema radicular, forma e estrutura dos órgãos da planta (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O acúmulo insuficiente de horas de frio, pode ocasionar diversas anomalias fisiológicas e fenológicas. Os sintomas da insuficiência de horas de frio são muitos e impactam de forma diferente as FCT (Tabela 3).

Tabela 3 – Fases fenológicas afetadas pela insuficiência de acúmulo de frio invernal e frutíferas de clima temperado. Adaptado de Atkinson et al. (2013).

Fases fenológicas	Ameixa	Maçã	Nectarina	Pêssego
Brotação vegetativa		+		
Brotação floral		+		+
Queda do botão	+		+	+
Queda das flores		+		
Crescimento vegetativo		+		+
Morfologia reprodutiva				+
Produtividade		+		
Qualidade das flores		+	+	+
Qualidade da produção		+		

Em nível fisiológico, a insuficiência de frio ocasiona: redução da permeabilidade das membranas celulares; solubilização do amido, nitrogênio e substâncias graxas, conseqüentemente menor disponibilidade de ácidos graxos, açúcares e nitrogênio solúveis, que são essenciais para a brotação; alteração da síntese de giberelina; dificuldade no controle hormonal e afeta a respiração intramolecular (HELDWEIN et al., 1989). A redução da permeabilidade das membranas associada a menor translocação de solutos, resulta em menor entrada de água na célula, originando contração celular e afrouxamento das paredes celulares (TAIZ; ZEIGER, 2009). Esse decréscimo de volume celular resulta em menor pressão de turgor e perda de solutos pelas células, o que afeta todas as atividades dependentes do conteúdo de água nas células (SHAO et al., 2009). O tamanho do fruto também é afetado pela falta de horas de frio, pois o baixo acúmulo em frio no inverno afeta a divisão celular e pode provocar a formação de pequenas flores, com deformação do estigma; menor número de grãos de pólen e redução do comprimento do pedúnculo (PETRI; LEITE; 2004).

Em nível fenológico, a insuficiência de frio provoca: alterações no desenvolvimento vegetativo (taxa de emissão e abertura de folhas) e reprodutivo (inflorescência, florescimento, frutificação e maturação), queda das gemas e alteração da duração dos estágios fenológicos (BURIOL et al., 2000; GARCÍA-MOZO et al., 2010; TANASIJEVIC et al., 2014). Alterações no desenvolvimento vegetativo podem reduzir a área de interceptação da radiação solar e afetar negativamente a fotossíntese. Já as alterações no desenvolvimento reprodutivo, podem ser mais significativas, podendo ocasionar atrasos na floração, floração mais prolongada e desuniforme, redução do número de inflorescência por ramo, aumento na produção de flores imperfeitas (ATKINSON et al., 2013; GARCÍA-MOZO et al., 2010; HELDWEIN et al., 1989) e em casos mais graves abortamento floral (ORGAZ; FERERES, 1999). Todos esses fatores aliados são os responsáveis pela menor produção de biomassa, redução da

produtividade e da qualidade da produção (MORIONDO et al., 2015), além de afetar o vigor e a longevidade da planta (CITADIN et al., 2002; PEDRO JÚNIOR et al., 1979).

A DEF e o acúmulo de horas de frio devem ser agravados pelas alterações nos padrões climáticos atuais, isso ocasionará impactos no manejo das FCT. Além disso, o prolongamento do ciclo deixa as culturas mais expostas à ocorrência de doenças, pragas e eventos meteorológicos adversos, que prejudicam a produção de fruta. Por esses motivos, as prováveis mudanças climáticas irão afetar o cultivo das frutíferas de clima temperado, reduzindo as áreas propícias a essas culturas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Para amenizar os impactos será necessário introduzir cultivares menos exigentes em frio, como as cultivares Gulfblaze de ameixa; Aurora e Tropic Beauty de pêssego; Sunblaze de nectarina; Chardonnay e Niágua Rosada de uva; Maria da Fé de oliveira e Eva de maçã. Além disso, é importante incentivar o melhoramento genético para a criação de culturas climaticamente menos exigentes e mais resistentes as mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS

ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; BELTRÃO, N. E. M.; PINTO, H. S. Impacts of climate change on the agricultural zoning of climate risk for cotton cultivation in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 1-8, 2013.

ATKINSON, C. J.; BRENNAN, R. M.; JONES; H. G. Declining chilling and its impact on temperate perennial crops. **Environmental and Experimental Botany**, Barcelona, v. 91, p. 48-62, 2013.

BRUNETTO, G.; ROZANE, D. E.; MELO, G. W. B.; ZALAMENA, J.; GIROTTO, E.; LOURENZI, C.; COUTO, R. R.; TIECHER, T.; KAMINSKI, J. Manejo da fertilidade de solos em pomares de frutíferas de clima temperado. In: TIECHER, T. (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: UFRGS, 2016. p. 141-158.

BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; SCHNEIDER, F. M.; ESTEFANEL, V.; OLINVEIRA, H. T.; DIDONÉ, M. A. Disponibilidade de horas de frio na região central do Rio Grande do Sul: 2 – Distribuição geográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 5, p. 755-759, 2000.

CARVALHO, C.; KIST, B. B.; SANTOS, C. E.; TREICHEL, M.; FILTER, C. F. **Anuário brasileiro da fruticultura 2017**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2017.88p.

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 30, n. 1, p. 81-88, 2015.

CITADIN, I.; RASEIRA, M. C. B.; HERTER, F. G.; SILVEIRA, C. A. P. Avaliação da necessidade de frio em pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 703-706, 2002.

FACHINELLO, J. C.; PASA, M. S.; SCHMTIZ, J. D.; BETEMPS, D. L. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. Especial, p. 109-120, 2011.

GARCÍA-MOZO, H.; MESTRE, A.; GALÁN, C. Phenological trends in southern Spain: A response to climate change. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 150, p. 575–580, 2010.

GOU, L.; DAI, J.; RANJITKAR, S.; YU, H.; XU, J.; LUEDELING, E. Chilling and heat requirements for flowering in temperate fruit trees. **International Journal of Biometeorology**, [S. l.], v. 58, n. 6, p. 1195-1206, 2014.

HELDWEIN, A. B.; ANGELOCCI, L. R.; ESTEFANEL, V.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A. Avaliação de modelos de estimativa de horas de frio para Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 19, p. 45-92, 1989.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change - Summary for Policymaker. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Eds). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2009. 486 p.

MARTINS, F. B. PEREIRA, R. A. A.; PINHEIRO, M. V. M.; ABREU, M. C. Desenvolvimento foliar em duas cultivares de oliveira estimado por duas categorias de modelos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n. 4, p. 505-514, 2014.

MARTINS, F. B.; REIS, D. F. da; PINHEIRO, M. V. M. Temperatura base e filocrono em duas cultivares de oliveira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n.11, p. 1975-1981, 2012.

MORIONDO, M.; FERRISE, R.; TROMBI, G.; BRILLI, L.; DIBARI, C.; BINDI, M. Modelling olive trees and grapevines in a changing climate. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v. 72, n. C, p. 387-401, 2015.

ORGAZ, F.; FERERES, E. Riego. In: BARRANCO, D. **Cultivo Del Olivo**. Madri: Mundi-Prensa. 1999. p.267-288.

PEDRO JUNIOR, M. J.; ORTOLONI, A. A.; RIGITANO, O.; ALFONSI, R. R.; PINTO, H. S.; BRUNINI, O. Estimativa de horas de frio abaixo de 7 °C e 13 °C para regionalização da fruticultura de clima temperado no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 38, n. 13, p. 123-130, 1979.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B. Consequences of Insufficient Winter Chilling on Apple Tree Bud-break. **Acta Horticulturae**, [S. l.], v. 66, p. 53-60, 2004.

REETZ, E. R.; KIST, B. B.; SANTOS, C. E.; CARVALHO, C.; DRUM, M. **Anuário brasileiro da fruticultura 2014**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2015. 104p.

SANTOS, D. F.; MARTINS, F. B.; TORRES, R. R. Impacts of climate projections on water balance and implications on olive tree in Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n.2, p.77-82, 2017.

SHAO, H.; CHU, L.; JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; PENNEERSELVAM, R.; SHAO, M. A. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants—biotechnologically and sustainably improving agriculture and the ecoenvironment in arid regions of the globe. **Critical Reviews in Biotechnology**, Cleveland, v. 29, n. 2, p. 131-151, 2009.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; RAES, D. **Crop yield response to water**. 66. ed. Rome: FAO. Irrigation and Drainage Paper, 2012. 498p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TANASIJEVIC, L.; TODOROVIC, M.; PEREIRA, L. S.; PIZZIGALLI, C.; LIONELLO, P. Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 144, p. 54–68, 2014.

TORRES, R. R. **Análise de incertezas em projeções de mudanças climáticas na América do Sul**. 2014. 239 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

TORRES, R. R.; LAPOLA, D. M.; MARENGO, J. A.; LOMBARDO, M. A. Socio-climatic hotspots in Brazil. **Climatic Change**, [S. l.], v. 115, n. 3-4, p. 597-609, 2012.

TORRES, R. R.; MARENGO, J. A. Climate change hotspots over South America: from CMIP3 to CMIP5 multi-model datasets. **Theoretical and Applied Climatology**, Vienna, v. 117, n. 3, p. 579-587, 2014.

TREICHEL, M.; KIST, B. B.; SANTOS, C. E.; CARVALHO, C.; BELING, R. R. **Anuário brasileiro da fruticultura 2016**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2016. 88p.

VIEIRA NETO, J.; OLIVEIRA, A. F.; CAPRONI, C. M.; VILLA, F.; SILVA, L. F. O. Desempenho de jardins clonais de oliveira (*Olea europaea* L.) em cortes sucessivos visando a sua propagação por estaquia. **Cerne**, Lavras, v.17, n.1, p.117-122, 2011.

WOLDEMESKEL, F. M.; SHARMA, A.; SIVAKUMAR, B.; MEHROTRA, R. Quantification of precipitation and temperature uncertainties simulated by CMIP3 and CMIP5 models. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, [S. l.], v. 120, p. 1-15. 2016.

WREGE, M. S.; COUTINHO, F. E.; PANTANO, A. P.; JORGE, R. O. Distribuição Potencial de oliveiras no Brasil e no mundo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 3, p. 656-666, 2015.

ANEXOS

Anexo 1 - Estações meteorológicas e seus respectivos estados/países, instituição responsável, latitude, longitude e altitude.

Cidades	Estado	Instituição	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Aimorés	MG	INMET	-19,49	-41,07	82,74
Antonina	PR	Simepar	-25,42	-48,7	20,00
Apucarana	PR	Simepar	-23,55	-51,46	820,00
Araçuaí	MG	INMET	-16,83	-42,05	289,00
Araxá	MG	INMET	-19,6	-46,94	1023,61
Arinos	MG	INMET	-15,91	-46,1	519,00
Assis Chateaubriand	PR	Simepar	-24,41	-53,53	406,00
Avaré	SP	INMET	-23,08	-48,91	854,00
Avelar (Paty de Alferes)	RJ	INMET	-22,35	-43,41	507,00
Bagé	RS	INMET	-31,33	-54,1	242,31
Bambuí	MG	INMET	-20,03	-45	661,27
Barbacena	MG	INMET	-21,25	-43,76	1126,00
Bauru	SP	UNESP	-22,30	-49,70	550,0
Belo Horizonte	MG	INMET	-19,93	-43,93	915,00
Bento Gonçalves	RS	INMET	-29,15	-51,51	640,00
Bom Despacho	MG	INMET	-19,68	-45,36	695,00
Bom Jesus	RS	INMET	-28,66	-50,43	1047,50
Caetité	BA	INMET	-14,06	-42,48	882,47
Cambará	PR	Simepar	-23,04	-50,07	430,00
Campinas	SP	Cepagri	-22,82	-47,06	660,0
Campo Mourão	PR	INMET	-24,05	-52,36	616,40
Campo Mourão	PR	Simepar	-24,05	-52,38	596,00
Campos dos Goytacazes	RJ	INMET	-21,74	-41,33	11,20
Campos do Jordão	SP	INMET	-22,75	-45,6	1642,00
Campos Novos	SC	INMET	-27,38	-51,2	946,67
Cândido de Abreu	PR	Simepar	-24,57	-51,32	517,00
Caparaó	MG	INMET	-20,51	-41,9	843,18
Capinópolis	MG	INMET	-18,71	-49,55	620,60
Caratinga	MG	INMET	-19,73	-42,13	609,65
Caravelas	BA	INMET	-17,73	-39,25	2,88
Carbonita	MG	INMET	-17,53	-43	736,38
Carinhanha	BA	INMET	-14,28	-43,76	450,18
Cascavel	PR	Simepar	-24,96	-53,46	782,00
Castro	PR	INMET	-24,78	-50	1008,80
Catalão	GO	INMET	-18,18	-47,95	840,47
Catanduva	SP	INMET	-21,11	-48,93	570,00
Caxias do Sul	RS	INMET	-29,16	-51,2	759,60
Cerro Azul	Argentina	INTA	-27,65	-55,43	283,00

Chapecó	SC	INMET	-27,11	-52,61	679,01
Conceição do Mato Dentro	MG	INMET	-19,02	-43,43	652,00
Concordia	Argentina	INTA	-31,38	-58,03	48,00
Cordeiro	RJ	INMET	-22,01	-42,35	505,92
Coronel Pacheco	MG	INMET	-21,55	-43,26	435,00
Correntina	BA	INMET	-13,33	-44,61	549,57
Cruz Alta	RS	INMET	-28,63	-53,6	472,50
Curitiba	PR	INMET	-25,43	-49,26	923,50
Curvelo	MG	INMET	-18,75	-44,45	672,00
Diamantina	MG	INMET	-18,23	-43,64	1296,12
Divinópolis	MG	INMET	-20,17	-44,87	788,35
Encruzilhada do Sul	RS	INMET	-30,53	-52,51	427,75
Espinosa	MG	INMET	-14,91	-42,8	569,64
Fernandes Pinheiro	PR	Iapar	-25,42	-53,47	824,00
Florestal	MG	INMET	-19,88	-44,41	760,00
Florianópolis	SC	INMET	-27,58	-48,56	1,84
Formosa	GO	INMET	-15,54	-47,33	935,19
Franca	SP	INMET	-20,58	-47,36	1026,20
Francisco Beltrão	PR	Iapar	-26,29	-51,59	600,00
Frutal	MG	INMET	-20,03	-48,93	543,67
Guarapuava	PR	Iapar	-26,05	-53,04	1111,00
Guaratinga	BA	INMET	-16,73	-39,55	194,67
Guarulhos	SP	INMET	-23,43	-46,46	735,00
Ibirité	MG	INMET	-20,01	-44,05	814,54
Ilha Solteira	SP	UNESP	-20,42	-51,35	337,0
Indaial	SC	INMET	-26,9	-49,21	86,13
Ipameri	GO	INMET	-17,71	-48,16	772,99
Iraí	RS	INMET	-27,18	-53,23	247,10
Irati	PR	INMET	-25,46	-50,63	836,95
Itamarandiba	MG	INMET	-17,85	-42,85	914,00
Itaperuna	RJ	INMET	-21,02	-41,9	123,59
Ituiutaba	MG	INMET	-18,95	-49,52	560,00
Ivaí	PR	INMET	-25	-50,86	808,00
Ivinhema	MS	INMET	-22,3	-53,81	369,20
Jaboticabal	SP	UNESP	-21,25	-48,30	589,0
Janaúba	MG	INMET	-15,8	-43,29	516,00
Januária	MG	INMET	-15,45	-44	473,71
João Pinheiro	MG	INMET	-17,73	-46,17	760,36
Juiz de Fora	MG	INMET	-21,76	-43,36	939,96
Juramento	MG	INMET	-16,77	-43,66	648,00
Lages	SC	INMET	-27,81	-50,33	936,83
Lagoa Vermelha	RS	INMET	-28,21	-51,5	840,00
Lambari	MG	INMET	-21,94	-45,31	878,45
Lavras	MG	INMET	-21,75	-45	918,84
Londrina	PR	INMET	-23,31	-51,13	566,00
Machado	MG	INMET	-21,68	-45,94	873,35

Maria da Fé	MG	INMET	-22,31	-45,37	1276,33
Maringá	PR	INMET	-23,4	-51,91	542,00
Marinópolis	SP	UNESP	-20,45	-50,81	340,0
Mercedes	Argentina	INTA	-29,17	-58,02	100,00
Mocambinho	MG	INMET	-15,08	-44,01	452,00
Monte Azul	MG	INMET	-15,16	-42,86	625,00
Monte Verde	MG	INMET	-22,85	-46,03	1500,00
Montes Claros	MG	INMET	-16,68	-43,84	652,00
Nova Prata do Iguaçu	PR	Simepar	-25,64	-53,35	457,00
Palmas	PR	Iapar	-25,27	-50,35	1115,00
Paracatu	MG	INMET	-17,24	-46,88	712,00
Paranaguá	PR	INMET	-25,53	-48,51	4,50
Paranaíba	MS	INMET	-19,75	-51,18	331,25
Passo Fundo	RS	INMET	-28,21	-52,4	684,05
Pato Branco	PR	Simepar	-26,23	-52,67	765,00
Pato Branco	PR	Iapar	-25,21	-51,3	760,00
Patos de Minas	MG	INMET	-18,51	-46,43	940,28
Pedra Azul	MG	INMET	-16	-41,28	648,91
Pelotas	RS	INMET	-31,78	-52,41	13,00
Pinhais	PR	Simepar	-25,43	-49,19	895,00
Piracicaba	SP	CTC	-22,70	-47,55	536,0
Pirapora	MG	INMET	-17,35	-44,91	505,24
Planalto	PR	Iapar	-26,07	-52,41	400,00
Poços de Caldas	MG	INMET	-21,91	-46,38	1150,00
Pompéu	MG	INMET	-19,21	-45	690,91
Ponta Grossa	PR	Simepar	-25,09	-50,16	956,00
Porto Alegre	RS	INMET	-30,05	-51,16	46,97
Posse	GO	INMET	-14,1	-46,36	825,64
Pradópolis	SP	CTC	-21,33	-48,05	579,0
Presidente Prudente	SP	INMET	-22,11	-51,38	435,55
Quedas do Iguaçu	PR	Simepar	-25,44	-52,92	604,00
Resende	RJ	INMET	-22,45	-44,44	439,89
Rio de Janeiro	RJ	INMET	-22,89	-43,18	11,10
Rio Grande	RS	INMET	-32,03	-52,11	2,46
Salinas	MG	INMET	-16,15	-42,28	471,32
Salto	Uruguai	INIA	-31,27	-57,88	50,00
Santa Helena	PR	Simepar	-24,86	-54,33	227,00
Santa Maria	RS	INMET	-29,7	-53,7	95,00
Santa Vitória do Palmar	RS	INMET	-33,51	-53,35	24,01
Santana do Livramento	RS	INMET	-30,83	-55,6	328,00
São Carlos	SP	INMET	-21,96	-47,86	856,00
São Joaquim	SC	INMET	-28,3	-49,93	1415,00
São Lourenço	MG	INMET	-22,1	-45,01	953,20
São Luiz Gonzaga	RS	INMET	-28,4	-55,01	245,11
São Mateus	ES	INMET	-18,7	-39,85	25,04
São Miguel do Iguaçu	PR	Simepar	-25,35	-54,23	323,00

São Paulo (Mir. De Santana)	SP	INMET	-23,5	-46,61	792,06
São Sebastião do Paraíso	MG	INMET	-20,91	-47,11	820,00
São Simão	SP	INMET	-21,48	-47,55	617,39
Sete Lagoas	MG	INMET	-19,46	-44,25	732,00
Sorocaba	SP	INMET	-23,48	-47,43	645,00
Tacuarembó	Uruguai	INIA	-31,70	-31,70	140,00
Taubaté	SP	INMET	-23,03	-45,55	577,00
Telêmaco Borba	PR	Simepar	-24,32	-50,62	737,00
Toledo	PR	Simepar	-24,72	-53,74	550,00
Torres	RS	INMET	-29,35	-49,73	4,66
Treinta y Tres	Uruguai	INIA	-33,23	-33,23	100,00
Uberaba	MG	INMET	-19,73	-47,95	737,00
Umuarama	PR	Simepar	-23,76	-53,32	447,00
Unaí	MG	INMET	-16,36	-46,88	460,00
União da Vitória	PR	Simepar	-26,23	-51,09	751,00
Uruguaiana	RS	INMET	-29,75	-57,08	62,31
Urussanga	SC	INMET	-28,51	-49,31	48,17
Viçosa	MG	INMET	-20,76	-42,86	712,20
Vitória	ES	INMET	-20,31	-40,31	36,20
Vitória da Conquista	BA	INMET	-14,88	-40,8	874,81
Votuporanga	SP	INMET	-20,41	-49,98	502,50

Anexo 2 - Cultivares de ameixeira, nectarina e pessegueiro; exigência em horas de frio abaixo de 7 °C e citação dos autores.

Cultivares	Horas de frio < 7 °C	Citação
Ameixeira		
Amarelinha	400	Epagri (2016); Souza (2016)
Fortune	400	Epagri (2016); Souza (2016)
Gulf Blaze	200	Anzanello e Biasi (2016); Epagri (2016); Souza (2016)
Harry Pickstone	400	Epagri (2016)
Irati	600	Epagri (2016)
Irati	400	Souza (2016)
Letícia	600	Epagri (2016); Souza (2016)
Piuna	600	Epagri (2016)
Pluma 7	600	Epagri (2016)
Reubenel	400	Epagri (2016); Souza (2016)
SA-86-13	600	Epagri (2016)
Simka	>600	Epagri (2016)
Nectarina		
Armking	<650	Carcelen (1988)
Crimson Gold	650-800	Carcelen (1988)
Early Sungrand	650-800	Carcelen (1988)
Fantasia	<650	Carcelen (1988)
Firegold	<650	Carcelen (1988)
Flavortop	650-800	Carcelen (1988)
Fuzalode	650-800	Carcelen (1988)
Golden Grand	<650	Carcelen (1988)
Independence	650-800	Carcelen (1988)
Julema	200	Epagri (2016)
Maybelle	500-550	Carcelen (1988)
Maygrand	650-800	Carcelen (1988)
Mexicana	150	Epagri (2016)
Morton	650-800	Carcelen (1988)
Nectared	<650	Carcelen (1988)
Red June	650-800	Carcelen (1988)
Ruby Gold	650-800	Carcelen (1988)
Silver Lode	<650	Carcelen (1988)
Sunblaze	200	Epagri (2016)
Sunblaze	250	Ramos e Leonel (2008)
Sungold	450	Epagri (2016)
Sungrand Me	650-800	Carcelen (1988)
Sunraycer	200	Epagri (2016)
Sunripe	200	Epagri (2016)
Sweet Gold	650-800	Carcelen (1988)
Pessegueiro		
Ágata	500	EMBRAPA (1993)

Aldrighi	350	EMBRAPA (1993)
Ametista	400	EMBRAPA (1993)
Aurora	150	Epagri (2016)
Belvedere	400	EMBRAPA (1993)
Biuti	200	Chalfun et al. (2002)
Bolinha	400	EMBRAPA (1993)
BR-1	300	EMBRAPA (1993)
BR-2	300	EMBRAPA (1993)
BR-4	250-300	EMBRAPA (1993)
BR-6	350	EMBRAPA (1993)
Capdeboscq	300	EMBRAPA (1993)
Cascata 711	150	Epagri (2016)
Cerrito	200	EMBRAPA (1993)
Chimarrita	250	Epagri (2016)
Chimarrita	400	EMBRAPA (1993)
Chiripá	450	Epagri (2016)
Chiripá	500	EMBRAPA (1993)
Chula	400	EMBRAPA (1993)
Convênio	350-400	EMBRAPA (1993)
Coral	350	EMBRAPA (1993); Epagri (2016)
CP-951 C	250	Ramos e Leonel (2008)
CP-9553 CYN	225	Ramos e Leonel (2008)
Delicioso precoce	200	Chalfun et al. (2002)
Della Nona	350	Epagri (2016)
Diamante	200	Chaulfun (2002); EMBRAPA (1993)
Diamente Mejorado	250	Ramos e Leonel (2008)
Eldorado	300	EMBRAPA (1993)
Eragil	350	Epagri (2016)
Eragil	550	Anzanello e Biasi (2016)
Escarlate	400	EMBRAPA (1993)
Farrapos	350	EMBRAPA (1993)
Fascínio	200	Epagri (2016)
Flordaking	250	Epagri (2016)
Flordaprince	150	EMBRAPA (1993)
Granito	>400	EMBRAPA (1993)
Granito	300	Chalfun et al. (2002)
Guaiaca	200-300	EMBRAPA (1993)
Magno	400	EMBRAPA (1993)
Maravilha	100	Chalfun et al. (2002)
Maravilha	150	EMBRAPA (1993)
Marli	300	EMBRAPA (1993); Epagri (2016); Ramos e Leonel (2008)
Mondardo	150	Epagri (2016)
Morro-redondo	250	EMBRAPA (1993)
Onix	300	EMBRAPA (1993)
Pampeano	200	Chaulfun (2002); EMBRAPA (1993)

Pilcha	400	EMBRAPA (1993)
Planalto	350	Epagri (2016)
Precocinho	150	EMBRAPA (1993); Ramos e Leonel (2008)
Premier	150	Chalfun et al. (2002); Epagri (2016)
PS 10.711 (PS tardio)	300	Epagri (2016)
Riograndense	300	EMBRAPA (1993)
Rubimel	150	Epagri (2016)
Safira	400-500	EMBRAPA (1993)
Sentinela	150	EMBRAPA (1993)
Sinuelo	300	EMBRAPA (1993)
Tropic Beauty	150	Anzanello e Biasi (2016); Epagri (2016)
Tropical	200	Chalfun et al. (2002)
Turmalina	200	Ramos e Leonel (2008)
Turquesa	200-300	EMBRAPA (1993)
Vanguarda	150	EMBRAPA (1993)
Vila-nova	400	EMBRAPA (1993)
Zilli	150	Epagri (2016)

Anexo 3 - Número de horas de frio estimado pelo método de Pola e Angelocci (1993) para o Período Presente (1981-2015) e desvio padrão, considerando as temperaturas base de 7 °C, 9,5°C e 13 °C.

Cidade	Tb de 7 °C		Tb de 9,5 °C		Tb de 13 °C	
	NHF	DP	NHF	DP	NHF	DP
Aimorés	0	0,0	0	0,0	26	23,8
Antonina	24	17,1	84	40,8	364	108,2
Apucarana	43	32,3	131	57,0	470	83,4
Araçuaí	0	0,0	2	3,4	49	30,8
Araxá	3	5,4	20	19,6	147	64,3
Arinos	0	1,6	2	3,5	53	40,1
Assis Chateaubriand	73	39,0	183	51,7	489	103,6
Avaré	27	23,5	108	51,7	493	110,2
Avelar (Paty de Alferes)	64	42,4	213	84,4	667	132,3
Bagé	454	137,7	859	194,0	1634	221,9
Bambuí	97	61,3	306	115,9	837	151,6
Barbacena	53	45,6	216	133,0	885	212,8
Bauru	10	10,4	53	34,9	276	92,9
Belo Horizonte	0	0,0	2	4,5	56	49,3
Bento Gonçalves	392	81,5	788	140,3	1606	178,0
Bom Despacho	66	73,6	205	183,9	592	343,6
Bom Jesus	665	130,5	1156	176,7	2044	177,7
Caetité	0	0,0	1	1,6	20	24,0
Cambará	56	31,4	153	56,2	536	94,7
Campinas	12	15,4	60	41,2	347	120,4
Campo Mourão-INMET	108	51,6	265	77,8	735	140,2
Campo Mourão-Simepar	105	49,1	246	78,2	685	125,5
Campos do Jordão	676	200,1	1178	203,3	2059	140,9
Campos dos Goytacazes	0	0,0	0	0,0	4	5,2
Campos Novos	392	87,8	756	127,0	1575	173,5
Cândido de Abreu	87	40,9	240	69,9	763	120,8
Caparaó	65	33,2	216	84,3	675	162,8
Capinópolis	2	2,9	13	13,0	75	41,7
Caratinga	4	7,5	39	31,9	321	134,0
Caravelas	0	0,0	0	0,0	1	2,4
Carbonita	16	18,5	105	61,4	501	145,7
Carinhanha	0	0,0	0	1,3	27	34,7
Cascavel	126	50,7	291	78,9	717	113,2
Castro	298	82,0	638	123,4	1476	164,1
Catalão	2	5,9	9	16,7	76	64,6
Catanduva	9	12,2	36	28,3	178	71,5
Caxias do Sul	380	117,7	775	173,5	1579	220,2
Cerro Azul	200	76,7	423	128,4	942	192,1
Chapecó	228	78,5	469	107,8	1035	179,6
Conceição do Mato Dentro	55	46,6	193	106,3	634	192,0
Concordia	563	135,4	954	182,6	1668	204,1

Cordeiro	5	7,5	48	39,1	343	126,9
Coronel Pacheco	21	18,4	114	64,8	500	133,7
Correntina	0	0,0	6	8,6	117	47,2
Cruz Alta	299	93,4	634	143,7	1296	208,3
Curitiba	172	93,5	445	158,5	1276	239,9
Curvelo	6	7,0	50	43,4	371	142,8
Diamantina	4	6,9	56	42,0	621	162,6
Divinópolis	23	19,2	129	58,6	594	116,4
Encruzilhada do Sul	341	117,4	736	190,4	1580	234,6
Espinosa	0	1,5	0	2,0	21	24,0
Fernandes Pinheiro	225	82,6	505	118,9	1290	167,5
Florestal	95	49,7	329	91,6	863	136,1
Florianópolis	28	25,3	108	54,6	423	119,7
Formosa	0	2,0	2	4,4	47	43,9
Franca	10	13,8	42	41,6	207	115,3
Francisco Beltrão	258	64,6	510	100,8	1110	143,1
Frutal	3	5,9	20	16,5	101	41,7
Guarapuava	278	85,5	580	123,6	1353	158,9
Guaratinga	0	0,0	1	2,4	4	7,4
Guarulhos	18	24,3	84	63,4	501	171,8
Ibirité	27	25,8	146	75,0	608	109,6
Ilha Solteira	4	6,1	20	19,6	122	54,9
Indaial	43	35,8	136	71,6	479	147,9
Ipameri	3	4,5	22	23,7	224	69,1
Iraí	202	61,5	422	87,6	938	131,8
Irati	282	81,2	571	121,2	1346	157,1
Itamarandiba	8	11,6	75	48,4	495	140,3
Itaperuna	0	0,0	1	1,2	48	33,0
Ituiutaba	9	12,8	33	24,7	170	85,9
Ivaí	194	80,5	441	122,1	1118	204,1
Ivinhema	31	25,3	105	45,7	345	95,8
Jaboticabal	14	12,0	56	31,4	280	69,1
Janaúba	1	2,6	1	3,0	29	21,4
Januária	0	0,0	3	4,0	105	61,8
João Pinheiro	2	5,5	8	16,4	71	107,3
Juiz de Fora	3	6,4	42	35,3	435	172,8
Juramento	3	3,4	24	25,7	309	123,0
Lages	440	104,5	851	123,8	1839	165,1
Lagoa Vermelha	396	115,6	763	148,2	1559	198,6
Lambari	367	94,2	723	112,3	1329	101,8
Lavras	16	17,6	83	52,4	510	115,7
Londrina	35	22,8	125	61,9	467	127,5
Machado	66	61,3	253	113,3	826	142,8
Maria da Fé	396	154,0	796	183,6	1536	148,9
Maringá	32	28,6	94	54,5	330	113,2
Marinópolis	19	17,2	56	30,5	229	72,4

Mercedes	418	176,4	754	227,5	1400	268,3
Mocambinho	0	1,4	1	2,2	56	36,2
Monte Azul	0	0,0	0	0,0	1	3,4
Monte Verde	557	75,0	1066	93,4	1951	81,8
Montes Claros	0	1,0	3	4,9	114	66,0
Nova Prata do Iguaçu	80	38,4	223	73,8	618	139,6
Palmas	402	100,7	765	131,6	1628	155,7
Paracatu	0	0,6	2	3,4	53	33,6
Paranaguá	5	8,9	27	30,3	214	114,9
Paranaíba	10	16,9	36	35,5	146	93,4
Passo Fundo	331	91,0	675	133,6	1428	183,0
Pato Branco - INMET	196	66,2	419	95,2	959	140,4
Pato Branco - Simepar	203	68,9	433	95,9	996	153,8
Patos de Minas	3	5,2	16	11,4	221	73,7
Pedra Azul	1	3,5	11	16,4	118	90,7
Pelotas	308	111,6	661	165,9	1446	233,9
Pinhais	196	86,6	494	164,7	1398	254,1
Piracicaba	115	42,5	313	73,1	886	123,9
Pirapora	0	1,6	8	18,0	116	76,0
Planalto	109	46,0	249	73,3	629	123,9
Poços de Caldas	345	115,4	703	150,4	1344	151,0
Pompéu	4	6,8	36	31,1	291	105,0
Ponta Grossa	181	67,3	414	102,8	1155	165,7
Porto Alegre	146	72,4	377	131,8	1010	230,1
Posse	0	0,0	0	0,0	1	2,1
Pradópolis	25	27,5	81	79,9	325	215,3
Presidente Prudente	14	17,3	46	36,0	205	92,6
Quedas do Iguaçu	123	49,2	295	86,2	734	137,0
Resende	9	21,1	54	55,3	330	139,1
Rio de Janeiro	0	0,0	0	0,0	1	2,1
Rio Grande	237	85,3	559	139,2	1346	224,7
Salinas	2	5,4	16	18,9	170	94,0
Salto	537	151,8	951	196,1	1690	221,3
Santa Helena	94	43,6	222	76,7	562	128,8
Santa Maria	287	93,3	582	152,5	1253	218,1
Santa Vitória do Palmar	415	135,1	886	214,1	1851	261,1
Santana do Livramento	494	147,8	934	207,1	1778	202,0
São Carlos	25	25,5	93	67,4	425	158,7
São Joaquim	758	114,8	1334	168,8	2308	193,5
São Lourenço	193	65,1	486	97,5	1084	113,6
São Luiz Gonzaga	200	74,3	428	116,7	956	179,1
São Mateus	0	0,0	1	2,5	12	46,3
São Miguel do Iguaçu	113	58,1	260	98,8	645	150,1
São Paulo	14	24,6	68	63,7	464	186,5
São Sebastião do Paraíso	43	23,1	146	49,0	594	95,9
São Simão	24	22,5	93	62,3	417	131,0

Sete Lagoas	4	4,1	36	22,6	354	83,2
Sorocaba	18	19,8	80	52,6	426	133,5
Tacuarembó	665	164,4	1143	207,2	1948	241,9
Taubaté	39	27,7	165	54,3	632	93,1
Telêmaco Borba	218	68,3	510	102,6	1186	134,1
Toledo	164	61,0	325	88,8	717	140,3
Torres	77	41,7	248	96,1	826	203,0
Treinta y Tres	740	168,8	1207	200,7	2032	204,1
Uberaba	21	17,8	64	29,3	302	93,9
Umuarama	35	25,3	121	47,9	404	86,6
Unai	1	2,7	9	15,4	132	86,1
União da Vitória	288	95,7	593	133,5	1431	170,4
Uruguaiana	360	147,0	694	195,8	1355	226,3
Urussanga	170	60,4	379	86,7	949	158,0
Viçosa	16	17,8	109	68,2	535	146,5
Vitória	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Vitória da Conquista	0	1,6	8	10,3	179	114,2
Votuporanga	8	12,8	32	29,4	139	60,2

Anexo 4 - Exemplo de uma tabela de balanço hídrico climatológico.

Meses	ETP	P	P-ETP	NEGACUM	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Janeiro	117	231	114	88	175	0	117	0	114
Fevereiro	106	131	25	23	175	0	106	0	25
Março	106	150	44	39	175	0	106	0	44
Abril	82	53	-29	-29	148	-27	80	2	0
Mai	62	36	-26	-55	128	-20	56	6	0
Junho	48	15	-33	-88	106	-22	37	11	0
Julho	48	12	-36	-124	86	-20	32	16	0
Agosto	58	13	-45	-169	67	-19	32	26	0
Setembro	70	49	-21	-190	59	-8	57	13	0
Outubro	91	111	20	-139	79	20	91	0	0
Novembro	99	208	109	13	175	96	99	0	13
Dezembro	113	257	144	105	175	0	113	0	144
Soma	1000	1266	266	-	-	0	926	74	340