

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Impacto das mudanças climáticas no Brasil e sua influência no cultivo e na
produtividade do milho: uma abordagem multi-modelos**

Yury Catalani Nepomuceno Duarte

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

**Piracicaba
2023**

Yury Catalani Nepomuceno Duarte
Engenheiro Agrônomo

**Impacto das mudanças climáticas no Brasil e sua influência no cultivo e na
produtividade do milho: uma abordagem multi-modelos**

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **IRAN JOSÉ OLIVEIRA DA SILVA**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

Piracicaba
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Duarte, Yury Catalani Nepomuceno

Impacto das mudanças climáticas no Brasil e sua influência no cultivo e na produtividade do milho: uma abordagem multi-modelos / Yury Catalani Nepomuceno Duarte. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2023.

250 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Zea mays* 2. Modelos de simulação de cultura 3. Clima futuro 4. Ensemble 5. Modelos climáticos globais I. Título

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela oportunidade da vida e por ter me apresentado a tantas pessoas excepcionais, que contribuíram imensamente para que esse dia pudesse finalmente chegar. Dentre essas incontáveis pessoas, é impossível não destacar o nome do Professor Paulo Cesar Sentelhas, a quem dedico essa Tese e sou infinitamente grato pelas suas contribuições aqui e em toda a minha trajetória acadêmica e de vida. Desde o primeiro estágio supervisionado, passando por TCC, estágio profissionalizante, mestrado e agora, com o encerramento desse trabalho de doutorado, de uma etapa e, com muito pesar, de nossa parceria. Esse trabalho é mais um dos tantos frutos do trabalho do Professor Paulo e de sua contribuição com a pesquisa científica brasileira e agradeço por ter feito parte disso e por toda orientação recebida ao longo dessa trajetória. Obrigado Paulão!

Agradeço também ao Professor Iran José Oliveira da Silva, que apoiou no desafio e na reta final do curso de doutorado bem como ao Professor Gustavo Castilho Beruski, que prontamente se apresentou em apoio durante essa etapa de conclusão da Tese. Agradeço ainda aos Professores Class Nendel e Allard de Wit pela atenção e apoio dado ao longo do processo de calibração dos modelos MONICA e WOFOST bem como à Dra. Fabiane Denise Bender pelo auxílio com o uso e a aplicação dos modelos de mudanças climáticas globais.

Agradeço ainda ao Cientista de dados Juliano Cesar Giusti por todo apoio dado com as rotinas computacionais. Sem o apoio e colaboração de todos vocês, os resultados do desafio aqui apresentados seriam intangíveis.

Não menos importante, agradeço incondicionalmente por todo apoio dado pela minha família, principalmente dos meus pais, Eliete e Alex, e irmã, Nathalia, que me cuidaram, ensinaram e me incentivam desde a primeira lembrança que tenho deles. Aos amigos, Maiara (Nãr-c), Pedro (Farelo), Bruno (Euza), Ricardo (Galiña), Paulo (Cãibra), Henrique (K-

pa), Edson, Francisco (Q-ñé), Caio (Bixiga), a toda GMR Xapadão e à Cúpula, agradeço pelos inúmeros momentos de descontração, que foram e são tão importantes.

Finalmente, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por todo o apoio financeiro dado, que foi fundamental para o desenvolvimento do trabalho e à Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz' (ESALQ/USP), onde tive o prazer de ingressar em 2007, como aluno de graduação, e sair agora, 15 anos depois, com a entrega desse trabalho. Agradeço a todos os Professores e Funcionários de toda a Escola com quem pude ter contato ao longo dessa trajetória, em especial ao Romeu, Raquel, Davilmar, Eliana, Chiquinho e Mineiro, pelos ensinamentos e momentos que dividimos nesses anos todos.

Muito obrigado a todos!

Muito obrigado, Paulão!

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. A cultura do milho	13
2.1.1. Fenologia e desenvolvimento	13
2.2. Das exigências climáticas do milho.....	15
2.3. Produção brasileira e mundial de milho	18
2.4. Modelos de simulação de culturas	21
2.4.1. Determinação da produtividade potencial e atingível	21
2.4.2. Modelo da Zona Agrometeorológica da FAO (MZA-FAO).....	23
2.4.3. Decision Sport System for Agrotechnology Transfer (DSSAT).....	26
2.4.4. Agricultural Production System Simulaor (APSIM).....	30
2.4.5. Model for Nitrogen and Carbon in Agroecosystems (MONICA).....	33
2.4.6. Worls Food Studies (WOFOST)	36
2.5. Modelos globais de mudanças climáticas (GCM).....	39
2.6. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do milho	40
Referências	41
3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA COMBINAÇÃO (ENSEMBLE) DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DA CULTURA DO MILHO EM ESTIMAR SUA PRODUTIVIDADE NO BRASIL	55
Resumo	55
Abstract.....	55
3.1. Introdução.....	55
3.2. Material e Métodos	57
3.2.1. Dos dados para calibração dos modelos	57
3.2.1.1. Dados da cultura do milho.....	57
3.2.1.2. Dados meteorológicos	59
3.2.1.3. Dados de solo	59
3.2.2. Dos modelos de simulação da produtividade do milho.....	60
3.2.2.1. MZA-FAO	60
3.2.2.2. DSSAT-CERES-Maize	60

3.2.2.3. APSIM-Maize	61
3.2.2.4. MONICA-Maize	61
3.2.2.5. WOFOST-Maize	61
3.2.3. Da calibração, avaliação e combinação dos modelos	62
3.3. Resultados e Discussão	63
3.3.1. Da calibração dos modelos	63
3.3.1.1. Etapa C1	63
3.3.1.2. Etapa 2 – C2	64
3.3.1.3. Etapa 3 – C3	66
3.3.2. Da avaliação dos modelos	68
3.4. Conclusões	72
Referências	72
Material Suplementar	81
4. CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS: SELEÇÃO REPRESENTATIVA DOS MODELOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E SEUS IMPACTOS NA TEMPERATURA E NA CHUVA DO BRASIL	89
Resumo	89
Abstract	89
4.1. Introdução	90
4.2. Material e Métodos	92
4.2.1. Locais de estudo	92
4.2.2. Preenchimento de falhas	93
4.2.3. Modelos globais de mudanças climáticas (GCMs)	98
4.2.4. Abordagem representativa da seleção dos GCMs	100
4.3. Resultados e Discussão	102
4.3.1. Efeito das mudanças climáticas no médio prazo	102
4.3.1.1. Efeitos na Temperatura (máxima e mínima)	102
4.3.1.2. Efeitos na chuva:	105
4.3.2. Efeito das mudanças climáticas no longo prazo	107
4.3.2.1. Efeitos na Temperatura (máxima e mínima):	107
4.3.2.2. Efeitos na chuva:	110
4.3.3. Efeito das mudanças climáticas analisados localmente	112
4.4. Conclusões	116
Referências	116

Material Suplementar	120
5. IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUTIVIDADE DO MILHO NO BRASIL: UMA ABORDAGEM MULTI-MODELOS	181
Resumo	181
Abstract.....	181
5.1. Introdução.....	182
5.2. Material e Métodos.....	186
5.2.1. Locais de estudo	186
5.2.2. Modelos de simulação da produtividade do milho.....	187
5.2.3. Cenários climáticos futuros	188
5.2.4. Simulação dos impactos climáticos na produtividade do milho	189
5.2.5. Avaliação espacial e sazonal dos efeitos das mudanças climáticas na produtividade do milho.....	192
5.3. Resultados e Discussão.....	193
5.3.1. Impacto dos cenários climáticos futuros na produtividade do milho	193
5.3.1.1. Impactos na produtividade potencial (PP).....	193
5.3.1.2. Impactos na produtividade atingível (PA):.....	198
5.3.2. Influência regional e sazonal das mudanças climáticas na produtividade atingível do milho.....	204
5.4. Conclusões.....	208
Referências	209
Material Suplementar	215

RESUMO

Impacto das mudanças climáticas no Brasil e sua influência no cultivo e na produtividade do milho: uma abordagem multi-modelos

O Brasil é um dos principais produtores de milho do mundo e variáveis como genótipo, ambiente, clima e manejo atuam conjuntamente afetando o desenvolvimento das lavouras de milho tornando essa atividade rural altamente complexa e sujeita interferências externas. Em paralelo, o efeito das mudanças climáticas nas médias de temperatura e chuva apontam, cada vez mais, para cenários ainda mais desafiadores e restritivos. Nesse contexto, o uso de modelos de simulação de culturas é amplamente difundido e aceito para se estimar a produtividade do milho da mesma forma que os modelos de simulação global do clima (GCMs em inglês) são a melhor alternativa para se simular as condições futuras de temperatura e chuva. Sendo assim, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito das mudanças climáticas na cultura do milho através da associação entre modelos de simulação de cultura e GCMs para melhor entender sobre os efeitos e os riscos à segurança alimentar do país. Primeiramente, foram selecionados cinco modelos de simulação da cultura do milho: MZA-FAO, DSSAT-Ceres *Maize*, APSIM-*Maize*, MONICA-*Maize* e WOFOST-*Maize*, para então serem devidamente calibrados a partir dos dados de experimentos de campo desenvolvidos pela Embrapa Milho e Sorgo em 79 localidades brasileiras entre 2003 e 2009. Após a calibração e validação dos modelos, a combinação dos resultados através da média dos modelos (*ensemble*) se mostrou superior ao resultado dos modelos quando avaliados individualmente, mostrando que o uso combinado de modelos de simulação de culturas reduz os erros de simulação, sendo uma técnica altamente indicada para estudos de simulação e previsão das safras de milho em detrimento do uso de modelos individuais. Um segundo objeto desse estudo foi o dimensionamento do efeito das mudanças climáticas de médio e longo prazo na temperatura (máxima e mínima) e na chuva em 97 cidades brasileiras através da seleção representativa dos diferentes GCMs segmentando-os em classes com base no efeito das mudanças climáticas nos seguintes grupos: quente e seco, quente e úmido, médio, frio e seco, frio e úmido. Os resultados de cada modelo selecionado foram combinados através da média e comparados a *baseline* climática de cada cidade, definida pelo período entre 1980 e 2009. Foi possível identificar o efeito de aumento na temperatura média de todas as regiões estudadas, com efeito mais pronunciado nas regiões Centro-Oeste e Nordeste. O efeito das mudanças climáticas na chuva não apresentou padrão de mudança bem definido. Finalmente, o objetivo final do estudo foi de avaliar o efeito dos cenários de clima futuro de médio e de longo prazo na produtividade potencial e atingível do milho em 97 cidades brasileiras sob a influência duas diferentes forçantes radiativas: RCP 4.5 e RCP 8.5. Os cenários climáticos futuros determinados pelos 5 GCMs representativos selecionados para cada local foi integrado ao *ensemble* dos modelos e simulação da produtividade do milho. Os resultados obtidos apontam queda tanto na produtividade potencial (PP) quanto na produtividade atingível (PA) do milho para as épocas de safra e de safrinha em todas as regiões avaliadas. Os resultados sugerem ainda um possível deslocamento no eixo produtivo do milho no Brasil, que hoje se concentra na região Centro-Oeste, em direção a região Sul, visto o grande impacto das mudanças climáticas na produtividade do milho nessa região, principalmente no período da safrinha. Vale ressaltar que, devido à grande incerteza nos resultados de chuva gerados pelos GCMs e a grande influência da chuva no resultado da produtividade do milho, os apontamentos dados pelo estudo devem ser interpretados com cuidado.

Palavras-chave: *Zea mays*, Modelos de simulação de cultura, Clima futuro, Ensemble, Modelos climáticos globais

ABSTRACT

Impact of climate change in Brazil and its influence on maize cultivation and productivity: a multi-model approach

Brazil is one of the main corn producers in the world and variables such as genotype, environment, climate and management act together, affecting the development of corn crops, making this rural activity highly complex and subject to external interference. At the same time, the effect of climate change on average temperature and rainfall increasingly points to even more challenging and restrictive scenarios. In this context, the use of crop simulation models is widely disseminated and accepted to estimate maize productivity in the same way that global climate simulation models (GCMs) are the best alternative to simulate future crop conditions. temperature and rain. Therefore, the present study aimed to evaluate the effect of climate change on the corn crop through the association between crop simulation models and GCMs to better understand the effects and risks to food security in the country. First, five maize crop simulation models were selected: MZA-FAO, DSSAT-Ceres Maize, APSIM-Maize, MONICA-Maize and WOFOST-Maize, to then be duly calibrated based on data from field experiments developed by Embrapa Milho e Sorgo in 79 Brazilian locations between 2003 and 2009. After calibrating and validating the models, the combination of results through the average of the models (ensemble) proved to be superior to the result of the models when evaluated individually, showing that the combined use of crop simulation models reduces simulation errors, being a technique highly indicated for studies of simulation and forecast of corn harvests in detriment of the use of individual models. A second object of this study was to measure the effect of medium and long-term climate changes on temperature (maximum and minimum) and rainfall in 97 Brazilian cities through a representative selection of different GCMs, segmenting them into classes based on the effect of changes climate into the following groups: hot and dry, hot and humid, medium, cold and dry, cold and humid. The results of each selected model were combined through the average and compared to the climatic baseline of each city, defined by the period between 1980 and 2009. It was possible to identify the effect of an increase in the average temperature of all the regions studied, with a more pronounced effect in the regions Midwest and Northeast. The effect of climate change on rainfall has not shown a well-defined pattern of change. Finally, the final objective of the study was to evaluate the effect of medium and long-term future climate scenarios on corn yield in 97 Brazilian cities under the influence of two different radiative forcings: RCP 4.5 and RCP 8.5. The future climate scenarios determined by the 5 representative GCMs selected for each location were integrated into the ensemble of models and simulation of corn productivity. The results obtained point to a decrease in both the potential yield (PP) and the attainable yield (AP) of corn for the harvest and off-season in all evaluated regions. The results also suggest a possible shift in the production axis of corn in Brazil, which today is concentrated in the Midwest region, given the great impact of climate change on corn productivity in this region, especially in the off-season. It is noteworthy that, due to the great uncertainty in the rainfall results generated by the GCMs and the great influence of rain on the result of corn productivity, the notes given by the study must be interpreted carefully.

Keywords: *Zea mays*, Crop simulation models, Future climate, Ensemble, Global climate models

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Visto o crescente aumento da população mundial e sua demanda por alimentos, tendo em vista os possíveis cenários de mudanças climáticas e seus impactos no desempenho das lavouras, o estudo sobre os efeitos das mudanças do clima nas produções agropecuárias se faz necessário e, dentre essas produções, a cultura do milho apresenta grande relevância tanto em aspectos culturais e nutritivos, mas também da escala de área destinada ao seu plantio bem como sua representatividade econômica. Dito isso, fica evidenciada a importância da avaliação dos patamares produtivos do milho no Brasil frente aos diferentes possíveis cenários de mudanças climáticas. Entretanto, para se chegarem a esses resultados, modelos de simulação da cultura do milho devidamente calibrados e avaliados devem ser empregados em associação à modelos de simulação global do clima futuro (GCM) afim de identificar esses patamares, utilizados como ferramentas para maior segurança alimentar.

Frente esse cenário complexo e de incertezas, o presente estudo tem como hipótese principal de que, um conjunto de modelos de simulação da cultura do milho, quando bem calibrados e avaliados, ao serem combinados (*ensemble*) e associados a modelos de simulação do clima futuro (GCMs) podem melhor descrever os impactos das mudanças climáticas na produtividade do milho bem como na identificação da migração dos polos produtivos da cultura. Dessa forma, será possível traçar estratégias para o desenvolvimento sustentável dos novos polos produtivos identificados além de auxiliar em propor estratégias para minimização dos impactos climáticos negativos nos atuais polos produtivos. Para desenvolver o objetivo principal da tese exemplificado pelo teste de hipótese proposto, foram estruturados os seguintes objetivos específicos:

- a) Calibrar e avaliar 5 modelos de simulação da cultura do milho: Modelo da Zona Agroecológica-FAO, DSSAT-CERES-*Maize*, APSIM-*Maize*, WOFOST-*Maize* e MONICA-*Maize* para poder estimar a produtividade atingível do milho através do *ensemble* dos modelos;
- b) Determinar quais os modelos globais de clima (GCM) melhor representam os perfis de mudanças climáticas em 97 localidades brasileiras e quais seus impactos na temperatura máxima, temperatura mínima e chuva em cenários de médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099) com perspectivas pessimistas (RCP 8.5) e médias (RCP 4.5) de emissão de gases de efeito estufa;
- c) Determinar os patamares produtivos do milho em 97 localidades brasileiras de acordo com os efeitos das mudanças climáticas para cenários de médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099) com perspectivas pessimistas (RCP 8.5) e médias (RCP 4.5) de emissão de gases de efeito estufa através do *ensemble* de 5 modelos de simulação da produtividade do milho.

Sendo assim, o presente projeto foi estruturado em capítulos que abordam cada um dos objetivos específicos de forma alinhada com a hipótese principal da seguinte maneira:

Capítulo 2: Revisão de Literatura

Função: Embasamento teórico para todo o estudo;

Situação: Não publicado.

Capítulo 3: Avaliação do desempenho da combinação (ensemble) de modelos de simulação da cultura do milho em estimar sua produtividade no Brasil

Função: Desenvolver o objetivo a)

Situação: Parcialmente publicado (<https://doi.org/10.1007/s42106-019-00073-5>). Atualização para nova publicação em elaboração.

Capítulo 4: Cenários climáticos futuros: Seleção representativa dos modelos de mudanças climáticas e seus impactos na temperatura e na chuva do Brasil

Função: Desenvolver o objetivo b)

Situação: Parcialmente publicado (<https://doi.org/10.1007/s00484-019-01810-1>). Atualização para nova publicação em elaboração.

Capítulo 5: Impacto das mudanças climáticas na produtividade do milho no Brasil: uma abordagem multi-modelos

Função: Desenvolver o objetivo c)

Situação: Em elaboração para publicação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do milho

2.1.1. Fenologia e desenvolvimento

O milho é uma gramínea que pertence à família *Poaceae*, gênero *Zea* e espécie *Zea mays* L. Sua propagação é do tipo sexuada e depende do cruzamento entre plantas para a formação de sementes. Essas são do tipo cariopse, comum as gramíneas, e são divididas em: a) pericarpo - parede do ovário que pode assumir diversas cores dependendo da variedade da planta e apresenta certa resistência mecânica; b) endosperma - a maior parte grão em volume, triploide (dois núcleos femininos e um masculino) e constituído principalmente de amido e c) embrião – não armazena reservas e possui o primórdio de todos os órgãos da planta (Magalhães e Souza, 2011 e Barros e Calado, 2014).

O sistema radicular das plantas de milho segue o padrão das gramíneas, sendo do tipo fasciculado e pode atingir mais de um metro de profundidade, dependendo do ambiente. A raiz primária se aprofunda verticalmente no solo até o aparecimento das raízes secundárias, sendo que essas possuem grande potencial de ramificação. Ao longo do desenvolvimento da planta de milho, raízes adventícias surgem conferindo a planta uma maior capacidade de fixação no solo e de se manter ereta. Essas raízes partem dos primeiros nós do colmo e se ramificam quando atingem o solo (Barros e Calado, 2014).

Quanto as folhas, essas são morfologicamente classificadas como completas pois apresentam limbo (piloso), pecíolo e bainha. Estão dispostas de forma alternada e o seu comprimento é muito superior à sua largura, conferindo a elas a classificação de folhas lanceoladas. É uma planta monoica, de modo que a inflorescência masculina se apresenta agrupada em uma estrutura denominada panícula, situada no topo do colmo. Cada flor masculina é composta por três estames que produzem pólen por até oito dias após seu surgimento. A inflorescência feminina é a espiga, constituída por um eixo aonde se dispõem os alvéolos e as espiguetas aos pares. Cada espiguetas é formada por duas flores, uma fértil e uma estéril e cada flor possui um estilo-estigma, que é essencial para a fecundação (Barros e Calado, 2014). Por apresentar a inflorescência masculina antes da feminina, a planta de milho é classificada como uma planta protândrica.

A sequência de eventos fenológicos que acontecem durante o ciclo da planta de milho foi numerada em ordem crescente (Tabela 1) com o objetivo de segmentar as etapas do desenvolvimento da planta para os estudos em fenologia (Hanway, 1963). Ao longo do tempo, essa classificação foi sendo aprimorada e uma duração média de dias para cada evento fenológico foi descrita (Fancelli, 1986).

Tabela 1. Escala fenológica do milho descrita por Hanway (1963) e adaptada por Fancelli (1986)

Estágio fenológico	Descrição do evento	Tempo decorrido
0	Emergência	0 dias
1	Quatro folhas abertas	2 semanas após emergência
2	Oito folhas abertas	4 semanas após emergência
3	Doze folhas abertas	6 semanas após emergência
4	Pendoamento	8 semanas após emergência
5	Florescimento (espigamento)	9-10 semanas após emergência
6	Grãos leitosos	12 dias após polinização
7	Grãos pastosos	24 dias após polinização
8	Grãos farináceos	36 dias após polinização
9	Grãos duros	48 dias após polinização
10	Maturidade fisiológica	55 dias após polinização

No início dos anos 90, uma nova escala fenológica foi apresentada, com maior detalhamento, principalmente da fase vegetativa, além de uma representação dos eventos por letras e números, facilitando a identificação de cada etapa (Tabela 2).

Tabela 2. Escala fenológica do milho descrita por Ritchie et al. (1993)

Fase	Ritchie et al. (1993)	Hanway (1963)
Vegetativa	VE – Emergência	0
	V1- uma folha aberta	-
	V4 – quatro folhas abertas	1
	V12 – doze folhas abertas	3
	Vn – n folhas abertas	-
	VT – pendoamento	4
Reprodutiva	R1 – espigamento	5
	R2 – grão em bolha	-
	R3 – grão leitoso	6
	R4 – grão pastoso	7
	R5 – grão dentado	-
	R6 – maturidade fisiológica	10

2.2. Das exigências climáticas do milho

A planta de milho apresenta grande eficiência em realizar fotossíntese e converter fotoassimilados em biomassa principalmente por ter um metabolismo do tipo C4 (Bergamaschi, 2004; Liu et al., 2012). Esse tipo de metabolismo é característico de gramíneas e apresenta um mecanismo de captura de CO₂ e concentração de malato nas células do mesófilo mais eficiente que as plantas com metabolismo tipo C3, de modo que o malato passa através da barreira de difusão até as células da bainha vascular, onde ocorre a sua descarboxilação, liberando CO₂ no sítio ativo da rubisco, eliminando a atividade oxigenase dessa enzima para só então se iniciar o ciclo de Calvin & Benson (Ehleringer et al., 1997, Taiz e Zeiger, 2013).

Durante a captura prévia do CO₂ pela PEP-carboxilase, as plantas de milho consomem duas moléculas de ATP a mais do que as plantas de metabolismo C3 para capturar uma molécula de CO₂, mas esse gasto superior é compensado pela ausência de fotorrespiração (Castro, 2005). Dentre os subgrupos das plantas C4, determinados pela enzima descarboxilativa das células da bainha vascular, o milho se encaixa no grupo que apresenta a maior eficiência de fotossíntese e de uso da radiação solar, sendo até 20% mais eficiente do que gramíneas de outros grupos. Isso se deve basicamente pela anatomia das plantas, que apresentam mecanismos de prevenção de perda do CO₂ sequestrado (Hattersley, 1984).

A taxa fotossintética do milho está ligada tanto às [CO₂] na atmosfera quanto à radiação solar e apresentam um ponto de saturação da fotossíntese por radiação superior ao limite apresentado por plantas do tipo C3. Por esse motivo e por não ocorrer em seu metabolismo a fotorrespiração, a fotossíntese líquida (fotossíntese bruta – respiração de manutenção) das plantas de milho é superior à de plantas com metabolismo C3, tendo seu ponto de compensação luminosa próximo de zero (Bergonci e Bergamaschi, 2002; Taiz e Zeiger, 2013).

Já a radiação solar, além de interferir na taxa de fotossíntese, também é responsável pela abertura e fechamento de estômatos em função da temperatura dentro da planta e do seu balanço de energia. Diminuições na intensidade de radiação solar diminui a intensidade desses processos, podendo acarretar em fotossíntese líquida nula, por outro lado, excessos de radiação podem causar a saturação da fotossíntese bruta (Andrade, 1992).

A produtividade do milho está diretamente relacionada à quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) captada por suas folhas e pela eficiência em transformar energia luminosa em energia química (fotossíntese), da mesma forma que a quantidade de RFA absorvida é diretamente relacionada à eficiência com que ela é interceptada pelas folhas da planta de milho. Essa eficiência de interceptação sofre influência de fatores como índice de área foliar (IAF), arquitetura das folhas, densidade de plantio, cultivar, época do ano e local de plantio (Varlet-Grancher et al., 1989; Muller e Bergamaschi, 2005; Sangoi e Silva, 2006; Kunz et al., 2007; Yang et al., 2017).

A arquitetura, o tamanho e a geometria das folhas, que variam entre diferentes genótipos, afetam diretamente o coeficiente de extinção, fazendo com que a eficiência de interceptação da radiação possa ser diferente em campos com mesmo IAF. Genótipos modernos são desenvolvidos buscando aumentar a população de plantas sem promover o auto-sombreamento, aumentando a eficiência de interceptação da radiação solar por área. Em experimento realizado em 2005, Muller e Bergamaschi apontam diferentes eficiências no uso da radiação por um mesmo cultivar de milho em situação de sequeiro e irrigado, reforçando a ideia de que o coeficiente de extinção não está ligado apenas às características genéticas da planta, mas também à sua área foliar (Figura 1).

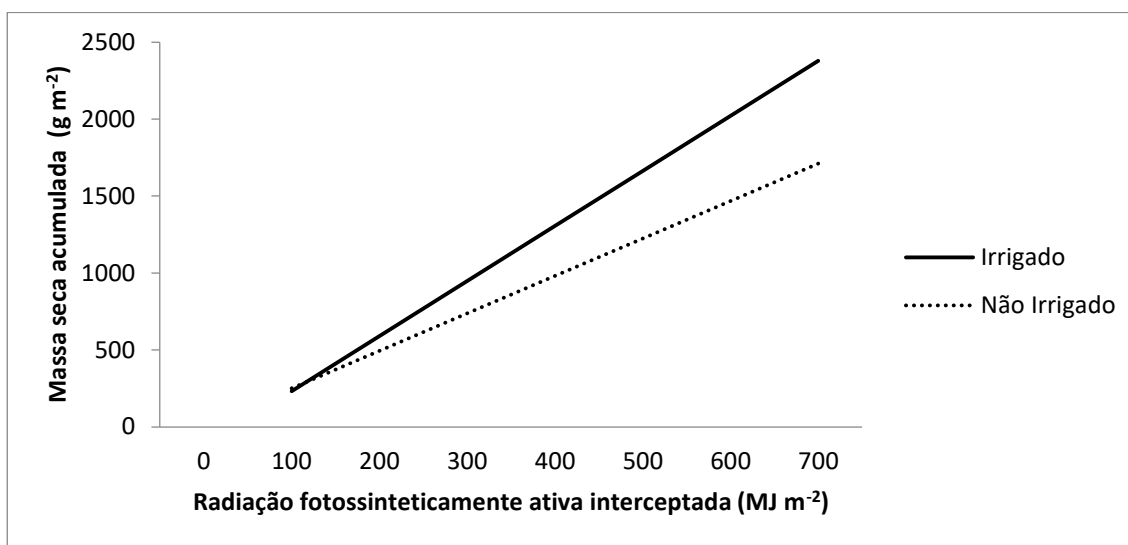


Figura 1. Relação entre matéria seca acumulada e RFA interceptada pelo milho em condições irrigadas e de sequeiro. Fonte: Adaptado de Muller e Bergamaschi (2005)

O desenvolvimento da planta de milho está diretamente ligado à temperatura diurna e noturna do ar (Coelho e Dale, 1980; Fortin e Pierce, 1990; Costa, 1994; Cruz et al., 2008, Caron et al., 2017). A temperatura afeta diretamente o crescimento das raízes até a absorção de nutrientes e água, afetando inclusive a duração das fases fenológicas da planta (soma térmica) (Pascale, 1953; Coelho e Dale, 1980; Caron et al., 2017). A relação linear entre o desenvolvimento das plantas de milho e a temperatura do ar indica que essa variável meteorológica é a que melhor explica a duração das fases fenológicas dessa cultura (Tollemar et al., 1979; Lozada e Angelocci, 1999). Diversos relatos de limiares inferiores de temperatura para o desenvolvimento do milho mostram valores variando entre 4,5 e 14,1 °C (Berlato e Sutili, 1976; Fancelli e Dourado Neto, 2000; Streck et al., 2009) enquanto que limiares superiores sugerem valores superiores a 44 °C (Kiniry, 1991). Ademais, temperaturas em torno de 25 °C favorecem tanto o florescimento quanto a maturação dos grãos de milho, enquanto temperaturas superiores a 32 °C podem inviabilizar a germinação dos grãos de pólen da planta (Pascale, 1953; Herrero e Jhonson, 1980) (Figura 2).

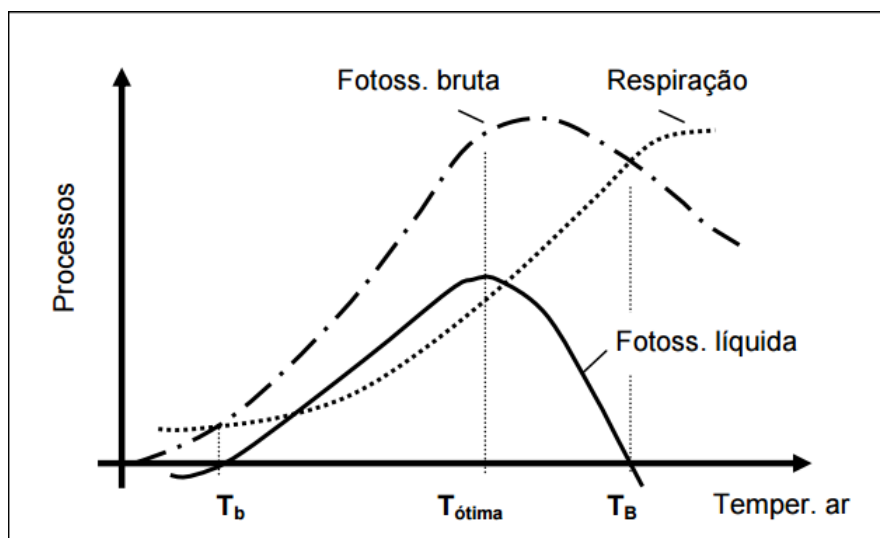


Figura 2. Taxa dos diferentes processos de uma planta hipotética em função da temperatura do ar. Fonte: Bergonci e Bergamaschi (2002)

A soma térmica (graus-dia) total necessária para que as plantas de milho atinjam o espigamento é relativa às cultivares e épocas de semeadura ao longo do ano, enquanto que o número de dias para que o espigamento ocorra apresenta grande variação, indicando que o conceito de ‘tempo térmico’ faz mais sentido para acompanhar o desenvolvimento do milho do que o tempo cronológico, desde a duração do período vegetativo, do aparecimento de inflorescência e da duração da maturação dos grãos (Gilmore e Rogers, 1958). Para completar cada uma das diferentes fases de desenvolvimento, as plantas de milho necessitam acumular diferentes quantidades de energia térmica, sendo que essas quantidades variam com a cultivar empregada. Esse total energético acumulado é calculado a partir da diferença entre a temperatura média diária e a temperatura basal inferior (Cantele, 2009). O termo ‘flocrono’, característica de grande importância na determinação da duração do período vegetativo do milho, representa o tempo térmico necessário entre o surgimento de duas folhas de milho (Soler et al., 2005; Schons et al., 2009; Streck et al., 2009; Zhu et al., 2013).

O milho demanda de uma grande quantidade de água ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, podendo ser superior a 800 mm, o que torna a cultura suscetível ao déficit hídrico prolongado (Doorenbos e Kassam, 1979; Cruz et al., 2008; Zhao et al., 2010; Sun et al., 2010; Abdraboo et al., 2016). Essa necessidade hídrica também pode variar de acordo com a época e local da semeadura além de fatores como índice de área foliar e cultivar utilizada (Doorenbos e Kassam, 1979; Abdraboo et al., 2016). Dentre todas as variáveis meteorológicas, as que mais influenciam no desenvolvimento das plantas de milho são a temperatura, a radiação solar e a chuva, pois essas impactam tanto na determinação do potencial produtivo quanto do atingível, sendo as principais responsáveis por oscilações nas suas produtividades, especialmente em anos onde essas variáveis apresentam comportamentos atípicos (Gadioli et al., 2000; Sun et al., 2010; Bergamaschi e

Matzenauer, 2014; Abdraboo et al., 2016; Caron et al., 2017; Guo et al., 2017; Shim et al., 2017; Yang et al., 2017).

2.3. Ambientes de produção do milho

A diversidade nas condições climáticas, topográficas, uso de cultivares entre outros fatores que influenciam nas condições de produção do milho bem como o uso de tecnologia e técnicas de manejo, devem ser consideradas em estudos de comparativos de produtividade e eficiência agrícola. Autores propõe divisões nesses ambientes de produção do milho em classes de terminadas pelo nível tecnológico presente. Segundo Coelho et al. (2004), essas classes tecnológicas se dividem em: marginal; baixa; média; e alta. Sangoi et al. (2002) propôs uma divisão em três níveis tecnológicos, de acordo com a produtividade da cultura: baixo ($<3 \text{ t ha}^{-1}$); médio (de 3 a 6 t ha^{-1}); e alto ($>6 \text{ t ha}^{-1}$). Classificando os ambientes de produção em níveis tecnológicos torna-se prático a adoção de estratégias de cultivo que otimizem os investimentos e maximizem as produtividades (Padilha, 2014).

Os fatores tecnológicos dos sistemas de produção podem ser divididos em dois grupos: os responsáveis pela construção da produtividade e os responsáveis pela proteção da produtividade (Coelho et al., 2004). Os fatores que constroem a produtividade são de extrema importância para se alcançar altas produtividades e estão ligados ao melhoramento genético, ao posicionamento adequado da semente na janela de plantio e nutrição e adubação. Os fatores ligados à proteção são importantes para garantir que o potencial da planta no ambiente escolhido seja atingido, como controle de pragas, doenças, plantas invasoras (Coelho et al., 2004; Cruz et al., 2009).

2.4. Produção brasileira e mundial de milho

Com grande importância no mercado econômico e uma produção mundial de mais de 1.186 milhões de toneladas na safra 2020/21 (USDA, 2022), os EUA figuram como os maiores produtores de milho e também são os maiores consumidores desse cereal, seguidos pela China (Tabelas 3 e 4), sendo que o Brasil desempenha um forte papel na cadeia de produção e consumo desse grão. O incremento tecnológico desenvolvido através de cultivares mais modernas e técnicas de manejo proporcionaram ganhos de produtividade muito superiores aos indicadores de crescimento da área plantada de milho no Brasil (IBGE, 2017).

Tabela 3. Produção (em milhões de toneladas) de milho e sua variação entre as safras 2019/20 e 2020/21.

Países	Produção (Milhões de toneladas)			
	Safras		Variação	
	2019/20	2020/21	Diferença	%
EUA	347,05	406,29	59,24	17,1
China	260,77	260,0	-0,77	0,3
Brasil	102,33	106,0	3,67	3,6
U.E.	66,63	68,3	1,67	2,5
Mundo	1.114,75	1.186,86	72,11	6,5

Fonte: Levantamento USDA, 2022.

Tabela 4. Consumo (em milhões de toneladas) de milho e sua variação entre as safras 2019/20 e 2020/21.

Países	Consumo (Milhões de toneladas)			
	Safras		Variação	
	2019/20	2020/21	Diferença	%
EUA	306,21	321,32	15,11	4,9
China	270,0	275,0	5,0	1,9
Brasil	68,52	68,0	-0,52	-0,8
U.E.	83,4	87,0	3,6	4,3
Mundo	1.120,42	1.155,92	35,5	3,2

Fonte: Levantamento USDA, 2022.

A evolução das técnicas de cultivo bem como do desenvolvimento varietal proporcionou mudanças nos polos produtores de milho no Brasil. Em meados da década de 90, as regiões Sul e Sudeste dominavam a área plantada da cultura em mais de 60%, contribuindo com 75% da produção do grão. A partir de 2011, a região Centro-Oeste passa a liderar o plantio da cultura, concentrando mais de 34% da área cultivada de milho no Brasil e contribuindo com mais de 42% da produção nacional para essa safra (Conab, 2022). Atualmente, a região Centro-Oeste contribui com mais de 55% da produção nacional de milho e planta mais de 49% da área total de milho cultivada no país (Conab, 2022) (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5. Evolução do total de área plantada (em mil hectares) de milho nas diferentes macrorregiões do Brasil ao longo dos últimos cinco anos safra.

Região	Ano Safra				
	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21
	Área plantada (mil ha)	Área plantada (mil ha)	Área plantada (mil ha)	Área plantada (mil ha)	Área plantada (mil ha)
Norte	713,00	676,50	739,30	804,80	895,60
Nordeste	2.602,90	2.652,60	2.506,50	2.627,30	2.899,90
Centro-Oeste	8.014,70	7.742,10	8.524,20	9.283,50	9.908,80
Sudeste	2.138,90	2.066,90	2.027,30	2.054,50	2.213,50
Sul	4.122,20	3.478,30	3.695,60	3.757,20	4.025,80
Brasil	17.591,70	16.616,40	17.492,90	18.527,30	19.943,60

Fonte: (Conab, 2022)

Tabela 6. Evolução da produtividade (em kg ha⁻¹) do milho nas diferentes macrorregiões do Brasil ao longo dos últimos cinco anos safra.

Região	Safras				
	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21
	Produtividade kg ha ⁻¹	Produtividade kg ha ⁻¹	Produtividade kg ha ⁻¹	Produtividade kg ha ⁻¹	Produtividade kg ha ⁻¹
Norte	3.789,82	3.616,72	4.161,28	4.372,03	3.926,69
Nordeste	2.566,87	2.430,04	2.663,82	3.351,22	3.030,70
Centro-Oeste	6.098,00	5.354,00	6.197,17	6.122,26	4.891,62
Sudeste	5.819,74	5.384,57	5.994,86	5.726,00	4.669,67
Sul	6.583,33	5.530,45	6.848,76	5.765,77	3.970,55
Brasil	5.561,87	4.857,23	5.719,06	5.537,04	4.367,14

Fonte: (Conab, 2022)

O cenário produtivo nacional de milho mostra ligeiro avanço na área cultivada total do grão, aumentando cerca de 12% durante o ano safra 2020/21 quando comparado ao ano safra 2016/17. Já em relação a produtividade, uma redução de mais de 20% é notada quando comparada a produtividade média realizada ao longo da safra 2020/21 com a safra 2016/17 sendo que, nesse período, a Conab registrou a maior média nacional de produtividade do milho, que foi de 5.719 kg ha⁻¹, durante o ano safra de 2018/19. A maior média de produtividade já registrada foi de 11.000 kg ha⁻¹ para o estado do Mato Grosso do Sul, durante o período da safra de 2020/21.

2.5. Modelos de simulação de culturas

Com o objetivo de simular o desenvolvimento fisiológico e o desempenho produtivo das culturas sem a necessidade de implantar experimentos de campo e de forma remota, modelos de simulação das culturas são amplamente utilizados (Martins, 2012). As interações planta-clima-solo envolvem complexos processos que podem ser simulados através dos modelos mecanísticos de desenvolvimento das plantas, que possibilitam interagir diferentes características da planta e do solo em diferentes condições de clima (Soler, 2004), proporcionando resultados sobre as respostas da cultura, principalmente em relação aos impactos do ambiente (Marin et al., 2011).

Modelos são caracterizados por conjuntos de equações que visam representar um determinado processo a partir de coeficientes e variáveis de entrada (Reynolds, 1979 e Monteith, 1996). Quando esse conceito é aplicado na agricultura, esses modelos permitem representar, de forma simplificada, os sistemas produtivos através de equações matemáticas que simulam o desenvolvimento dos componentes responsáveis da produção das culturas agrícolas (Bouman et al., 1996). Dessa forma possibilitam ações de planejamento que busquem aumentar os patamares produtivos observados, como escolha de cultivares mais adaptados para cada local e época de plantio, além do uso de insumos, restrições físicas do solo, entre outros (Gedanken, 1998).

Os modelos podem ser classificados de acordo com seus níveis de complexidade (Zhang et al., 2002), desde os mais simples, que descrevem um único processo até os mais complexos, compostos por diversas equações matemáticas que descrevem diferentes processos das plantas como fotossíntese, desenvolvimento fenológico, assimilação e particionamento de carboidratos além da resposta a fatores como clima e disponibilidade hídrica (Bowen et al., 2002). Essa distinção é feita de acordo com a quantidade de informações (inputs) necessárias para alimentá-los e é em função dessa complexidade que erros são observados: os erros sistemáticos, característicos de modelos mais simples e os erros de calibração, decorrentes de modelos mais complexos.

Ferramentas poderosas em estudos sobre a determinação dos impactos das mudanças climáticas nas culturas agrícolas, os modelos de simulação das culturas apoiam os estudos na identificação de práticas de manejo e na orientação do desenvolvimento de novas variedades com o objetivo de reduzir os impactos negativos causados pelas mudanças climáticas (Muller e Martre, 2019). É ressaltada ainda a importância dos modelos de simulação de culturas baseados em processos fisiológicos para o desenvolvimento de estudos sobre as respostas das plantas aos estímulos do ambiente (Whisler et al., 1986).

2.5.1. Determinação da produtividade potencial e atingível

Conforme exemplificado nas tabelas 5 e 6, os patamares produtivos do milho no Brasil variam de acordo com a safra, devido as condições climáticas, mas também em relação as regiões

onde o grão é produzido. Essa última está diretamente relacionada ao nível tecnológico apresentado pelos agricultores de cada região, sendo que os valores médios apresentados sofrem influências de altos, médios e baixos níveis tecnológicos (Waclawovsky, 2010). Independentemente do nível tecnológico observado, todos os agricultores estão sujeitos as influências tanto de fatores bióticos quanto abióticos (Moore, 2009).

A produtividade potencial, definida como a máxima produtividade genética de uma cultivar, sob condições de cultivo onde não existam limitações do seu desenvolvimento (Grassini et al., 2011; Lobell et al., 2009; van Ittersum et al., 2013). Observado isso, autores classificaram os níveis de produtividades, como Lobell et al. (2009), que mostraram diferenças entre produtividade experimental; produtividade de agricultores tecnificados e de agricultores regulares. Atribuiu-se a essas diferenças as características de manejo ao longo do cultivo.

O potencial produtivo, ou produtividade potencial (PP), também pode ser definida como uma função das características do ambiente (dependente apenas da radiação solar e temperatura), sem limitação de água e nutrientes e sem sofrer ação de pragas e doenças, interagindo com as características genéticas da planta. Também pode-se classificar a produtividade potencial em sistemas de sequeiro, chamada de produtividade potencial limitada pela água ou produtividade atingível (PA) (Lobell et al., 2009; Battisti et al., 2012; van Ittersum et al., 2013; Sentelhas et al., 2015).

Outros fatores como a população de plantas e a época de plantio escolhidas afetam diretamente os patamares produtivos (van Ittersum et al., 2013). Entende-se que o acúmulo potencial de matéria seca atingirá seu pico quando a população de plantas escolhida for capaz de cobrir todo o terreno de forma a interceptar o máximo da radiação solar disponível no menor intervalo de tempo possível (Lobell et al., 2009). Por fim, a produtividade real (PR), sujeita a todos os fatores bióticos e abióticos limitantes da produtividade, que reflete o resultado de agricultores tanto de sistemas irrigados e quanto de sequeiro (Figura 3) (Battisti et al., 2012; van Ittersum et al., 2013; Sentelhas et al., 2015).

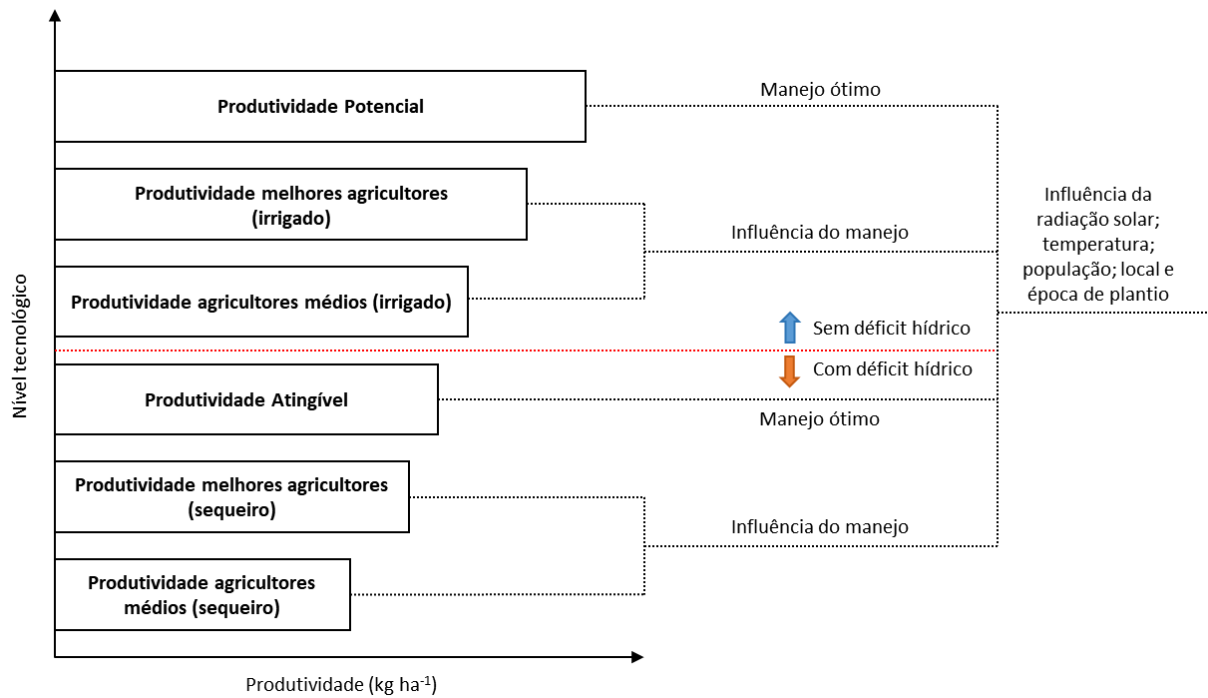


Figura 3. Tipos de produtividade e seus fatores de influência. Adaptado de: Lobell et al. (2009); van Ittersun et al. (2013) e Sentelhas et al. (2015)

2.5.2. Modelo da Zona Agrometeorológica da FAO (MZA-FAO)

O modelo da Zona Agrometeorológica da FAO (MZA-FAO) é o modelo de simulação mais conhecido e amplamente empregado em estudos de simulações de cultura, dado sua simplicidade de uso. O modelo (Figura 4) se baseia na estimativa das produtividades potencial (PP) e atingível (PA) por meio de equações matemáticas com o objetivo de simular o desenvolvimento de uma planta genérica através da relação entre a radiação solar, temperatura do ar, fotoperíodo e a fotossíntese bruta, definindo assim a PP. Já a PA é calculada a partir da penalização da PP pelo déficit hídrico, que, no modelo original, é aplicada em todo final de fase fenológica. Essa penalização é modulada por um coeficiente de sensibilidade específico para cada cultura (Pereira et al., 2002; Martins, 2012).

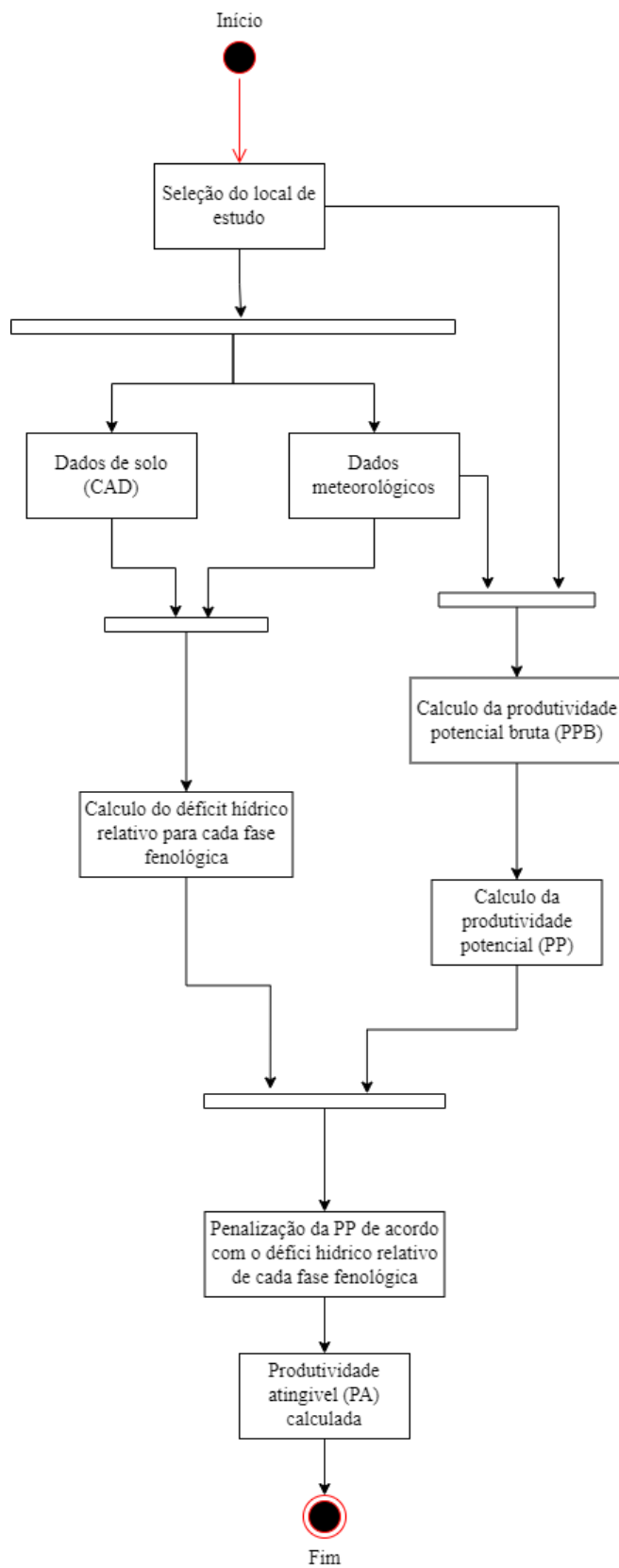


Figura 4. Representação esquemática do funcionamento das estruturas principais do modelo da Zona Agrometeorológica da FAO (MZA-FAO).

O déficit hídrico relativo, utilizado na penalização desse modelo é obtido através da relação entre evapotranspiração real (ETr) e a evapotranspiração potencial da cultura de interesse (ETc). A ETr é obtida conforme proposto por Thornthwaite e Mather (1955) para então ser calculada a ETc, onde deve ser aplicado um fator de correção do consumo hídrico (específico para cada cultura e fase fenológica) conforme descrito por diversos autores na literatura (Penman, 1948; Priestley e Taylor, 1972; Hargreaves e Samani, 1985; Allen et al., 1998).

O acúmulo de massa (Wit, 1965), é aplicado em escala diária como base para o cálculo da PP, sendo essa uma função da radiação solar no topo da atmosfera (Q_0 , MJ m⁻² dia⁻¹), da temperatura média do ar (T_{med} , °C), da insolação (n, horas) e do fotoperíodo (N, horas). O sistema conta ainda com uma correção do acúmulo de biomassa potencial para dias livres de nuvens e dias nublados, já que existe interferência das nuvens na quantidade de radiação captada pelas plantas. Assim, a produtividade potencial bruta (PPB) é dividida em produtividade potencial bruta de dias claros (PPBc) e produtividade potencial bruta de dias nublados (PPBn), segundo as equações:

Se $T_{med} < 16,5$ °C:

$$cTc = -9,32 + 0,865.T_{med} - 0,0145.(T_{med})^2 \quad (1)$$

$$cTn = -4,16 + 0,4325.T_{med} - 0,00725.(T_{med})^2 \quad (2)$$

Se $T_{med} \geq 16,5$ °C:

$$cTc = -4,16 + 0,4325.T_{med} - 0,00725.(T_{med})^2$$

(3)

$$cTn = -1,064 + 0,173.T_{med} - 0,0029.(T_{med})^2$$

(4)

$$PPBc = (107,2 + 8,604 * Q_0) * cTc * (nN)$$

(5)

$$PPBn = (31,7 + 5,234 * Q_0) * cTn * (1 - nN)$$

(6)

em que cTc e cTn são coeficientes para correção do processo fotossintético correspondente a um metabolismo C4. Ao somar PPBc e PPBn obtém-se a PPB. Dessa forma, o cálculo da PP conforme a equação:

$$PP = \sum PPBi * Cresp * CIAF * Ccolh * CumNDCi$$

(7)

em que cI_{AF} , c_{colh} e c_{um} são coeficientes de ajuste específicos para a cultura de interesse e se referem a respiração, índice de área foliar, colheita e umidade, respectivamente. O contador 'i' representa o dia corrente da simulação e NDC é o número de dias do ciclo determinado para a cultura. A PA pode ser então calculada aplicando-se a penalização pelo déficit hídrico relativo, em função das fases fenológicas da cultura (Doorenbos e Kassam, 1979):

$$PA_n = \prod_{i=1}^n \{1 - [k_{yi} \cdot (1 - E_{Tri} / E_{Tci})]\} \cdot PA_{i-1} \quad (8)$$

em que P_{An} é a produtividade atingível final da cultura, em $t \text{ ha}^{-1}$, n é o número de fases fenológicas da cultura simulada e i é a fase fenológica corrente, sendo que, quando $i = 1$, $PA_{i-1} = PP$ e k_y é o coeficiente de sensibilidade ao déficit da cultura no estágio fenológico correspondente a i.

Esse modelo vem sendo empregado para diversas culturas, entre elas o milho (Andriolli e Sentelhas, 2009), a soja (Monteiro e Sentelhas, 2014; Battisti e Sentelhas, 2014; Sentelhas et al., 2015) e a cana-de-açúcar (Gouvêa et al., 2009; dos Santos e Sentelhas, 2014; Monteiro e Sentelhas, 2017). Outras iniciativas e estudos que promoveram mudanças e melhorias no sistema proposto pelo MZA-FAO podem ser acessadas nos trabalhos de Monteiro e Sentelhas (2017) e Dias e Sentelhas (2017), para a cana-de-açúcar e também no trabalho de Duarte e Sentelhas (2020) para milho.

2.5.3. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT)

Outro modelo que vem sendo muito utilizado para estudos com a cultura do milho ao redor do mundo é o CSM-Ceres-Maize, que faz parte da plataforma Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Esse modelo é de natureza mecanística, ou seja, explica os vários mecanismos/processos associados ao desenvolvimento, crescimento e produtividade da cultura do milho em função da interação entre o genótipo, o clima, o solo e o algumas características de manejo agrícola. Suas variáveis de entrada são mais complexas e o modelo exige a calibração de diversos coeficientes relacionados ao solo, à espécie e ao genótipo (Kiniry et al., 1997). Esse modelo vem sendo utilizado para simular o crescimento e o desenvolvimento da cultura do milho (Lima, 1995; Soler, 2004; Andrade et al., 2009; Soler et al., 2009; Santana et al., 2010; Liu et al., 2012; Jabeen et al., 2017), do arroz (Xiong et al., 2008; Singh et al., 2017), da cana-de-açúcar (Nassif et al., 2012, Morgan e Royce, 2014; Pagani et al., 2017), da soja (Justino et al., 2013), da cultura do sorgo (Lopez et al., 2017) e também de sistemas consorciados e de rotação de culturas (Negm et al., 2017; Yin et al., 2017).

A plataforma DSSAT traz algumas opções para o usuário quanto os cálculos da evapotranspiração, como o método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998); o método de Penman-original (Penman, 1948); a metodologia de Priestley-Taylor (1972) e também o método horário de

balanço de energia. A infiltração de água no solo e sua evaporação é calculada com base no método proposto por Ritchie (1972), descrito por Probert et al. (1998). O modelo também simula o crescimento e desenvolvimento das folhas da planta baseado no tempo térmico e no filocrono. A resposta da fotossíntese é dada numa escala horária, baseada na eficiência do uso da radiação (RUE) e, ao final do dia, a massa acumulada pela planta é integrada. A Figura 5 mostra a representação esquemática da abordagem modular da plataforma DSSAT, onde o programa principal controla o início da simulação; início do desenvolvimento da cultura; cálculos das taxas de crescimento e de integração de valores; resultados diários e um sumário com os resultados.

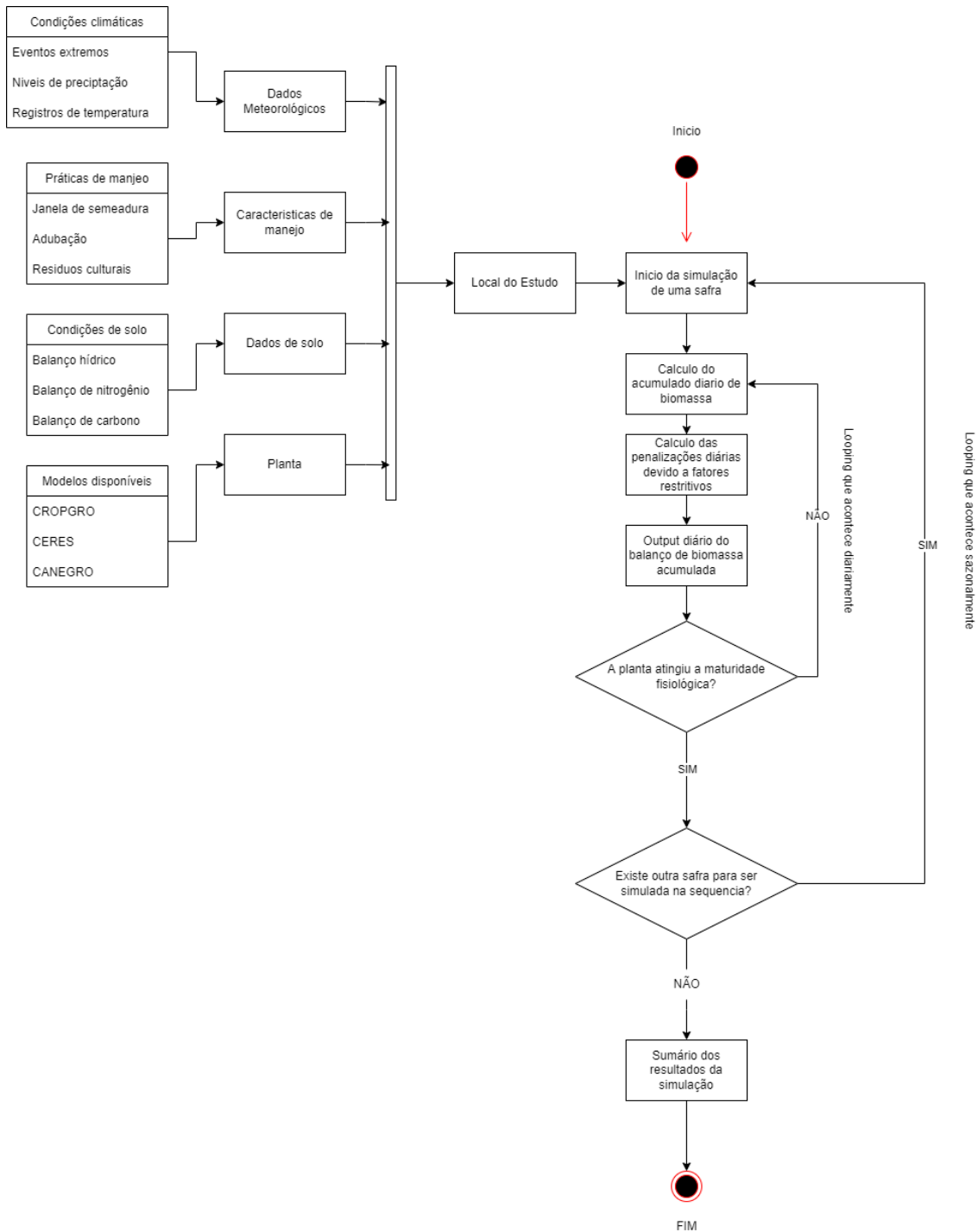


Figura 5. Representação esquemática do funcionamento das estruturas principais da plataforma DSSAT.

O modelo também traz parâmetros que são inerentes à espécie e ao genótipo, de forma separada, sendo sugerido pelos desenvolvedores da plataforma a alteração apenas dos parâmetros relacionados ao genótipo, nos casos de necessidade de calibração. Esses parâmetros foram descritos por Hoogenboon et al. (1994), alguns influenciando mais nos parâmetros de crescimento/desenvolvimento e outros nos parâmetros de produção (Tabela 7).

Tabela 7. Parâmetros disponíveis para calibração de uma cultivar de milho na plataforma DSSAT-CERES-Maize.

Parâmetro	Área de atuação	Descrição
P1	Crescimento / Desenvolvimento	Tempo térmico (graus-dia) desde a emergência até o final do período juvenil da planta de milho. A temperatura basal considerada é de 8°C. Nessa fase não é considerada nenhuma resposta da planta em relação ao fotoperíodo.
P2	Crescimento / Desenvolvimento	Coefficiente de correção (em dias) para o atraso do desenvolvimento da planta causado para cada hora a mais em relação ao fotoperíodo crítico, considerado de 12,5 horas.
P5	Crescimento / Desenvolvimento	Tempo térmico (graus-dia) que define a duração da fase reprodutiva da planta de milho. A temperatura basal considerada em é de 8°C. Essa etapa se inicia com a emissão do estilostigma da planta de milho e termina na maturidade fisiológica.
PHINT	Crescimento / Desenvolvimento / Produção	Representa o filocrono, que é o tempo térmico (graus-dia) entre a aparição de duas folhas subsequentes.
G2	Produção	Número máximo de grãos de uma espiga.
G3	Produção	Taxa de acumulo de biomassa (mg d^{-1}) em condições ótimas de desenvolvimento.

O funcionamento da plataforma DSSAT quanto à simulação do desenvolvimento das plantas de milho segue as seguintes determinações: a) a temperatura basal considerada é de 8°C em todas as fases do desenvolvimento da planta com exceção ao período compreendido entre a germinação e a emergência. Nessa fase a temperatura basal considerada é de 10°C; b) a taxa de desenvolvimento da planta aumenta linearmente com a temperatura até essa atingir a temperatura basal superior, que corresponde a 34°C. Caso a temperatura do ambiente exceda a temperatura basal superior, a taxa de desenvolvimento da planta decresce linearmente até atingir 0 a partir de 44°C; c) durante o período juvenil das plantas, todos os processos simulados são independentes do fotoperíodo; d) após alcançar a soma térmica determinada em P1, o desenvolvimento da planta começa a sofrer influência do fotoperíodo crítico informado de modo que, em dias com fotoperíodo superior ao declarado, a data prevista para a emissão da flor masculina é atrasada conforme determinado pelo coeficiente P2. Dessa forma, a emissão da flor masculina é dependente tanto da soma térmica quanto do fotoperíodo; e) a etapa reprodutiva é desenvolvida em três estágios, sendo que o primeiro deles é denominado ‘lag’ e

possui duração de 170°C dia; o segundo é determina o crescimento da planta até serem acumulados 95% do total de graus dia exigidos em P3 e o último estágio representa o período de acúmulo dos 5% restantes dos graus-dia determinados por P3.

2.5.4. Agricultural Production System Simulator (APSIM)

Muito utilizado em estudos recentes, o APSIM oferece a comunidade de usuários a possibilidade de simular, através de uma mesma interface, diferentes locais e época de semeadura, diferentes tipos de clima e de solo além de operações de manejo como rotação e consórcio de culturas, manutenção de palhada sobre o solo e sistemas de plantio direto. O modelo traz ainda a opção de se trabalhar com o balanço de fósforo, nitrogênio e da matéria orgânica no solo (Mccown e Williams, 1989). Construído com base no Plant Modeling Framework, descrito por Brown et al. (2014), que consiste na utilização de submódulos acoplados a estrutura principal do modelo (Figura 6), simulando diversos processos e órgãos da planta de forma independente, como fotossíntese e crescimento de folhas, por exemplo. O modelo é dividido em quatro estruturas básicas: 1) um modelo fenológico para simular o desenvolvimento entre as fases da planta de milho; 2) um modelo estrutural para simular a morfologia da planta; 3) um conjunto de submódulos para simular as diversas partes da planta de milho e 4) um algoritmo responsável por distribuir e alocar os recursos absorvidos e produzidos nas diversas partes da planta de milho (Brown et al., 2014).

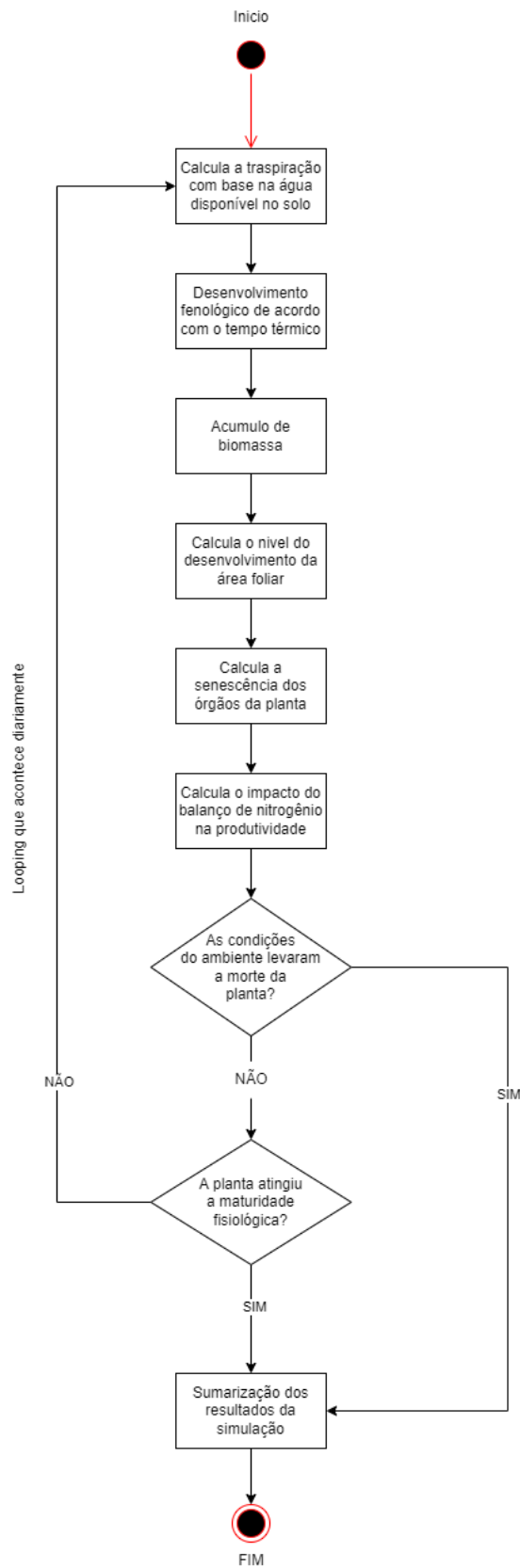


Figura 6. Representação esquemática do funcionamento das estruturas principais da plataforma APSIM.

O balanço hídrico é calculado através do módulo SoilWat e trabalha da mesma forma que o DSSAT aborda essa questão, implementando o método das camadas em cascata de Ritchie, num passo de cálculo diário e considera apenas o movimento vertical da água no solo (Costa, 2012). O runoff é calculado com base no modelo modificado da USDA, o *curve number* (CN) (equação 9). A estimativa da ETo é feita pelo método de Priestley-Taylor (1972) e o acúmulo potencial de biomassa é função da: radiação, índice de área foliar (com base na lei de Beer-Lambert, de 1870), e da eficiência no uso da radiação (RUE, em inglês). Esse acúmulo potencial pode ser penalizado de acordo com o stress hídrico, de nitrogênio, de fósforo, de temperatura e também pelas [CO₂] atmosférico (APSIM-Plants, 2014).

$$Q=(P-0,2.S)2P+0,8.S$$

(9)

em que P é a precipitação; S é o parâmetro de retenção e Q é o *runoff*.

Baseado nos mesmos modelos utilizados pela plataforma DSSAT-CERES, algumas rotinas de cálculos desses modelos são semelhantes, mas uma das principais diferenças entre eles está nas estruturas responsáveis por encerrar a simulação em situações de déficit hídrico severo principalmente durante as fases iniciais da simulação (Carberry e Abrecht, 1991). O modelo traz opções para o usuário gerir de forma mais prática os *inputs* dos perfis de solo, possibilitando manejar os resíduos gerados pelas culturas simuladas, o uso do solo frente a uma determinada condição de clima, eventuais perdas e aportes de matéria, carbono orgânico no solo além de efeitos degradantes como erosão e acidificação do solo, que ainda não são possíveis de controlar em outros modelos (Keating et al., 2003).

O modelo conta com mais de 10 parâmetros para calibrar aspectos relativos ao crescimento, desenvolvimento e produção das plantas de milho, além de uma divisão das fases fenológicas da cultura em 11 níveis. A rotina de cálculos ocorre em um passo diário, onde o modelo simula a evolução da temperatura do para uma escala de três em três horas a partir do input das temperaturas máximas e mínimas informadas. A soma térmica, responsável pela mudança de fase fenológica, obedece aos valores de temperatura basal inferior, correspondente a 8°C. O módulo fenológico é responsável por simular o desenvolvimento da planta através das suas diferentes fases de crescimento e é regido pelo tempo térmico, sendo que, para passar de uma fase para a seguinte é necessário acumular uma certa quantia de graus-dia. Essa quantidade de graus dia a ser acumulada é específica para cada genótipo e pode ser calibrada (Tabela 8).

Tabela 8. Parâmetros da plataforma APSIM para calibração das etapas de desenvolvimento e de reprodução de um genótipo de milho e os limites superiores desses parâmetros sugeridos pela plataforma (*APSIM Documentation*).

Parâmetro	Limite superior sugerido
tt_emerg_to_endjuv ¹	500
tt_flower_to_maturity ²	1000
head_grain_no_max ³	1000
grain_gth_rate ⁴	20

Temperatura basal: 8°C

1: Tempo térmico compreendido entre a emergência e o final do período juvenil;

2: Tempo térmico compreendido entre o florescimento e a maturidade fisiológica dos grãos;

3: Número máximo de grãos por espiga;

4: Taxa de acúmulo de massa dos grãos.

O APSIM é amplamente utilizado para a simular o desempenho de diversas culturas como da cana-de-açúcar (Keating et al., 1999; Pinto et al., 2012; Costa et al., 2014; Marin et al., 2013, Skocaj et al., 2013), do milho (Peak et al., 2008; Liu et al., 2012; Chauhan et al., 2013; Deixa, 2014), do arroz (Lourençoni, 2009) e também de sistemas consorciados (Heinemann et al., 2008; Chen et al., 2010; Wang et al., 2012). Maiores detalhes do modelo estão descritos em APSIM – Crop Model Documentation – Maize.

2.5.5. Model for Nitrogen and Carbon in Agroecosystems (MONICA)

Modelo baseado em processos fisiológicos das plantas, o MONICA descreve o ciclo bioquímico do carbono, nitrogênio e da água nos agro-ecossistemas através de cálculos em escala diária (Figura 7). Sucessor do modelo HERMES (Kersebaum 2007), o MONICA acrescentou em sua estrutura módulos que lidam com aspectos envolvendo o impacto das [CO₂] na atmosfera, estando totalmente ligado a estudos de mudanças climáticas (Rötter et al., 2012; Asseng et al., 2013; Bassuet et al., 2014; Pirttioja et al., 2015). O modelo considera tanto o carbono presente na atmosfera quanto a dinâmica do nitrogênio presente no ambiente, conforme abordagem implementada pelo modelo DAISY (Hansen et al., 1991), para realizar as estimativas de produtividade.

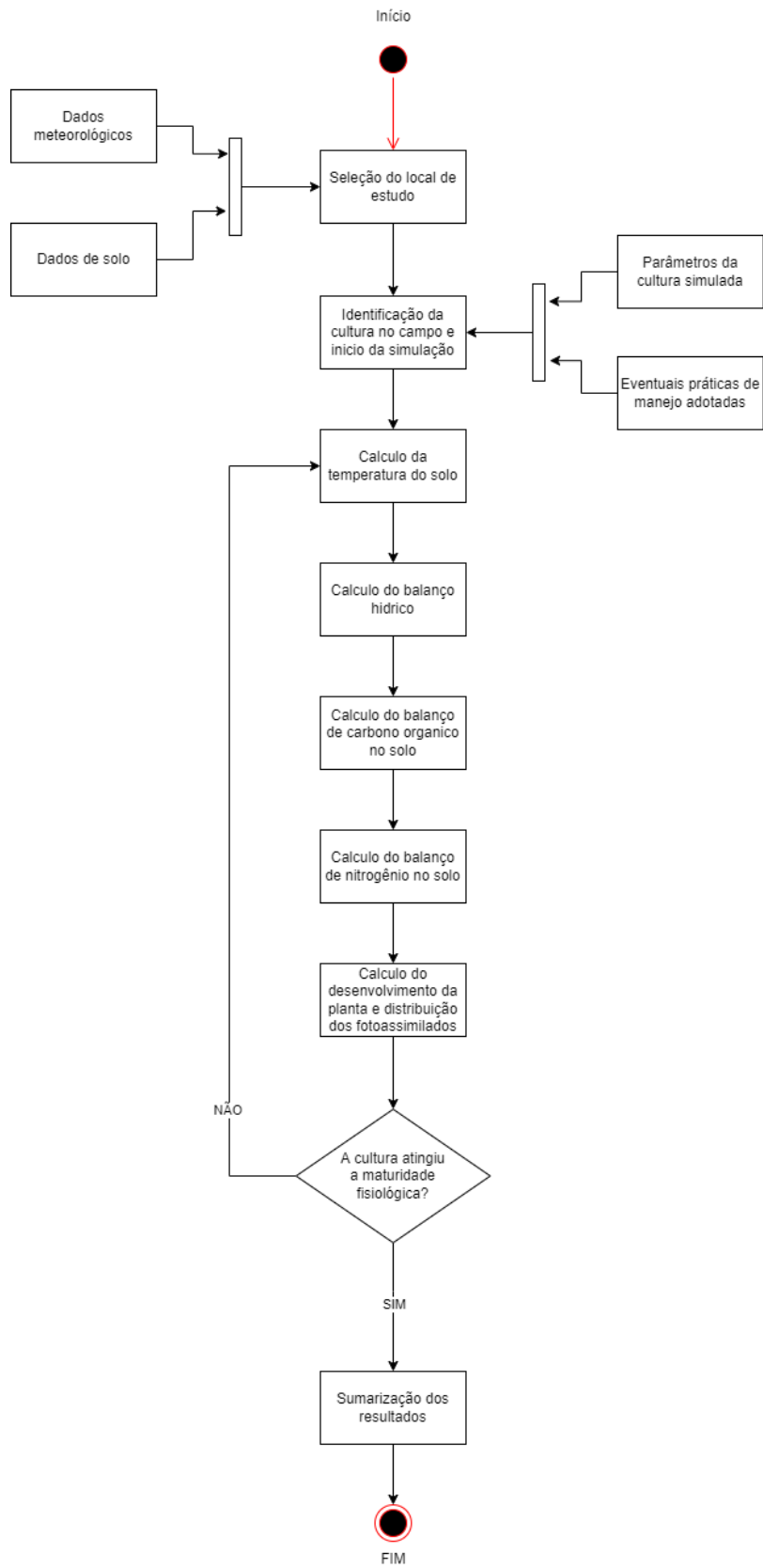


Figura 7. Representação esquemática do funcionamento das estruturas principais do modelo MONICA.

Além dos módulos que incorporam a dinâmica do carbono e do nitrogênio no modelo, uma série de novos módulos foram implementados no MONICA, trazendo maior robustez as suas simulações. Como exemplo, o modelo de dinâmica da temperatura do solo, introduzido por Lasch et al. (2002) e o modelo que aborda a dinâmica da água no solo (Wegehenkel, 2000), que introduz um coeficiente de taxa dependente da textura do solo, e controla a percolação de água entre as camadas de acordo com a capacidade de campo, de modo que a água só pode ser drenada para uma camada inferior quando a atual atingir a capacidade de campo.

O cálculo da evapotranspiração de referência é feito através do método de Penman-Monteith, descrito por Allen et al. (1998) e utiliza fatores específicos da cultura (K_c) para sua correção durante as fases de crescimento das plantas. A distinção entre evaporação e transpiração é função do modelo de simulação de fechamento do dossel, que por sua vez é uma função da área foliar calculada (Nendel et al., 2011). O modelo desenvolve cada estágio de desenvolvimento das plantas de forma genérica e separada (Tabela 9), sendo que diferentes culturas vão apresentar diferentes valores de calibração para cada estágio. As mudanças de estágio acontecem em função da soma térmica (graus-dia) acumulada ao longo do tempo. Por sua vez, os fotoassimilados produzidos no módulo responsável pela fotossíntese são distribuídos para a planta de acordo com a matriz de valores (Tabela 10) declarados para cada órgão em cada estágio de desenvolvimento numa escala diária.

Tabela 9. Estágios de desenvolvimento das plantas determinados internamente pelo modelo MONICA.

Fase Fenológica	Descrição
1	Período entre a semeadura e a emergência das plantas
2	Período entre a germinação e a emissão da primeira folha madura
3	Período entre a emissão da primeira folha madura até a emissão da inflorescência masculina
4	Período entre a emissão da inflorescência masculina e a emissão da inflorescência feminina
5	Período entre a emissão da inflorescência feminina e o início do enchimento de grãos
6	Período entre o enchimento de grãos e o início da maturação fisiológica
7	Maturação fisiológica até a colheita

Tabela 10. Distribuição percentual dos fotoassimilados para cada órgão da planta determinados internamente pelo modelo MONICA.

Código da estrutura da planta	Estrutura correspondente
1	Raízes
2	Caules e hastes
3	Folhas
4	Frutos

2.5.6. World Food Studies (WOFOST)

Originalmente, o modelo WOFOST foi desenvolvido para estimar as produtividades potenciais e atingíveis de culturas anuais, levando em consideração os impactos do clima e das condições de umidade do solo (Diepen et al., 1989). Diversos algoritmos e modelos que representam processos biofísicos das plantas compõe o funcionamento do WOFOST (Bouman et al., 1996; de Wit e Van Keulen, 1987), o que traz uma vantagem para o modelo, já que pode ser parametrizado e calibrado para diversas culturas (de Wit et al., 2019). Simulando os processos fisiológicos das plantas num passo de cálculo diário, o modelo segue o seguinte fluxo de cálculos: a) Acumulo potencial de biomassa: limitado apenas por radiação solar, temperatura e [CO₂]; b) Penalização pelo déficit de água e nutrientes apresentados ao longo do desenvolvimento da planta e c) Penalização por fatores redutores da produtividade como plantas invasoras, pragas, doenças de plantas ou poluição ambiental.

O modelo opera de forma modular (Figura 8), com 4 módulos principais que lidam com informações meteorológicas (Módulo Climático), cálculos astronômicos, como duração do dia e radiação solar no topo da atmosfera (Módulo Astronômico), balanço hídrico e zona de atuação das raízes (Módulo Solo) e um dos mais complexos, o que lida com o desenvolvimento fenológico das plantas, crescimento de folhas e interceptação da radiação – fotossíntese – (Módulo Culturas). O módulo de culturas interage com todos os demais módulos acoplados ao WOFOST, sendo também o que possui a maior quantidade de parâmetros para serem calibrados (Tabela 11).

Tabela 11. Número de parâmetros utilizados pelo WOFOST em cada um dos diferentes módulos.

Processo	Módulo	Parâmetros
Desenvolvimento fenológico	Culturas	15
Desenvolvimento foliar	Culturas / Astronômico	12
Formação radicular	Culturas / Solo	6
Respiração	Culturas / Climático	6
Transpiração	Culturas / Climático	5
Formação dos órgãos reprodutores	Culturas	3
Formação dos órgãos de estoque	Culturas	4

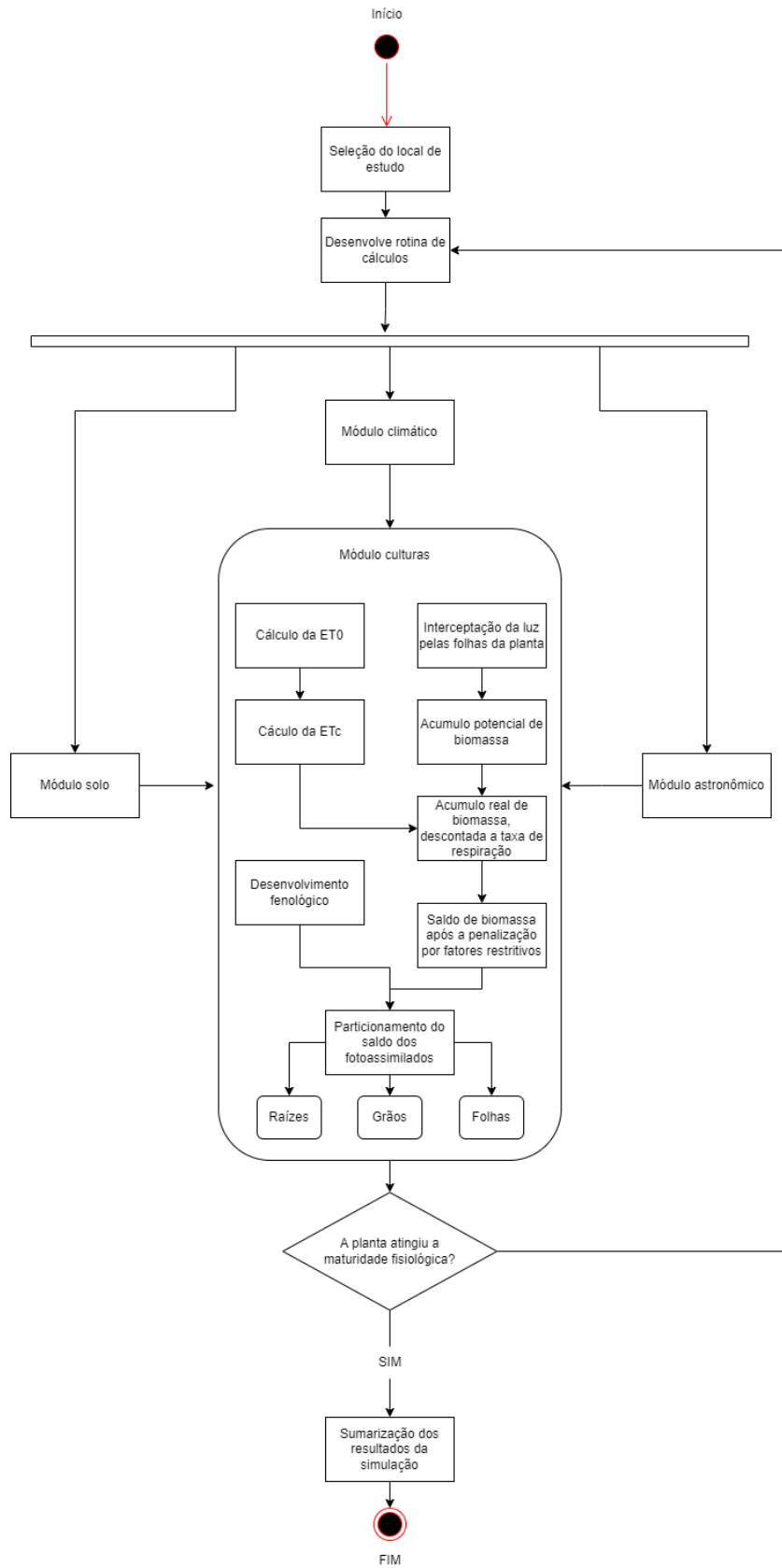


Figura 8. Representação esquemática do funcionamento das estruturas principais do modelo WOFOST.

Quanto ao particionamento dos fotoassimilados, esses estão diretamente ligados ao estágio de desenvolvimento da planta e são dimensionados através de parâmetros estáticos que determinam qual a fração do total de fotoassimilados que será alocada em cada um dos diferentes organismos da planta. Apesar de simples e funcional, esse método necessita de cuidados na calibração, que demandam ajustes sempre que o modelo for ser aplicado em regiões e épocas do ano diferentes. Informar de forma inapropriada os parâmetros de particionamento podem levar, dentre outros impactos nas simulações do WOFOST, a valores muito elevados ou muito baixos de área foliar, acarretando em impactos na produtividade simulada (de Wit et al., 2019), sendo esse um ponto do modelo que poderia ser melhor desenvolvido, conforme proposto por Xinyou e Van Laar (2005). A implementação do WOFOST merece destaque por ser um sistema de código aberto (*open source*) e modular, que permite melhorias pela comunidade de usuários, agilizando tanto a implementação como criação de melhorias e módulos mais robustos para serem acoplados ao sistema.

2.6. Modelos globais de mudanças climáticas (GCM)

O IPCC (sigla em inglês para Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) aponta que, além dos fatores naturais que impactam nas variações do clima, um dos principais fatores são as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e as ações humanas contribuem significativamente para o aumento dessas emissões. O efeito estufa é natural e benéfico para a vida no planeta como ela é hoje pois é graças a ele que os níveis de temperatura se mantem dentro de uma faixa favorável ao seu desenvolvimento. O que torna a contribuição humana nos indicadores de emissão dos GEE é o aumento das concentrações atmosféricas desses que passaram de 280 ppm (período pré-industrial – até 1760) para 404 ppm atualmente (Dlugokencky e Tans, 2022), afetando a distribuição das chuvas e aumentando a frequência de eventos extremos de estiagem bem como aumento na temperatura média global, trazendo impactos diretos para a agricultura.

Atualmente, 29 iniciativas de pesquisa de todo o mundo convergem para a composição do conjunto de modelos globais de mudanças climáticas (*GCM* em inglês) e integram o CMIP-5, sigla em inglês para Quinto Projeto de Intercomparação de Modelos (Taylor et al., 2012). Com o objetivo de proporcionar um ambiente colaborativo, o Projeto de Intercomparação de Modelos Agrícolas (*AgMIP* em inglês) conectou os setores de estudos em mudanças climáticas com os setores de modelagem da produtividade das culturas para avaliar o desempenho dos modelos de simulação das culturas frente a cenários de mudanças climáticas. Uma das missões do AgMIP é orientar a todos que não possuem familiaridade com modelos de mudanças climáticas a utilizar essas ferramentas e aplica-las na agricultura (Ruane e McDermid, 2017).

Os GCMs projetam os cenários de clima futuro utilizando forçantes de mudanças climáticas com base em cenários de emissão de GEE e de forçantes radiativas, denominadas de Caminhos

Representativos de Concentrações (RCP em inglês). De modo geral, forçantes radiativas positivas influenciam para que o balanço de energia incidente e emergente do sistema Sol-Terra-Atmosfera seja mais positiva (aquecimento) enquanto que as forçantes radiativas negativas induzem a um balanço menos positivo (resfriamento). O CMIP-5 considera quatro possíveis cenários de forçante radiativas que se baseiam nas concentrações de GEE de: a) baixa emissão(RCP 2.6), onde a forçante radiativa se estabiliza em $2,6 \text{ W m}^{-2}$ ao final de 2100; b) emissões intermediárias (RCPs 4.5 e 6.0), onde as forçantes se estabilizam em $4,5$ e $6,0 \text{ W m}^{-2}$ ao final de 2100 e c) alta emissão (RCP 8.5), onde as forçantes radiativas estabilizam em $8,5 \text{ W m}^{-2}$ ao final de 2100.

A Organização Meteorológica Mundial (OMM), responsável por monitorar os indicadores globais das concentrações dos GEE aponta que, atualmente, as concentrações de CO₂ na atmosfera ultrapassam os 413ppm (48,6% a mais do que os valores registrados ao final do período pré-industrial). Esses resultados mostram que as [CO₂] na atmosfera já se aproximam dos limites sugeridos pelo CMIP-5 para o cenário da forçante RCP 2.6, que sugere uma estabilização nos níveis de CO₂ atmosférico na faixa dos 490ppm para o final de 2100. Já nos cenários das forçantes dos RCPs 4.5 e 6.0, as [CO₂] atmosférico estabilizam em 650 e 850ppm, respectivamente, enquanto o cenário da forçante RCP 8.5 estabiliza esses níveis em 1370ppm.

Além dos cenários das forçantes das mudanças climáticas, representados pelos quatro RCPs, os modelos globais de mudanças climáticas devem ainda serem orientados sobre qual o período para o qual as projeções serão feitas, sendo eles: a) 2010-2039 (curto prazo); b) 2040-2069 (médio prazo) e c) 2070-2099 (longo prazo). Essas combinações entre GCMs, cenários de forçantes de mudanças climáticas (RCP) e período das simulações gera limitações no uso do modelo proposto pelo AgMIP (Ruane e McDermid, 2017) devido ao fatorial de possibilidades formadas pelas combinações de todas as camadas de variação possíveis. Para cada local e para cada modelo de simulação de cultura utilizado, 348 resultados possíveis são gerados para cada data de semeadura no período avaliado (29 GCMs x 4 RCPs x 3 cenários futuros), de modo que, trabalhar com uma data de semeadura por safra, pelo menos dois modelos de simulação de cultura e dez locais de estudo resultaria numa combinação de 619.440 resultados possíveis para todos os anos dos períodos simulados. Para contornar essa limitação, autores sugerem trabalhar com a combinação de resultados dos GCMs (Islam et al., 2012) e técnicas para definir GCMs representativos para cada local (Ruane e McDermid, 2017).

2.7. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do milho

Estudos atuais realizados a partir de modelos globais de mudanças climáticas aplicados no Brasil mostram aumento dos níveis de temperatura e alterações no padrão de distribuição das chuvas, mas nada ainda é conclusivo quanto ao efeito de aumento ou diminuição dessas (Ambrizzi et al., 2007, Chou et al., 2014, Reboita et al., 2014 e Sánchez et al., 2014) e também pouco se sabe sobre o impacto

das mudanças nas produtividades das culturas, inclusive nas produtividades do milho. Estudos realizados por Kukul e Irmak (2018) apontam que, nos Estados Unidos, as mudanças climáticas impactaram positivamente o aumento da produtividade do milho, principalmente devido ao aumento observado nas precipitações.

Wang et al. (2018), por outro lado, apontam redução na produtividade da cultura em Malawi e no nordeste chinês, principalmente devido aos aumentos na temperatura. Os autores ressaltam ainda que, aumentos da ordem de 1°C na média da temperatura impactam na redução, em média, de 500 kg ha⁻¹ na produtividade do milho. Já Parent et al. (2018), em estudos realizados no continente europeu, apontam que as mudanças climáticas irão impactar negativamente a produtividade do milho de sequeiro, principalmente devido ao aumento do risco ao déficit hídrico, mas ressaltam que, com técnicas de manejo como irrigação e migração do polo produtivo, é possível que as mudanças climáticas tragam aumentos nos patamares produtivos.

No Brasil, Costa et al. (2009) apontam reduções na produtividade do milho de até 30% em cenários futuros de aumento da temperatura, mesmo considerando os efeitos ‘fertilizadores’ causados pelo aumento na [CO₂] atmosférico. Bender (2017), em estudo realizado para 31 localidades brasileiras, também evidencia redução nas produtividades do milho safra e safrinha quando submetidos a condições de mudanças climáticas principalmente devido ao encurtamento do ciclo (devido aos aumentos de temperatura) e pelo maior déficit hídrico registrado nas simulações.

Os diferentes efeitos das mudanças climáticas nas projeções da produtividade do milho ao redor do mundo apontam diferentes resultados, podendo trazerem aumentos ou reduções na produtividade a depender da situação. É possível destacar que: a) aumentos nas temperaturas tendem a reduzir a produtividade do milho tanto por encurtar o ciclo mas também por aumentar a taxa de respiração de manutenção; b) aumento na disponibilidade hídrica impacta positivamente na produtividade do milho mas as conclusões sobre seu aumento ou diminuição de disponibilidade ainda são difusos em estudos sobre mudanças climáticas e c) o aumento na [CO₂] atmosférico tem efeito benéfico (fertilizador) para a produtividade do milho, mas ele pode ser mitigado por vir associado a aumentos na temperatura.

REFERÊNCIAS

- ABDRABBO, M.A.A.; SALEH, S.M.; FARAG, A.A. Water requirements for maize under climate change. **Journal of Applied Sciences Research**, Islamabad, v. 12, p.19-28, 2016.
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO: **Irrigation Drainage and Paper**, 56, Roma, p.291, 1998.

- AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; MARENGO, J. A.; PISNITCHENCO, I.; NUNES, L. A.; FERNANDEZ, J. P. R. Cenários regionalizados de clima no Brasil e na América do Sul para o século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 3. **Ministério do meio ambiente - MMA secretaria de biodiversidade e florestas - SBF diretoria de conservação da biodiversidade – DCBio**, Brasília, 2007.
- ANDRADE, C.L.T.; AMARAL, T.A.; SILVA, D.F.; GARCIA, A. G.; HOOGENBOOM, G.; GUIMARÃES, D.P.; OLIVEIRA, A.C.; SANTANA, C.B. Utilização do modelo ceres-maize como ferramenta na definição de estratégias de semeadura de milho: 2 – sistema de produção irrigado. **Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Belo Horizonte-MG, 2009.
- ANDRADE, F. H., Radiación y temperatura determinan los rendimientos máximos de maíz. **Balcare: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária**, Boletim técnico 106, p.34, 1992.
- ANDRIOLI K, G.; SENTELHAS. P. C. Brazilian maize genotypes sensitivity to water deficit estimated through a simple crop yield model. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.44, n.7, p.653-660, 2009.
- ASSENG, S.; EWERT, F.; ROSENZWEIG, C. J. W.; HATFIELD, J. L.; RUANE, A. C.; BOOTLE, K. J.; THORBURN, P. J.; ROTTER, R. P.; CAMMARANO, D.; BRISON, N.; BASSO, B.; MATRE, P.; AGGARWAL, P. K.; ANGULO, C.; BERTUZIZI, P.; BIERNATH, C.; CHALLINOR, A. J.; DOLTRA, J.; GAYLER, S.; GOLDBERG, R.; GRANT, R.; HEING, L.; HOOKER, J.; HUNT, L. A.; INGWERSEN, J.; IZAURRALDE, R. C.; KERSEBAUM, K. C.; MULLER, C.; NARESH KUMAR, S.; NENDEL, C.; O’LEARY, G.; OLSEN, J. A.; OSBORNE, T. M.; PALOSUO, T.; STOCKLE, C.; STRATONOVITCH, P.; STRECK, T.; SUPIT, I.; TAO, F.; TRAVASSO, M.; WAHA, K.; WALLACH, D.; WHITE, J. W.; WILLIAMS, J. R.; WOLF, J. Uncertainty in simulation wheat yields under climate change. **Nature Climate Change**, London, v.3, p. 827-832, 2013.
- BARROS J. F. C. e CALADO J. G., A cultura do milho. **Universidade de Évora**, Escola de Ciências e tecnologia, 2014.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C. Eficiência climática para as culturas da soja e do trigo no estado do Rio Grande do Sul em diferentes datas de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, p. 390-396, 2012.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C. Drought tolerance of brazilian soybean cultivars simulated by a simple agrometeorological yield model. **Experimental Agriculture**, Combridge, v. 51, p. 285–298, 2014.
- BENDER, F. D. Mudanças climáticas e seus impactos na produtividade da cultura do milho e estratégias de manejo para minimização de perdas em diferentes regiões brasileiras. **Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências**. ESALQ/USP, Piracicaba, 2017.

- BASSU, S.; BRISSON, N.; DURAND, J.; BOOTE, K.; LIZASO, J.; JONES, J. W.; ROSENZWEIG, C.; RUANE, A. C.; ADAM, M.; BARON, C.; BASSO, B.; BIERNATH, C.; BOOGAARD, H.; CONIJN, S.; CORBEELS, M.; DERYNG, D.; DE SANCTIS, G.; GAYLER, S.; GRASSINI, P.; HATFIELD, J.; HOEK, S.; IZAURRALDE, C.; JONGSCHAAP, R.; KEMANIAN, A.; KERSEBAUM, K. C.; KUMAR, N.; MAKOWSKI, D.; MÜLLER, C.; NENDEL, C.; PRIESACK, E.; PRAVIA, M. V.; KIM, S.; SAL, F.; SHCHERBAK, I.; TAO, F.; TEIXEIRA, E.; TIMLIN, D.; WAHA, K. How do various maize crop models vary in their responses to climate change factors? **Global Change Biology**, v.20, p. 2301-2320, 2014.
- BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. O milho e o clima. **Emater**, Porto Alegre, 2014.
- BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H. Ecofisiologia do milho. **Congresso nacional de milho e sorgo**, Florianópolis. Anais ABMS/EMBRAPA/EPAGRI, 2002.
- BERLATO, M.A., SUTILI, U.R. Determinação das temperaturas bases dos subperíodos emergência-pendoamento e emergência-espigamento de três cultivares de milho. **Reunião técnica de milho e sorgo**, Porto Alegre, 1976.
- BOUMAN, B. A. A.; van KEULEN, H.; van LAAR, H. H.; RABBINGE, R. The 'School of de Wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. **Agricultural Systems**, v.52, p. 171-198, 1996.
- BROWN, H. E.; HUTH, N. I.; KOLZORTH, D. P.; TEIXEIRA, E. I.; ZYSKOWSKI, R. B.; HARGREAVS, J. N. G.; MOOT, D. K. Plant modeling framework: Software for building and running crop models on the APSIM platform. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v.62, p. 385-398, 2014.
- CANTELE, E. F. Desempenho da cultura de milho em diferentes épocas de cultivo no sudoeste paulista. **Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em agronomia**. ESALQ/USP, Piracicaba, 2009.
- CARBERRY, P. S.; ABRECHT, D. G. Tailoring crop models to the semiarid tropics. Em: **Climatic Risk in Crop Production: Models and Management for the Semi-Arid Tropics and Subtropics**. CAB International; p. 82-157, 1991.
- CARON, B.O.; OLIVEIRA, D.M.; ELLI, E.F.; ELOY, E.; SCHWERZ, F.; SOUZA, V.Q. Elementos meteorológicos sobre características morfológicas e produtivas do milho em diferentes épocas de semeadura. **Científica**, Jaboticabal, v. 45, p.105-114, 2017.
- CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; PERES, L.E.P. Manual de Fisiologia Vegetal. **Editora Agronômica Ceres Ltda.**, São Paulo, p.654, 2005.
- CHAUHAN, Y.S; SOLOMON, K.F.; RODRIGUEZ, D. Characterization of north-eastern Australian environments using APSIM for increasing rainfed maize production. **Field Crop Research**, Amsterdam, v.144, p. 245-255, 2013.

- CHEN, C.; WANG, E.; YU, Q. Modeling wheat and maize productivity as affected by climate variation and irrigation supply in north China Plain. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, p.1037-1049, 2010.
- CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DERECZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; MARENGO, J. Assessment of climate change over South America under RCP 4.58 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v.3, p. 512-525, 2014.
- COELHO, A. M., Cruz, J. C. e PEREIRA-FILHO, I. A. Desafios para alta produtividade de milho. Comunicado técnico 112. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, 2004.
- COELHO, D.T., DALE, R.F. An energy-crop growth variable and temperature function for predicting corn growth and development: planting to silking. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 503-510, 1980.
- COSTA, A. F. S. da. Influência das condições climáticas no crescimento e desenvolvimento de plantas de milho (*Zea mays* L.), avaliadas em diferentes épocas de plantio. **Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em agronomia**. Viçosa: UFV, 1994.
- COSTA, L. C.; JUSTINO, F.; OLIVEIRA, L. J. C.; SEDIYAMA, G. C.; FERREIRA, W. P.; LEMOS, C. F.; Potential forcing of CO₂, technology and climate changes in maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) yield in southeast Brazil. **Environmental Research Letters**, Ibaraki, v.4, p. 1-10, 2009.
- COSTA, L.G. Simulação do efeito de palhada e adubação nitrogenada na produtividade de cana-de-açúcar. **Tese apresentada para obtenção do título de Mestre em agricultura**, São Carlos: UFSCAR, 2012.
- COSTA, L. G.; MARIN, F. R.; NASSIF, D. S. P.; PINTO, H. M. S.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Simulação do efeito do manejo da palha e do nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, p. 469-474, 2014.
- CRUZ, J.C.; FILHO, I.A.P; GARCIA, J.C.; DUARTE, J. DE. O. Cultivo do milho: cultivares. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, 2008. Disponível em:
http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_4ed/manejomilho.htm.
- CRUZ, J. C., GARCIA, J. C. e FILHO, I. A. P. Caracterização dos sistemas de produção de milho para altas produtividades. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, 2009.
- DEIXA, S.V. Avaliação do rendimento e periodo de sementeira da cultura de milho sequeiro usando o modelo APSIM: Estudo de caso no distrito de Sussundenga. **Tese apresentada para obtenção do título de Mestre em agricultura**, Maputo, 2014.

- DIAS, H. B.; SENTELHAS, P. C. Evaluation of three sugarcane simulation models and their ensemble for yield estimation in commercially managed fields. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.213, p. 174-185, 2017.
- van DIEPEN, C. A.; WOLF, J.; van KEULEN, H.; RAPPOLDT, C. WOFOST: a simulation model of crop production. **Soil Use and Management**, v.5, p. 16-24, 1989.
- DLUGOKENCKY, E.; TANS, P. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. **Global Monitoring Laboratory**, 2022.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. **FAO: Irrigation and Drainage paper**, 33, Roma, p. 212, 1979.
- DUARTE, Y. C. N.; SENTELHAS, P. C. NASA/POWER and DailyGridded weather datasets—how good they are for estimating maize yields in Brazil? **International Journal of Biometeorology**, v.64, p. 319–329, 2020.
- DUARTE, Y. C. N.; SENTELHAS, P. C. Intercomparison and Performance of Maize Crop Models and Their Ensemble for Yield Simulations in Brazil. **International Journal of Plant Production**, v.14, p. 127–139, 2020.
- EHLERINGER, J. R.; CERLING, E.T.; HELLIKER, B. R. C4 photosynthesis, atmospheric CO₂, and climate. **Oecologia**, Berlin, v.12, 112, p.285-299,1997.
- FANCELLI, A. L. Plantas Alimentícias: guia para aula, estudos e discussão. Piracicaba: ESALQ/USP, p. 131, 1986.
- FANCELLI, A. L., DOURADO-NETO, D. Produção de milho. **Livraria e Editora Agropecuária**, Guaíba, p. 360, 2000.
- FORTIN, M.C., PIERCE, F.J. Developmental and growth effects of crop residues on corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, p. 710-715, 1990.
- GADIOLI, J. L.; DOURADO-NETO, D.; GARCIA, A. G.; BASANTA, M. del V., Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, p.377-383, 2000.
- GEDANKEN, A., Utilização do modelo CERES-Maize para avaliar estratégias de irrigação em duas regiões de Minas Gerais. **Tese apresentada para obtenção do título de Mestre em agricultura**, Viçosa: UFV, 1998.
- GILMORE, E. C.; ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, p. 611-615, 1958.
- GOUVÊA, J. R. F.; SENTELHAS, P. C.; GAZZOLA, S. M.; SANTOS, M. C. Climate changes and technological advances: impacts on sugarcane productivity in tropical southern Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, p. 593-605, 2009.
- GRASSINI, P.; THORBURN, J.; BURR, C.; CASSMAN, K. G. High-yield irrigated maize in Western U.S. Corn Belt: I. On-farm yield, yield potential, and impact of agronomic practices. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.120, p. 142-150, 2011.

- GUO, E.; ZHANG, J.; WANG, Y.; ALU, S.; WANG, R.; LI, D.; HA, S. Assessing non-linear variation of temperature and precipitation for different growth periods of maize and their impacts on phenology in the Midwest of Jim province, China. **Theoretical and Applied Climatology**, Berlin, v. 126, p.1-15, 2017.
- HANSEN, S.; JENSEN, H. E.; NIELSEN, N.; E.; SVENDSEN, H. Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model DAISY. **Fertilizaer Research**, v.27, p. 245-259, 1991.
- HANWAY, J. J. Growth stages of corn (*Zea mays*). **Agronomy Journal**, Madison, vol. 55, p. 487-492, 1963.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from Temperature. **American Society of Agricultural Engineers**, v.1, p. 96-99, 1985.
- HATTERSLEY, P.W. Characterization of C4 type leaf anatomy in grasses (Poaceae). Mesophyll: bundles sheath area ratios. **Annual of Botany**, Londres, v. 53, p. 163-179, 1984.
- HEINEMANN, A. B.; DINGKUHN, M.; LUQUET, D.; COMBRES, J. C.; CHAPMAN, S. Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil. **Euphytica**, Van Godewijkstraat, v.162, p. 395-410, 2008.
- HERRERO, M.P.; JOHNSON, R.R. High temperature stress and pollen viability of maize. **Crop Science, Madison**, v.20, p. 796-800, 1980.
- HOOGENBOON, G.; JONES, J.W.; WILKENS, P.W.; BATCHELOR, D.W.; BOWEN, W.T.; HUNT, L.A.; PIKERING, N.B.; SINGH, U.; GODWING, D.C.; BAER, B.; BOOTE, K.J.; RITCHIE, J.T.; WHITE, J.W. Crops models. In: TSUJI, G.Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. DSSAT v3, support system for agrotechnology transfer. Honolulu: University of Hawaii, v. 2, p.95-244, 1994.
- ISLAM, A.; AHUJA, L. R.; GARCIA, L. A.; MA, L.; SASEENDRAN, A. S. Modeling the effect of elevated CO₂ and climate change on reference evapotranspiration in the semi-arid central great plains. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v.55, p. 2135-2146, 2012.
- JABEEN, F.; ASIF, M.; IFTIKHAR, A.; SALMAN, M. Temperature trends and its impacts on *Zea Mays* (Maize) crop in Faisalabad city through DSSAT-CERES-Maize model. **Scientia Agriculturae**, Faisalabad, v. 17, p.8-14, 2017.
- JUSTINO, F.; OLIVEIRA, E.C.; RODRIGUES, R.A.; GONÇALVES, P.H.L.; SOUZA, P.J.O.P.; STORDAL, F.; MARENGO, J.; SILVA, T.G.; DELGADO, R.C.; LINDEMANN, D.S.; COSTA, L.C. Mean and interannual variability of maize and soybean in Brazil under global warming conditions. **American Journal of Climate Change**, Chicago, v. 2, p.237-253, 2013.
- KEATING, B.A.; ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; HUTH, N.I. Modelling sugarcane production systems I. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.61, p. 253-271, 1999.

- KEATING, B.A.; CARBERRY, G.L.; HAMMER, G.L.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, M.J.; HOLZWORTH, D.; HUTH, N.I.; HARGREAVES, J.N.G.; MEINKE, H.; HOCHMAN, Z.; MCLEAN, G.; VERBURG, K.; SNOW, V.; DIMES, J.P.; SILBURN, M.; WANG, E.; BROWN, S.; BRISTOW, K. L.; ASSENG, S.; CHAPMAN, S.; MCCOWN, R.L.; FREEBAIRN, D.M.; SMITH, C.J. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. **European Journal Agronomy**, Amsterdam, v. 18, p. 267-288, 2003.
- KERSEBAUM, K. C. Modeling nitrogen dynamics in soil-crop systems with HERMES. **Earth and Environmental Science**, p. 147-160, 2007.
- KINIRY, J. R. Maize physics development. In: ASA-CSSA-SSSA. Modeling Plant and Soil systems. **Agronomy Monographs**, Madison, v.31, p. 55-71, 1991.
- KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R.; VANDERLIP, R.L.; ATWOOD, J.D.; REICOSKY, D.C.; MULLIKEN, J.; COX, W.J.; MASCANI JR., H. J.; HOLLINGER, S.E.; WIEBOLD, W. J. Evaluation of two maize models for nine U. S. locations. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, p.421-426, 1997.
- KUKAL, M. S.; IRMAK, S. Climate-Driven crop yield and yield variability and climate change impacts on the U.S. great plains agricultural production. **Scientific Reports**, v.8, 2018.
- KUNZ, J.H.; BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; HECLER, B.M.M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos de solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p.1511-1520, 2007.
- LASCH, P.; BADECK, F. W.; LINDNER, M.; SUCKOW, F. Sensitivity of simulated forest growth to changes on climate and atmospheric CO₂. **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, v.121, p. 155-171, 2002.
- LIMA, M.G. Calibração e validação do modelo CERES-Maize em condições tropicais do Brasil. **Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em agronomia**, Piracicaba: ESALQ-USP, Tese Doutorado, 1995.
- LIU, Z.A.; YANG, X.; HUBBARD, K.G.; LIN, X. Maize potential yields and yield gaps in the changing climate of northeast China. **Global Change Biology**, Oxford, v.18, p.3441-3454, 2012.
- LOBELL, D.B.; CASSMAN, K.G.; FIELD, C.B. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. **The Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto, v.34, 174–204, 2009.
- LOPEZ, J. R.; ERICKSON, J. E.; ASSENG, S.; BOBEDA, E. L. Modification of the CERES grain sorghum model to simulate optimum sweet sorghum rooting depth for rainfed production on coarse textured soils in a sub-tropical environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.181, p. 47-55, 2017.
- LOURENÇONI, R. Calibração e validação do modelo Oryza-APSIM para o arroz de terras altas no Brasil. **Tese apresentada para obtenção do título de Mestre em agronomia**, Piracicaba-SP, 2009.

- LOZADA, B. I.; ANGELOCCI, L. R., Efeito da temperatura do ar e da disponibilidade hídrica do solo na duração de subperíodos e na produtividade de um híbrido de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, p.37-43, 1999.
- MAGALHÃES P. C. e SOUZA T. C., Cultivo do milho – Ecofisiologia. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.8, 2011.
- MARIN, F.R.; JONES, J.W.; ROYCE, F.; SUGUITANI, C.; DONZELI, J.L.; PALLONE FILHO, W.J.; NASSIF, D.S.P., Parameterization and evaluation of predictions of DSSAT/CANEGRO for sugarcane Brazilian production systems. **Agronomy Journal**, Madison, v.103, p.100-110, 2011.
- MARIN, F.R.; THORBURN, P.J.; COSTA, L.G.; OTTO, R. Simulating long-term effects of trash management on sugarcane yield for brazilian cropping systems. **Sugar Tech**, Stanford, v.16, p. 164-173, 2013.
- MARTINS M. A. Estimativa de Produtividade das Culturas Do milho e do sorgo a partir de modelos Agrometeorológicos em algumas Localidades da região nordeste do Brasil. **Tese apresentada para obtenção do título de Mestre em meteorologia**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2012.
- MCCOWN, R. L.; WILLIAMS, J. AUSIM: A cropping system model for operational research. **Biennial Conference on Model ling and Simulation**, Canberra, Australian National University, 1989.
- MONTEIRO, L. A.; SENTELHAS, P. C. Calibration and testing of an agrometeorological model for the estimation of soybean yields in different Brazilian regions. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.36, p. 265-272, 2014.
- MONTEIRO, L. A.; SENTELHAS, P. C. Sugarcane yield gap: can it be determined at national level with a simple agrometeorological model? **Crop & Pasture**, v.68, p. 272-284, 2017.
- MONTEITH, J., The quest balance in crop modeling. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, p. 695-697, 1996.
- MOORE, P.H. Sugarcane Biology, Yield and Potential for Improvement. **Bioen Workshop on Sugarcane Improvement**, São Paulo: FAPESP, 2009.
- MORGAN, K.T.; ROYCE, F.S. Adaptation of CaneGro sugarcane model to the 2D soil-water option within the DSSAT cropping system model ver. 4.5.2.002. **South African Sugarcane Research Institute**, Mount Edgecombe, v. 87, p.303-313, 2014
- MÜLLER, A.G.; BERGAMASCHI, H. Eficiências de interceptação, absorção e de uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo milho (*Zea mays* L.), em diferentes disponibilidades hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.13, p. 27-33, 2005.
- MULLER, B.; MARTRE, P. Plant and crop simulation models: powerfull tools to link physiology, genetics and phenomics. **Journal of Experimental Botany**, v.70, p. 2339-2344, 2019.

- NASSIF, D.S.P.; MARIN, F.R.; FILHO, W.J.P.; RESENDE, R.S.; PELLEGRINO, G.P. Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/CaneGro para variedades brasileiras de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, p.311-318, 2012.
- NEGM, L. M.; YOUSSEF, M. A.; JAYNES, D. B. Evaluation of DRAINMOD-DSSAT simulated effects of controlled drainage on crop yield, water balance, and water quality for a corn-soybean cropping system in central Iowa. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.187, p. 57-68, 2017.
- NENDEL, C.; BERG, M.; KERSEBAUM, K. C.; MIRSCHEL, W.; SPECKA, X.; WEGEHENKEL, M.; WENKEL, K. O.; WIELAND, R. The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. **Ecological Modeling**, Amsterdam, v.222, p. 1614-1625, 2011.
- PADILHA, F.A. Desempenho de híbridos de milho em dois níveis de investimento tecnológico na região de Sete Lagoas – MG. **Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias**, Sete Lagoas, 2014.
- PAGANI, V.; STELLA, T.; GUARNERI, T.; FINOTTO, G.; BERG, M.V.D.; MARIN, F.R.; ACUTIS, M.; CONFALONIERI, R. Forecasting sugarcane yields using agro-climatic indicators and CaneGro model: A case study in the main production region in Brazil. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 154, p.45-52, 2017.
- PARENT, B.; LECLERE, M.; LACUBE, S.; SEMENOV, M. A.; WELCKER, C.; MARTRE, P.; TARDIEU, F. Maize yields over Europe may increase in spite of climate change, with an appropriate use of the genetic variability of flowering time. **PNAS**, v.115, p. 10642-10647, 2018.
- PASCALÉ, A.J. Mapa fenológico do milho em la Republica Argentina. **Meteoros**, Buenos Aires, v.3, p. 383-394, 1953.
- PEAK, A. S.; ROBERTSON, M. J.; BIDSTRUP, R. J. Optimizing maize plant population and irrigation strategies on the Darling Downs using the APSIM crop simulation model. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v.48, p. 313-325, 2008.
- PENMAN, H. L. Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. **Proceedings of the Royal Society of London**, v.193, p. 120-145, 1948.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. **Livraria e Editora Agropecuária**, Guaíba, p.478, 2002.
- PINTO, H.M.; COSTA, L.G.; DAMAME, D.; MARIN, F.R. Efeitos das mudanças climáticas para a cana-de-açúcar com base no modelo APSIM-Sugarcane. **VI Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica**, Jaguariúna, 2012.
- PRIESTLEY, C.H.B., TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evapotranspiration, using large scales parameters. **Monthly Weather Review**, New York, v.100, p. 81-92, 1972.

- PROBERT, M.E.; DIMES, J.P.; KEATING, B.A.; DALAL, R.C.; STRONG, W.M. APSIMs water and nitrogen modules and simulation of the dynamics of water and nitrogen in fallow systems. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v.56, p. 1-28, 1998.
- PIRTTIOJA, N.; CARTER, T. R.; FRONZEK, S.; BINDI, M.; HOFFMANN, H.; PALOSUO, T.; RUIZ-RAMOS, M.; TAO, F.; TRNKA, M.; ACUTIS, M.; ASSENG, S.; BARANOWSKI, P.; BASSO, B.; BODIN, P.; BUIS, S.; CAMMARANO, D.; DELIGIOS, P.; DESTAIN, M. F.; DUMONT, B.; EWERT, F.; FERRISE, R.; FRANÇOIS, L.; GAISER, T.; HLAVINKA, P.; JACQUEMIN, I.; KERSEBAUM, K. C.; KOLLAS, C.; KRZYSZCZAK, J.; LORITE, I. J.; MINET, J.; MINGUEZ, M. I.; MONTESINO, M.; MORIONDO, M.; MÜLLER, C.; NENDEL, C.; ÖZTÜRK, I.; PEREGO, A.; RODRÍGUEZ, A.; RUANE, A. C.; RUGET, F.; SANNA, M.; SEMENOV, M. A.; SLAWINSKI, C.; STRATONOVITCH, P.; SUPIT, I.; WAHA, K.; WANG, E.; WU, L.; ZHAO, Z.; RÖTTER, R. P. Temperature and precipitation effects on wheat yield across a European transect: a crop model ensemble analysis using impact response surfaces. **Climate Research**, v.65, p. 87-105, 2015.
- RABBINGE, R. The ecological background of food production. Em: Chadwick, D.J., Marsh, J. Crop Protection and Sustainable Agriculture. **Ciba Foundation Symposium**, Chicester, v.177, p. 2-29, 1993.
- REBOITA, M. S.; da ROCHA, R. P.; DIAS, C. G.; YNOUE, R. Y.; Climate projections for South America: RegCM3 driven by HadCM3 and ECHAM5. **Advances in Meteorology**, v.2014, p. 1-17, 2014.
- REYNOLDS, J.F. Some misconceptions of mathematical modeling. **Plant Physiology**, Nova York, v.10, p. 41-44, 1979.
- RITCHIE, J.T. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. **Water resources research**, Colorado, v.8, p. 1204-1213, 1972.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. How a corn plant develops. **Special Bulletin**, Iowa, n. 48. 1993.
- RÖTTER, R. P.; PALOSUO, T.; KERSEBAUM, K. C.; ANGULO, C.; BINDI, M.; EWERT, F.; FERRISE, R.; HLAVINKA, P.; MORIONDO, M.; NENDEL, C.; OLESEN, J. E.; PATIL, R. H.; RUGET, F.; TAKÁK, J.; TRNKA, M. Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: a comparison of nine crop models. **Field Crops Research**, v.133, p. 23–36, 2012.
- RUANE, A. C.; McDERMID, S. P. Selection of a representative subset of global climate models that captures the profile of regional changes for integrated climates impacts assessments. **Earth Perspectives**, v.4, p. 2191-6434, 2017.
- SÁNCHEZ, B.; RASMUSSEN, A.; PORTER, J. R. Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. **Global Change Biology**, v.20, p. 408-417, 2014.

- SANGOI, L.; GRACIETTI, M.A.; RAMPAZZO, C.; BIANCHETTI, P. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to change in plant density. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 79, p.39-51, 2002.
- SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. Densidade e arranjo populacional em milho. Em: **Seminário nacional de milho safrinha**, 2006. Disponível em: <http://www.riber-kws.com/public/pdf/densidade.pdf>
- SANTANA, C.B; ANDRADE, C.L.T.; AMARAL, T.A.; SILVA, D.F.; MOURA, B.F.; CASTRO, L.A. Parametrização do modelo Ceres-Maize para cultivares de milho. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, 2010.
- dos SANTOS, D. L.; SENTELHAS, P. C. Climate change scenarios and their impact on water balance and sugarcane yield in southern Brazil. **Sugar Tech**, Stanford, v.16. p.356-365, 2014.
- SCHONS, A.; STRECK, N.A.; STORK, L.; BURIOL, G.A.; ZANON, A.J. PINHEIRO, D.G.; KRAULICH, B. Arranjos de plantas de mandioca e milho em cultivo solteiro e consorciado: crescimento, desenvolvimento e produtividade. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p.155-167, 2009.
- SENTELHAS, P. C.; BATISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, p.1-18, 2015.
- SHIM, D.; LEE, K.J.; LEE, B.W. Response of phenology – and yield-related traits of maize to elevated temperature in a temperate region. **The Crop Journal**, Amsterdam, v. 5, p.305-316, 2017.
- SINGH, P. K.; SINGH, K. K.; BHAN, S. C.; BAXLA, A. K.; SINGH, S.; RATHORE, L. S.; GUPTA, A. Impact of projected climate change on rice (*Oryza sativa* L.) yield using CERES-rice model in a different agroclimatic zones of India. **Current Science**, Bengaluru, v.112, p. 108-115, 2017.
- SKOCAJ, D.M., HURNEY, A.P., INMAN-BAMBER, N.G., SCHROEDER, B.L., EVERINGHAM, Y.L. Modelling sugarcane yield response to applied nitrogen fertiliser in a wet tropical environment. **Australian Society of Sugarcane Technologists**, Mackay, v.35, p. 1-9, 2013.
- SOLER, C. M. T., Uso do Modelo Ceres-Maize para Previsão de Safra do Milho “Safrinha”. **Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em agronomia**, Piracicaba: ESALQ-USP, 2004.
- SOLER, C. M. T.; SENTELHAS, P. C.; HOOGENBOOM, G. Thermal time for phenological development of four maize hybrids grown off-season in a subtropical environment. Cambridge. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.143, p. 169-182, 2005.
- SOLER, C.M.T; SENTELHAS, P.C.; HOOGENBOOM, G. The impact of El niño southern oscillation phases on off-season maize yield for a subtropical region of Brazil. **International Journal of Climatology**, Oxford, v.30, p.1056-1066, 2009.
- STRECK, N.A.; LAGO, I.; SAMBORANHA, F., K.; GRABRIEL, L.F.; SCHWANTES, A.P.; SCHONS, A. Temperatura base para aparecimento de folhas e filocromo na variedade de milho BRS Missões. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39. p.224-227, 2009.

- SUN, H.; SHEN, Y.; YU, Q.; FLERCHINGER, G.N.; ZHANG, Y.; LIU, C.; ZHANG, X. Effect of precipitation change on water balance and WUE of the winter wheat-summer maize rotation in the north China Plain. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, p.1139-1145, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal, 5ª Edição. **Artmed**, Porto Alegre, p. 954, 2013.
- TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. An overview of CMIP5 and the experiment design. **American Meteorological Society**, v.93, p. 485-498, 2012.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publications in Climatology**, v.8, p. 5-86, 1955.
- TOLLERNAR, M., DAYNARD, T.B., HUNTER, R.B. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. **Crop Science**, Madison, v. 19. p.363-366, 1979.
- VAN ITTERSUM, M.K., CASSMAN, K.G., GRASSINI, P., WOLF, J., TITTONELL, P., HOCHMAN, Z., Yield gap analysis with local to global relevance—a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.143, p.4–17, 2013.
- VARLET-GRANCHER, C. et al. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v.9, p. 419-439, 1989.
- WACLAWOVSKY, A.J.; SATO, P.M.; LEMBKE, C.G.; MOORE, P.H.; SOUZA, G.M. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, Oxford, v.8, p.263-276, 2010.
- WANG, J.; WANG, E.; YANG, X.; ZHANG, F.; YIN, H. Increased yield potential of wheat-maize cropping system in the north China plain by climate change adaptation. **Climatic Change**, Van Godewijkstraat, v.113, p. 825-840, 2012.
- WANG, J.; VANGA, S. K.; SAXENA, R.; ORSAT, V.; RAGHAVAN, V. Effect of climate change on the yield of cereal crops: a review; **Climate**, v.6, p. 41-60, 2018.
- WEGEHENKEL, M. Test of a modeling system of simulating water balances and plant growth using various different complex approaches. **Ecological Modeling**, v.129, p. 39-64, 2000.
- WHISLER, F. D.; ACOCK, B.; BAKER, D. N.; FYE, R. E.; HODGES, H. F.; LAMBERT, J. R.; LEMON, H. E.; MCKINION, J. M.; REDDY, V. R. Crop simulation models in agronomic systems. **Advances in Agronomy**, v.40, p. 141-208, 1986.
- de WIT, A.; BOOGAARD, H.; FUMAGALLI, D.; JANSSEN, S.; KNAPEN, R.; van KRAALINGEN, D.; SUPIT, I.; van der WIJNGAART, R.; van DIEPEN, K. 25 years of the WOFOST cropping systems model. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v.168, p. 154-167, 2019.
- de WIT, C. T.; van KEULEN, H. Modelling production on field crops and its requirements. **Geoderma**, Amsterdam, v.40, p. 253-265, 1987.
- de WIT, C. T. Photosynthesis of Leaf Canopies. **Agricultural Research**, nº 663, 1965.
- XINYOU, Y.; van LAAR, H. H. Crop systems dynamics: an ecophysiological simulation model of genotype-by-environment interactions. **Wageningen Academic Publishers**, 2005.

- XIONG, W.; HOLMAN, I.; CONWAY, D.; LIN, E.; LI, Y. A crop model cross calibration for use in regional climate impacts studies. **Ecological Modeling**, Amsterdam, v. 2013, p.365-380, 2008.
- YANG, H.; GRASSINI, P.; CASSMAN, K.G.; AIKEN, R.M. Improvements to the Hybrid-Maize model for simulating maize yields in harsh rainfed environments. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 204, p.180-190, 2017.
- YIN, X.; KERSEBAUMB, K. C.; KOLLAS, C.; MANEVSKIA, K.; BABY, S.; BEAUDOIN, N.; ÖZTÜRK, I.; GAISER, T.; WU, L.; HOFFMANN, M.; CHARFEDDINE, M; CONRADT, T.; CONSTANTIN, J.; EWERT, F.; CORTAZAR-ATAURI, N. G.; GIGLIO, L.; HLAVINKA, P.; HOFFMANN, H.; LAUNAY, M.; LOUARN, G.; MANDERSCHIED, R.; MARY, B.; MIRSCHEL, W.; NENDEL, C.; PACHOLSKI, A.; PALOSUO, T.; RIPOCHE-WACHTER, D.; RÖTTER, R. P.; RUGET, F.; SHARIF, B.; TRNKA, M.; VENTRELLA, D.; WEIGEL, H.; OLESEN, J. E. Performance of process-based models for simulation of grain N in crop rotation across Europe. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v.154, p. 63-77, 2017.
- ZHAO, W.; LIU, B.; ZHANG, Z. Water requirements of maize in the middle Heihe River basin, China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, p.215-223, 2010.
- ZHANG, L., G.R. WALKER, AND W.R. DAWES. Water balance modeling: Concepts and applications. In: MEVICAR, T.R.; RUI, L.; WALKER, J.; FITZPATRICK R.W.; CHANGMING, L. Regional Water and Soil Assessment for Managing Sustainable Agriculture in China and Australia. **ACIAR**, Canberra, p.31-47, 2002.
- ZHU, J.; ANDRIEU, B.; JAN, V.; van der WERF, W.; FOURNIER, C.; EVERS, J. B. Simulating maize plasticity in leaf appearance and size using regulation rules. Apresentado em: **7th International Conference on Functional-Structural Plant Models**, p. 273-275, 2013.

3. DESEMPENHO DA COMBINAÇÃO (*ENSEMBLE*) DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DA CULTURA DO MILHO EM ESTIMAR SUA PRODUTIVIDADE NO BRASIL

Resumo

Determinar o potencial produtivo do milho é uma atividade de extrema importância tanto para identificar regiões de elevada aptidão quanto para determinação de *yield gaps* nos polos produtivos. A melhor forma de determinar os potenciais produtivos das culturas é através da aplicação de modelos de simulação de cultura e, mesmo assim, existem incertezas nos resultados. Estudos recentes mostram que essas incertezas podem ser mitigadas quando diversos modelos são utilizados em conjunto num modelo misto (*ensemble*). Dessa forma, o presente estudo teve por objetivo de avaliar o desempenho de um modelo misto de cinco modelos de simulação da cultura do milho (MZA-FAO; DSSAT-CERES-Maize; APSIM-Maize; WOFOST-Maize e MONICA-Maize) em estimar a produtividade atingível do milho no Brasil. Foram avaliados dados de solo, clima e produtividades observadas de 79 campos experimentais para calibrar os modelos e avaliar seus resultados. Para o banco de dados utilizado, as calibrações dos modelos utilizados apresentaram bons desempenhos durante sua avaliação, com erro absoluto médio (EAM) entre 720 e 1366 kg ha⁻¹; R² entre 0,49 e 0,79 e índice 'd' entre 0,78 e 0,94. O uso do *ensemble* dos modelos através da média apresentou melhora significativa do seu desempenho quando comparado aos resultados apresentados pelos modelos individualmente, com um EAM = 656 kg ha⁻¹; R² = 0,84 e índice 'd' = 0,95, permitindo concluir que é uma ótima estratégia utilizar da combinação de modelos com o objetivo de reduzir as incertezas na estimativa da produtividade de milho no Brasil.

Palavras-chave: Modelo misto, estimativa da produtividade, produtividade atingível.

Abstract

Maize yield prediction is of extreme importance for both identifying those locations with high potential for this crop and determining the yield gaps of the crop where it is currently produced. The most feasible way to estimate crop yields is with the use of crop simulation models, since well calibrated and evaluated. Even though, these estimations have uncertainties once the crop models are not complete. Recent studies have shown that crop models' uncertainties can be reduced when several models are used together, in an ensemble. Considering that, this study aimed to calibrate and evaluate three crop simulation models (AEZ-FAO; DSSAT-CERES-Maize; APSIM-Maize; WOFOST-Maize and MONICA-Maize) to estimate maize attainable yields and to assess the performance of different ensemble strategies to reduce their uncertainties for maize yield prediction. Weather, soil and maize yield data from 79 experimental sites in Brazil were used for calibrating and evaluating these models. After that, the models showed only a good performance, with mean absolute errors (MAE) between 720 and 1366 kg ha⁻¹, R² between 0,49 and 0,79 and d index between 0,78 and 0,94. When the ensemble was applied, the results showed a better performance than each single model or even the average of them, with MAE = 656 kg ha⁻¹, R² = 0,84 and d = 0,95, allowing us to conclude that the ensemble of simulated maize yields is a good strategy to reduce uncertainties on simulations.

Keywords: Multi-model, yield prediction, attainable yields.

3.1. Introdução

Modelos de simulação de culturas agrícolas (MSC) têm sido intensamente utilizados para identificar e quantificar impactos causados por fatores como condições climáticas, diferentes genótipos, sistema de manejo (como irrigação, adubação e época de semeadura) e características do

solo exercidos na produtividade dos cultivos agrícolas (Heinemann et al., 2008; Peak et al., 2008; Wang et al., 2012; Costa et al., 2014; Justino et al., 2013; Jabeen et al., 2017; Lopez et al., 2017; Negm et al., 2017; Shrestha et al., 2017; Singh et al., 2017; Yin et al., 2017).

Uma série de modelos com diferentes níveis de complexidade têm sido utilizados para simular a produtividade do milho e, independentemente do tipo de modelo de simulação utilizado, o processo de calibração dos parâmetros de cada modelo deve ocorrer para que seus resultados representem de forma adequada os efeitos edafoclimáticos aos quais forem submetidos (Nendel et al., 2011; Archontoulis et al., 2014; Andrea et al., 2018; Liu et al., 2019; Markovic et al., 2020; Wang et al., 2021 e Xu et al., 2021). Vale ressaltar que todo parâmetro de modelo que precise ser calibrado gera uma fonte de incerteza, de modo que quanto mais complexo for o modelo, mais parâmetros e pontos de incertezas decorrentes do processo de calibração irão existir, enquanto que modelos mais simples serão mais impactados por incertezas associadas a erros sistemáticos (Zhang et al., 2002; Corbeels et al., 2016; Eweys et al., 2017; Li e Ren, 2019 e Bwambale e Mourad, 2022). Dito isso, espera-se que a qualidade dos resultados dos modelos não dependa da sua complexidade, mas sim da qualidade do seu processo de calibração e validação (Sentelhas et al., 2015; Monteiro e Sentelhas, 2017; Dias e Sentelhas, 2017).

A escolha de um MSC deve ser baseada na necessidade do usuário, avaliando os requisitos de entrada de cada modelo (quantidade e qualidade) e seu desempenho. O modelo da Zona Agroecológica da FAO (MZA-FAO) (Doorenbos e Kassam, 1979) é um exemplo de modelo simples que utiliza das interações entre o acúmulo de matéria seca da planta e as condições climáticas (radiação solar, temperatura do ar, fotoperíodo e déficit hídrico) para estimar os rendimentos potenciais e atingíveis da cultura de interesse. Esse tipo de modelo pode ser aplicado em escalas locais, regionais ou nacionais, trazendo resultados satisfatórios, principalmente para regiões onde o acesso a dados de solo, clima e cultura são restritos (Piccini et al., 2009; Raes et al., 2006; Garcia e Lopez, 2014, Monteiro e Sentelhas, 2017). Simulações satisfatórias de produtividade de milho foram obtidas com este modelo por Andrioli e Sentelhas (2009), Piccini et al. (2009), Souza et al. (2014) e Monteiro et al. (2017).

Entre os modelos mais complexos estão aqueles baseados em processos, também conhecidos como mecanísticos, que buscam descrever os processos metabólicos de crescimento e desenvolvimento das culturas e suas interações com o clima, solo e manejo por meio de algoritmos que possuem uma série de parâmetros específicos para cada cultura e que demandam calibração. Devido a necessidade da calibração de diversos parâmetros, a aplicação desse tipo de modelo, tanto em escala local quanto nacional se torna mais desafiadora. Exemplos desse tipo de modelo utilizados para simular a cultura do milho são DSSAT-CERES-*Maize*, APSIM-*Maize*, WOFOST-*Maize* e o MONICA-*Maize*. Eles integram características genéticas, climáticas e de solo além de trabalharem alguns parâmetros como influência da [CO₂] atmosférico, balanço de nitrogênio, adubação, irrigação, entre outros aspectos. Autores têm utilizado esses modelos para simular a produtividade da cultura do

milho em diferentes condições no Brasil e no mundo, como Soler et al. (2010), Liu et al. (2012), Chauhan et al. (2013), Amaral et al. (2015), Ban et al. (2015), Andrade et al. (2016) e Jabeen et al. (2017). Mesmo com uma grande diversidade de modelos para a simulação da produtividade do milho, é difícil decidir qual deles utilizar para obter melhores precisão e exatidão, afim de minimizar os erros.

Visando mitigar essas incertezas associadas aos MSC, a abordagem de modelos mistos (*ensemble*) permite que um conjunto de diferentes modelos seja avaliado, conferindo maior precisão e exatidão do que o uso de um único modelo (Palosuo et al., 2011, Asseng et al., 2013, Battisti et al., 2017). O *Agricultural Model Inter-comparison and Improvement Project* (AGMIP) é uma iniciativa internacional conhecida por promover o uso do *ensemble* para avaliar os impactos das mudanças climáticas no rendimento das culturas bem como na produção de alimentos em escala local e global (Wallach et al., 2016). A recomendação do AGMIP é no sentido da intercomparação de modelos e dos seus *ensembles* como estratégia para reduzir incertezas. Vários estudos demonstraram a melhoria da estimativa de produtividade usando conjuntos de modelos de simulação para diferentes culturas, incluindo trigo (Asseng et al., 2013, Martre et al. al., 2014), cana-de-açúcar (Dias e Sentelhas, 2017), soja (Battisti e Sentelhas, 2015, Battisti et al, 2017) e também o milho (Eweys et al, 2017; Zhao et al., 2019; Duarte e Sentelhas. 2020 e Muller et al., 2021).

Sabendo da importância do cultivo do milho no Brasil, estimar sua produtividade com o máximo de precisão e acurácia traz grande valor para estudos agroclimáticos, escolha de genótipos, determinação das melhores épocas de semeadura, identificação do potencial produtivo e lacunas para segurança alimentar. Dessa forma, o presente estudo tem por objetivo testar e avaliar o desempenho do *ensemble* de cinco modelos de simulação da cultura do milho (MZA-FAO, DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Mazie, WOFOST-Maize e MONICA-Maize) em estimar sua produtividade atingível em diferentes regiões brasileiras. Espera-se que o desempenho do *ensemble* dos modelos seja superior ao dos modelos quando avaliados individualmente.

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Dos dados para calibração dos modelos

3.2.1.1. Dados da cultura do milho

Os valores da produtividade real observada (PR) de milho foram coletados de 79 regiões do Brasil (Figura 1) a partir dos experimentos realizados pelo Concurso Nacional de Cultivares de Milho (CNCM) conduzidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa do Milho e Sorgo (EMBRAPA, 2016) e pelo Instituto Agrônômico do Paraná (Shioga et al., 2010, 2012), conduzidas em ambiente de sequeiro, sem demais fatores redutores ou limitantes para a produtividade.

Esses bancos de dados contêm informações de: data de semeadura; data de floração; altura de plantas; população de plantas; data de colheita; umidade relativa do grão e produtividade observada de grãos.

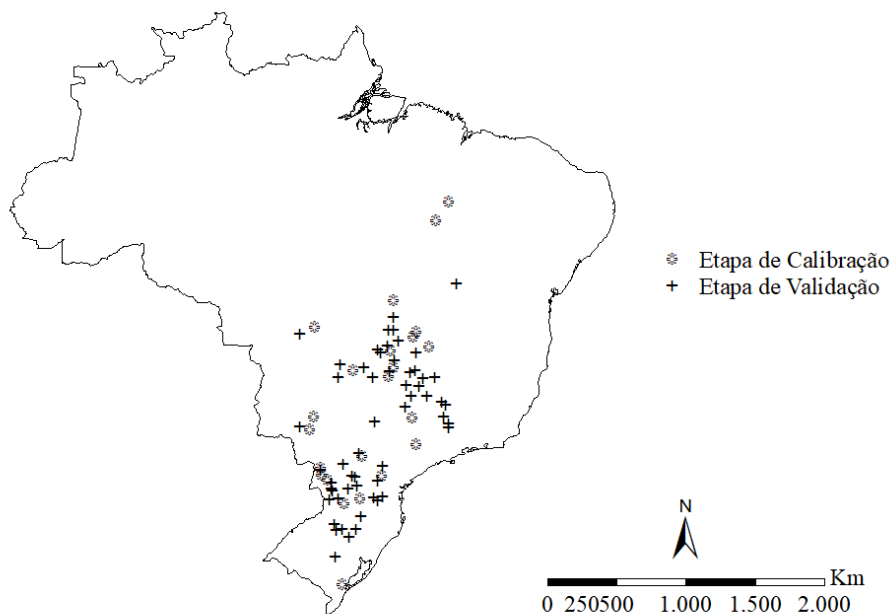


Figura 1. Local dos experimentos de onde foram extraídos os dados de clima, solo e produtividade do milho para o presente estudo.

Os dados disponíveis compreendem um período entre 2003 e 2009, totalizando 127 experimentos, dos quais 33% foram utilizados durante a etapa de calibração e 67% para a avaliação dos modelos. A determinação do conjunto de dados destinados para as fases de calibração e avaliação foi realizada aleatoriamente. As datas de semeadura e colheita foram obtidas a partir de diferentes cultivares de milho, todavia, foi estabelecido que uma cultivar genérica seria calibrada para este estudo, adotando-se então a média dos valores das cinco cultivares que apresentassem as maiores produtividades para cada conjunto (Figura 2), conforme descrito por Duarte e Sentelhas (2020). Dessa forma, os modelos foram calibrados buscando estimar a produtividade atingível (PA) de uma cultivar média, sem limitações nutricionais ou fitossanitárias. As tendências tecnológicas sobre a produtividade do milho ao longo das estações de cultivo foram removidas do conjunto de dados seguindo o método apresentado por Heinemann e Sentelhas (2011) e Monteiro (2015).

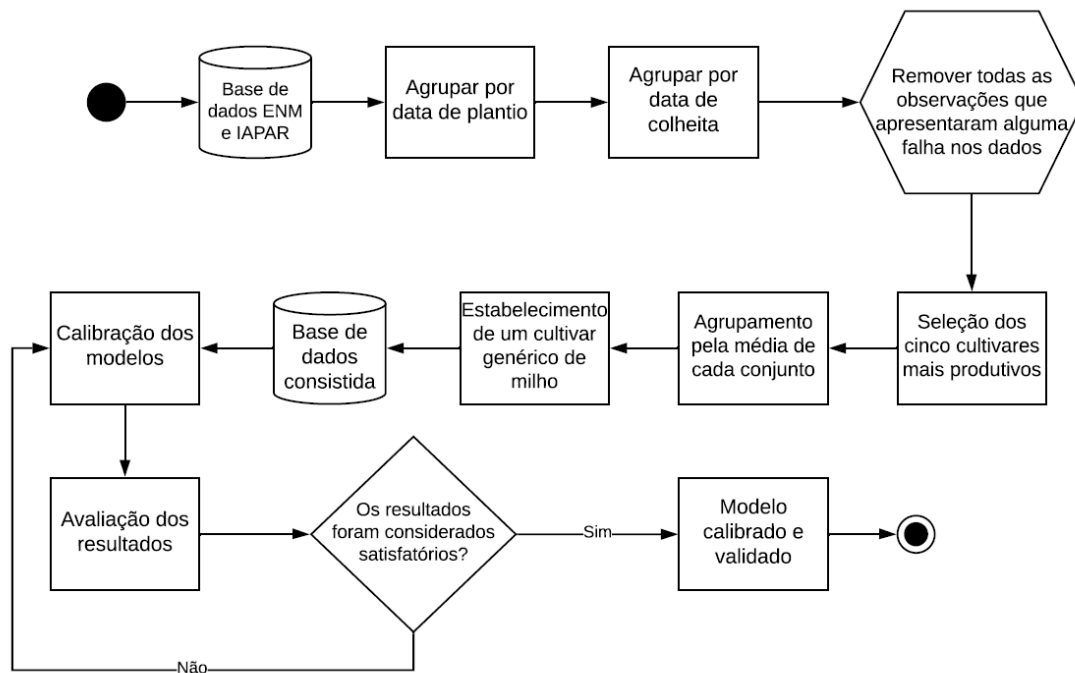


Figura 2. Fluxograma representando como a base de dados foi organizada, avaliada e consistida para então seguir com o processo de calibração dos modelos de simulação do milho.

3.2.1.2. Dados meteorológicos

O banco de dados meteorológicos para os 79 locais (Figura 1) foi estabelecido através da combinação dos dados obtidos através da rede de estações meteorológicas oferecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do sistema *DailyGridded* (Xavier et al., 2016) e das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA), para o período de janeiro 2002 a dezembro de 2010, compreendendo na totalidade os dados experimentais utilizados. O banco de dados climático final contempla as informações de radiação solar global diária, chuva, temperatura do ar (máxima, mínima e média), umidade relativa média do ar e velocidade média do vento medida a 2 m de altura.

3.2.1.3. Dados de solo

O banco de dados de solo foi composto a partir das diferentes fontes: a) projeto RadamBrasil (Brasil, 1981), b) mapa de solos da EMBRAPA (Embrapa Solos, 2011), c) BDSolos (Embrapa Solos, 2014) e d) banco de dados de solos brasileiro fornecido pela plataforma DSSAT. Ao final, o banco de dados combinado compunha as seguintes informações: i) textura do solo (argila, silte, areia e frações grossas); ii) curva de retenção de água no solo; iii) carbono orgânico e iv) condutividade elétrica. Combinando todas essas fontes de dados, definiu-se o solo correspondente para cada localidade estudada (Figura 3).

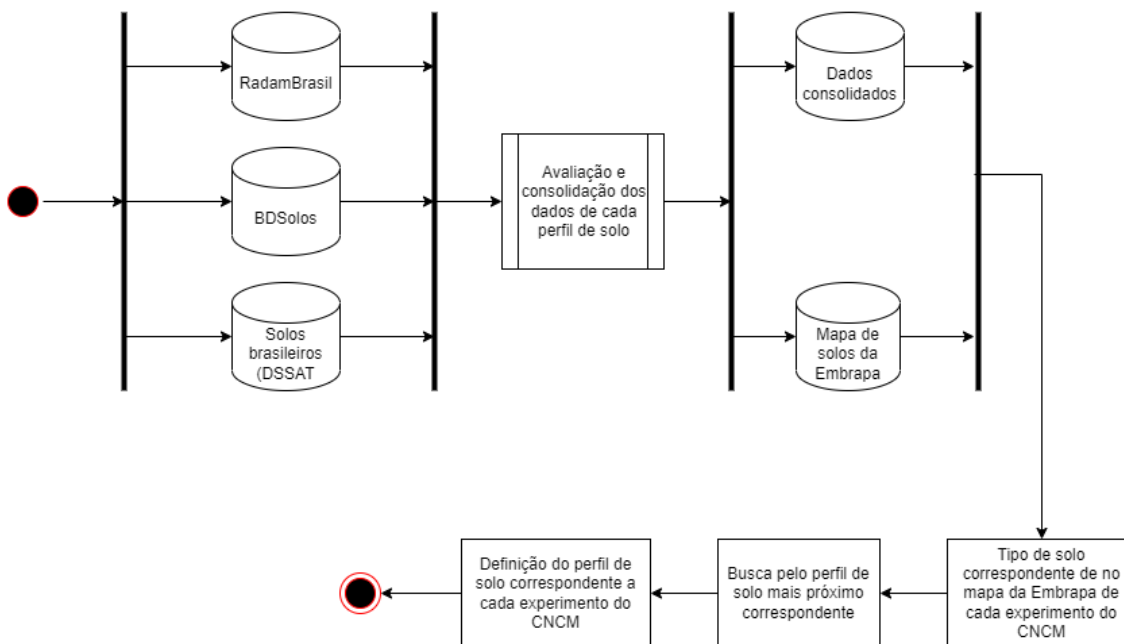


Figura 3. Fluxograma representando o processo de seleção do perfil de solo para cada local estudado nos experimentos.

3.2.2. Dos modelos de simulação da produtividade do milho

3.2.2.1. MZA-FAO

O MZA-FAO, originalmente apresentado por Doorenbos e Kassam (1979), foi utilizado para estimar a produtividade do milho, conforme ajuste proposto por Duarte e Sentelhas (2020). Os cálculos de produtividade atingível foram feitos na escala diária e tiveram seus coeficientes de área foliar (cIAF) e de respiração (cresp) também desenvolvidos numa escala diária (Duarte e Sentelhas, 2020). O procedimento de cálculo do modelo é dividido em duas etapas: a primeira para estimar a produtividade potencial, baseada nas interações entre o genótipo e as condições climáticas; e a segunda, penaliza a produtividade potencial pelo déficit hídrico relativo, de modo a estimar a produtividade atingível.

3.2.2.2. DSSAT-CERES-Maize

O modelo DSSAT-CERES-Maize (DCM) faz parte da plataforma *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT). Ele é classificado como um modelo mecanístico e possui um passo de cálculo em escala diária (Hoogenboon et al., 2003). A versão do modelo DCM utilizada neste estudo está disponível em DSSAT 4.5. O modelo possui uma grande quantidade de variáveis de entrada, tornando-o mais complexo de lidar e exigindo a calibração de coeficientes e parâmetros

relativos ao solo, espécie e cultivar (Kiniry et al., 1997). Nos modelos CERES, o ciclo de vida da planta é dividido em fases de desenvolvimento fenológico reguladas pelo tempo térmico (graus dias - DD) (Hoogenboon et al., 2003).

3.2.2.3. APSIM-Maize

O *Agricultural Production Systems Simulator* (APSIM), utilizado em sua versão APSIM 7.7, foi construído com base no *Plant Modeling Framework*, descrito por Brown et al. (2014), que consiste na utilização de submódulos acoplados a uma estrutura principal que simula diferentes processos e órgãos vegetais de forma independente. O modelo pode ser dividido em quatro estruturas básicas: a) um modelo fenológico para simular o desenvolvimento entre as fases do cultivo; b) um modelo estrutural para simular a morfologia vegetal; c) um conjunto de submódulos para simular as diferentes partes da planta; e d) um algoritmo responsável por distribuir e alocar os recursos absorvidos e produzidos nas diversas partes da planta (Brown et al., 2014).

3.2.2.4. MONICA-Maize

Conforme descrito por Nendel et al. (2011), o *Model for Nitrogen and Carbon in Agroecosystems* (MONICA) vem se destacando como modelos de simulação de culturas visto suas abordagens mecanísticas, com seus cálculos baseados nos processos fisiológicos das plantas. Sucessor do modelo HERMES (Kersebaum, 1995), o modelo incluiu a possibilidade de avaliar o impacto das [CO₂] na produtividade das culturas, dando suporte a pesquisas voltadas para mudanças climáticas e seus impactos (Specka et al., 2015). Quanto ao crescimento e desenvolvimento das culturas, o modelo acumula a produção de matéria seca líquida, em passo de cálculo diário, de modo que essa sofre influência de fatores como radiação solar global, temperatura e [CO₂], enquanto que a respiração de manutenção das plantas é calculada para períodos diurnos e noturnos (Nendel, 2014; Specka et al., 2015). O sistema de alocação e distribuição dos fotoassimilados produzidos para as diversas partes da planta acontecem de acordo com a fase do desenvolvimento da cultura (Kersebaum, 1995).

3.2.2.5. WOFOST-Maize

O *World Food Studies* (WOFOST) é um modelo mecanístico que simula o crescimento e desenvolvimento das plantas utilizando parâmetros como interceptação da radiação solar e assimilação de CO₂ como moduladores do processo de crescimento (van Diepen et al., 1989) e já vem sendo utilizado e testado há mais de 25 anos em estudos de projeção de produtividade das culturas. O modelo pode ser aplicado para simulação de produtividade das plantas com o módulo de limitação do

desenvolvimento causado por estresse hídrico habilitado ou desabilitado, de modo que outros fatores limitantes como nutrientes, ataque de pragas e doenças ou competição com plantas invasoras não podem ser simulados. O cálculo dos fotoassimilados bem como as reduções no crescimento derivado do estresse hídrico são realizados em escala diária (de Wit e van Diepen, 2007). No modelo, o particionamento dos fotoassimilados acumulados está diretamente ligado ao estágio de desenvolvimento das plantas e é definido através de valores estáticos que devem ser calibrados para cada situação de uso (de Wit et al., 2019).

3.2.3. Da calibração, avaliação e combinação dos modelos

A calibração dos coeficientes dos modelos foi feita visando minimizar as diferenças entre as produtividades estimadas e observadas. Para isso, foram utilizados dados de clima e produtividade de milho de 23 localidades, totalizando 42 experimentos (Figura 1). O desenvolvimento da calibração foi dividido em três etapas: C1 - calibração dos coeficientes para ajuste do desenvolvimento da planta de milho quanto a sua data de florescimento e maturidade. Visa dar ao modelo mais consistência ao simular as datas de floração e colheita observadas; C2 - calibração dos coeficientes para ajuste da produtividade. Visa melhorar a precisão e acurácia dos modelos em estimar a produtividade do milho quando comparada a valores observados; e C3 - combinação dos modelos (*ensemble*). Os modelos foram combinados de acordo com a média e a mediana dos resultados obtidos. Ao final do processo de calibração, sete conjuntos de resultados de simulação da produtividade do milho foram analisados, sendo cinco deles representados pelos modelos individuais e dois representados pelas combinações dos modelos (*ensemble*).

A avaliação do desempenho das calibrações foi feita utilizando dados independentes de 56 locais diferentes, totalizando 85 experimentos (Figura 1). Para evidenciar o desempenho dos modelos durante as etapas de calibração e avaliação, foram utilizados os seguintes coeficientes estatísticos: erro médio (EM); erro absoluto médio (EAM); raiz quadrada do erro médio (RQEM); coeficiente de determinação (R^2), índice de concordância 'd' (Willmott, 1981) e o índice de confiança 'C' (Camargo e Sentelhas, 1997), sendo que o melhor modelo será aquele que apresentar os menores erros (ME, EAM e RQEM) e melhores índices de concordância (R^2 , 'd' e 'C').

3.3. Resultados e Discussão

3.3.1. Da calibração dos modelos

3.3.1.1. Etapa C1

O desenvolvimento da etapa C1 lidou com a calibração dos coeficientes vegetativos dos modelos DSSAT-CERES-*Maize*, APSIM-*Maize*, WOFOST-*Maize* e MONICA-*Maize* (Figuras 4 e 5). Observou-se redução dos erros após calibração em todos os modelos testados, sendo que a data de floração foi melhor estimada pelo modelo DSSAT-CERES-*Maize* (Figura 4), apresentando erros absolutos médios (EAM) inferiores a 5 dias. Em termos de simulação do ciclo total da planta de milho, os modelos APSIM-*Maize* e MONICA-*Maize* (Figura 5) foram os que apresentaram os melhores desempenhos, com EAM inferiores a 15 dias.

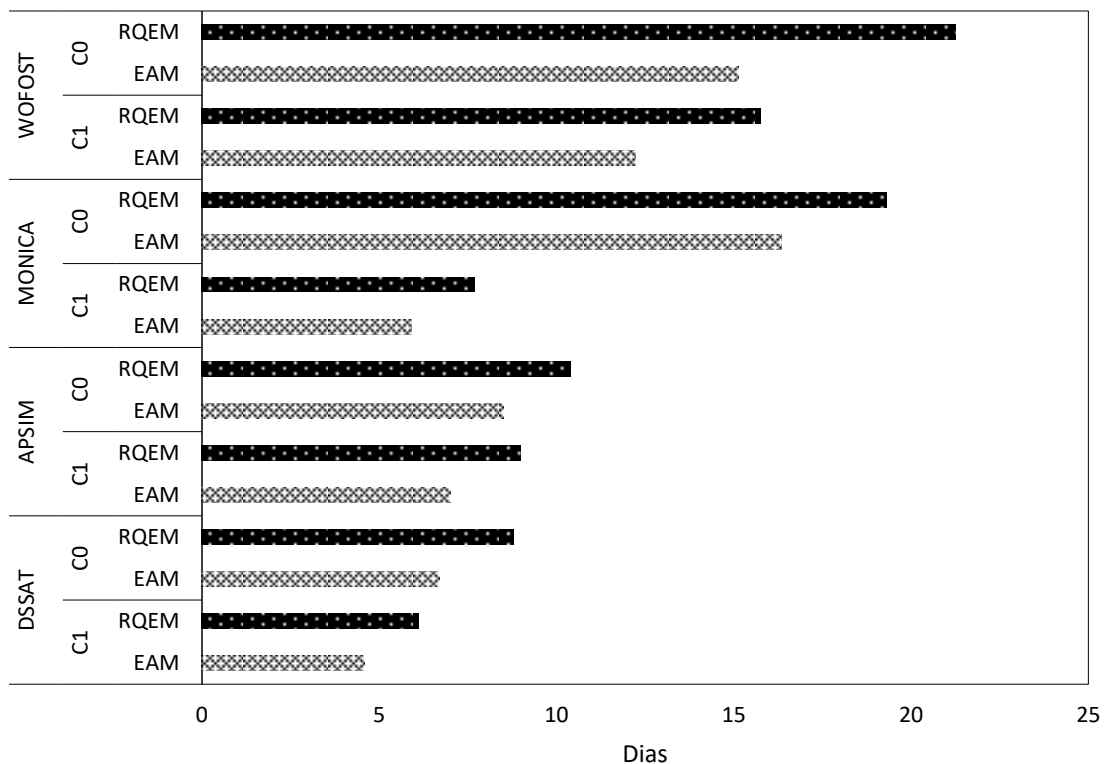


Figura 4. Erro absoluto médio (EAM) e raiz quadrada do erro médio (RQEM) para a simulação da data de florescimento antes (C0) e depois (C1) da primeira etapa de calibração dos modelos WOFOST, MONICA, APSIM e DSSAT.

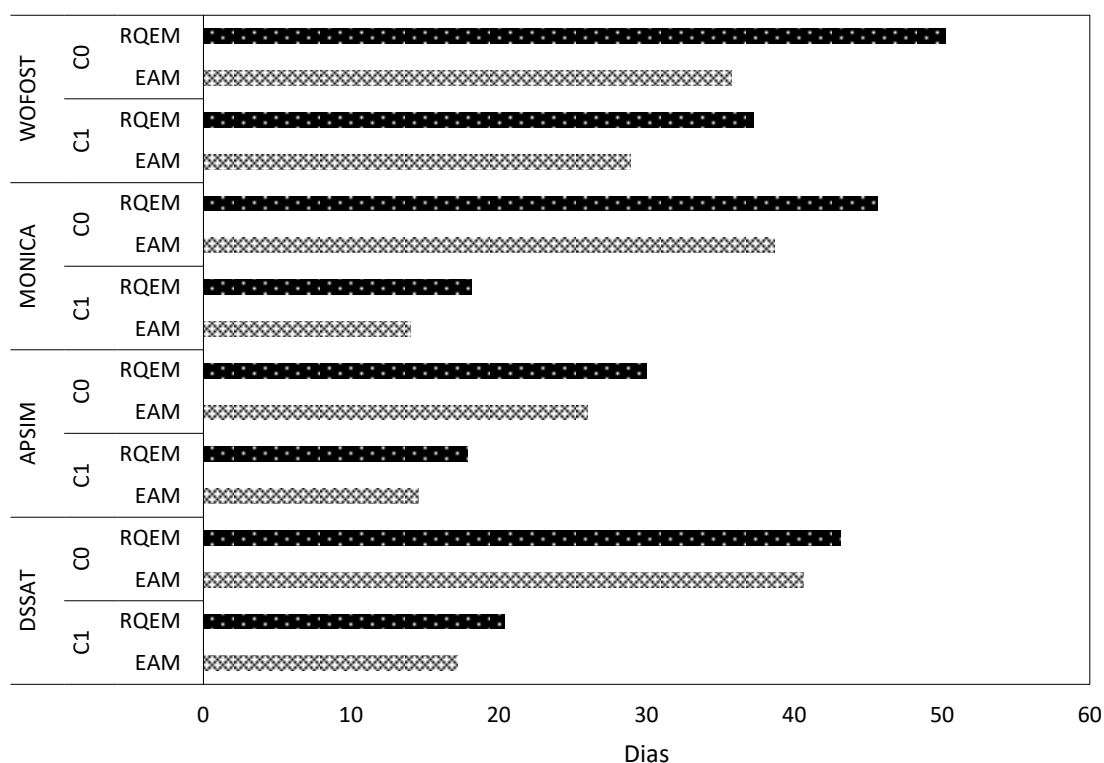


Figura 5. Erro absoluto médio (EAM) e raiz quadrada do erro médio (RQEM) para a simulação da data de colheita antes (C0) e depois (C1) da primeira etapa de calibração dos modelos WOFOST, MONICA, APSIM e DSSAT.

3.3.1.2. Etapa 2 – C2

O desempenho superior dos modelos após a etapa de calibração pode ser notado tanto em termos de acurácia (Figura 6) quanto em termos de magnitude de erro (Tabela 1), apresentando resultados de R^2 que variavam entre 0,10 e 0,42 antes da calibração e passaram para a faixa 0,47 a 0,75 após a calibração, evidenciando a importância do processo de calibração dos modelos para determinar a produtividade do milho. Os erros absolutos médios (EAM) variaram entre 729 e 2311 kg ha⁻¹, o que corresponde a 8 e 24% dos valores médios observados para a produtividade do milho, dando espaço para ações que possam melhorar o desempenho das simulações mesmo após um processo de calibração, como o *ensemble*.

Os resultados apresentados nessa etapa da calibração dos modelos se mostram alinhados com demais iniciativas encontradas em estudos brasileiros para outras culturas, como os apresentados por Battisti et al. (2017) para a soja e por Dias e Sentelhas (2017) para a cana-de-açúcar, que encontraram um EAM relativo de magnitudes 11,5 a 15,5% e 16,6 a 17,6%, respectivamente, semelhantes aos encontrados nesse estudo. Em específico para o milho, Zhang e Zhao (2017), utilizando o modelo APSIM-Maize, encontraram uma RQEM que variou entre 600 e 800 kg ha⁻¹, enquanto Liu et al.

(2011), utilizando DSSAT-CERES-Maize, encontraram valores de RQEM variando entre 1166 e 1391 kg ha^{-1} , similares aos valores encontrados de RQEM para os mesmos modelos no presente estudo, que apresentaram RQEM de 1178 e 1114 kg ha^{-1} , respectivamente. Comparados relativamente aos valores médios das produtividades observados, encontra-se uma variação entre 11 e 34% nos valores de RQEM, o que concorda com a faixa de valores apresentada por Amaral et al. (2015), Ban et al. (2015) e Chisanga et al. (2015), que obtiveram valores de RQEM relativas entre 10 e 20% quando utilizaram o modelo DSSAT-CERES-Maize.

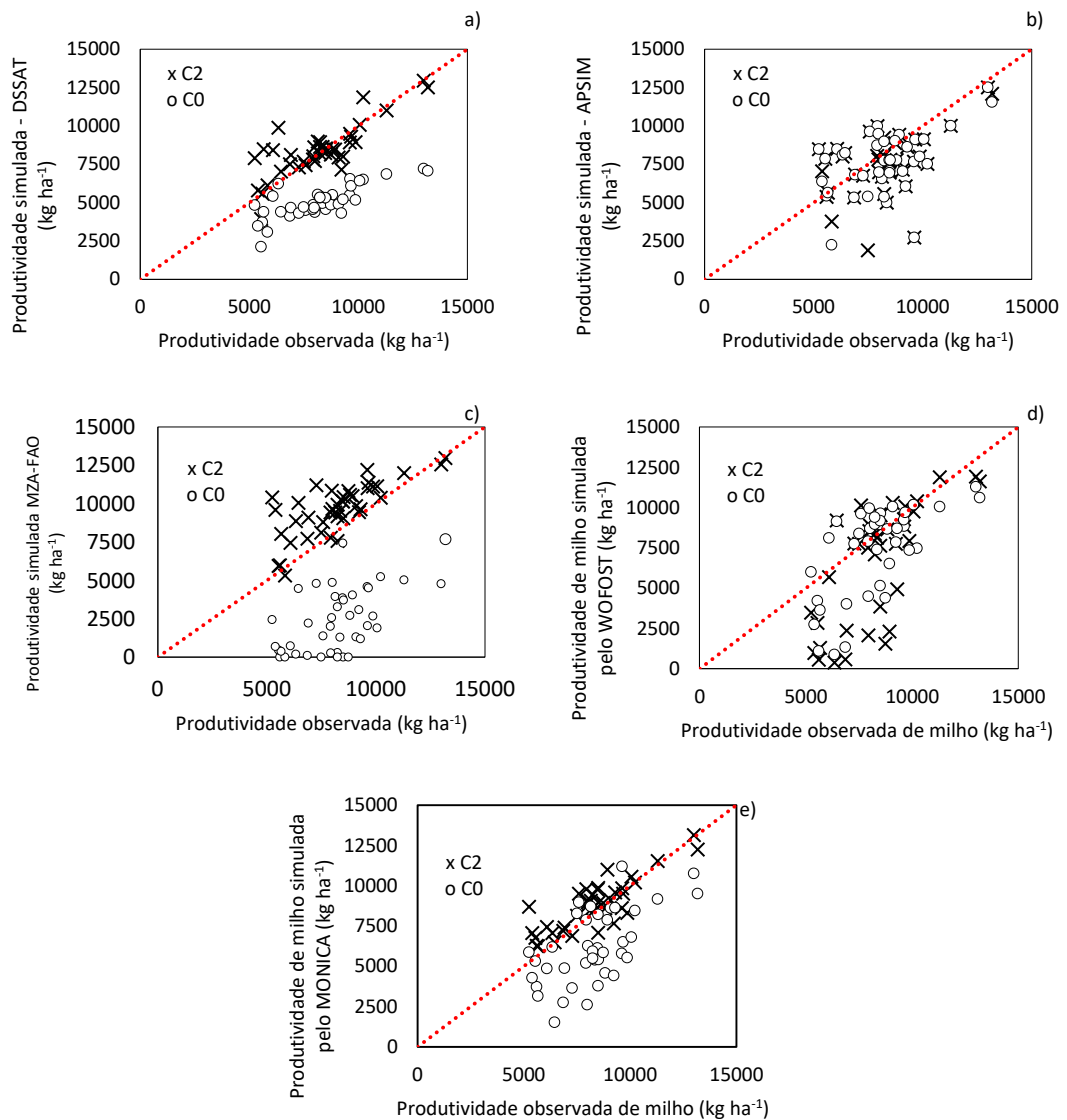


Figura 6. Relação entre a produtividade de milho observada e a estimada pelos modelos DSSAT-Maize (a); APSIM-Maize (b); MZA-FAO (c) WOFOST-Maize (d) e MONICA-Maize (e) antes (C0) e depois (C2) da segunda etapa de calibração.

Tabela 1. Desempenho dos modelos DSSAT-Maize (DM); APSIM-Maize (AM); MZA-FAO; WOFOST-Maize (WM) e MONICA-Maize (MM) em estimar as produtividades de milho antes (C0) e depois (C2) da segunda etapa de calibração.

Modelo	Etapa	EM	EAM (kg ha ⁻¹)	RQEM	d	R ²	C	PR (kg ha ⁻¹)
CM	C0	-2441,7	2588,4	3076,2	0,44	0,10	0,14	8306,52
	C2	257,7	729,2	1114,6	0,90	0,66	0,73	
AM	C0	-650,9	1612,0	2037,8	0,68	0,24	0,33	
	C2	127,8	886,2	1178,1	0,90	0,66	0,73	
MZA- FAO	C0	-5810,6	5810,6	6086,8	0,34	0,33	0,19	
	C2	1407,9	1504,4	1887,0	0,76	0,55	0,56	
WM	C0	1101,6	1760,9	2267,4	0,73	0,42	0,47	
	C2	-1630,6	2311,2	3199,1	0,67	0,47	0,46	
MM	C0	-2111,8	2354,2	2782,1	0,62	0,39	0,38	
	C2	592,2	829,9	1099,1	0,90	0,75	0,78	

EM = erro médio; EAM = erro absoluto médio; RQEM = raiz quadrada do erro médio; d = coeficiente de concordância; R² = coeficiente de determinação e C = índice de confiança.

3.3.1.3. Etapa 3 – C3

Após combinar os resultados dos modelos calibrados através do *ensemble* (Tabela 2), foram observadas melhoras tanto nos indicadores de erros quanto nos desempenhos de precisão e acurácia em estimar a produtividade do milho quando comparado ao uso de modelos individuais (Tabela 1). O *ensemble* proporcionou uma redução no EAM para valores abaixo de 670 kg ha⁻¹ assim como uma tendência de superestimar a produtividade (EM entre 207 e 517 kg ha⁻¹) (Tabela 2). O coeficiente de determinação (R²) também apresentou desempenho superior, variando entre 0,82 e 0,85, enquanto coeficiente ‘d’ atingiu valores entre 0,93 e 0,95. Independentemente da forma adotada para a combinação dos valores dos modelos (pela média ou mediana), observou-se melhora no desempenho das produtividades simuladas (Tabela 2).

Tabela 2. Desempenho do *ensemble* em estimar a produtividade do milho através da combinação dos resultados dos modelos da Zona Agroecológica da FAO (MZA-FAO), DSSAT-CERES-Maize (DCM), APSIM-Maize (AM), WOFOST-Maize (WM) e MONICA-Maize (MM) através da média e da mediana de seus resultados durante a etapa C3 de calibração.

<i>Ensemble</i>	EM	EAM (kg ha ⁻¹)	RQEM	d	R ²	C
Média	207,4	655,1	820,7	0,95	0,82	0,86
Mediana	517,2	667,8	894,1	0,93	0,85	0,86

EM = erro médio; EAM = erro absoluto médio; RQEM = raiz quadrada do erro médio; d = coeficiente de concordância; R² = coeficiente de determinação e C = índice de confiança.

Esses resultados mostram que o desempenho dos modelos após o *ensemble* melhorou a capacidade de simular a produtividade do milho, minimizando os erros e maximizando a acurácia e a precisão. Para a situação avaliada, o *ensemble* reduziu a RQEM para menos de 900 kg ha⁻¹, o que equivale a uma RQEM relativa de menos de 10,8%, frente a faixa apresentada pelos modelos individuais, de 13,3 a 38,7%. Essa melhora do desempenho nas simulações utilizando o *ensemble* também foi observada para outras culturas como cana-de-açúcar (Dias e Sentelhas, 2017), trigo (Martre et al., 2014) e soja (Battisti et al., 2017) e para milho, conforme apresentado por Tao et al. (2009), Shahhosseini et al. (2020) e Kostková et al. (2021), que mostraram reduções nos valores percentuais de RQEM apresentados pelo *ensemble* entre 2 e 22% quando comparado ao desempenho dos modelos individuais. Os autores ressaltam, dentre outros pontos, que mesmo os modelos individuais entregando simulações de produtividades acuradas, nem sempre essas acontecem pelos motivos corretos, haja visto a complexidade em termos de processos fisiológicos que ocorrem ao longo do desenvolvimento das plantas. Portanto, interagir os resultados dos modelos entre si minimizaria os erros dos modelos em simular esses processos e explica porque o desempenho do *ensemble* é superior ao dos modelos individuais, sendo indicado seu uso em estudos de simulação da produtividade das culturas.

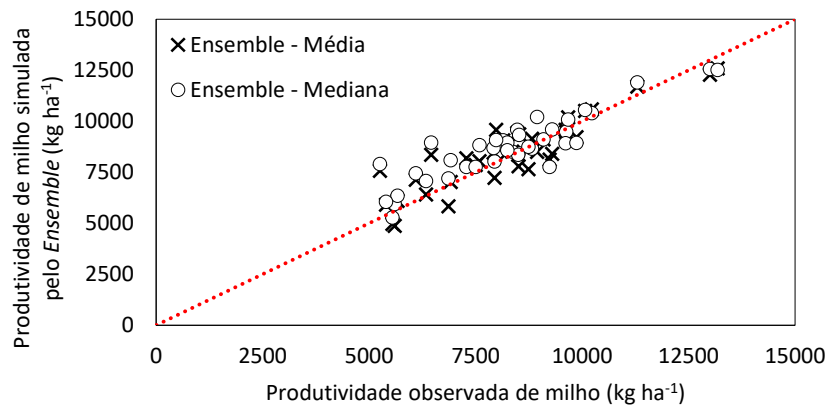


Figura 7. Relação entre a produtividade de milho observada e a estimada pelo *ensemble* dos modelos da Zona Agroecológica da FAO (MZA-FAO), DSSAT-CERES-Maize (DCM), APSIM-Maize (AM), WOFOST-Maize (WM) e MONICA-Maize (MM) durante a etapa C3 da calibração.

3.3.2. Da avaliação dos modelos

Na etapa de avaliação dos modelos, o desempenho dos resultados foi superior aos apresentados pelos modelos durante a etapa C2 da calibração, com valores de R^2 variando entre 0,49 e 0,79 e índice 'd' variando entre 0,78 e 0,94 (Tabela 3 e Figura 8). Dos modelos avaliados durante essa etapa, DSSAT-CERES-Maize e MONICA-Maize apresentaram os melhores desempenhos (Tabela 3) quando comparados aos demais modelos estudados. Os valores da RQEM variaram entre 949,2 e 1784 kg ha^{-1} , o que corresponde a um erro percentual em relação a média das produtividades observadas de 9,5 e 18%, respectivamente. Os valores de RQEM apresentados se mostraram dentro da faixa de valores observada por outros autores em estudos com modelos de simulação da produtividade do milho no Brasil (Amaral et al., 2015) e também no mundo (Ban et al., 2015, e Chisanga et al. 2015), que apresentaram valores percentuais de RQEM variando entre 7,8 e 37,6%.

Tabela 3. Desempenho dos modelos DSSAT-Maize (CM); APSIM-Maize (AM); MZA-FAO; WOFOST-Maize (WM) e MONICA-Maize (MM) em estimar a produtividade do milho antes (C0) e depois (C2) da segunda etapa de avaliação.

Modelo	Etapa	EM	EAM	RQEM	d	R ²	C	PR (kg ha ⁻¹)
		(kg ha ⁻¹)						
CM	C0	-3658.5	3658.5	3850.9	0.54	0.73	0.46	9318,18
	C2	-6.3	727.2	949.2	0.94	0.79	0.84	
AM	C0	-1330.4	1592.0	2024.4	0.80	0.60	0.62	
	C2	424.6	1376.5	1784.0	0.85	0.59	0.66	
MZA- FAO	C0	-6553.1	6553.1	6837.7	0.36	0.35	0.22	
	C2	770.4	1366.4	1681.5	0.78	0.49	0.54	
WM	C0	-444,9	1341,7	1757,3	0,76	0,37	0,46	
	C2	-44,6	961,5	1200,6	0,91	0,69	0,75	
MM	C0	-2397,4	2760,5	3279,4	0,63	0,41	0,40	
	C2	-72,0	818,7	1172,8	0,93	0,75	0,80	

EM = erro médio; EAM = erro absoluto médio; RQEM = raiz quadrada do erro médio; d = coeficiente de concordância; R² = coeficiente de determinação e C = índice de confiança.

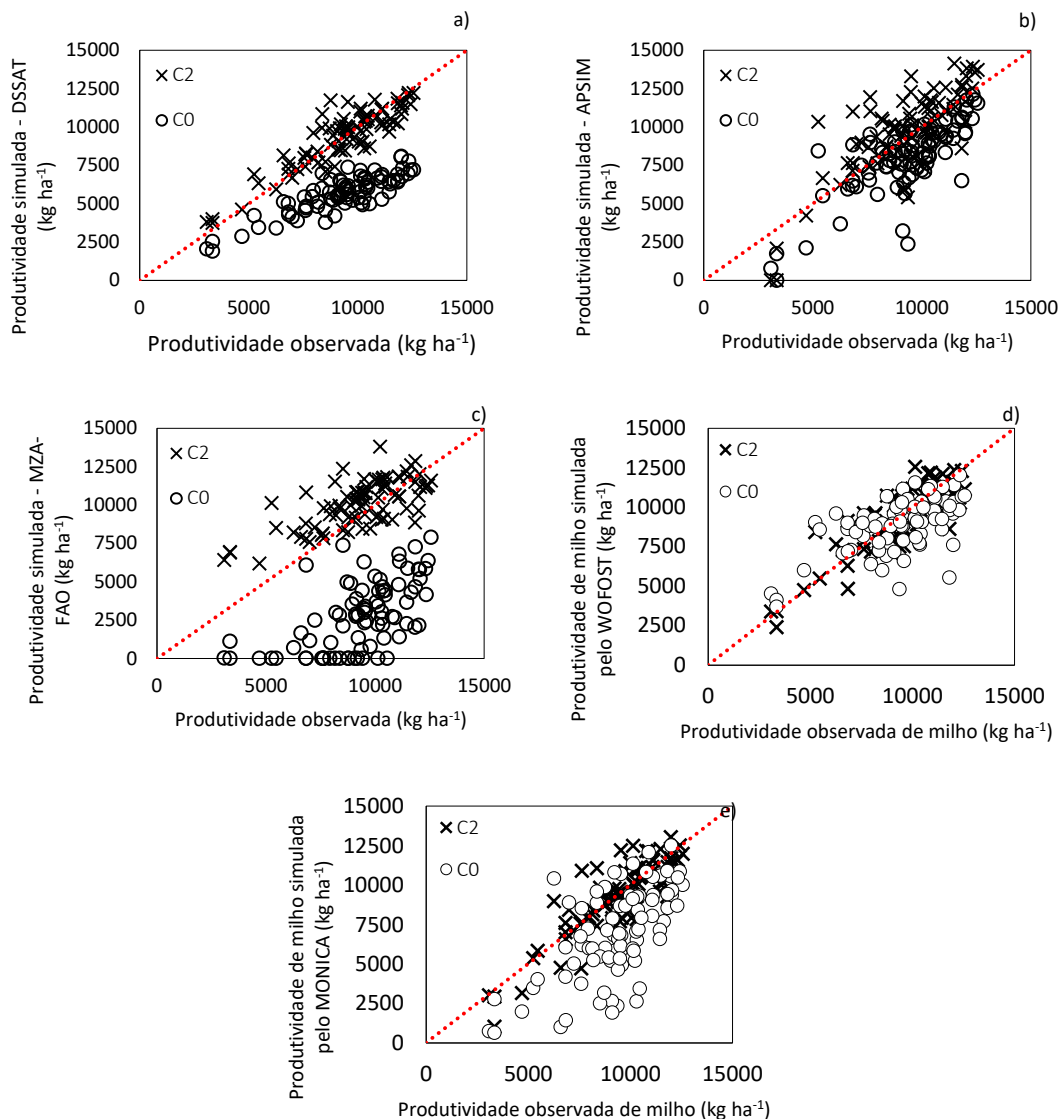


Figura 8. Relação entre a produtividade de milho observada e a estimada pelos modelos DSSAT-Maize (a); APSIM-Maize (b); MZA-FAO (c) WOFOST-Maize (d) e MONICA-Maize (e) antes (C0) e depois (C2) da segunda etapa de avaliação.

Conforme observado em etapas anteriores, o desempenho das simulações após o *ensemble* dos resultados apresentou melhoras quando comparados aos resultados individuais dos modelos (Tabela 3), diminuindo os erros e maximizando a precisão e a acurácia das simulações. A melhor estratégia de ensemble para simular a produtividade de milho foi através da combinação dos valores pela média, apresentando precisão ($R^2 = 0,84$) e acurácia ($d = 0,95$) ligeiramente superiores que a combinação de valores através da mediana. Usando esta estratégia para o *ensemble* dos resultados, os parâmetros estatísticos de erro EAM e RQEM apresentaram bom desempenho, apontando erros da ordem de 7 e 9%, respectivamente, quando comparados aos valores médios de produtividade observados.

Tabela 4. Desempenho do ensemble em estimar a produtividade do milho através da combinação dos resultados dos modelos da Zona Agroecológica da FAO (MZA-FAO), DSSAT-CERES-Maize (DCM), APSIM-Maize (AM), WOFOST-Maize (WM) e MONICA-Maize (MM) através da média e da mediana de seus resultados durante a etapa de avaliação.

<i>Ensemble</i>	EM	EAM (kg ha ⁻¹)	RQEM	d	R ²	C
Média	214,3	656,8	856,7	0,95	0,84	0,87
Mediana	197,5	711,6	945,5	0,94	0,80	0,84

EM = erro médio; EAM = erro absoluto médio; RQEM = raiz quadrada do erro médio; d = coeficiente de concordância; R² = coeficiente de determinação e C = índice de confiança.

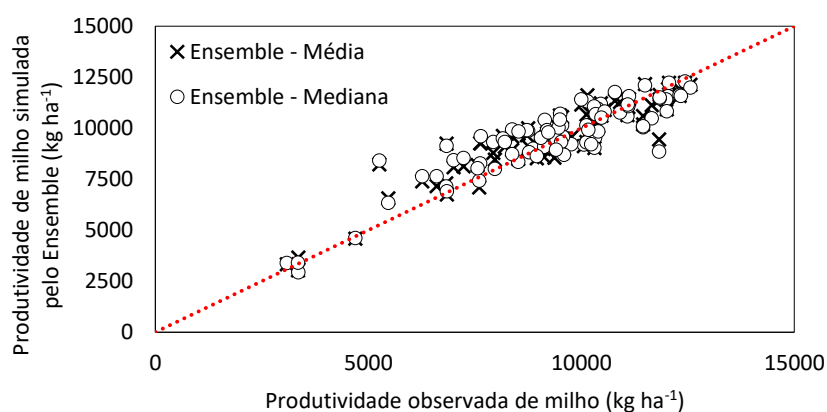


Figura 9. Relação entre a produtividade de milho observada e a estimada pelo *ensemble* dos modelos da Zona Agroecológica da FAO (MZA-FAO), DSSAT-CERES-Maize (DCM), APSIM-Maize (AM), WOFOST-Maize (WM) e MONICA-Maize (MM) durante a etapa de avaliação.

Minimizando as deficiências que os modelos apresentaram, o *ensemble* dos resultados (Tabela 4 e Figura 9) mostra desempenho superior a todos os modelos individualmente testados nesse estudo. Tal melhoria de desempenho também foi relatada por outros autores ao utilizar a abordagem multimodelo para simular as produtividades do trigo (Palosuo et al., 2011; Asseng et al., 2013), do milho (Bassu et al., 2014; Durand et al., 2017) e do arroz (Li et al., 2015). Esses autores destacam o impacto positivo da combinação de resultados nas estimativas de produtividade, diminuindo incertezas ao combinar modelos de diferentes abordagens de simulação do desenvolvimento e crescimento das culturas. Esta é a razão pela qual o *ensemble* é uma importante estratégia de mitigação de erros em estudos de simulação de produtividades agrícolas (Kunutti et al., 2010, Rosenzweig et al., 2013).

3.4. Conclusões

Os resultados deste estudo permitem concluir que é possível simular satisfatoriamente a produtividade atingível do milho em diferentes regiões brasileiras a partir do *ensemble* dos modelos MZA-FAO, DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST-Maize e MONICA-Maize, se devidamente calibrados e avaliados. Observou-se melhores desempenhos quando os modelos foram combinados (*ensemble*) sendo que a combinação pela média foi a melhor estratégia para aumentar a precisão e a exatidão das estimativas de produtividade do milho, reduzindo a magnitude dos erros. O *ensemble* se mostrou melhor do que qualquer resultado individual dos modelos testados nesse estudo para simular a produtividade do milho no Brasil. O avanço dos estudos no sentido de avaliar como o incremento de mais modelos de simulação de culturas pode contribuir para reduzir incertezas na simulação da produtividade do milho devem ser incentivados.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, T. A., LIMA, A. C. R., ANDRADE, C. L. T.; SILVA, S. D. A. Parametrização e avaliação do modelo CSM-CERES-Maize para cultivares de milho recomendadas para a microrregião de Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 14, 371-391, 2015.
- ANDRADE, C. L. T., SILVA, P. P. G., MAGALHÃES, B. G., PAIXÃO, J. S., MELO, B. F.; TIGGES, C. H. P. Parametrização do modelo CSM-CERES-Maize para uma cultivar de alta produtividade. **XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, Bento Gonçalves, 2016.
- ANDREA, M. C. S.; BOOTE, K. J.; SENTELHAS, P. C.; ROMANELLI, T. L. Variability and limitations of maize production in Brazil: Potential yield, water-limited yield and yield gaps. **Agricultural Systems**, v.165, p. 264-273, 2018.
- ANDRIOLI, K. G.; SENTELHAS, P. C. Brazilian maize genotypes sensitivity to water deficit estimated through a simple crop model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44, 653-660, 2009.
- ARCHONTOULIS, S. V.; MIGUEZ, F. E.; MOORE, K. J. Evaluating APSIM Maize, soil water, soil nitrogen, manure and soil temperature modules in the Midwestern United States. **Biometry, Modeling & Statistics**, v.106, p. 1025-1040, 2014.

- ASSENG, S., EWERT, F., ROSENZWEIG, C. J. W., HATFIELD, J. L., RUANE, A. C., BOOTLE, K. J., THORBURN, P.J., ROTTER, R.P., CAMMARANO, D., BRISSON, N., BASSO, B., MATRE, P., AGGARWAL, P. K., ANGULO, C., BERTUZZI, P., BIERNATH, C., CHALLINOR, A. J., DOLTRA, J., GAYLER, S., GOLDBERG, R., GRANT, R., HEING, L., HOOKER, J., HUNT, L. A., INGWERSEN, J., IZAURRALDE, R. C., KERSEBAUM, K. C., MULLER, C., NARESH KUMAR, S., NENDEL, C., O'LEARY, G., OLESEN, J. A., OSBORNE, T. M., PALOSUO, T., STOCKLE, C., STRATONOVITCH, P., STRECK, T., SUPIT, I., TAO, F., TRAVASSO, M., WAHA, K., WALLACH, D., WHITE, J. W., WILLIAMS, J. R.; WOLF, J. Uncertainty in simulation wheat yields under climate change. **Nature Climate Change**, 3, 827-832, 2013.
- BAN, H. Y., SIM, D., LEE, K. J., KIM, J., KIM, K. S.; LEE, B. W. Evaluating maize growth models "CERES-Maize" and "IXIM-Maize" under elevation temperature conditions. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, 18, 265-272, 2015.
- BASSU, S., BRISSON, N., DURAND, J. L., BOOTE, K., LIZASO, J., JONES, J. W., ROSENZWEIG, C., RUANE, A. C., ADAM, M., BARON, C., BASSO, B., BIERNATH, C., BOOGAARD, H., CONIJN, S., CORBEELS, M., DERYNG, D., SANCTIS, G., GAYLER, S., GRASSINI, P., HATFIELD, J., HOEK, S., IZAURRALDE, C., JONGSCHAAP, R., KEMANIAN, A. R., KERSEBAUM, K. C., KIM, S. H., KUMAR, N., MAKOWSKI, D., MÜLLER, C., NENDEL, C., PRIESACK, E., PRAVIA, M. V., SAU, F., SHCHERBAK, I., TAO, F., TEIXEIRA, E., TIMLIN, D.; WAHA, K. How do various maize crop models vary in their responses to climate changes factors? **Global Change Biology**, 20, 2301-2320, 2014.
- BATTISTI, R., SENTELHAS, P. C.; BOOTE, K. J. Inter-comparison of performance of soybean crop simulation models and their ensembles in southern Brazil. **Field Crops Research**, 200, 28-37, 2017.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. Drought tolerance of brazilian soybean cultivars simulated by a simple agrometeorological yield model. **Experimental Agriculture**, v.51, p. 285-298, 2015.
- BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. SECRETARIA GERAL. **Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro: Relatório de Recursos Naturais**, 1981.
- BROWN, H. E., HUTH, N. I., HOLZWORTH, D. P., TEIXEIRA, E. I., ZYSKOWSKI, R. F., HARGREAVES, J. N. G., MOOT, D. J. Plant modeling framework: software for building and running crop models on the APSIM platform. **Environmental Modeling & Software**, 62, 385-398, 2014.
- BWAMBALE, J.; MOURAD, K. A. Modelling the impact of climate change on maize yield in Victoria Nile Sub-basin, Uganda. **Arabian Journal of Geosciences**, v.15, p. 40, 2022.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Performance evaluation of diferente potential evapotranspiration models in the state of São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 5, 89-97, 1997.

- CHAUHAN, Y. S., SOLOMON, K. F.; RODRIGUEZ, D. Characterization of north-eastern Australian environments using APSIM for increasing rainfed maize production. **Field Crops Research**, 144, 245-255, 2013.
- CHISANGA, C. B., PHIRI, E., SHEPANDE, C.; SICHINGABULA, H. Evaluating CERES-Maize model using planting dates and nitrogen fertilizer in Zambia. **Journal of Agricultural Science**, 7, 79-97, 2015.
- CORBEELS, M.; CHIRAT, G.; MESSAD, S.; THIERFELDER, C. Performance and sensitivity of DSSAT crop growth model in simulating maize yield under conservation agriculture. **European Journal of Agronomy**, v.76, p. 41-53, 2016.
- COSTA, L. G., MARIN, F. R., NASSIF, D. S. P., PINTO, H. M. S.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Simulating trash and nitrogen management effects on sugar cane yield. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18, 469-474, 2014.
- DIAS, H. B.; SENTELHAS, P. C. Evaluation of three sugarcane simulation models and their ensemble for yield estimation in commercially managed fields. **Field Crops Research**, 231, 174-185, 2017.
- van DIEPEN, C. A.; WOLF, J.; van KEULEN, H.; RAPPOLDT, C. WOFOST: a simulation model of crop production. **Soil Use and Management**, v.5, p. 16-24, 1989.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response do water. **FAO Irrigation and Drainage Paper** 33, 1979.
- DUARTE, Y. C. N.; SENTELHAS, P. C. Intercomparison and performance of maize crop models and their ensemble for yield simulations Brazil. **International Journal of Plant Production**, v.14, p. 127-139, 2020.
- DURAND, J. L., DELUSCA, K., BOOTE, K., LIZASO, J., MANDERSCHIED, R., WEIGEL, H. J., RUANE, A. C., ROSENZWEIG, C., JONES, J., AHUJA, L., ANAPALLI, S. BASSO, B., BARON, C., BERTUZZI, P., BIERNATH, C., DERYNG, D., EWERT, F., GAISER, T., GAYLER, S., HEILEN, F., KERSEBAUM, K. C., KIM, S. H., MULLER, C., NENDEL, C., OLIOSO, A., PRIESACK, E., VILLEGAS, J. R., RIPOCHE, D., ROTTER, R. P., SEIDEL S. I., SRIVASTAVA, A., TAO, F., TIMLIN, D., TWINE T., WANG, E., WEBBER, H., ZHAO, Z. How accurately do maize crop models simulate the interactions of atmospheric CO₂ concentration levels with limited water supply on water use and yield? **European Journal of Agronomy**, 100, 67-75, 2017.
- EMBRAPA Milho e Sorgo. **Ensaios Nacionais de Milho**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/solucoes-tecnologicas/ensaionacional>, 2016.
- EMBRAPA Solo. **Infoteca-e**. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/920267>, 2011.

- EWEYS, O. A.; ELWAN, A. A.; BORHAM, T. I. Integrating WOFOST and Noah LSM for modeling maize production and soil moisture with sensitivity analysis, in the east of The Netherlands. **Field Crops Research**, v.210, p. 147-161, 2014.
- GARCÍA-LOPEZ, J., LORITE, I. J., GARCÍA-RUIZ, R.; DOMÍNGUEZ, J. Evaluation of three simulation approaches for assessing yield of rainfed sunflower in Mediterranean environment for climate change impact modeling. **Climate Change**, 162, 124-147, 2014.
- HEINEMANN, A. B., DINGKUHN, M., LUQUET, D., COMBRES, J. C.; CHAPMAN, S. Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil. **Euphytica**, 162, 395-410, 2008.
- HEINEMANN, A. B.; SENTELHAS, P. C. Environmental group identification for upland rice production in central Brazil. **Scientia Agricola**, v.68, p. 540-547, 2011.
- HOOGENBOOM, G., JONES, J. W., PORTER, C. H., WILKENS, P. W., BOOTE, K. J., BATCHELOR, W. D., HUNT, L. A., TSUJI, G. Y. DSSAT v4 – A decision support system for agrotechnology transfer. **International Consortium of Agricultural Systems Applications**, 2003.
- JABEEN, F., ASIF, M., IFTIKHAR, A.; SALMAN, M. Temperature trends and its impact on Zea mays (maize) crop in Faisalabad city through DSSAT-CERES-Maize model. **Scientia Agriculturae**, 17, 8-14, 2017.
- JUSTINO, F., OLIVEIRA, E. C., RODRIGUES, R. A., GONÇALVES, P. H. L., SOUZA, P. J. O. P., STORDAL, F., MARENGO, J., SILVA, T. G., DELGADO, R. C., LINDEMANN, D. S.; COSTA, L. C. Mean and interannual variability of maize and soybean in Brazil under global warming conditions. **American Journal of Climate Change**, 2, 237-253, 2013.
- KERSEBAUM, K. C. Application of a simple management model to simulate water and nitrogen dynamics. **Ecological Modeling**, v.81, p. 145-156, 1995.
- KINIRY, J. R., WILLIAMS, J. R., VANDERLIP, R. L., ATWOOD, J. D., REICOSKY, D. C., MULLIKEN, J., COX, W. J., HOLLINGER, S. E., WIEBOLD, W. J. Evaluation of two maize models for nine US locations. **Agronomy Journal**, 89, 421-426, 1997.
- KNUTTI, R., ABRAMOWITZ, G., COLLINS, M., EYRING V., GLECKLER, P. J., HEWITSON, B.; MEARN, L. Good practice guidance paper on assessing and combining multi model climate projections. **Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections**, 2010.

- KOSTKOVÁ, M.; HLAVINKA1, P.; POHANKOVÁ, E.; KERSEBAUM, K. C.; NENDEL, C.; GOBIN, A.; OLESEN, J. E.; FERRISE, R.; DIBARI, C.; TAKÁČ, J.; TOPAJ, A.; MEDVEDEV, S.; HOFFMANN, M. P.; STELLA, T.; BALEK, J.; RUIZ-RAMOS, M.; RODRÍGUEZ, A.; HOOGENBOOM, G.; SHELIA, V.; VENTRELLA, D.; GIGLIO, L.; SHARIF, B.; OZTÜRK, I.; RÖTTER, R. P.; BALKOVIČ, J.; SKALSKÝ, R.; MORIONDO, M.; THALER, S.; ŽALUD, Z.; TRNKA, M. Performance of 13 crop simulation models and their ensemble for simulation four field crops in Central Europe. **The Journal of Agricultural Science**, .159, p. 69-89, 2021.
- LI, T., HASEGAWA, T., YIN, X., ZHU, Y., BOOTE, K., ADAM, M., BREGAGLIO, S., BUIS, S., CONFALONIERI, R., FUMOTO, T., GAYDON, D., MARCAIDA, III, M., NAKAGAWA, H., ORIOL, P., RUANE, A. C., RUGET, F., SINGH, B., SINGH, U., TANG, L., TAO, F., WILKENS, P., YOSHIDA, H., ZHANG, Z.; BOUMAN, B. Uncertainties in predicting rice yield by current crop models under a wide range of climatic conditions. **Global Change Biology**, 21, 1328-1341, 2015.
- LI, P.; REN, L. Evaluation the effects of limited irrigation on crop water productivity and reducing deep groundwater exploitation in the North China Plain using an agro-hydrological model: I. Parameter sensitivity analysis, calibration and model validation. **Journal of Hydrology**, v.574, p. 497-516, 2019.
- LIU, H. L., YANG, J. Y., DRURY, C. F., REYNOLDS, W. D., TAN, C. S., BAI, Y. L., HE, P., JIN, J.; HOOGENBOON, G. Using the DSSAT-CERES-Maize model to simulate crop yield and nitrogen cycling in fields under long-term continuous maize production. **Nutrient Cycling in Agrossystems**, 89, 131-328, 2011.
- LIU, Z.; YANG, X.; HUBBARD, K. G.; LIN, X. Maize potential yields and yield gaps in the changing climate of northeast China. **Global Change Biology**, v.18, p. 3441-3454, 2012.
- LIU, J.; LIU, Z.; ZHUA, A.; SHEN, F.; LEI, Q.; DUANF, Z. Global Sensitivity analysis of the APSIM-Oryza rice growth model under different environmental conditions. **Science of the Total Environment**, v.651, p. 953-968, 2019.
- LOPEZ, J. R., ERICKSON, J. E., ASSENG, S.; BOBEDA, E. L. Modification of the CERES grain sorghum model to simulate optimum sweet sorghumrooting depth for rainfed production oc coarse textured soils in a sub-tropical environment. **Agricultural Water Management**,181, 47-55, 2017.
- MARKOVIĆ, M.; JOSIPOVIĆ, M; TOVJANIN, M. J.; ĐURĐEVIĆ, V.; RAVLIĆ, M.; BARAČ, Z. Validating AquaCrop model for rainfed and irrigated maize and soybean production in eastern Croatia. **Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service**, v.124, p. 277-297, 2020.

- MARTRE, P., WALLACH, D., ASSENG, S., EWERT, F., JONES, J. W., ROTTER, R. P., BOOTE, K. J., RUANE, A. C., THORBURNE, P. J., CAMMARANO, D., HATFIELD, J. L., ROSENZWEIG, C., AGGARWAL, P. K., ÂNGULO, C., BASSO, B., BERTUZZI, P., BIERNATH, C., BRISSON, N., CHALLINOR, A. J., DOLTRA, J., GAYLER, S., GOLDBERG, R., GRANT, R. F., HENG, L., HOOKER, J., HUNT, L. A., INGWERSEN, J., IZAURRALDE, R. C., KERSEBAUM, K. C., MULLER, C., KUMAR, S., NENDEL, C., O'LEARY, G., OLESEN, J. A., OSBORNE, T., PALOSUO, T., PRIESACK, E., RIPOCHE, D., SEMENOV, M. A., SHCHERBAK, I., STEDUTO, P., STOCKLE, C. O., STRATONOVITCH, P., STRECK, T., SUPIT, I., TAO, F., TRAVASSO, M., WAHA, K., WHITE, J. W.; WOLF, J. Multimodel ensembles of wheat growth: many models are better than one. **Global Change Biology**, 21, 911-925, 2015.
- MONTEIRO, L. A. Sugarcane yield gap in Brazil: a crop modelling approach. **Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em agronomia**, ESALQ/USP, 2015.
- MONTEIRO, J. E. B. A., ASSAD, E. D., SENTELHAS, P. C.; AZEVEDO, L. C. Modeling of corn yield in Brazil as a function of meteorological conditions and technological level. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 52, 137-148, 2017.
- MONTEIRO, L. A.; SENTELHAS, P. C. Sugarcane yield gap: can it be determined at national level with a simple agrometeorological model? **Crop & Pasture Science**, 68, 272-284, 2017.
- MÜLLER, C.; FRANKE, J.; JÄGERMEYR, J.; RUANE, A. C.; ELLIOTT, J.; MOYER, E.; HEINKE, J.; FALLOON, P. D.; FOLBERTH, C.; FRANCOIS, L.; HANK, T.; IZAURRALDE, R. C.; JACQUEMIN, I.; LIU, W.; OLIN, S.; PUGH, T. A. M.; WILLIAMS, K; ZABEL, F. Exploring uncertainties in global crop yield projections in a large ensemble of crop models and CMIP5 and CMIP6 climate scenarios. **Environmental Research**, v.16, e(034040), 2021.
- NEGM, L. M., YOUSSEF, M. A.; JAYNES, D. B. Evaluation of DRAINMOD-DSSAT simulated effects of controlled drainage on crop yield, water balance, and water quality for a corn-soybean cropping system in central Iowa. **Agricultural Water Management**, 187, 57-68, 2017.
- NENDEL, C.; BERG, M.; KERSEBAUM, K. C.; MIRSCHEL, W.; SPECKA, X.; WEGEHENKEL, M.; WENKEL, K. O.; WIELAND, R. The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. **Ecological Modeling**, v.222, p. 1614-1625, 2011.
- NENDEL, C.; KERSEBAUM, K. C.; MIRSCHEL, W.; WENKELLEIBNIZ, K. O. Testing farm management options as climate change adaptation strategies using the MONICA model. **European Journal of Agronomy**, v.52, p. 47-56, 2014.
- PALOSUO, T., KERSEBAUM, K. C., ANGULO, C., HILAVINKA, P., MORIONDO, M., OLESEN, J. E., PATIL, R. H., RUGET, F., RUMBAUR, C., TAKÁC, J., TRNKA, M., BINDI, M., CALDAG, C., EWERT, F., FERRISE, R., MIRSCHEL, W., SAYLAN, L., SISKA, B.; ROTTER, R. Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: a comparison, of eight crop growth models. **European Journal Agronomy**, 35, 103-114, 2011.

- PEAK, A. S., ROBERTSON, M. J.; BIDSTRUP, R. J. Optimizing maize plant population and irrigation strategies on the Darling Downs using the APSIM crop simulation model. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, 48, 313-325, 2008.
- PICCINI, G., KO, J., MAREK, T.; HOWELL, T. Determination of growth-stage-specific crop coefficients (K_c) of maize and sorghum. **Agricultural Water Management**, 96, 1698-1704, 2009.
- RAES, D., GEERTS, S., KIPKORIR, E., WELLENS, J.; SHALI, A. Simulation of yield decline as a result of water stress with a robust soil water balance model. **Agricultural Water Management**, 81, 335-357, 2006.
- ROSENZWEIG, C., JONES, J. W., HATFIELD, J. L., RUANE, A. C., BOOTE, K. J., THORBURN, P., ANTLE, J. M., NELSON, G. C., PORTER, C., JANSSEN, S., ASSENG, S., BASSO, B., EWERT, F., WALLACH, D., BAIGORRIA, G.; WINTER, J. M. The agricultural model intercomparison and improvement project (AgMIP): Protocols and pilot studies. **Agricultural and Forest Meteorology**, 170, 166-182, 2013.
- SENTELHAS, P. C., BATTISTI, R., CÂMARA, G. M. S., FARIAS, J. R. B., HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agriculture and Science**, 158, 1394-1411, 2015.
- SHAHHOSSEINI, M.; HU, G.; ARCHONTOULIS S. V. Forecasting corn yield with machine learning ensembles. **Frontiers in Plant Science**, v.11, p. 16, 2020.
- SHIOGA, P. S., GERAGE, A. C., ARAÚJO, P. M., SERA, G. H. Avaliação estadual de cultivares de milho safra 2009/2010. **IAPAR Boletim Técnico** nº69, 7-112, 2010.
- SHIOGA, P. S., GERAGE, A. C., ARAÚJO, P. M., BIANCO, R. Avaliação estadual de cultivares de milho segunda safra 2012. **IAPAR Boletim Técnico** nº78, 7-114, 2012.
- SHRESTHA, S., CHAMPAGAIN, R.; BABEL, M. S. Quantifying the impact of climate change on crop yield and water footprint on rice in the Nam Oon irrigation Project, Thailand. **Science of the Total Environment**, 599-600, 689-699, 2017.
- SINGH, P. K., SINGH, K. K., BHAN, S. C., BAXLA, A. K., SINGH, S., RATHORE, L. S.; GUPTA, A. Impact of projected climate change on rice (*Oryza sativa* L.) yield using CERES-rice model in a different agroclimatic zones of India. **Current Science**, 112, 108-115, 2017.
- SOLER, C. M. T., SENTELHAS, P. C.; HOOGENBOON, G. The impact of El Niño Southern Oscillation phases on off-season maize yield for a subtropical region of Brazil. **International Journal of Climatology**, 30, 1056-1066, 2010.
- SOUZA, R. F., BARROS, A. C., BARROS, A. H. C.; TABOSA, J. N. Estimates for maize yield (*Zea mays* L.) in rainfed and irrigated crops determined by the method of Agroecological Zone/FAO (MZA/FAO), state of Alagoas, Brazil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 8, 127-138, 2014.

- SPECKA, X.; NENDEL, C.; WIELAND, R. Analysing the parameter sensitivity of the agro-ecosystem model MONICA for different crops. **European Journal of Agronomy**, v.71, p. 73-87, 2015.
- TAO, F.; ZHANG, Z.; LIU, J.; YOKOZAWA, M. Modelling the impacts of weather and climate variability on crop productivity over a large area: A new super-ensemble-based probabilistic projection. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, p. 1266-1278, 2009.
- WALLACH, D., MEARNNS, L. O., RUANE, A. C., ROTTER, R. P.; ASSENG, S. Lessons for climate modeling on the design and use of ensembles for crop modeling. **Climatic Change**, 139, 551-564, 2016.
- WANG, J., WANG, E., YANG, X., ZHANG, F.; YIN, H. Increased yield potential of wheat-maize cropping system in the north China plain by climate change adaptation. **Climatic Change**, 113, 825-840, 2012.
- WANG, Y.; GUO, F.; SHEN, H.; XING, X.; MA, X. Global sensitivity analysis and evaluation of the DSSAT model for summer maize (*Zea mays* L.) under irrigation and fertilizer stress. **International Journal of Plant Production**, v.15, p. 523-539, 2021.
- WILLMOT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p. 184-194, 1981.
- de WIT, A. J. W.; van DIEPEN, C. A. Crop model data assimilation with the Ensemble Kalman filter for improving regional crop yield forecast. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.146, p. 38-56, 2007.
- de WIT, A. J. W., BOOGARD, H.; FUMAGALLI, D.; JANSSEN, S.; KNAPEN, R.; van KRAALINGEN, D.; SUPIT, I.; van der WIJNGAART, R.; van DIEPEN, K. 25 years of the WOFOST cropping systems model. **Agricultural Systems**, v.168, p. 154-167, 2019.
- XAVIER, A. C., KING, C. W., SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, 36, 2644-2659, 2016.
- XU, X.; SHEN, S.; XIONG, S.; MA, X.; FAN, Z.; HAN, H. Water stress is a key factor influencing the parameter sensitivity of the WOFOST model in different agro-meteorological conditions. **International Journal of Plant Production**, v.15, p. 231-242, 2021.
- YIN, X., KERSEBAUMB, K. C., KOLLAS, C., MANEVSKIA, K., BABY, S., BEAUDOIN, N., ÖZTÜRK, I., GAISER, T., WU, L., HOFFMANN, M., CHARFEDDINE, M, CONRADT, T., CONSTANTIN, J., EWERT, F., CORTAZAR-ATAURI, N. G., GIGLIO, L., HLAVINKA, P., HOFFMANN, H., LAUNAY, M., LOUARN, G., MANDERSCHIED, R., MARY, B., MIRSCHEL, W., NENDEL, C., PACHOLSKI, A., PALOSUO, T., RIPOCHE-WACHTER, D., RÖTTER, R. P., RUGET, F., SHARIF, B., TRNKA, M., VENTRELLA, D., WEIGEL, H.; OLESEN, J. E. Performance of process-based models for simulation of grain N in crop rotation across Europe. **Agricultural Systems**, 154, 63-77, 2017.

ZHANG, L., WALKER, G. R.; DAWES, W.R. WATER BALANCE MODELING: CONCEPTS AND APPLICATIONS. EM: MECVICAR, T. R., RUI, L, WALKER, J, FITZPATRICK, R. W., CHANGMING, L. Regional water and soil assessment for managing sustainable agriculture in China and Australia. **Adelaide: CISRO**, 2002.

ZHANG, Y.; ZHAO, Y. Ensemble yield simulation: using heat-tolerant and later-maturing varieties to adapt to climate warming. **PLoS ONE**, 12, e(0176766), 2017.

ZHAO, Y.; WANG, C.; ZHANG, Y. Uncertainties in the effects of climate change on maize yield simulation in Jilin Province: A case study. **Journal of Meteorological Research**, v.33, p. 777-783, 2019.

Material Suplementar

Tabela S1. Local dos experimentos de onde foram extraídos os dados de clima, solo e produtividade do milho para o presente estudo.

Cidade	UF	Long. (°)	Lat. (°)	Altitude (m)	Etapa
Abelardo Luz	SC	-52,26	-26,56	760	Calibração
Araguari	MG	-48,00	-18,06	1013	Validação
Arapoti	PR	-49,81	-24,15	860	Validação
Araxá	MG	-46,93	-19,58	973	Validação
Balsas	MA	-46,34	-8,24	283	Calibração
Bambuí	MG	-45,96	-20,00	726	Validação
Birigui	SP	-50,33	-21,28	406	Validação
Boa Ventura de São Roque	PR	-51,61	-24,86	870	Validação
Brasília	DF	-47,82	-15,78	1171	Calibração
Cachoeira do Sul	RS	-52,88	-30,00	26	Validação
Cambe	PR	-51,26	-26,26	680	Calibração
Campo Grande	MS	-54,25	-20,91	592	Calibração
Campo Mourão	PR	-52,36	-24,03	630	Validação
Campos Novos	SC	-51,22	-27,41	947	Validação
Campo Verde	MT	-55,16	-15,55	736	Validação
Condói	PR	-52,05	-25,57	930	Validação
Canoinhas	SC	-50,38	-26,17	839	Validação
Carazinho	RS	-52,78	-28,28	603	Validação
Cascavel	PR	-53,38	-25,03	781	Calibração
Castro	PR	-49,84	-24,80	988	Calibração
Catalão	GO	-47,67	-17,93	835	Validação
Catanduvas	PR	-53,15	-25,20	762	Validação
Ceres	GO	-49,40	-15,30	590	Validação
Chapadão do céu	GO	-52,65	-18,38	840	Validação
Coromandel	MG	-47,20	-18,47	928	Validação
Cristalina	GO	-47,60	-16,76	1189	Validação
Cruzeiro do Iguaçu	PR	-53,10	-25,60	475	Validação
Dois Vizinhos	PR	-53,05	-25,75	509	Validação
Goianésia	GO	-49,1	-15,33	640	Validação
Goiânia	GO	-49,28	-16,64	749	Calibração
Goiatuba	GO	-49,33	-18,00	720	Validação
Guaíra	SP	-48,36	-20,31	220	Validação
Guarapuava	PR	-51,45	-25,38	1120	Validação
Iguatama	MG	-45,70	-20,17	664	Validação

Ilicínea	MG	-45,81	-20,93	852	Validação
Inhumas	GO	-49,50	-16,33	770	Validação
Iraí de Minas	MG	-47,45	-18,98	951	Validação
Itumbiara	GO	-49,42	-18,35	448	Calibração
Jataí	GO	-51,71	-17,91	663	Calibração
Lagoa Vermelha	RS	-51,50	-28,20	801	Validação
Londrina	PR	-51,11	-23,51	610	Calibração
Machado	MG	-45,52	-21,66	820	Validação
Maracaju	MS	-55,17	-21,60	384	Validação
Maripá	PR	-53,81	-24,41	402	Validação
Mineiros	GO	-52,55	-17,56	770	Validação
Morrinhos	GO	-49,13	-17,77	771	Calibração
Palma Sola	SC	-53,27	-26,33	870	Validação
Palmeiras de Goiás	GO	-49,91	-16,80	596	Validação
Palotina	PR	-53,82	-24,27	320	Calibração
Papanduva	SC	-50,13	-26,37	788	Validação
Passo Fundo	RS	-52,4	-28,25	687	Validação
Pato Branco	PR	-52,66	-26,21	760	Validação
Pelotas	RS	-52,41	-31,78	13	Calibração
Piracanjuba	GO	-49,01	-17,30	740	Validação
Piracicaba	SP	-47,60	-22,70	547	Calibração
Pitanga	PR	-51,75	-24,75	952	Validação
Planaltina	GO	-47,60	-15,45	971	Calibração
Ponta Grossa	PR	-50,15	-25,08	975	Validação
Porangatu	GO	-49,13	-13,43	496	Calibração
Presidente Olegário	MG	-46,41	-18,41	947	Validação
Primavera do Leste	MT	-54,22	-15,10	636	Calibração
Quirinópolis	GO	-50,45	-18,37	541	Validação
Rio Brillhante	MS	-54,53	-21,80	312	Calibração
Rio Negro	PR	-49,79	-26,10	780	Validação
Rio Verde	GO	-51,04	-17,74	748	Validação
Rolândia	PR	-51,35	-23,30	750	Validação
São Carlos	SP	-47,89	-21,01	856	Calibração
São Desiderio	BA	-45,00	-12,30	492	Validação
São Raimundo das Mangabeiras	MA	-45,50	-7,00	225	Calibração
Sarandi	RS	-52,91	-27,93	503	Validação
Tapejara	RS	-52,00	-28,70	658	Validação
Toledo	PR	-53,73	-24,70	550	Calibração
Três Pontas	MG	-45,5	-21,37	905	Validação
Turvaria	GO	-50,13	-16,60	603	Validação

Uberaba	MG	-47,98	-19,58	823	Validação
Uberlândia	MG	-48,27	-18,92	863	Validação
Unai	MG	-46,82	-16,38	640	Calibração
Uruaçu	GO	-49,13	-14,51	543	Validação

Tabela S2. Perfis de solo utilizados para simulação da produtividade pelos modelos DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST-Maize, MONICA-Maize e MZA-FAO.

Tipo de solo	Perfil	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	LI	LS	SAT	pH
Neossolo quartzarênico órtico	10	10,0	11,0	79,0	0,073	0,182	0,419	5,4
	20	8,2	6,5	85,3	0,056	0,144	0,419	5,5
	40	13,3	10,6	76,1	0,078	0,185	0,402	5,5
	60	12,2	6,1	81,7	0,081	0,166	0,404	5,5
	80	16,3	6,6	77,1	0,103	0,202	0,424	5,9
	100	14,1	6,1	79,8	0,095	0,163	0,374	6,3
Latossolo Vermelho	25	73,0	9,0	18,0	0,248	0,287	0,615	5,4
	50	77,0	6,0	17,0	0,250	0,315	0,596	5,5
	100	78,0	4,0	18,0	0,252	0,312	0,592	5,5
Argissolo distrófico	17	6,0	4,0	90,0	0,050	0,100	0,320	6,9
	67	10,0	3,0	87,0	0,050	0,110	0,280	6,0
	115	25,0	5,0	70,0	0,130	0,170	0,200	5,4
	147	31,0	5,0	64,0	0,220	0,290	0,370	5,4
	177	31,0	4,0	65,0	0,220	0,300	0,360	5,3
Neossolo quartzarênico órtico	12	3,0	3,0	94,0	0,028	0,032	0,522	5,3
	42	3,0	2,0	95,0	0,019	0,023	0,490	5,0
	58	4,0	3,0	93,0	0,022	0,028	0,507	5,1
	70	5,0,0	3	92,0	0,027	0,035	0,449	5,1
	125	6,0	2,0	92,0	0,024	0,031	0,453	5,2
	240	6,0	1,0	93,0	0,024	0,031	0,453	4,9
	290	6,0	1,0	93,0	0,024	0,031	0,453	4,9
Argissolo distrófico	8	24,9	55,8	19,3	0,252	0,326	0,668	4,7
	15	28,8	58,9	12,3	0,252	0,326	0,668	4,1
	25	29,8	47,8	22,4	0,170	0,304	0,457	4,5
	50	32,8	36,9	30,3	0,170	0,304	0,457	4,7
	80	39,0	42,1	18,9	0,297	0,460	0,460	4,8
	110	48,7	37,6	13,7	0,297	0,460	0,460	5,0
	250	49,8	39,2	11,0	0,297	0,460	0,460	5,0
Latossolo Vermelho	10	58,3	12,6	29,1	0,225	0,385	0,522	4,9
	20	45,9	22,7	31,4	0,207	0,340	0,507	5,3
	40	56,6	20,6	22,8	0,228	0,356	0,510	5,2
	60	57,8	19,0	23,2	0,242	0,364	0,522	5,4
	80	57,9	15,5	26,6	0,237	0,352	0,503	5,3
	100	57,2	18,5	24,3	0,249	0,375	0,499	5,5
Nitossolo Vermelho	14	66,7	21,3	12,0	0,266	0,380	0,449	4,9
	30	80,0	12,4	7,6	0,306	0,416	0,513	4,7

distrófico	56	83,1	10,0	6,9	0,334	0,463	0,502	4,7
	105	75,7	15,3	9,0	0,319	0,453	0,479	4,6
	160	69,0	23,7	7,3	0,301	0,457	0,479	4,6
	200	59,0	32,0	9,0	0,285	0,446	0,479	4,5

Perfil = profundidade do perfil do solo (cm); LI = limite inferior de retenção de água no solo (cm^3 [água]/ cm^3 [solo]); LS = limite superior de retenção de água no solo (cm^3 [água]/ cm^3 [solo]); SAT = ponto de saturação de água no solo (cm^3 [água]/ cm^3 [solo]); pH = pH medido em água.

Tabela S3. Coeficientes do modelo DSSAT-CERES-*Maize* antes e depois do processo de calibração.

Calibração	P1	P2	P5	G2	G3	PHINT
Não calibrado	250,0	0,50	842,00	920,0	4,80	45,0
Calibrado	262,5	0,50	1295,0	760,0	5,50	42,0

P1 = Tempo térmico (base 8°C) necessário da emergência até o final do período juvenil; P2 = Coeficiente de sensibilidade ao fotoperíodo; P5 = Tempo térmico (base 8°C) necessário do início do ‘emborrachamento’ até a maturidade fisiológica; G2 = número máximo de grãos por espiga; G3 = Taxa potencial do acúmulo de biomassa pelos grãos ($\text{mg grain}^{-1} \text{d}^{-1}$) em condições potenciais de desenvolvimento; PHINT = Tempo térmico necessário para o desenvolvimento completo de uma folha (filocrono).

Tabela S4. Coeficientes do modelo APSIM-*Maize* antes e depois do processo de calibração.

Calibração	end_juv	flag_to_flw	flw_to_mat	mat_ripe	grain_max	gth_rate
Não calibrado	270,0	1,00	980,00	1,00	850,0	8,0
Calibrado	260,0	18,0	1330,0	25,0	780,0	8,6

end_juv = Tempo térmico (base 8°C) necessário da emergência até o final do período juvenil (°C dia); flag_to_flw = Tempo térmico (base 8°C) entre o início da emissão da inflorescência masculina até a emissão da inflorescência feminina; flw_to_mat = Tempo térmico (base 8°C) entre o início do enchimento de grãos até a maturidade fisiológica (°C dia); mat_ripe = Tempo térmico (base 8°C) entre a maturidade fisiológica e a colheita; grain_max = número máximo de grãos por espiga; gth_rate = Taxa potencial do acúmulo de biomassa pelo grão ($\text{mg grão}^{-1} \text{dia}^{-1}$).

Tabela S5. Coeficientes do modelo WOFOST-*Maize* antes e depois do processo de calibração.

Coeficiente	Estágio	Não calibrado	Calibrado
TBASEM	Emergência	10,0	8,0
TEFFMX	Emergência	30,0	35,0
TSUMEM	Emergência	70,0	100,0
IDSL	Desenvolvimento	0,0	0,0
TSUM1	Desenvolvimento	750	856
TSUM2	Desenvolvimento	859	1580
DTSMTB	Desenvolvimento	0,0; 0,0; 8,0; 0,0; 30,0; 22,0; 35,0; 22,0	0,0; 0,0; 8,0; 0,0; 30,0; 22,0; 35,0; 22,0
RDMCR	Enraizamento	75	150
LAIEM	Início do desenvolvimento	0,2604	0,0010
RGRLAI	Início do desenvolvimento	0,050	0,035
SLATB	Área Verde	0,00; 0,0035; 1,00; 0,0016; 2,00; 0,0016	0,00; 0,0035; 1,00; 0,0012; 2,00; 0,0008
AMAXTB	Assimilação	0,00; 70,00; 1,25; 70,00; 1,50; 63,00; 1,75; 49,00; 2,00; 0,00	0,00; 37,50; 1,25; 42,00; 1,50; 46,00; 1,75; 48,00; 2,00; 0,00
FLTB	Particionamento	0,00; 0,62; 0,48; 0,62; 0,90; 0,28; 1,25; 0,00; 1,37; 0,00; 2,00; 0,00	0,00; 0,62; 0,48; 0,62; 0,90; 0,28; 1,00; 0,00; 1,37; 0,00; 2,00; 0,00
FSTB	Particionamento	0,00; 0,38; 0,48; 0,38; 0,90; 0,72; 1,25; 0,24; 1,37; 0,00; 2,00; 0,00	0,00; 0,38; 0,48; 0,38; 0,90; 0,72; 1,00; 0,24; 1,37; 0,00; 2,00; 0,00
FOTB	Particionamento	0,00; 0,00; 0,48; 0,00; 0,90; 0,00; 1,25; 0,76; 1,37; 1,00; 2,00; 1,00	0,00; 0,00; 0,48; 0,00; 0,90; 0,00; 1,00; 0,76; 1,37; 1,00; 2,00; 1,00

TBASEM = Temperatura basal inferior para a emergência; TEFFMX = Temperatura basal superior para emergência ; TSUMEM = Tempo térmico (°C dia) entre a semeadura e a emergência; IDSL = indica se o desenvolvimento pré-antese depende da temperatura (0), duração do dia (1) ou ambos (2); TSUM1 = Tempo térmico entre a emergência e a antese (°C dia); TSUM2 = Tempo térmico entre a antese e a maturidade (°C dia); DTSMTB = Incremento diário na soma térmica em função da temperatura média; RDMCR = Profundidade máxima do sistema radicular; LAIEM = Índice de área foliar (IAF) na emergência (ha ha⁻¹; RGRLAI = Aumento relativo máximo do IAF (ha ha⁻¹ dia⁻¹); SLATB = Área foliar específica em função da etapa de desenvolvimento da cultura; AMAXTB = Taxa máxima de assimilação de CO₂ em função da etapa de desenvolvimento da cultura; FLTB = Fração da matéria seca acima da superfície destinada para as folhas em função da etapa de desenvolvimento da cultura; FETB = Fração da matéria seca acima da superfície destinada para as estruturas reprodutivas em função da etapa de desenvolvimento da cultura; FOTB = Fração da matéria seca acima da superfície destinada para as estruturas de armazenamento.

Tabela S6. Coeficientes do modelo MONICA-*Maize* antes e depois do processo de calibração.

Coeficiente	Estagio	Não calibrado	Calibrado
AssimilatePartitioningCoeff	1	0,60; 0,40; 0,00; 0,00	0,60; 0,40; 0,00; 0,00
AssimilatePartitioningCoeff	2	0,55; 0,25; 0,20; 0,00	0,55; 0,25; 0,20; 0,00
AssimilatePartitioningCoeff	3	0,20; 0,20; 0,60; 0,00	0,20; 0,20; 0,60; 0,00
AssimilatePartitioningCoeff	4	0,05; 0,05; 0,65; 0,25	0,10; 0,10; 0,65; 0,15
AssimilatePartitioningCoeff	5	0,00; 0,00; 0,00; 1,00	0,05; 0,05; 0,10; 0,80
AssimilatePartitioningCoeff	6	0,00; 0,00; 0,00; 1,00	0,00; 0,00; 0,00; 1,00
AssimilatePartitioningCoeff	7	0,00; 0,00; 0,00; 1,00	0,00; 0,00; 0,00; 1,00
CriticalTemperatureHeatStress	-	31	40
DroughtStressThreshold	1	0,50	0,25
DroughtStressThreshold	2	0,50	0,30
DroughtStressThreshold	3	0,50	0,35
DroughtStressThreshold	4	0,50	0,40
DroughtStressThreshold	5	0,60	0,50
DroughtStressThreshold	6	0,60	0,40
DroughtStressThreshold	7	0,20	0,20
OrganIdsForPrimaryYield-yieldDryMatter	-	0,86	0,80
OrganIdsForPrimaryYield-yieldPercentage	-	0,78	0,43
StageKcFactor	1	0,40	0,40
StageKcFactor	2	1,00	0,80
StageKcFactor	3	1,00	1,20
StageKcFactor	4	1,20	1,30
StageKcFactor	5	1,25	1,45
StageKcFactor	6	1,25	1,35
StageKcFactor	7	1,00	0,80
StageTemperatureSum	1	68	13
StageTemperatureSum	2	284	460
StageTemperatureSum	3	190	330
StageTemperatureSum	4	250	80
StageTemperatureSum	5	200	160
StageTemperatureSum	6	400	1340
StageTemperatureSum	7	25	80

AssimilatePartitioningCoeff = Coeficiente de particionamento do acumulado de biomassa em cada estágio do desenvolvimento da planta de milho; CriticalTemperatureHeatStress = Temperatura crítica para o desenvolvimento da planta; DroughtStressThreshold = Limiar de estresse hídrico; OrganIdsForPrimaryYield-yieldDryMatter = Taxa de matéria seca destinada para órgãos reprodutores; OrganIdsForPrimaryYield-yieldPercentage = Percentual de biomassa acumulada destinada pra órgãos reprodutores; StageKcFactor = Valor de Kc em função do estágio de desenvolvimento da cultura; StageTemperatureSum = soma térmica em função do estágio de desenvolvimento da cultura.

Tabela S7. Coeficientes do modelo MZA-FAO antes do processo de calibração.

Estágio	k_c	k_y	$C_{colheita}$
Estabelecimento	1,00	0,40	
Desenvolvimento vegetativo	1,20	0,50	
Florescimento	1,20	0,90	0,40
Enchimento de grãos	0,60	1,50	
Maturidade	0,35	2,30	

Tabela S8. Coeficiente k_c do modelo MZA-FAO depois do processo de calibração.

Kc										
Dezena	Unidade									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,13	0,165	0,20	0,25	0,3	0,325	0,35	0,375	0,395	0,41
2	0,42	0,43	0,435	0,44	0,45	0,455	0,46	0,465	0,47	0,475
3	0,48	0,485	0,49	0,495	0,5	0,505	0,51	0,515	0,52	0,525
4	0,53	0,535	0,54	0,545	0,55	0,555	0,56	0,565	0,57	0,575
5	0,58	0,59	0,595	0,6	0,605	0,61	0,615	0,62	0,625	0,63
6	0,64	0,645	0,65	0,66	0,665	0,67	0,68	0,685	0,69	0,695
7	0,70	0,705	0,71	0,715	0,72	0,725	0,73	0,735	0,74	0,745
8	0,75	0,755	0,76	0,765	0,77	0,78	0,785	0,795	0,8	0,81
9	0,82	0,84	0,85	0,865	0,88	0,9	0,92	0,955	0,99	1,1
10	1,20	1,31	1,435	1,55	1,60	1,635	1,65	1,66	1,675	1,69
11	1,68	1,665	1,625	1,6	1,55	1,49	1,41	1,36	1,28	1,13
12	1,00	0,92	0,855	0,82	0,79	0,75	0,74	0,735	0,71	0,70
13	0,68	0,67	0,66	0,645	0,63	0,62	0,605	0,59	0,575	0,56
14	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,44	0,41	0,38	0,30	0,25

Tabela S9. Coeficientes k_y e índice de colheita ($c_{colheita}$) do modelo MZA-FAO depois do processo de calibração.

	Valores decenciais													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
K_y	1,0	8,78	8,78	8,79	8,79	8,80	8,85	8,90	23,1	23,1	12,8	12,8	12,0	11,9
$C_{colheita}$	0,4732													

4. CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS: SELEÇÃO REPRESENTATIVA DOS MODELOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E SEUS IMPACTOS NA TEMPERATURA E NA CHUVA DO BRASIL

Resumo

Os efeitos do clima futuro e os impactos antrópicos nas emissões de gases do efeito estufa (GEE) são cada vez mais temas de discussão dentro do contexto agrícola e da gestão da segurança alimentar dos países, inclusive do Brasil. Para entender melhor esses efeitos, se faz necessário o uso de modelos globais climáticos (GCM em inglês) para simular o clima futuro, conforme descrito pelo Quinta Fase do Projeto de Intercomparação de Modelos (CMIP-5), promovido pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC em inglês). Para que esses cenários futuros sejam devidamente projetados, são necessárias séries históricas de dados climáticos em escala diária, devidamente preenchidos e validados. Além disso, devido a grande quantidade de GCMs propostas pelo IPCC e a variabilidade nos dados obtidos das simulações demandam o uso de estratégias para mitigação da variabilidade dos dados sem abrir mão da representatividade dos modelos (Ruane e McDermid, 2017). Assim, o presente estudo teve por objetivos: gerar cenários de mudanças climáticas de médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099) a partir de séries de dados climáticos históricos, compreendidos entre 1980 e 2009, devidamente preenchidos e consolidados, para os 29 GCMs disponibilizados pelo IPCC para os cenários de emissão RCP 4.5 e RCP 8.5 em 97 localidades brasileiras; selecionar os GCMs representativos segundo método proposto por Ruane e McDermid (2017) para os perfis de clima: quente e úmido (QU); quente e seco (QS); frio e úmido (FU); frio e seco (FS) e médio (ME) para 97 localidades brasileiras; quantificar o impacto das mudanças climáticas na temperatura e na chuva do Brasil bem como os padrões por elas apresentados em relação ao período histórico informado (1980 até 2009). Com base nas séries de dados climáticos utilizadas no estudo para as diferentes cidades brasileiras, observou-se aumento nas temperaturas máximas e mínimas em todo território nacional ao longo de todo o ano, sendo que as regiões com latitudes entre 21 e 7° sul foram as que apresentaram os maiores aumentos, alcançando 3,5°C para temperatura mínima e 4°C para temperatura máxima no RCP 4.5 e 6,25°C para temperatura mínima e 7,3°C para temperatura máxima ao final do período (2099). Já os efeitos na chuva foram mais diversos ao longo do território brasileiro bem como ao longo do tempo. Foi observado um padrão de aumento de chuvas concentrado em latitudes inferiores a 26,5° sul, enquanto que os estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e norte do Paraná apresentaram pouco ou nenhum aumento na precipitação, podendo ser caracterizados como áreas de transição para os efeitos das mudanças climáticas na chuva, já que, para regiões mais ao norte, um padrão de redução no acumulado de chuvas pode ser observado, principalmente para o final do século XXI e numa condição de RCP 8.5.

Palavras-chave: Modelos climáticos globais; Mudanças climáticas; Cenários de temperatura futuros; Cenários de chuva futuros.

Abstract

The effects on the future climate and the anthropic impacts on greenhouse gases emissions are increasingly discussed on the agricultural context and food security management in different countries, including Brazil. Aimed to understand these effects, it is necessary to use global climate models (GCM) to simulate the climate of the future, as described by the Couple Model Intercomparison Project - Phase 5 (CMIP-5), powered by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC in English). In order to estimate the climate changes impacts, completed and validated daily meteorological data are needed. Furthermore, the large number of GCM proposals by IPCC and the variability in the data obtained from their simulations require some use of strategies to mitigate output variability in the hands of the representativeness of the models (Ruane and McDermid, 2017). Thus, the present study aimed to: simulate the medium (2040-2069) and the long-term (2070-2099) climate

change scenarios from historical climate data series, between 1980 and 2009, duly completed and validated, for the 29 GCMs described by IPCC (2014) for the RCP 4.5 and RCP 8.5 emission scenarios in 97 Brazilian locations; select a representative subset of GCMs as proposed by Ruane and McDermid (2017) for the climate profiles: hot and humid (HW); hot and dry (HD); cold and wet (CW); cold and dry (CD) and medium (ME) for 97 Brazilian locations; quantify the impact of climate change on temperature (maximum and minimum) and rainfall in Brazil, as well as the patterns presented by them in relation to the historical period reported (1980 to 2009). Based on the series of climatic data used in the study for the different Brazilian cities, an increase in maximum and minimum temperatures was observed throughout all the Brazilian territory throughout the seasons. The regions with latitudes between 21 and 7° south were the ones that showed the highest temperature increases, reaching 3.5°C for minimum temperature and 4°C for maximum temperature in RCP 4.5 and 6.25°C for minimum temperature and 7.3°C for maximum temperature in the end of the long-term period (2099). The effects on rain were more diverse throughout the Brazilian territory as well as over seasons. An increased rainfall pattern was observed in latitudes below 26.5° south, while the states of São Paulo, Mato Grosso do Sul and northern Paraná showed a little or any increase in rainfall, which can describe these regions as transition areas for the effects of climate change in rainfall. For regions further north, a reduction in accumulated rainfall pattern was observed, mainly towards the end of the 21st century and in a condition of RCP 8.5.

Keywords: Global climatic models; Climate changes; Future temperature scenarios; Future rain scenarios.

4.1. Introdução

Em relatório sobre o impacto das mudanças climáticas, o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC) evidencia o aumento na temperatura média global, principalmente para regiões tropicais, impulsionadas pelos aumentos das emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE) (IPCC, 2013). Diversos autores apontam o impacto das mudanças climáticas projetadas sobre as condições de temperatura e de distribuição das chuvas na produtividade, épocas de semeadura e também nos polos produtivos das culturas agrícolas no Brasil e no mundo (Jones e Thornton, 2003; Pires et al., 2016; Parent et al., 2018; Camilo et al., 2018; Martins et al., 2019; Spera et al., 2020), afetando diretamente os parâmetros de segurança alimentar dos países (IPCC, 2014).

Para estimar os impactos das condições futuras no clima do Brasil se faz necessário o uso de modelos globais climáticos (*Global Climatic Models - GCM*) oferecidos pelo quinto relatório do Projeto de Intercomparação de Modelos (*Coupled Model Intercomparison - Phase 5, CMIP-5*) (Taylor et al., 2012; IPCC, 2014; Bender, 2017; Ruane e McDermid, 2017, Pinto et al., 2018 e Chervenko e Slavov, 2020). Em sua quinta edição, os GCMs trabalham os cenários de mudanças climáticas a partir da adoção de forçantes radiativas que expressam a variação no balanço de energia no sistema atmosférico do planeta em relação ao período pré-industrial (Taylor et al., 2012). Essas forçantes foram denominadas de Caminhos Representativos de Concentrações (*Representative Concentration Pathways - RCPs*) e tratam da projeção das concentrações dos GEE ao longo de todo o cenário futuro e não apenas o valor final dessa concentração no cenário de emissão em questão (Moss

et al., 2010; Van Vuuren et al., 2011), diferentemente da sua versão anterior, descrita pelo quarto Relatório de Avaliação (AR4) do IPCC (2007).

Quatro cenários de forçantes radiativas foram propostos pelo CMIP-5, dos quais dois tratam os cenários de emissão de GEE numa condição moderada (RCPs 4.5 e 6), um cenário de emissão elevada (RCP 8.5) e um cenário de emissão baixa (RCP 2.6). O cenário de baixa emissão prevê um pico no balanço energético da ordem de 3 W m^{-2} que decai para $2,6 \text{ W m}^{-2}$ para o final do século, estabilizando suas concentrações de GEE na atmosfera em 490ppm, valores abaixo/próximos dos encontrados na atmosfera atualmente, que são da ordem de 414ppm, conforme registros em 2019 (Apadula et al., 2019), de modo que esse cenário pouco está sendo utilizado em estudos de projeções climáticas, principalmente os com foco no efeito das mudanças climáticas na agricultura (Bender, 2017 e Dias, 2020). Já os cenários intermediários, o RCP 4.5 e o RCP 6, preveem um pico no balanço energético de 4,5 e 6 W m^{-2} e estabilizam suas emissões de GEE em 650 e 850ppm, respectivamente. Já a forçante mais crítica, representada pelo RCP 8.5, prevê um pico no balanço de energia na atmosfera da ordem de $8,5 \text{ W m}^{-2}$ e estabiliza a concentração de GEE na atmosfera em 1370ppm.

Para desenvolver os modelos globais climáticos (GCMs) e estimar os diversos cenários de clima futuro, séries históricas de dados meteorológicos em escala diária são essenciais e devem estar tratadas e ter suas informações validadas e consolidadas. No Brasil, existe uma grande limitação em trabalhar com séries históricas de dados climáticos tanto devido a número reduzido de estações meteorológicas distribuídas no território nacional, mas também devido as falhas presentes nas séries históricas disponíveis (Xavier et al., 2016; Monteiro et al., 2018; Duarte e Sentelhas, 2020). Para contornar essa limitação, autores testaram e validaram métodos para preenchimento de falhas nas séries históricas e também para criação de estações meteorológicas virtuais, a partir de fontes de dados meteorológicos em sistemas de grade (Monteiro et al., 2018; Duarte e Sentelhas, 2020). O uso conjunto de técnicas de preenchimento de falhas bem como a possibilidade de criação de estações meteorológicas virtuais mitiga a limitação apresentada pelo Brasil quanto a sua malha de estações meteorológicas e suas falhas e vem sendo utilizados em diversos estudos sobre o impacto de mudanças climáticas e também nos estudos com simulações da produtividade das culturas (Bender, 2017 e Dias 2020).

Mesmo com versões mais atualizadas e a capacidade computacional cada vez menos sendo um problema, a incerteza nos resultados obtidos em estudos sobre as mudanças climáticas e seus impactos ainda são grandes (Taylor et al., 2012; Justino et al., 2013 e Dias, 2020). Dentre essas incertezas listadas pelos especialistas, a questão da emissão dos GEE tem destaque visto que não se pode saber ao certo como serão os níveis da emissão antrópica desses gases bem como o seu comportamento na atmosfera sob as condições climáticas no futuro (Apadula et a., 2019; Yoro e Daramola, 2020, Toreti et al., 2020). Outra fonte de incertezas está ligada a variabilidade climática global, influenciada pela característica sazonal do clima em cada diferente latitude bem como seus padrões naturais de mudança, visto que os resultados apresentados pelos modelos de projeção do clima

futuro estão intimamente relacionados a série histórica informada como controle para cada local (Taylor et al., 2012, Ruane e McDermid, 2017 e Bender 2017). Por fim, mas não menos importante, o fato dos diferentes GCM simplificarem a imensa complexidade que é o sistema atmosférico global e suas relações quanto aos efeitos climáticos locais também conferem incertezas aos resultados modelados (IPCC, 2014; Ruane e McDermid, 2017 e Dias, 2020).

Frente ao grande número de modelos disponibilizados para os estudos com mudanças climáticas e as diferentes fontes de incertezas relacionados a eles, autores buscaram formas de contornar essas limitações com o objetivo de mitigar as incertezas e garantir a qualidade dos resultados. Uma forma de lidar com a grande quantidade de GCMs minimizando suas incertezas é a seleção representativa dos modelos de mudanças climáticas globais, proposta pelo AgMIP (Ruane e McDermid, 2017), onde cinco modelos são selecionados a partir das suas características em projetar mudanças de temperatura (climas quentes ou frios) e de chuva (climas úmidos ou secos).

A importância em ter cenários de mudanças climáticas devidamente projetados para avaliar seus efeitos não só no clima, mas também no desempenho de culturas agrícolas, é imprescindível tanto para definição de estratégias que busquem mitigar os impactos climáticos futuros bem como seus efeitos na segurança alimentar do Brasil. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivos: a) gerar cenários de mudanças climáticas de médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099) a partir de séries de dados climáticos históricos, compreendidos entre 1980 e 2009, devidamente preenchidos e consolidados, para os 29 GCMs disponibilizados pelo IPCC para os cenários de emissão RCP 4.5 e RCP 8.5 em 97 localidades brasileiras; b) selecionar os GCMs representativos segundo método proposto por Ruane e McDermid (2017) para os perfis de clima: quente e úmido (QU); quente e seco (QS); frio e úmido (FU); frio e seco (FS) e médio (ME) para 97 localidades brasileiras e c) quantificar o impacto das mudanças climáticas na temperatura e na chuva do Brasil bem como os padrões por elas apresentados em relação ao período histórico informado (1980 até 2009).

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Locais de estudo

Com o objetivo de dimensionar em escala nacional o efeito das mudanças climáticas no Brasil, 97 cidades foram selecionadas e avaliadas durante o presente estudo (Figura 1). Para essas cidades, foi acessada a série histórica de dados meteorológicos em escala diária, compreendida de 1980 a 2009 (*baseline*), a partir das estações, convencionais e automáticas, disponibilizadas pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP-INMET).

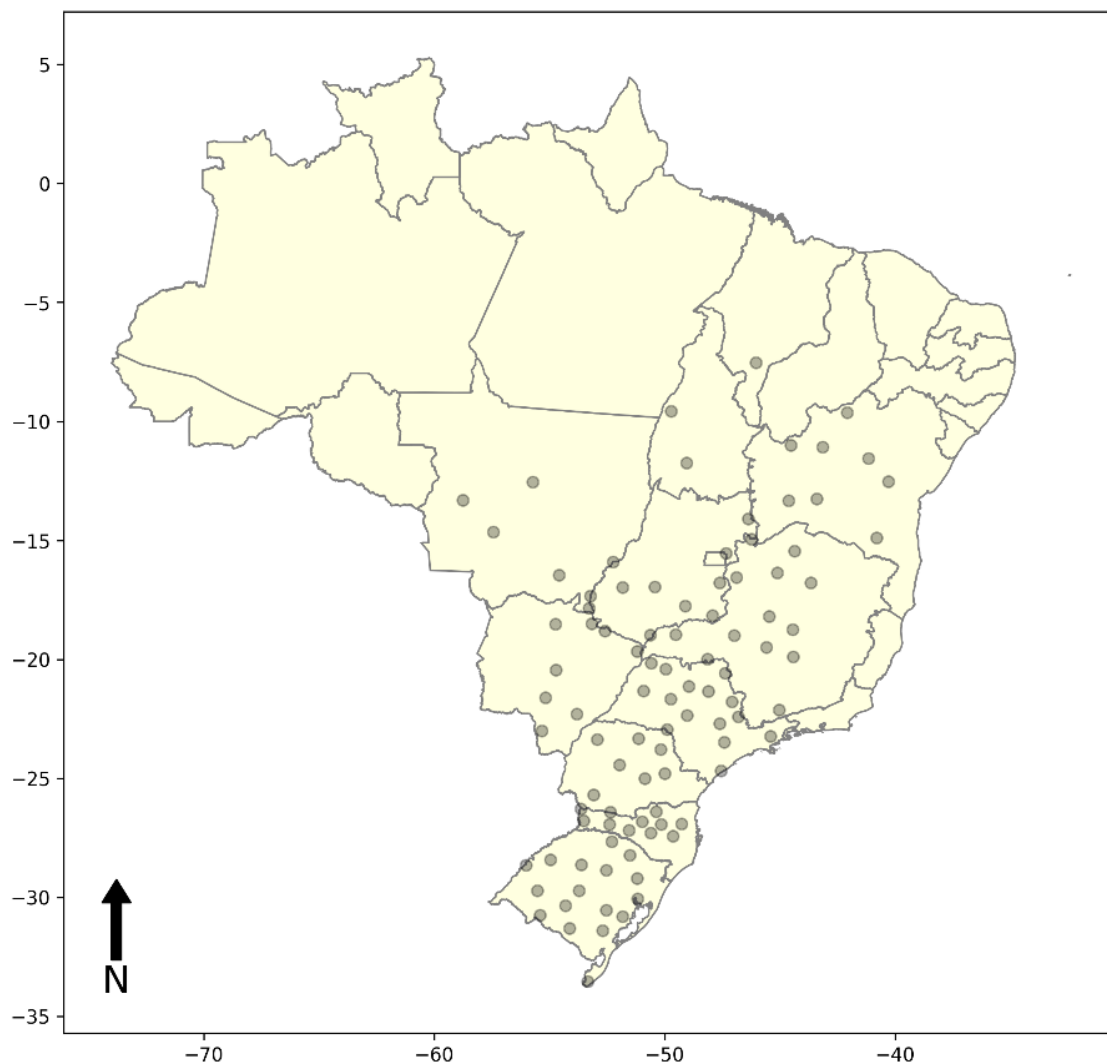


Figura 1. Estações meteorológicas disponibilizadas pelo sistema BDMEP-INMET e utilizadas no presente estudo.

4.2.2. Preenchimento de falhas

As falhas nos dados das estações meteorológicas no Brasil são um fator limitante para seu uso em modelos de simulação do clima futuro, de modo que se faz necessário o preenchimento das eventuais falhas. Para contornar essa limitação, fez-se uso dos dados meteorológicos em sistemas de grade disponibilizados por XAVIER (Xavier et al., 2016) em associação aos dados de chuva das estações pluviométricas da Agencia Nacional de Águas (ANA) (Figura 2) para preencher as falhas observadas nas séries climáticas históricas das cidades estudadas. Essa abordagem do preenchimento de falhas em séries de dados meteorológicos com dados em grade e seus impactos foi descrita e validada por Bender (2017), Battisti et al., (2019), Duarte e Sentelhas (2020), Dias e Sentelhas (2021). Após o preenchimento das falhas e a consolidação do banco de dados climático, a normal

climatológica (*baseline*), compreendida entre os anos de 1980 e 2009 foi calculada (Figuras 3, 4 e 5) para então ser utilizada como base para desenvolvimento dos cenários climáticos futuros.

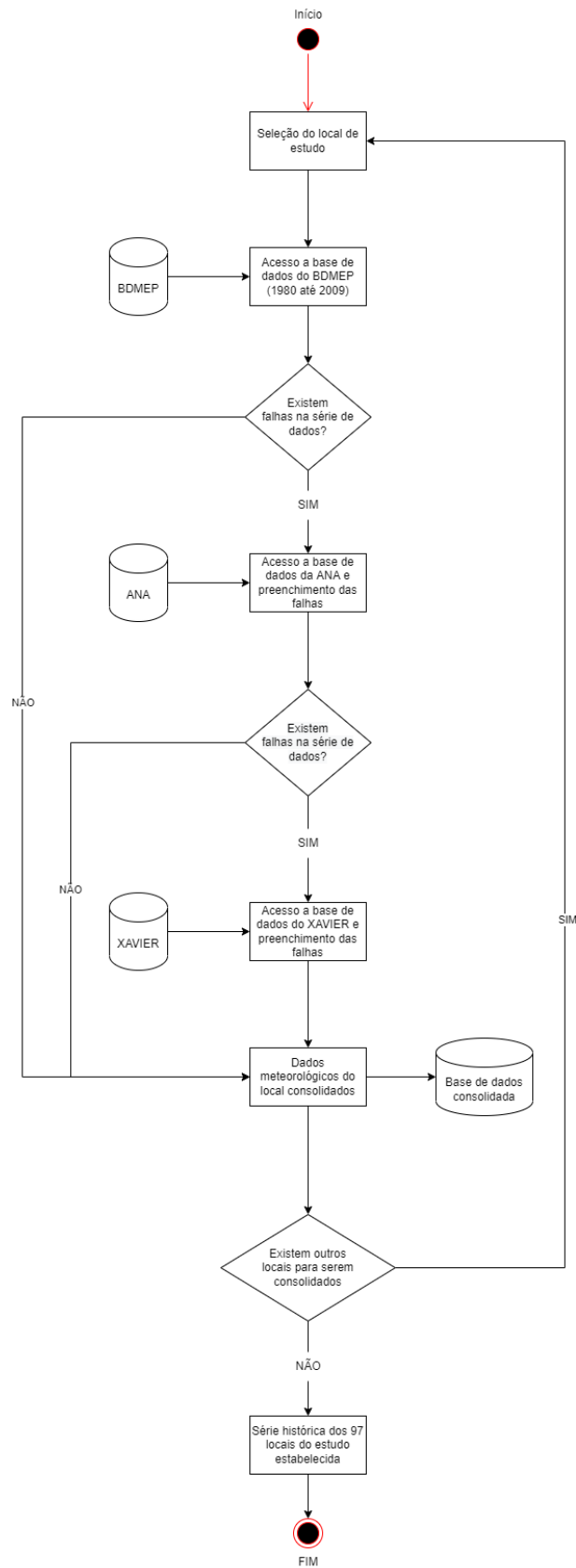


Figura 2. Fluxograma representativo do processo de avaliação e preenchimento das falhas nas séries de dados meteorológicos obtidas da base de dados do BDMEP-INMET.

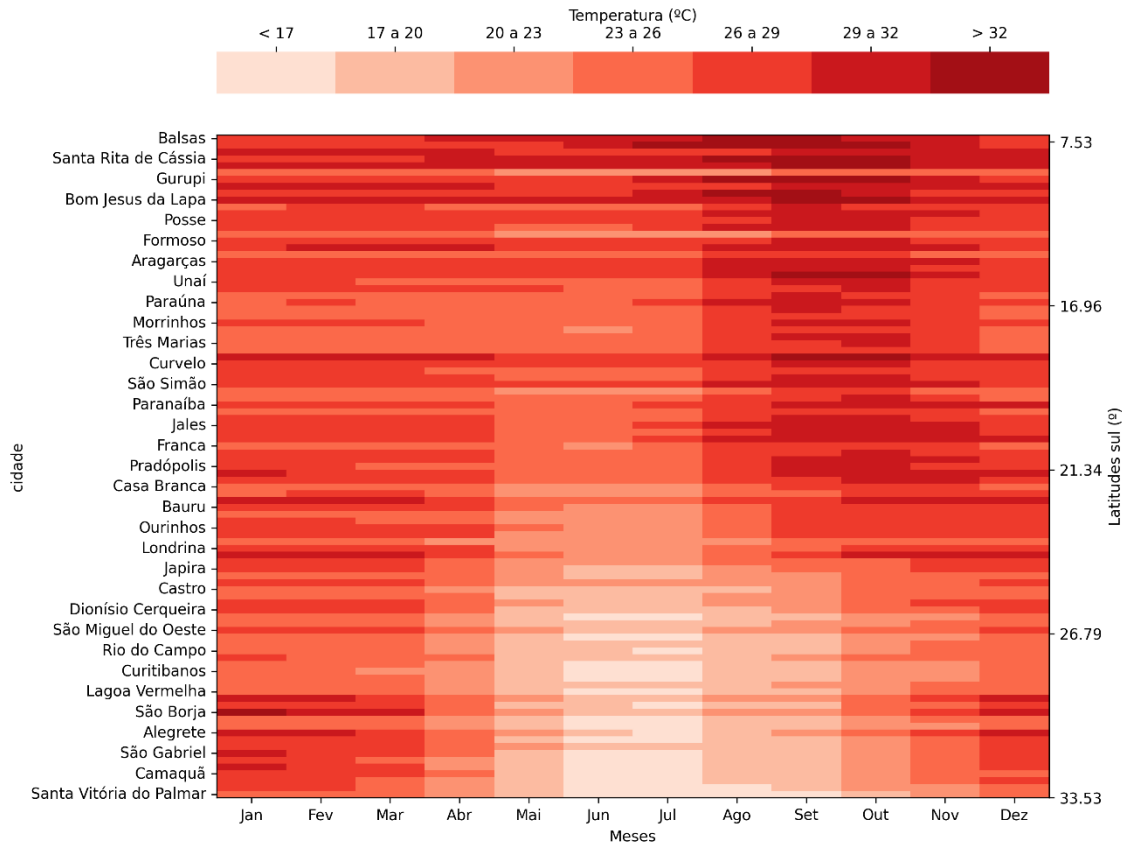


Figura 3. *Baseline* dos valores de temperatura máxima para as 97 cidades do estudo, ordenados pela latitude (eixo vertical) e pela sazonalidade (eixo horizontal).

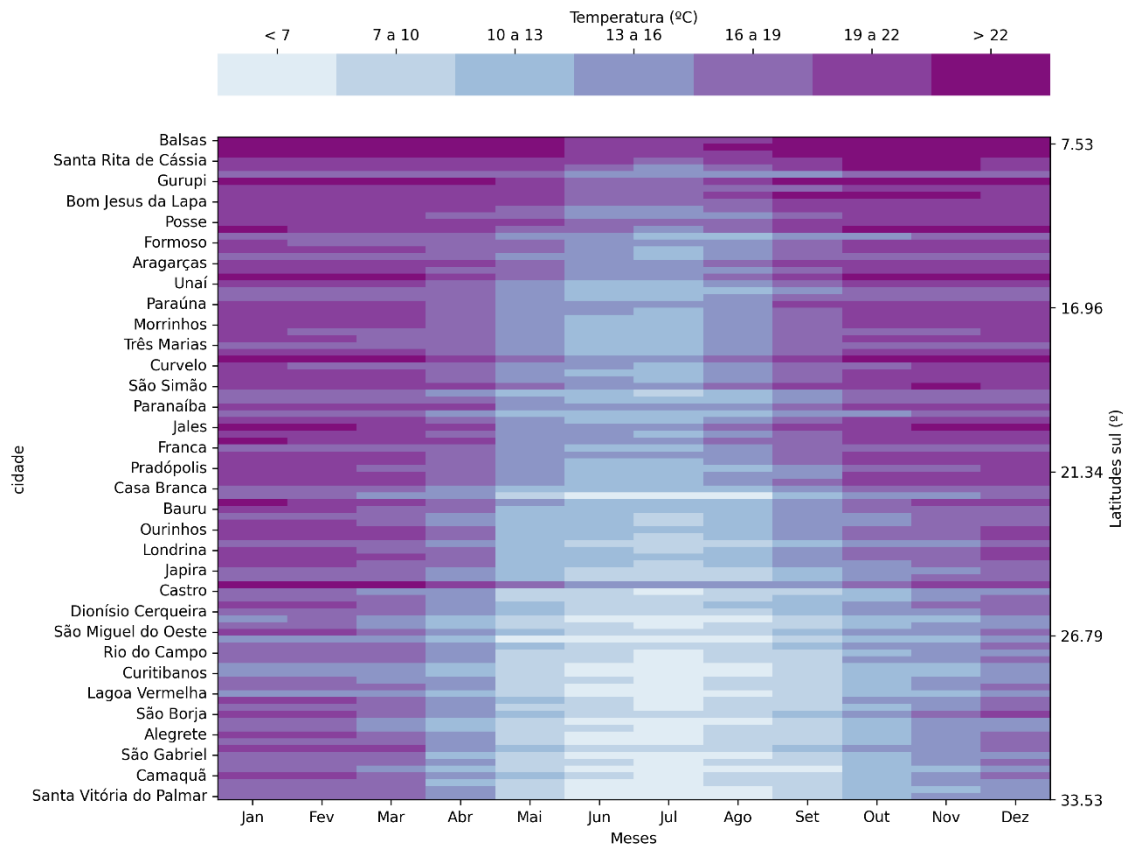


Figura 4. *Baseline* dos valores de temperatura mínima para as 97 cidades do estudo, ordenados pela latitude (eixo vertical) e pela sazonalidade (eixo horizontal).

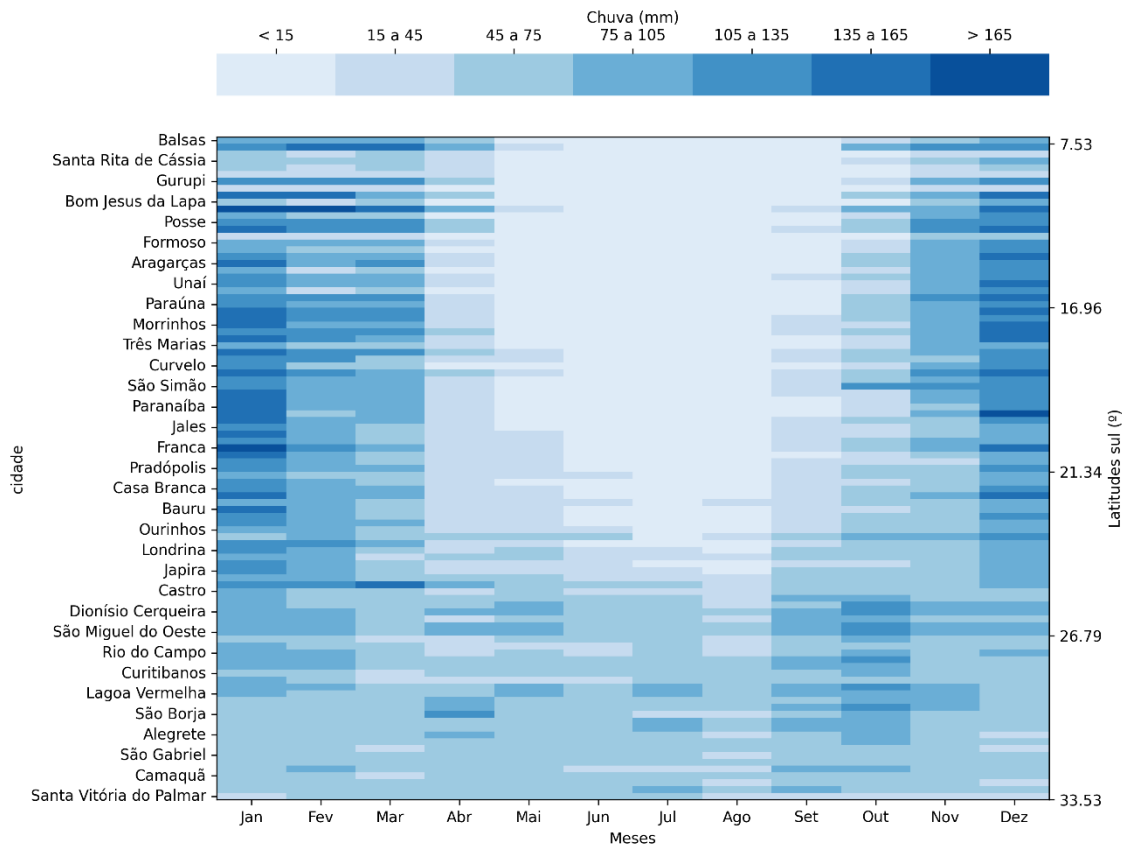


Figura 5. *Baseline* dos valores de chuva para as 97 cidades do estudo, ordenados pela latitude (eixo vertical) e pela sazonalidade (eixo horizontal).

4.2.3. Modelos globais de mudanças climáticas (GCMs)

Para simular os cenários de clima futuro, se fez uso da rotina de cálculos desenvolvida e disponibilizada pelo grupo AgMIP (Rosenzweig et al., 2013 e Rosenzweig et al., 2016) a partir da *baseline* de dados climáticos diários estabelecida para as 97 cidades do estudo. No processo, foram aplicados os 29 GCMs (Tabela 1) mais utilizados em estudos de impactos das mudanças climáticas (CMIP-5).

Tabela 1. Resumo dos 29 GCMs disponibilizados pelo CMIP-5 para estudos sobre mudanças climáticas e seus impactos utilizados no presente estudo.

GCM	Órgão Responsável	Resolução espacial	Código do modelo
ACCESS1-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) and Bureau of Meteorology (BOM), Australia	1,25° × 1,875°	A
BCC-CSM1-1	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	2,80° × 2,08°	B
BNU-ESM	College of Global Change and Earth Systems Science, Beijing Normal University (BNU)	2,80° × 2,80°	C
CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis	2,80° × 2,80°	D
CCSM4	US National Center for Atmospheric Research (NCAR)	0,90° × 1,25°	E
CESM1-BGC	US National Science Foundation (NSF), US Department of Energy (DOE), and the US National Centre for Atmospheric Research (NCAR)	0,90° × 1,25°	F
CMCC-CM	Euro-Mediterranean Center on Climate Change	0,75° × 0,75°	G
CMCC-CMS	Euro-Mediterranean Center on Climate Change	1,90° × 1,875°	H
CNRM-CM5	France National Centre for Meteorological Research	1,40° × 1,40°	I
CSIRO-Mk3-6-0	Queensland Climate Change Centre of Excellence and Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)	1,90° × 1,875°	J
FGOALS-g2	Chinese Academy of Sciences	2,80° × 2,80°	K
GFDL-CM3	NOAA/Geophysical Fluid Dynamic Laboratory (GFDL)	2,00° × 2,50°	L
GFDL-ESM2G	NOAA/Geophysical Fluid Dynamic Laboratory (GFDL)	2,00° × 2,50°	M
GFDL-ESM2M	NOAA/Geophysical Fluid Dynamic Laboratory (GFDL)	2,00° × 2,50°	N
GISS-E2-H	National Aeronautics and Space Association Goddard Institute for Space Studies (NASA GISS)	2,00° × 2,50°	O
GISS-E2-R	National Aeronautics and Space Association Goddard Institute for Space Studies (NASA GISS)	2,00° × 2,50°	P
HadGEM2-AO	UK Meteorological Office - Hadley Centre	1,25° × 1,875°	Q
HadGEM2-CC	UK Meteorological Office - Hadley Centre	1,25° × 1,875°	R
HadGEM2-ES	UK Meteorological Office - Hadley Centre	1,25° × 1,875°	S
INMCM4.0	Russian Institute for Numerical Mathematics (INM)	1,50° × 2,00°	T
IPSL-CM5A-LR	Institute Pierre Simon Laplace (IPSL)	1,90° × 3,75°	U
IPSL-CM5A-MR	Institute Pierre Simon Laplace (IPSL)	1,30° × 2,50°	V
IPSL-CM5B-LR	Institute Pierre Simon Laplace (IPSL)	1,90° × 3,75°	X
MIROC5	University of Tokyo, Japanese National Institute for Environmental Studies (NIES), and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)	1,40° × 1,40°	W
MIROC-ESM	University of Tokyo, Japanese National Institute for Environmental Studies (NIES),	2,80° × 2,80°	Y

	and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)		
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute (MPI) for Meteorology (low resolution)	1,90° × 1,875°	Z
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute (MPI) for Meteorology (mixed resolution)	1,90° × 1,875°	1
MRI-CGCM3	Japanese Meteorological Research Institute (MRI)	1,10° × 1,125°	2
NorESM1-M	Norwegian Climate Centre	1,90° × 2,50°	3

Os modelos trabalham aplicando mudanças nas variáveis de temperatura (mínima e máxima) e de chuva, através do método Delta (Wilby et al., 2004 e Ruane et al., 2015), sobre a *baseline* informada. Dois cenários representativos da [CO₂] atmosférico (RCP) foram utilizados, o RCP 4.5 e o RCP 8.5. O RCP 4.5 considera uma emissão de gases de efeito estufa (GEE) que se estabiliza próximo a 532 ppm ao final do século, enquanto que o RCP 8.5 considera que essa emissão estabilizará em 801 ppm. Por fim, foram ainda avaliados dois períodos distintos de projeção climática, sendo eles de médio (2040-2069) e de longo (2070-2099) prazo.

4.2.4. Abordagem representativa da seleção dos GCMs

Com o objetivo de reduzir de forma sistemática e organizada o número de GCMs utilizados em estudos de avaliação dos impactos das mudanças climáticas, autores desenvolveram e avaliaram métodos como o da Seleção Representativa dos Quadrantes de Mudanças Climáticas, proposto pelo AgMIP e descrito por Ruane e McDermid (2017). O método propõe uma seleção dos GCMs de acordo com seus padrões nos resultados das mudanças climáticas quanto as variações da temperatura e da chuva em relação à média histórica observada, estabelecendo 4 classes que interagem com essas variações, sendo elas: a) frio e úmido – FU (menor temperatura e maior precipitação); b) frio e seco – FS (menor temperatura e menor precipitação); c) quente e úmido – QU (maior temperatura e maior precipitação) e d) quente e seco – QS (maior temperatura e menor precipitação). Uma quinta classificação também foi proposta e descrita como ‘média’ – ME, com o objetivo de capturar GCMs que apresentam resultados próximos a origem (média) dos quadrantes estabelecidos.

A seleção do modelo representativo (Figura 6) acontece através da determinação da menor distância entre as médias dos valores de cada modelo em relação ao centro de massa do seu quadrante (Ruane e McDermid, 2017). Para selecionar os GCMs representativos, para cada cidade do estudo foram gerados 11.252 cenários climáticos. Para apresentar os resultados e comparar os impactos no clima, os valores das variáveis meteorológicas nas projeções dos cenários de clima futuro foram agregados pela média dos 5 GCMs selecionados para cada local, de acordo com o mês, o período (médio ou longo prazo) e o RCP (4.5 e 8.5).

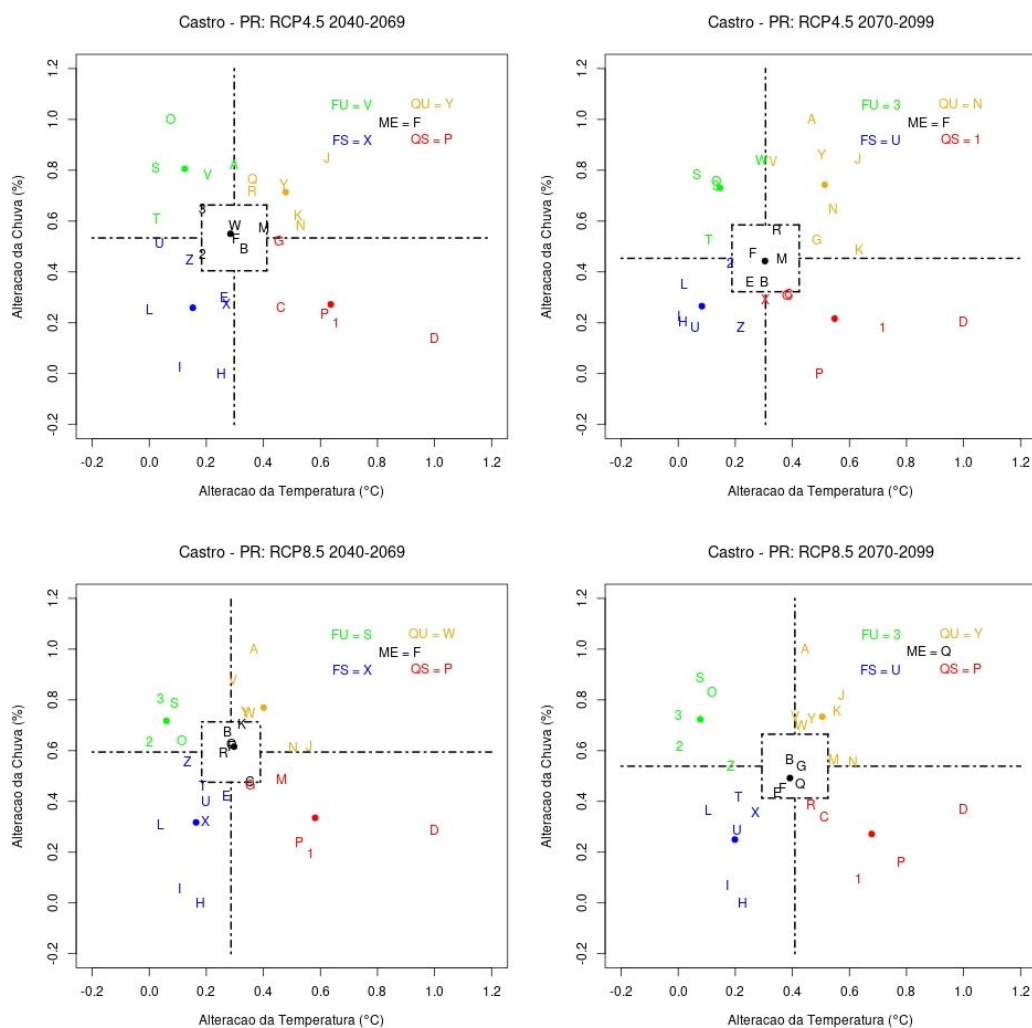


Figura 6. Representação gráfica da dispersão dos modelos nos diferentes quadrantes de mudanças climáticas para a cidade de Castro-PR no médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099) nas condições de emissão estabelecida pelos RCP 4.5 e 8.5. Cada letra no gráfico representa a posição de um GCM e os GCMs representativos seleccionados para cada quadrante são indicados no canto superior direito.

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Efeito das mudanças climáticas no médio prazo

4.3.1.1. Efeitos na Temperatura (máxima e mínima)

As projeções climáticas futuras desenvolvidas sob condição de emissão determinada pelo RCP 8.5 apresentaram aumentos tanto na temperatura máxima quanto na mínima superiores à condição de emissão do RCP 4.5, na maioria dos casos. Independentemente do nível de aumento nas condições de temperatura encontrados, ambos os cenários de emissão mostram que, para a temperatura máxima (Figura 7), os meses de agosto, setembro, outubro e novembro são os que sofrem com os maiores aumentos, registrando valores superiores a 3,7°C em relação a *baseline* (Figura 3) para o cenário de emissão do RCP 8.5.

Ao analisar os padrões de variação da temperatura mínima, observa-se que o cenário estabelecido pelo RCP 8.5 apresentou aumentos inferiores aos observados no RCP 4.5 (Figura 8), sendo que esses foram mais expressivos em regiões mais ao norte do Brasil e nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro. Para o RCP 4.5, o aumento na temperatura mínima afetou principalmente a região centro-norte do Brasil, apresentando valores de aumento superiores a 3,5°C em relação a *baseline* (Figura 4), sendo que os meses de setembro, outubro e novembro foram os que mais sofreram com os aumentos.

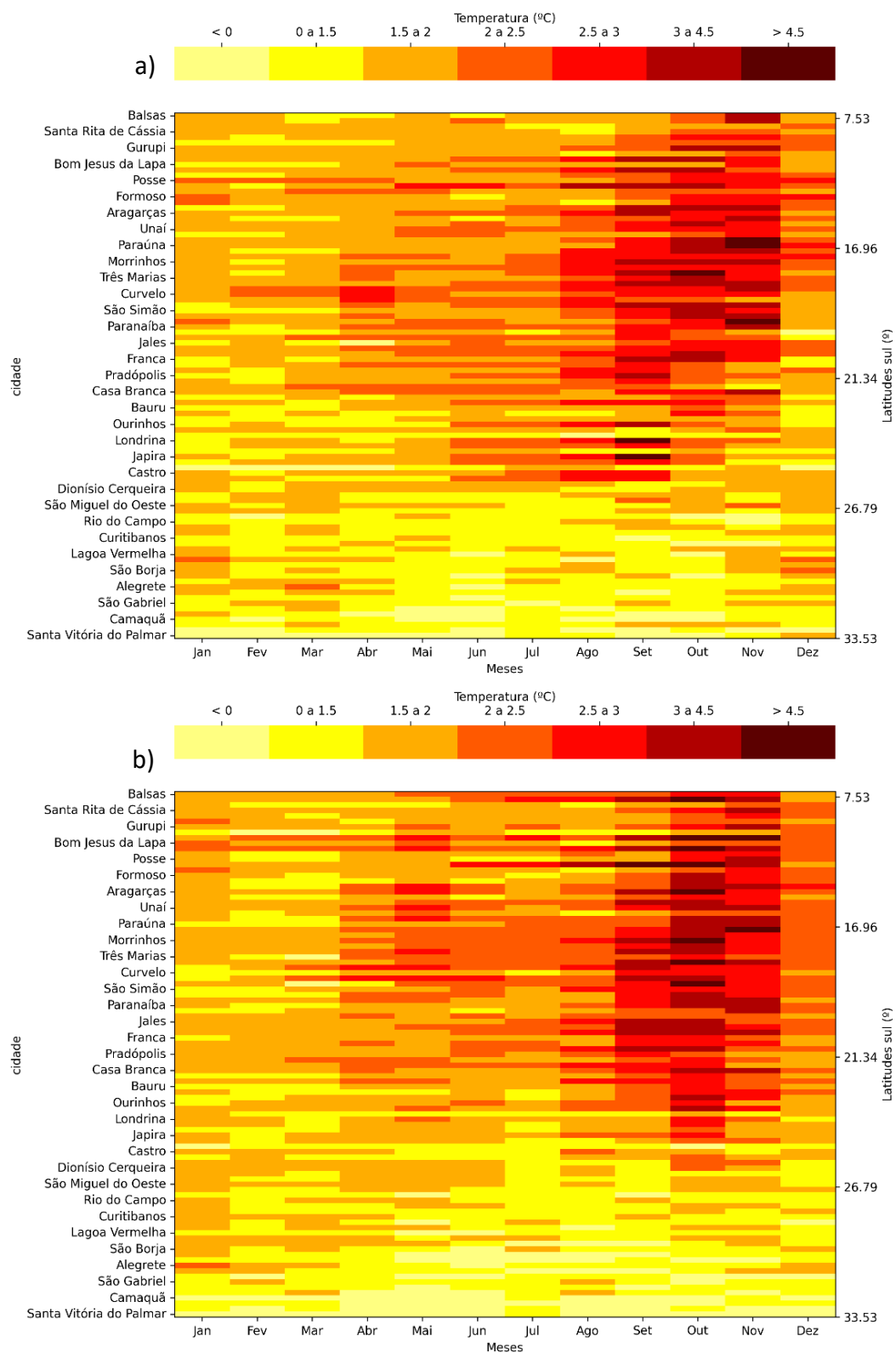


Figura 7. Diferenças entre as projeções climáticas promovidas pelos RCP 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação a *baseline* dos valores de temperatura máxima para as 97 cidades do estudo, ordenados pela latitude (eixo vertical) e pela sazonalidade (eixo horizontal).

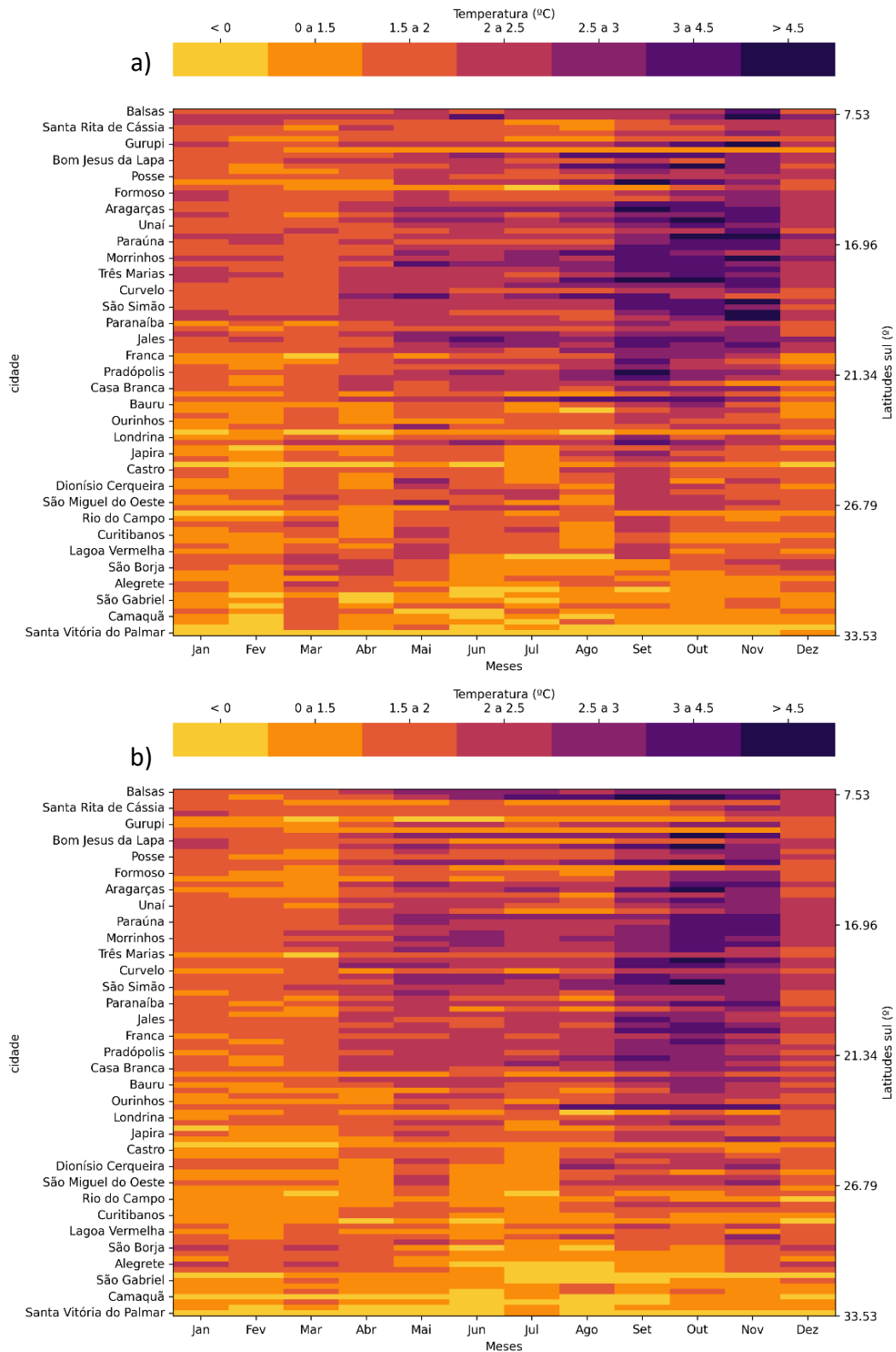


Figura 8. Diferenças entre as projeções climáticas promovidas pelos RCP 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação a *baseline* dos valores de temperatura mínima para as 97 cidades do estudo, ordenados pela latitude (eixo vertical) e pela sazonalidade (eixo horizontal).

4.3.1.2. Efeitos na chuva:

O efeito das mudanças climáticas no comportamento da chuva (Figura 5) se apresentou de forma diferente ao longo do território brasileiro e das épocas do ano. Os GCM selecionados para o estudo apontam diminuição no acumulado de chuvas para algumas regiões da mesma forma que apresentam aumento nesse acumulado para outras regiões do país (Figura 9). Numa condição determinada pelo RCP 4.5, apresenta-se uma tendência de aumento na disponibilidade de chuvas ao longo de todo o ano para a maioria das regiões brasileiras, com exceção de algumas regiões mais ao norte como Balsas, Bom Jesus da Lapa e Posse, que apresentaram diminuição nas chuvas para os meses de outubro e novembro. Já a condição apresentada pelo RCP 8.5 traz diminuição na disponibilidade de chuvas para grande parte do território brasileiro ao longo de todo o ano, mais uma vez, destacando o impacto negativo em regiões localizadas entre 21 e 7° de latitude sul.

Os mesmos modelos apontam casos de aumento no acumulado de chuva mensal (da ordem de até 40 milímetros a mais por mês), principalmente para os meses compreendidos entre abril e agosto e em regiões do país entre 26,5 e 33,5° sul, o que normalmente correspondentes ao período de seca nessas regiões, podendo causar impactos nos resultados de culturas de inverno, tradicionalmente plantadas nessas regiões. Bender (2017), em estudos sobre os impactos das mudanças climáticas na temperatura e na chuva do Brasil, aponta aumentos na temperatura máxima variando entre 1,1 e 2,39°C e aumentos entre 1,32 e 2,02°C na temperatura mínima, em concordância com o presente estudo, e aponta aumentos mais significativos nas temperaturas em regiões mais ao norte do Brasil. Dias (2020), ao avaliar o impacto das mudanças climáticas em 10 cidades brasileiras, apontou inconsistência no padrão apresentado pelas mudanças no acumulado mensal de chuvas com tendência de diminuição na disponibilidade de chuvas principalmente nas cidades localizadas mais ao norte. Em relação as mudanças no acumulado de chuvas, ambos os autores ressaltam as incertezas apresentadas pelos modelos em simular essa variável climática no médio prazo, sendo um ponto de atenção.

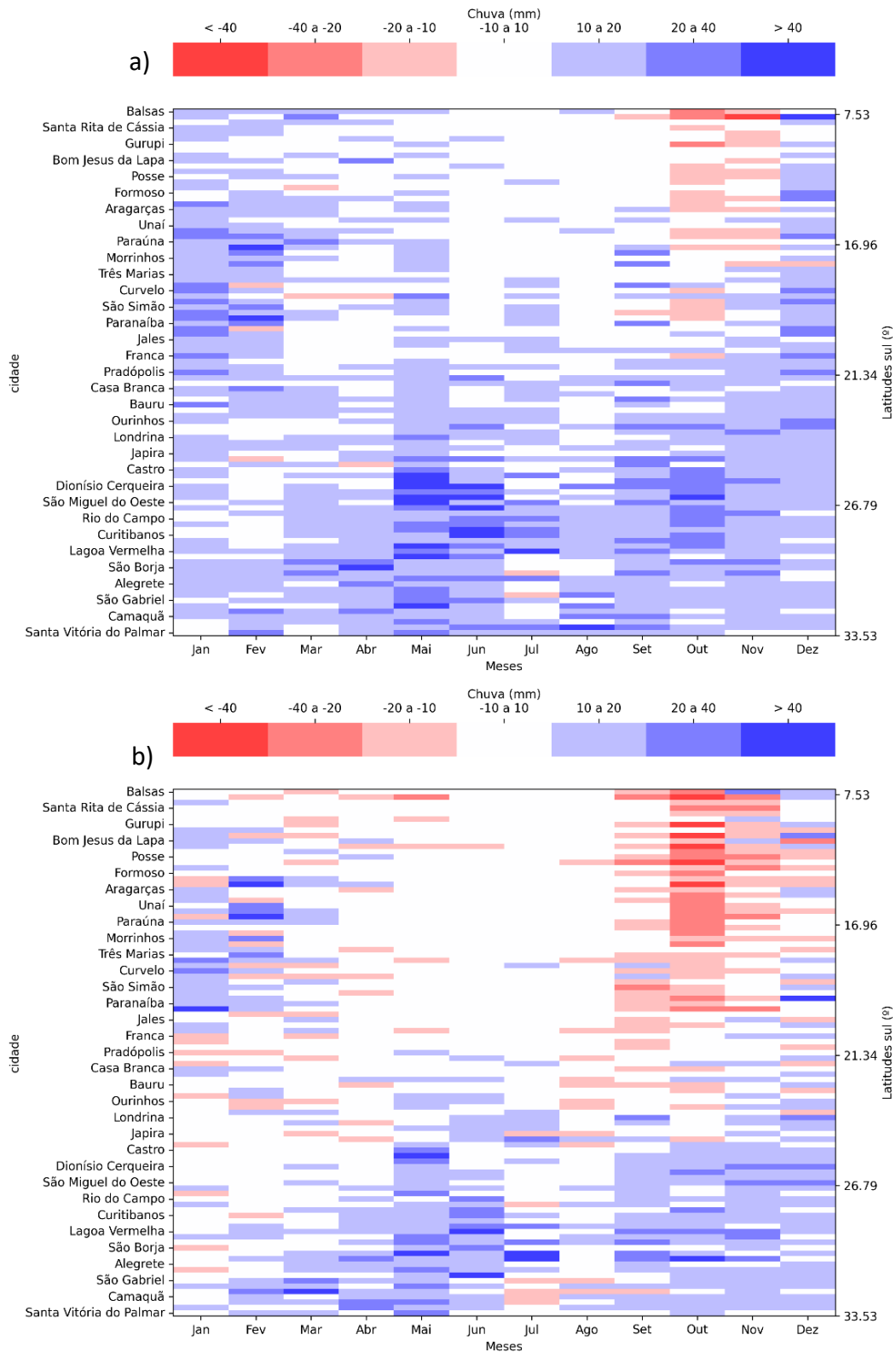


Figura 9. Diferenças entre as projeções climáticas promovidas pelos RCP 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação a *baseline* dos valores de chuva para as 97 cidades do estudo, ordenados pela latitude (eixo vertical) e pela sazonalidade (eixo horizontal).

Gomes et al. (2020), estudando o impacto das mudanças climática na produtividade do café no sudeste brasileiro, apontam aumento na temperatura média diária entre 0,3 e 1,7°C ao longo do ano e uma redução no acumulado mensal das chuvas concentrado nos meses compreendidos entre setembro e dezembro para uma condição de médio prazo e RCP 4.5, concordando com os valores encontrados no presente estudo, bem como os resultados apresentados por Gondim et al. (2018), que apontaram anomalias nas variáveis de temperatura no médio prazo de até 1,8°C para a condição de RCP 4.5 e de 1,95°C para a condição de RCP 8.5, respectivamente.

4.3.2. Efeito das mudanças climáticas no longo prazo

4.3.2.1. Efeitos na Temperatura (máxima e mínima):

O impacto das mudanças climáticas no longo prazo se mostrou ainda mais severo principalmente para as regiões mais ao norte do Brasil. Tanto em termos de temperatura máxima quanto de temperatura mínima, observam-se aumentos superiores a, pelo menos, 1°C em todas as regiões ao longo de todo o ano (Figuras 10 e 11). Numa condição de emissão de GEE proposta pelo RCP 4.5, a região de Sorriso-MT foi a que apresentou o maior aumento na temperatura mínima, ultrapassando a casa dos 3,5°C no mês de outubro. Já para uma condição de emissão representada pelo RCP 8.5, a cidade de Chapadão do Sul-MS apresentou o maior aumento na temperatura mínima, chegando a mais de 6,25° no mesmo mês.

Os efeitos no aumento da temperatura máxima encontrados são ainda mais severos que os apresentados pela temperatura mínima, observando-se uma diferença de mais de 4°C em Sorriso-MT para o mês de outubro, sob uma condição de RCP 4.5 e superando os 7,3°C em Paraúna-GO no mês de novembro, sob uma condição de emissão de GEE determinada pelo RCP 8.5. A região centro-norte foi a que mais apresentou aumento nos níveis de temperatura, principalmente para os meses de setembro, outubro e novembro, podendo causar impactos no desenvolvimento de culturas plantadas na época da safra nessas regiões, inclusive no desenvolvimento do milho.

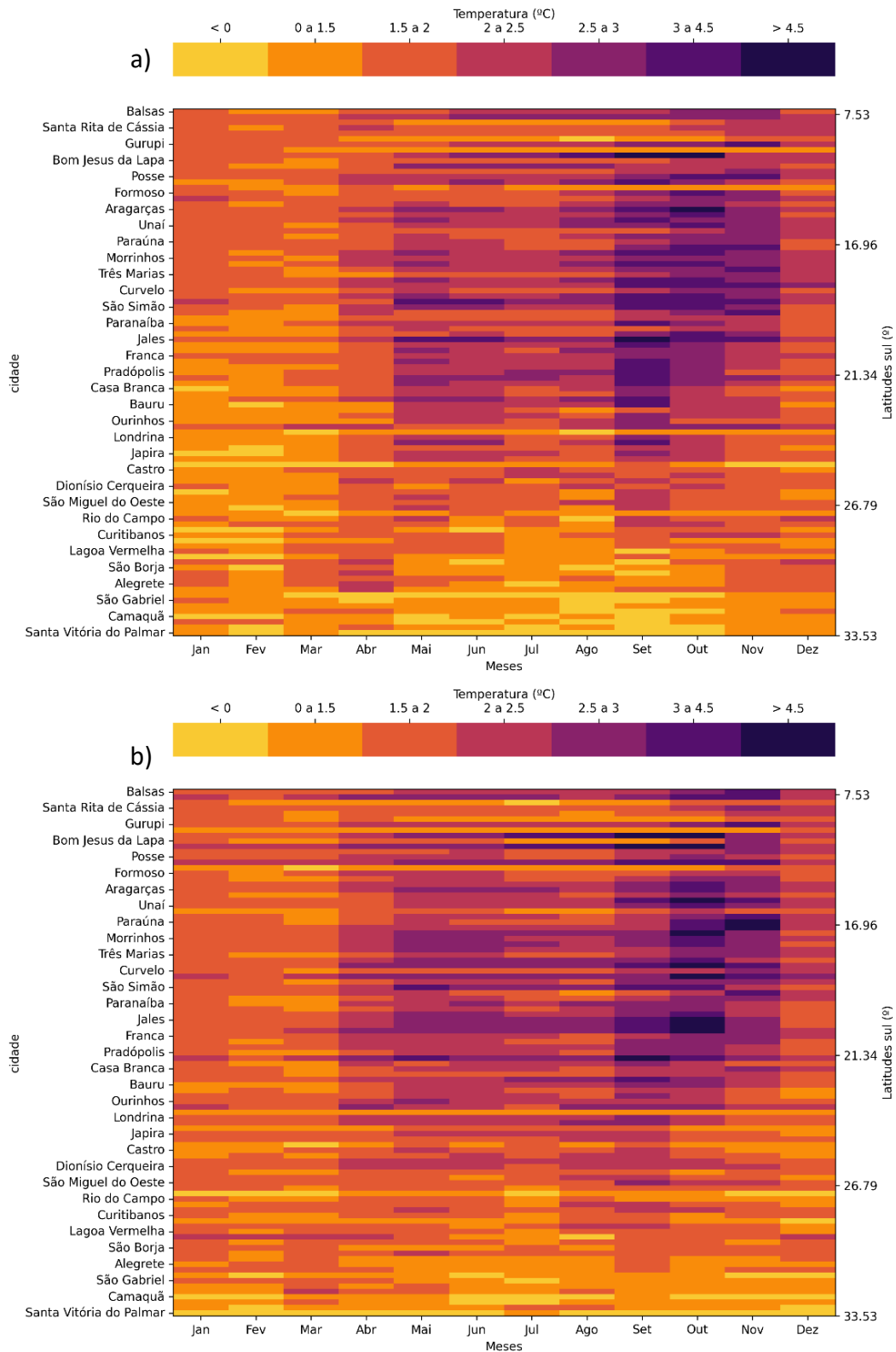


Figura 10. Diferenças entre as projeções climáticas promovidas pelos RCP 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação a *baseline* dos valores de temperatura mínima para as 97 cidades do estudo, ordenados pela latitude (eixo vertical) e pela sazonalidade (eixo horizontal).

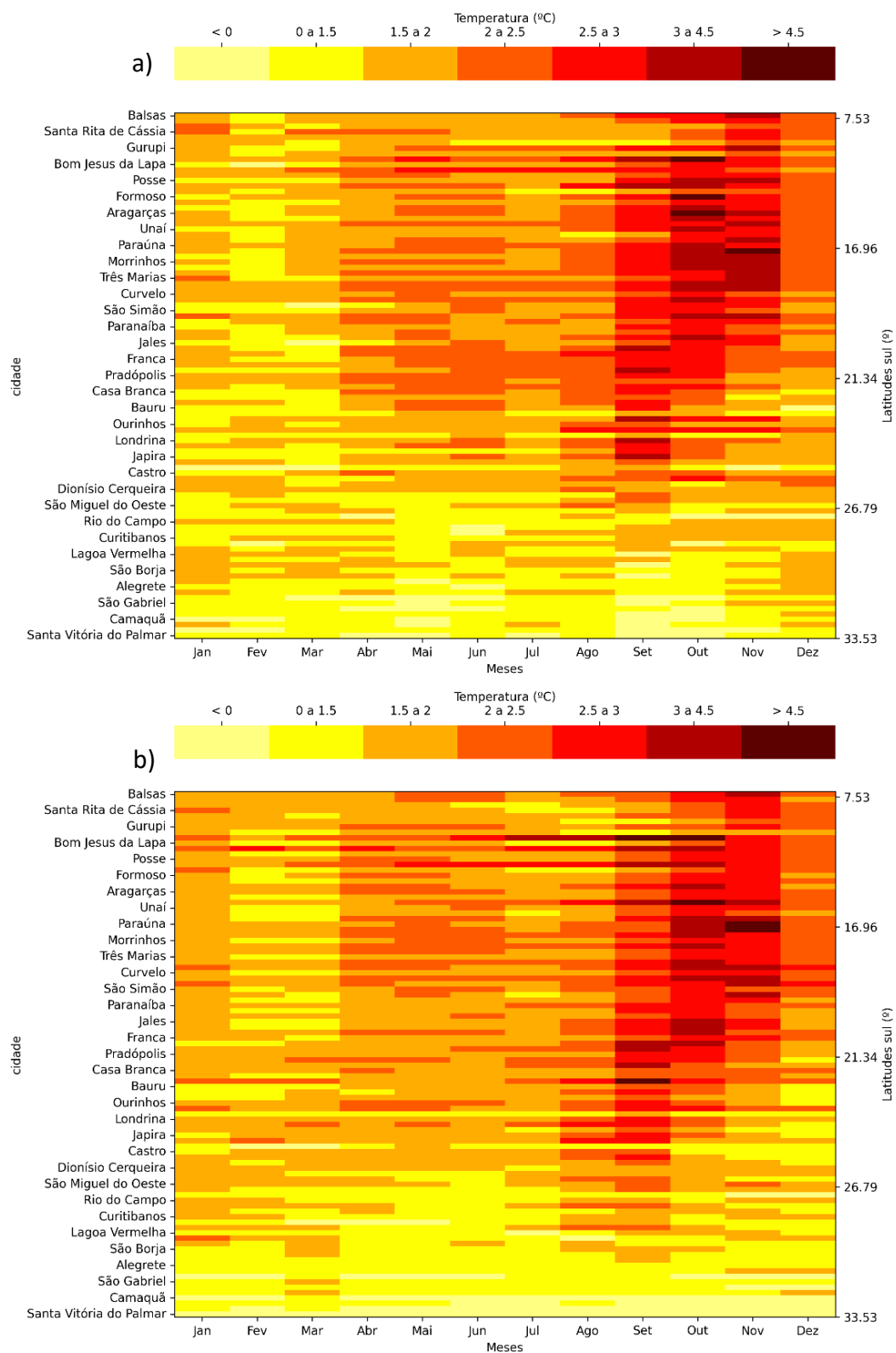


Figura 11. Diferenças entre as projeções climáticas promovidas pelos RCP 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação a *baseline* dos valores de temperatura máxima para as 97 cidades do estudo, ordenados pela latitude (eixo vertical) e pela sazonalidade (eixo horizontal).

4.3.2.2. Efeitos na chuva:

Os efeitos das mudanças climáticas na chuva, principalmente quando analisado o cenário apresentado pelo RCP 4.5, é de uma diminuição generalizada no acumulado mensal de chuvas no Brasil (Figura 12a). Desde regiões mais ao sul, como Camaquã, até Balsas, foram registradas quedas de mais de 46 mm de chuva por mês, sendo que as maiores diferenças negativas estão nos meses compreendidos entre agosto e dezembro, o que pode ser um complicador para o desenvolvimento das culturas de sequeiro plantadas no período da safra para essas regiões. Diferentemente, o efeito apresentado pela condição de RCP 8.5 (Figura 12b) traz aumento no acumulado de chuva para grande parte do território brasileiro, principalmente para o período entre outubro e março. Sob essa condição de RCP, a região sul do Brasil apresentou aumento no acumulado de chuvas em quase todos os meses, sendo o maior registro observado em Lagoa Vermelha-RS, para o mês de maio, superando 100 mm de aumento em relação a *baseline*. Mesmo com um efeito de aumento generalizado nas chuvas, a condição apresentada pelo RCP 8.5 segue apresentando diminuição para as chuvas em algumas regiões mais ao norte do país (entre 16,5 e 7° de latitude sul), com efeitos que podem ser ainda mais severos conforme o observado em Marianópolis do Tocantins-TO, com uma queda de mais de 125mm no acumulado de chuva do mês de outubro.

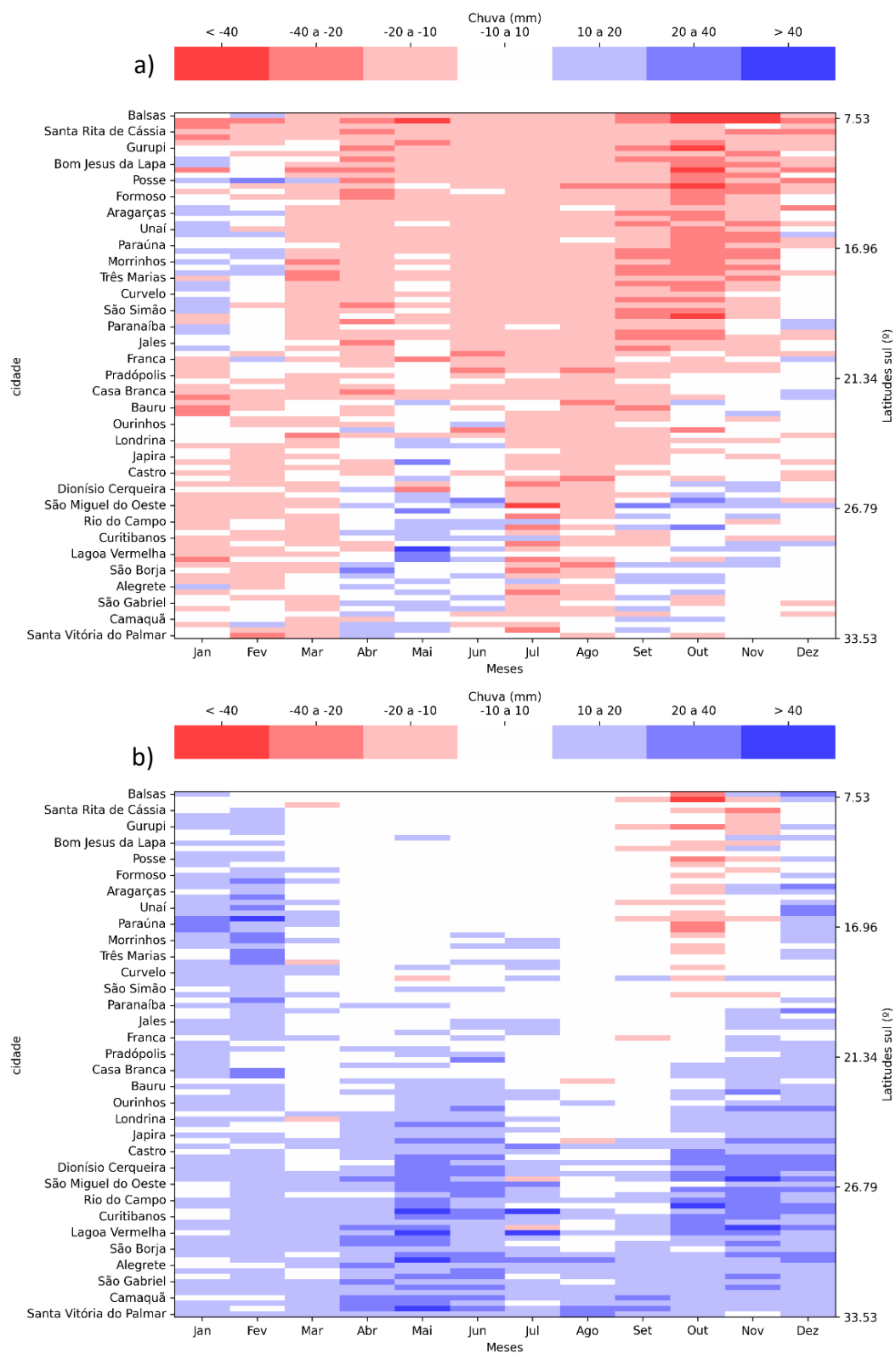


Figura 12. Diferenças entre as projeções climáticas promovidas pelos RCP 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação a *baseline* dos valores de chuva para as 97 cidades do estudo, ordenados pela latitude (eixo vertical) e pela sazonalidade (eixo horizontal).

Em diversos estudos sobre o impacto das mudanças climáticas de longo prazo em regiões tropicais, é um consenso o aumento nas temperaturas máximas e mínimas sob a influência de quaisquer RCPs (4.5 ou 8.5) utilizados, visto que todos os modelos apontam cenários climáticos mais quentes, com aumentos nas médias mensais de temperatura ao longo de todo o ano (Marengo, 2009, Sánchez et al., 2014, Bender 2017, Elli et al., 2020). Quanto aos efeitos na chuva, principalmente para a região central do Brasil, tida como região de transição dos efeitos das mudanças climáticas, esses são dispersos e menos conclusivos. Existe um alinhamento nos resultados observados na literatura que apontam para aumentos na ocorrência de chuvas em regiões mais ao sul do Brasil enquanto que regiões mais ao norte tendem a apresentar diminuição no acumulado mensal de chuvas (Bender 2017 e Dias 2020). Essa tendência de aumento no acumulado de chuvas para as regiões mais ao sul do Brasil, principalmente na condição determinada pelo RCP 8.5, pode estar relacionada a condição do aumento na temperatura e consequente aumento na evapotranspiração de referência (ET₀) (Gondim et al., 2018) bem como na frequência de eventos extremos para chuva, conforme evidenciado por Martel et al. (2021), que também apontou correlação no aumento do acumulado de chuva em regiões que apresentaram aumento na temperatura sob uma condição de RCP 8.5 em simulações de longo prazo.

4.3.3. Efeito das mudanças climáticas analisados localmente

A partir dos resultados apresentados, pode se evidenciar o aumento dos níveis de temperatura (máxima e mínima) causados pelas mudanças climáticas, principalmente nos cenários de emissão mais críticos (RCP 8.5) e no longo prazo (2070-299) (Figuras 13 e 14). Aumentos superiores a 6,4°C foram registrados para as cidades de Sapezal-MT e Coxim-MS, ambos para o mês de outubro (Figura 13). Para a temperatura mínima, as maiores diferenças foram registradas para os meses de setembro e outubro, nas cidades de Sapezal-MT e Coxim-MS, respectivamente, ultrapassando os 6°C (Figura 14).

O impacto das mudanças climáticas no acumulado de chuvas nas cidades foi inconclusivo (Figura 15). Tanto aumentos quanto diminuição do acumulado de chuvas ao longo do tempo foram registrados em todas as situações simuladas, entretanto, nota-se uma tendência de maior seca no período das águas para as cidades mais ao norte, como Balsas-MA e Sapezal-MT, e mais chuva ao longo de praticamente todo o ano para cidades mais ao sul, como Castro-PR e Bagé-RS, podendo ser um indicador de alteração no comportamento da distribuição do regime de chuvas no país, podendo impactar na janela de semeadura e no zoneamento climático do milho e de demais culturas anuais de sequeiro. Cidades como Franca-SP e Coxim-MS, por serem regiões de transição, não apresentam de forma característica o efeito das mudanças climáticas no perfil de chuvas frente aos cenários climáticos simulados.

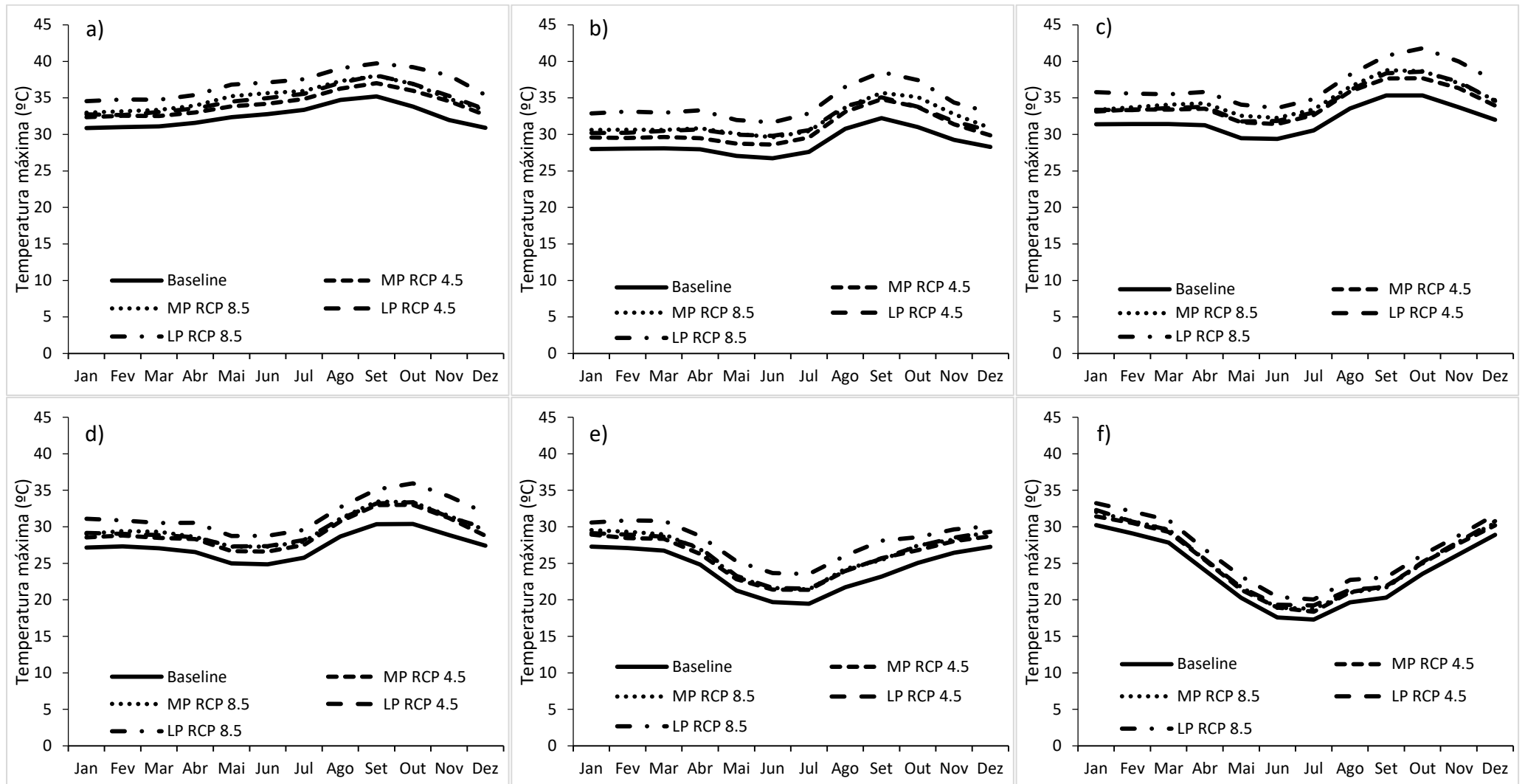


Figura 13. Impacto das mudanças climáticas na temperatura máxima estimadas para o médio prazo (MP) e longo prazo (LP) para as cidades de Balsas-MA (a), Sapezal-MT (b), Coxim-MS (c); Franca-SP (d); Castro-PR (e) e Bagé-RS (f).

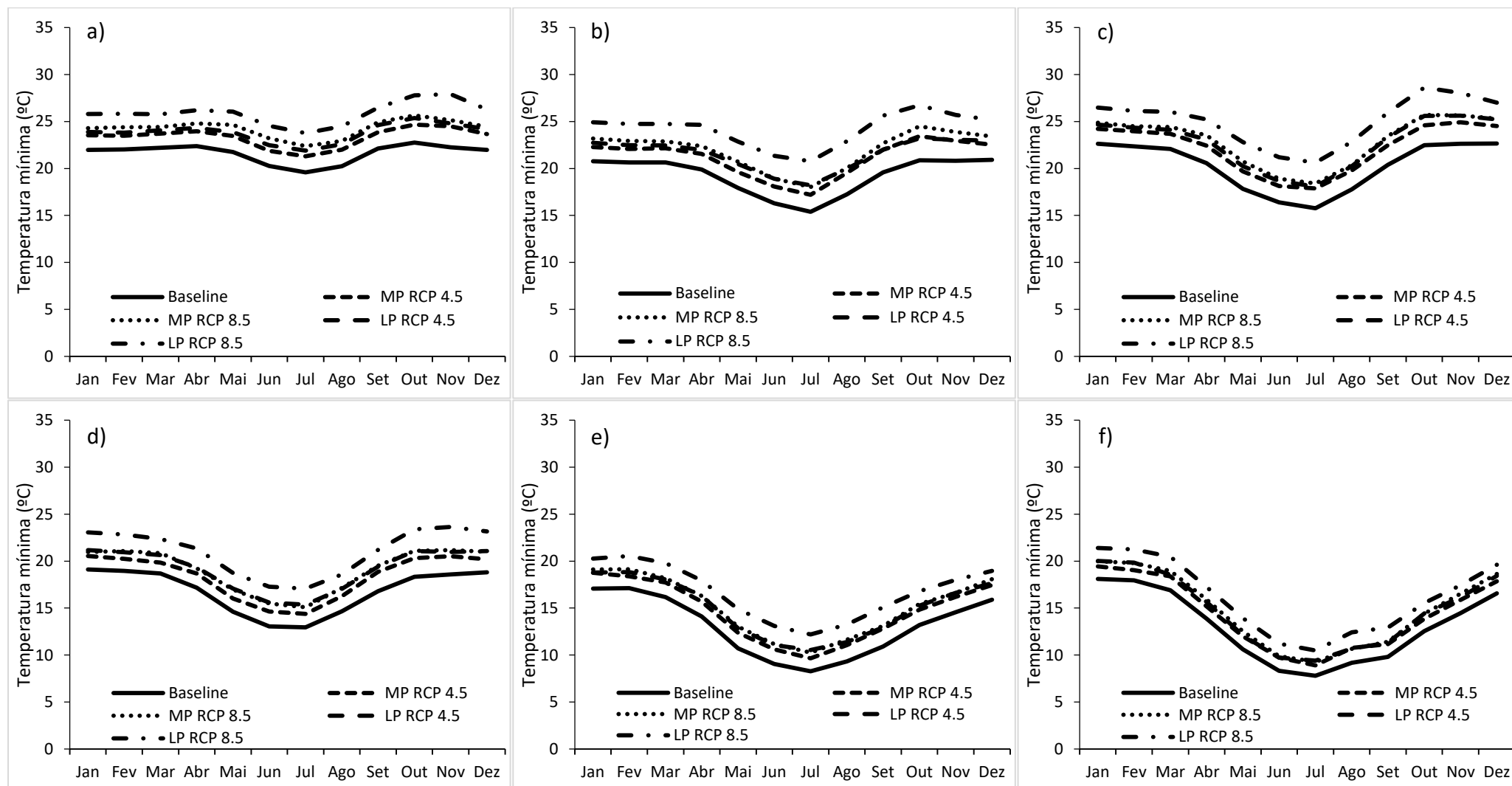


Figura 14. Impacto das mudanças climáticas na temperatura mínima estimadas para o médio prazo (MP) e longo prazo (LP) para as cidades de Balsas-MA (a), Sapezal-MT (b), Coxim-MS (c); Franca-SP (d); Castro-PR (e) e Bagé-RS (f).

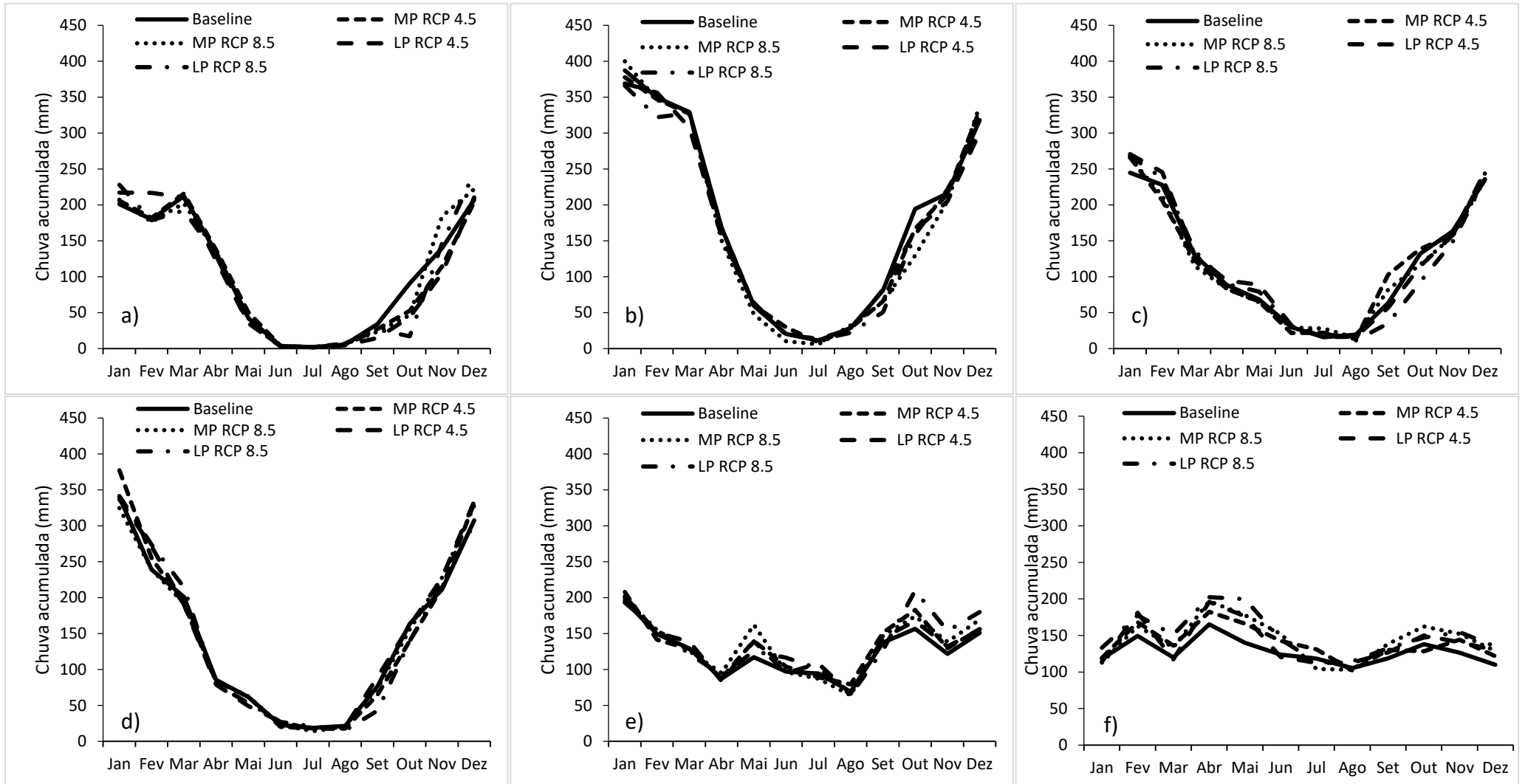


Figura 15. Impacto das mudanças climáticas no acumulado de chuva estimadas para o médio prazo (MP) e longo prazo (LP) para as cidades de Balsas-MA (a), Sapezal-MT (b), Coxim-MS (c); Franca-SP (d); Castro-PR (e) e Bagé-RS (f).

4.4. Conclusões

O efeito dos modelos de mudanças climáticas quanto a disponibilidade de chuvas ainda mostra inconsistência e alta variabilidade tanto em termos da sua distribuição ao longo do ano quanto em relação as regiões do país. Nota-se uma tendência de aumento na chuva acumulada principalmente em regiões mais ao sul do Brasil enquanto que regiões mais ao norte apresentam tendência a diminuir esses acumulados. Ao mesmo tempo, as épocas do ano tradicionalmente mais chuvosas tendem a apresentar redução na chuva, enquanto que as épocas tradicionalmente secas, apresentaram aumentos na chuva acumulada. Sobre os efeitos nas temperaturas máximas e mínimas, fica evidente o estabelecimento de um clima futuro mais quente, independente da condição de emissão apresentada, período da projeção, época do ano ou até mesmo região do país. A região centro-norte é a que mais irá sofrer com os efeitos no aumento das temperaturas e, associado ao efeito de redução nas precipitações, pode impactar no resultado de culturas agrícolas, principalmente as de sequeiro.

Referências

- APADULA, F., CASSARDO, C., FERRARESE, S., HELTAI, D., LANZA, A. Thirty Years of atmospheric CO₂ observations at the Plateau Rosa Station, Italy. **Atmosphere**, v.10, p. 21, 2019.
- BATTISTI, R., BENDER, F. D., SENTELHAS, P. C. Assessment of different gridded weather data for soybean yield simulations in Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.135, p.237-247, 2019.
- BENDER, F. D. Mudanças climáticas e seus impactos na produtividade da cultura de milho e estratégias de manejo para minimização de perdas em diferentes regiões brasileiras. **Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências**, ESALQ/USP, 2017.
- CAMILO, J. A., ANDRADE, C. L. T., AMARAL, T. A., TIGGES, C. H. P., MELO, M. L. A., GARCIA, A. G. Impact of climate change on maize grown in Brazilian Cerrado. **ASABE**, ASABE Annual International Meeting, p. 8, 2018.
- CHERVENKOV, H, SLAVOV, K. Historical climate assessment of precipitation-based ETCCDI climate indices derived from CMIP5 simulations. **Atmospheric Physics**, v.7, 2020.
- DIAS, H. B. Sugarcane variety modelling: evaluation and improving the APSIM-Sugar model for simulating crop performance under current and future climates across Brazil. **Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências**, ESALQ/USP, 2020.
- DIAS, H. B., SENTELHAS, P. C. Assessing the performance of two gridded weather data for sugarcane crop simulations with a process-based model in Center-South Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v.65, p. 1881-1893, 2021.

- DUARTE, Y. C. N., SENTELHAS, P. C. NASA/POWER and DailyGridded weather datasets—how good they are for estimating maize yields in Brazil? **International Journal of Biometeorology**, v.64, p. 319–329, 2020.
- ELLI, E. P., SENTELHAS, P. C., BENDER, F. D. Impacts and uncertainties of climate change projections on *Eucalyptus* plantations productivity across Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.474, p. 11, 2020.
- GOMES, L. C., BIANCHI, F. J. J. A., CARDOSO, L. M., FERNANDES, R. B. A., FILHO, E. I. F. Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.294, p. 11, 2020.
- GONDIM, R., SILVEIRA, C., FILHO, F. S., JUNIOR, F. V., CID, D. Climate change impacts on water demand and availability using CMIP5 models in the Jaguaribe basin, semi-arid Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v.77, p. 14, 2018.
- JONES, P. G., THORNTON, P. K. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. **Global Environmental Change**, v.13, p. 51-59, 2003.
- JUSTINO, F., OLIVEIRA, E. C., RODRIGUES, E. D. A., HENRIQUE, P., GONÇALVES, L., JORGE, P., PONTE, O., STORDAL, F., MARENGO, J., SILVA, T. G., DELGADO, R. C., LINDEMANN, S., COSTA, L. C. Mean and interannual variability of maize and soybean in Brazil under global warming conditions. **American Journal of Climate Change**, v.2, p. 237-253, 2013.
- MARENGO, J. A. Mudanças climáticas: Detecção e cenários futuros para o Brasil até o final do século XXI. Em: CAVALCANTI, I. F., FERREIRA, N. J., SILVA, M. G. A. J., DIAS, M. A. F. S. **Tempo e Clima Brasil**, p. 407-424, 2009.
- MARTEL, J. L., BRISSET, F. P., PICHER, P. L., TROIN, M., ARSENAULT, R. Climate change and rainfall intensity-duration-frequency curves: Overview of science and guidelines for adaptation. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.26, p. 18, 2021.
- MARTINS, M. A., TOMASELLA, J., DIAS, C. B. Maize yield under a changing climate in the Brazil Northeast: Impacts and adaptations. **Agricultural Water Management**, v.2016, p. 339-350, 2019.
- MONTEIRO, L. A., SENTELHAS, P. C., PEDRA, G. U. Assessment of NASA/POWER satellite-based Weather system for Brazilian conditions and its impact on sugarcane yield simulation. **International Journal of Climatology**, v.38, p. 1571-1581, 2018.
- 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. M., WEYANT, J. P., WILBANKS, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v.463, p. 747-756, 2010.
- PARENT, B., LECLERE, M., LACUBE, S., SEMENOV, M. A., WELCKER, C., MARTRE, P., TARDIEU, F. Maize yields over Europe may increase in spite of climate change, with an appropriate use of the genetic variability of flowering time. **PNAS**, v.15, p. 10642-10647, 2018.

- PINTO, I., JACK, C., HEWITSON, B. Process-based model evaluation and projections over southern Africa from Coordinated Regional Climate Model Intercomparison Project Phase 5 models. **International Journal of Climatology**, v.38, p. 4251-4261, 2018.
- PIRES, G. F., ABRAHÃO, G. M., BRUMATTI, L. M., OLIVEIRA, L. J. C., COSTA, M. H., LIDDICOAT, S., KATO, E., LADLE, R. J. Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.228-229, p. 286-298, 2016.
- ROSENZWEIG, C., JONES, J. W., HATFIELD, J. L., RUANE, A. C., BOOTE, K. J., THORBURN, P., ANTLE, J. M., NELSON, G. C., PORTER, C., JANSSEN, S., ASSENG, S., BASSO, B., EWERT, F., WALLACH, D., BAIGORRIA, G., WINTER, J. M. The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): Protocols and pilot studies. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.170, p. 166-182, 2013.
- ROSENZWEIG, C., J. ANTLE, AND J. ELLIOTT, Assessing impacts of climate change on food security worldwide, **Eos**, v.97, 2016.
- RUANE, A. C., WINTER, J. M., MCDERMID, S. P., HUDSON, N. I. AgMIP climate datasets and scenarios for integrated assessment. Em: ROSENZWEIG, C., HILLEL, D., Handbook of Climate Change and Agroecosystems: The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP). ICP Series on Climate Change Impacts, Adaptation, and Mitigation Vol. 3. Part 1, **Imperial College Press**, p. 45-78, 2015.
- RUANE, A. C., MCDERMID, S. P. Selection of a representative subset of global climate models that captures the profile of regional changes for integrated climate impacts assessment. **Earth Perspectives**, v.4, p. 20, 2017.
- SÁNCHEZ, B., RASMUSSEN, A., PORTER, J. R. Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. **Global Change Biology**, v.20, p. 408-417, 2015.
- SPERA, S. A., WINTER, J. M., PARTRIDGE, T. F. Brazilian maize yields negatively affected by climate after land clearing. **Nature Sustainability**, v.3, p. 845-852, 2020.
- TAYLOR, K. E., STOUFFER, R. J., & MEEHL, G. A. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design, **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.93, p. 485-498, 2012.
- TORETI, A., DERYNG, D., TUBIELLO, F. N., MÜLLER, C., KIMBALL, B. A., MOSER, G., BOOTE, K., ASSENG, S., PUGH, T. A. M., VANUYTRECHT, E., PLEJEL, H., WEBBER, H., DURAND, J. L., DENTENER, F., CEGLAR, A., WANG, X., BADECK, F., LECERF, R., WALL, G. W., van den BERG, M., HOEGY, P., LOPEZ-LOZANO, R., ZAMPIERI, M., GALMARINI, S., O'LEARY, G. J., MANDERSCHIED, R., CONTRERAS, E. M., ROSENZWEIG, C. Narrowing uncertainties in the effects of elevated CO₂ on crops. **Nature Foods**, v.1, p. 775-782, 2020.

- van VUUREN, D. P., EDMONDS, J. A. E., KAINUMA, M., RIAHI, K., THOMSON, A., HIBBARD, K., HURTT, G. C., KRAM, T., KREY, V., LAMARQUE, J. F., MASUI, T., MEINSHAUSEN, M., NAKICENOVIC, N., SMITH, S. J., ROSE, S. K. The representative concentration pathways: An overview. **Climatic Changes**, v.109, p. 27, 2011.
- WILBY, R. L., CHARLES, S. P., ZORITA, E., TIMBAL, B., WHETTON, P., MEARNS, L. O. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods, **Supporting material of the Intergovernmental Panel in Climate Change**, v.27, p. 27, 2004.
- XAVIER, A. C., KING, C. W., SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v.36, p. 2644-2659, 2016.
- YORO, K. O., DARAMOLA, M. O. Chapter 1 – CO₂ emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. **Advances in Carbon Capture**, p. 3-28, 2020.

Material Suplementar

Tabela S1. Lista dos GCMs selecionados, de acordo com o método proposto por Ruane e McDermid (2017), para as 97 cidades estudadas para os perfis climáticos: a) frio e úmido (FU); b) quente e úmido (QU); c) frio e seco (FS); d) quente e seco (QS) e e) médio (ME) nas projeções de médio prazo e RCP 4.5.

Cidade	UF	FU	QU	FS	QS	ME
Balsas	MA	E	R	P	Y	Q
Marianópolis do Tocantins	TO	X	M	Z	1	Q
Remanso	BA	X	M	T	D	2
Santa Rita de Cássia	BA	U	J	H	1	I
Barra	BA	S	Y	E	G	W
Morro do Chapéu	BA	U	J	E	G	R
Gurupi	TO	T	J	Z	G	W
Itaberaba	BA	Q	V	T	1	F
Sorriso	MT	E	Y	Z	K	R
Bom Jesus da Lapa	BA	U	M	H	G	2
Sapezal	MT	X	R	H	K	Q
Correntina	BA	X	A	Z	G	O
Posse	GO	S	A	Z	D	B
Tangará da Serra	MT	E	R	I	K	C
Vitória da Conquista	BA	I	Y	H	D	B
Formoso	MG	T	Y	Z	D	B
Januária	MG	T	M	Z	D	B
Formosa	GO	Q	Y	Z	P	B
Aragarças	GO	T	Y	Z	P	M
São Romão	MG	T	Y	Z	G	B
Rondonópolis	MT	X	2	H	1	M
Unai	MG	Q	3	Z	P	W
Juramento	MG	Q	M	I	G	R
Cristalina	GO	Q	Y	E	1	W
Paraúna	GO	S	K	Z	1	R
Caiapônia	GO	T	Y	Z	1	B
Alto Araguaia	MT	T	Y	E	G	V
Morrinhos	GO	X	Y	Z	1	A
Alto Taquari	MT	T	Y	H	G	V
Catalão	GO	X	Y	F	1	A
Três Marias	MG	X	Y	E	D	W
Costa Rica	MS	X	K	E	1	V
Coxim	MS	H	3	E	1	A
Curvelo	MG	X	Y	H	D	A
Chapadão do Sul	MS	X	3	E	G	B
Ituiutaba	MG	X	Y	H	1	A
São Simão	GO	X	Y	U	1	R
Patrocínio	MG	X	K	H	1	A
Dores do Indaiá	MG	O	K	H	1	M

Paranaíba	MS	3	W	E	1	I
Florestal	MG	X	A	P	N	H
Conceição das Alagoas	MG	X	Y	H	3	M
Jales	SP	Z	W	S	G	2
Votuporanga	SP	Z	W	H	1	3
Campo Grande	MS	F	M	E	J	B
Franca	SP	X	W	H	1	F
Catanduva	SP	X	3	H	G	F
Valparaíso	SP	V	Y	U	J	F
Pradópolis	SP	X	Y	H	G	W
Maracaju	MS	O	Y	X	G	V
Lins	SP	O	3	U	J	F
Casa Branca	SP	Z	K	H	1	3
São Lourenço	MG	O	K	H	M	F
Ivinhema	MS	Z	N	E	G	A
Bauru	SP	X	R	L	M	F
Itapira	SP	O	N	H	M	Z
Piracicaba	SP	O	Y	L	M	X
Ourinhos	SP	O	A	H	P	B
Amambai	MS	S	N	L	M	W
São Luíz do Paraitinga	SP	S	R	U	2	Z
Londrina	PR	O	Y	H	P	B
Cidade Gaúcha	PR	Z	Y	X	G	W
Sorocaba	SP	S	R	L	M	X
Japira	PR	V	Y	H	P	F
Nova Tebas	PR	O	Y	X	P	F
Iguape	SP	A	B	L	C	R
Castro	PR	V	Y	X	P	F
Ivaí	PR	O	Y	E	P	B
Dois Vizinhos	PR	S	Y	L	G	F
Dionísio Cerqueira	SC	O	Y	L	M	F
Major Vieira	SC	O	K	Z	D	2
Clevelândia	PR	O	Y	P	M	2
São Miguel do Oeste	SC	Z	Y	L	M	F
Caçador	SC	O	K	X	M	2
Indaial	SC	Y	G	E	C	K
Rio do Campo	SC	O	K	P	C	2
Xanxerê	SC	O	Y	P	M	2
Joaçaba	SC	O	K	L	M	2
Curitibanos	SC	O	K	L	C	2
Ituporanga	SC	Y	G	2	C	W
Erechim	RS	O	K	L	M	F
Lagoa Vermelha	RS	Z	K	L	D	V
São Luiz Gonzaga	RS	Z	Y	L	M	C
Cruz Alta	RS	S	J	P	D	C
São Borja	RS	W	J	I	D	F
Soledade	RS	U	Y	P	D	C
Caxias do Sul	RS	W	R	T	D	F

Alegrete	RS	W	K	T	D	X
Santa Maria	RS	S	J	T	D	F
Porto Alegre	RS	3	G	T	1	V
São Gabriel	RS	Z	M	T	1	Q
Encruzilhada do Sul	RS	3	K	L	1	V
Santana do Livramento	RS	2	D	U	Y	V
Camaquã	RS	3	J	T	X	V
Bagé	RS	Z	D	T	1	F
Canguçu	RS	3	N	T	Y	F
Santa Vitória do Palmar	RS	J	C	S	H	3

Tabela S2. Lista dos GCMs selecionados, de acordo com o método proposto por Ruane e McDermid (2017), para as 97 cidades estudadas para os perfis climáticos: a) frio e úmido (FU); b) quente e úmido (QU); c) frio e seco (FS); d) quente e seco (QS) e e) médio (ME) nas projeções de médio prazo e RCP 8.5.

Cidade	UF	FU	QU	FS	QS	ME
Balsas	MA	X	N	T	A	O
Marianópolis do Tocantins	TO	X	V	Z	S	W
Remanso	BA	U	J	Z	1	2
Santa Rita de Cássia	BA	X	V	T	D	Y
Barra	BA	X	J	E	G	2
Morro do Chapéu	BA	I	V	S	2	F
Gurupi	TO	U	V	I	D	B
Itaberaba	BA	U	J	G	1	P
Sorriso	MT	E	W	H	D	R
Bom Jesus da Lapa	BA	H	N	S	D	Q
Sapezal	MT	E	W	I	D	M
Correntina	BA	X	W	F	G	B
Posse	GO	X	V	P	G	F
Tangará da Serra	MT	E	W	H	S	K
Vitória da Conquista	BA	X	K	S	D	Q
Formoso	MG	X	W	P	2	F
Januária	MG	T	W	S	G	F
Formosa	GO	T	N	E	P	G
Aragarças	GO	F	W	T	P	C
São Romão	MG	X	W	H	2	S
Rondonópolis	MT	S	N	H	J	2
Unai	MG	T	N	E	P	Y
Juramento	MG	T	M	H	N	R
Cristalina	GO	T	N	E	3	G
Paraúna	GO	X	M	U	1	B
Caiapônia	GO	S	N	T	1	Y
Alto Araguaia	MT	S	N	Z	J	F
Morrinhos	GO	S	K	U	3	G
Alto Taquari	MT	S	N	Z	J	F
Catalão	GO	O	K	F	3	Y
Três Marias	MG	O	3	H	2	G
Costa Rica	MS	X	W	Z	J	Q
Coxim	MS	S	3	H	J	Q
Curvelo	MG	O	K	U	C	R
Chapadão do Sul	MS	O	3	H	J	C
Ituiutaba	MG	F	V	S	J	G
São Simão	GO	O	K	U	M	B
Patrocínio	MG	O	M	U	C	Y
Dores do Indaiá	MG	O	Y	H	D	R
Paranaíba	MS	X	V	U	1	R
Florestal	MG	B	Y	H	1	Q
Conceição das Alagoas	MG	X	A	P	3	Z
Jales	SP	X	V	U	J	2

Votuporanga	SP	O	W	H	J	2
Campo Grande	MS	X	W	Z	J	Q
Franca	SP	O	K	P	E	R
Catanduva	SP	X	3	P	1	Q
Valparaíso	SP	X	W	U	J	2
Pradópolis	SP	X	A	P	Y	Q
Maracaju	MS	O	W	L	M	Q
Lins	SP	S	3	U	J	2
Casa Branca	SP	B	W	U	1	R
São Lourenço	MG	O	V	H	J	F
Ivinhema	MS	O	W	U	J	Q
Bauru	SP	O	M	H	E	F
Itapira	SP	S	K	H	1	2
Piracicaba	SP	O	K	T	1	R
Ourinhos	SP	O	A	H	P	F
Amambai	MS	S	G	L	1	Q
São Luíz do Paraitinga	SP	K	M	X	J	2
Londrina	PR	S	A	L	J	F
Cidade Gaúcha	PR	S	A	U	M	C
Sorocaba	SP	O	Y	U	M	F
Japira	PR	O	W	I	J	F
Nova Tebas	PR	2	K	L	M	C
Iguape	SP	Y	Q	L	P	U
Castro	PR	S	W	X	P	F
Ivaí	PR	S	Y	X	M	Q
Dois Vizinhos	PR	S	K	L	M	F
Dionísio Cerqueira	SC	S	K	L	M	Q
Major Vieira	SC	S	W	L	P	C
Clevelândia	PR	S	W	L	M	C
São Miguel do Oeste	SC	S	K	L	M	Q
Caçador	SC	S	V	T	M	C
Indaial	SC	S	W	L	1	B
Rio do Campo	SC	Z	V	T	P	C
Xanxerê	SC	S	V	L	M	C
Joaçaba	SC	S	W	U	M	C
Curitibanos	SC	Z	W	T	P	C
Ituporanga	SC	Z	V	L	P	B
Erechim	RS	2	W	L	M	C
Lagoa Vermelha	RS	2	J	X	P	C
São Luiz Gonzaga	RS	S	N	L	P	Y
Cruz Alta	RS	Z	J	L	M	Y
São Borja	RS	2	R	I	M	Y
Soledade	RS	Z	W	X	M	B
Caxias do Sul	RS	Z	W	X	D	R
Alegrete	RS	2	J	I	M	K
Santa Maria	RS	Z	J	U	M	K
Porto Alegre	RS	K	C	T	P	B
São Gabriel	RS	S	J	I	P	K

Encruzilhada do Sul	RS	S	V	L	P	B
Santana do Livramento	RS	S	D	X	H	G
Camaquã	RS	Z	V	U	G	Y
Bagé	RS	Z	J	U	G	K
Canguçu	RS	2	V	U	G	F
Santa Vitória do Palmar	RS	A	C	3	V	U

Tabela S3. Lista dos GCMs selecionados, de acordo com o método proposto por Ruane e McDermid (2017), para as 97 cidades estudadas para os perfis climáticos: a) frio e úmido (FU); b) quente e úmido (QU); c) frio e seco (FS); d) quente e seco (QS) e e) médio (ME) nas projeções de longo prazo e RCP 4.5.

Cidade	UF	FU	QU	FS	QS	ME
Balsas	MA	S	V	H	Y	C
Marianópolis do Tocantins	TO	S	J	L	G	Q
Remanso	BA	I	M	T	1	B
Santa Rita de Cássia	BA	I	V	H	1	B
Barra	BA	Q	V	T	G	O
Morro do Chapéu	BA	Q	M	T	3	R
Gurupi	TO	X	J	I	1	O
Itaberaba	BA	I	K	C	1	X
Sorriso	MT	E	W	T	G	C
Bom Jesus da Lapa	BA	Q	Y	Z	G	O
Sapezal	MT	F	O	H	3	M
Correntina	BA	Q	V	E	3	O
Posse	GO	Q	J	F	G	O
Tangará da Serra	MT	F	Y	H	P	C
Vitória da Conquista	BA	Q	A	E	1	B
Formoso	MG	R	Y	T	P	O
Januária	MG	O	N	T	G	M
Formosa	GO	Q	Y	Z	P	B
Aragarças	GO	Q	Y	I	G	2
São Romão	MG	B	Y	T	G	2
Rondonópolis	MT	E	Y	H	G	O
Unaí	MG	R	Y	E	P	X
Juramento	MG	Q	N	I	D	X
Cristalina	GO	S	Y	I	1	X
Paraúna	GO	T	J	H	G	M
Caiapônia	GO	Q	Y	I	1	O
Alto Araguaia	MT	Q	Y	H	G	B
Morrinhos	GO	X	Y	T	1	O
Alto Taquari	MT	Q	Y	H	G	B
Catalão	GO	O	Y	I	1	Z
Três Marias	MG	O	N	T	1	Z
Costa Rica	MS	Q	Y	H	G	M
Coxim	MS	E	Y	H	1	M
Curvelo	MG	O	Y	L	D	X
Chapadão do Sul	MS	Q	Y	H	G	M
Ituiutaba	MG	O	Y	S	G	Z
São Simão	GO	S	Y	H	G	X
Patrocínio	MG	X	W	H	1	2
Dores do Indaiá	MG	O	V	T	D	R
Paranaíba	MS	R	Y	H	2	X
Florestal	MG	O	W	I	2	M
Conceição das Alagoas	MG	Q	W	H	G	F
Jales	SP	R	Y	S	G	Z

Votuporanga	SP	H	Y	F	G	Z
Campo Grande	MS	F	Y	U	G	B
Franca	SP	O	N	T	G	M
Catanduva	SP	B	Y	F	G	Q
Valparaíso	SP	B	Y	H	G	Z
Pradópolis	SP	B	3	F	G	Q
Maracaju	MS	O	Y	L	G	B
Lins	SP	B	Y	F	G	Q
Casa Branca	SP	O	3	U	G	R
São Lourenço	MG	B	A	E	P	R
Ivinhema	MS	O	Y	U	G	Z
Bauru	SP	3	Y	L	G	Z
Itapira	SP	S	Y	L	M	X
Piracicaba	SP	O	Y	H	D	Z
Ourinhos	SP	O	A	U	G	B
Amambai	MS	W	K	H	J	E
São Luíz do Paraitinga	SP	Y	W	T	P	J
Londrina	PR	O	Y	H	G	Q
Cidade Gaúcha	PR	O	Y	U	G	C
Sorocaba	SP	O	A	H	G	X
Japira	PR	O	Y	H	G	X
Nova Tebas	PR	O	Y	U	M	F
Iguape	SP	Y	A	I	C	X
Castro	PR	3	N	U	I	F
Ivaí	PR	S	N	U	I	B
Dois Vizinhos	PR	S	Y	I	D	C
Dionísio Cerqueira	SC	S	A	H	D	C
Major Vieira	SC	O	Y	U	D	Q
Clevelândia	PR	O	Y	U	N	X
São Miguel do Oeste	SC	S	A	I	G	X
Caçador	SC	O	Y	L	D	F
Indaial	SC	S	G	E	P	X
Rio do Campo	SC	O	J	L	D	M
Xanxerê	SC	O	J	U	N	X
Joaçaba	SC	O	V	U	D	E
Curitibanos	SC	O	K	Z	D	Q
Ituporanga	SC	Y	G	U	P	F
Erechim	RS	O	Y	T	N	E
Lagoa Vermelha	RS	S	K	B	M	E
São Luiz Gonzaga	RS	Z	Y	I	G	C
Cruz Alta	RS	S	J	I	D	E
São Borja	RS	W	Y	I	P	F
Soledade	RS	S	K	I	D	E
Caxias do Sul	RS	Z	K	B	N	V
Alegrete	RS	W	K	U	P	F
Santa Maria	RS	Z	J	I	G	E
Porto Alegre	RS	S	N	U	G	X
São Gabriel	RS	S	M	T	G	E

Encruzilhada do Sul	RS	S	Y	U	G	X
Santana do Livramento	RS	S	K	U	P	C
Camaquã	RS	S	K	H	P	Q
Bagé	RS	S	J	H	G	E
Canguçu	RS	S	K	I	G	E
Santa Vitória do Palmar	RS	W	M	I	G	K

Tabela S4. Lista dos GCMs selecionados, de acordo com o método proposto por Ruane e McDermid (2017), para as 97 cidades estudadas para os perfis climáticos: a) frio e úmido (FU); b) quente e úmido (QU); c) frio e seco (FS); d) quente e seco (QS) e e) médio (ME) nas projeções de longo prazo e RCP 8.5.

Cidade	UF	FU	QU	FS	QS	ME
Balsas	MA	I	N	T	3	Q
Marianópolis do Tocantins	TO	X	N	H	A	Q
Remanso	BA	H	J	T	3	S
Santa Rita de Cássia	BA	H	V	F	G	O
Barra	BA	X	A	S	1	P
Morro do Chapéu	BA	H	J	E	1	R
Gurupi	TO	T	N	H	D	R
Itaberaba	BA	I	V	C	3	G
Sorriso	MT	F	W	2	K	O
Bom Jesus da Lapa	BA	I	V	P	G	O
Sapezal	MT	X	V	2	D	A
Correntina	BA	X	A	S	G	2
Posse	GO	O	A	H	3	E
Tangará da Serra	MT	B	N	Z	J	Y
Vitória da Conquista	BA	U	A	S	3	R
Formoso	MG	O	A	I	3	E
Januária	MG	O	W	T	G	B
Formosa	GO	T	N	E	P	G
Aragarças	GO	F	N	T	3	Q
São Romão	MG	O	A	T	G	B
Rondonópolis	MT	S	W	I	J	C
Unai	MG	X	W	T	G	3
Juramento	MG	X	A	U	P	O
Cristalina	GO	O	W	H	G	Y
Paraúna	GO	E	W	I	1	R
Caiapônia	GO	F	N	I	1	R
Alto Araguaia	MT	F	A	T	G	Q
Morrinhos	GO	S	N	T	G	R
Alto Taquari	MT	E	A	T	G	Q
Catalão	GO	O	N	T	1	3
Três Marias	MG	X	W	T	1	3
Costa Rica	MS	F	A	T	G	B
Coxim	MS	E	V	Z	G	Q
Curvelo	MG	B	W	T	1	R
Chapadão do Sul	MS	F	N	T	1	M
Ituiutaba	MG	F	W	T	1	2
São Simão	GO	S	M	T	G	B
Patrocínio	MG	S	M	H	1	E
Dores do Indaiá	MG	X	W	T	1	3
Paranaíba	MS	E	W	U	G	2
Florestal	MG	X	W	T	P	R
Conceição das Alagoas	MG	X	M	T	G	2
Jales	SP	X	W	T	G	Q

Votuporanga	SP	X	W	T	G	Q
Campo Grande	MS	X	A	T	G	Q
Franca	SP	X	M	T	1	2
Catanduva	SP	X	A	H	Y	E
Valparaíso	SP	E	W	U	Y	Q
Pradópolis	SP	O	A	H	G	2
Maracaju	MS	O	N	L	P	C
Lins	SP	X	W	U	Y	2
Casa Branca	SP	3	W	T	1	2
São Lourenço	MG	S	W	T	P	Q
Ivinhema	MS	O	J	U	P	V
Bauru	SP	O	W	L	G	F
Itapira	SP	S	Y	X	P	Q
Piracicaba	SP	O	N	T	P	Z
Ourinhos	SP	O	N	T	P	C
Amambai	MS	S	K	T	R	C
São Luíz do Paraitinga	SP	A	W	U	P	Z
Londrina	PR	O	W	T	P	Q
Cidade Gaúcha	PR	O	A	U	P	C
Sorocaba	SP	O	J	T	P	F
Japira	PR	O	N	U	P	F
Nova Tebas	PR	S	J	U	P	Q
Iguape	SP	A	M	L	C	W
Castro	PR	3	Y	U	P	Q
Ivaí	PR	S	Y	U	P	Q
Dois Vizinhos	PR	S	Y	T	N	C
Dionísio Cerqueira	SC	S	J	T	M	C
Major Vieira	SC	S	K	U	D	F
Clevelândia	PR	S	V	U	P	R
São Miguel do Oeste	SC	Z	J	I	M	C
Caçador	SC	S	K	U	M	R
Indaial	SC	S	Q	I	C	T
Rio do Campo	SC	S	K	U	D	F
Xanxerê	SC	S	Y	U	P	R
Joaçaba	SC	Z	K	T	M	R
Curitibanos	SC	S	K	U	D	G
Ituporanga	SC	Z	V	U	C	B
Erechim	RS	S	V	U	P	R
Lagoa Vermelha	RS	Z	K	T	1	R
São Luiz Gonzaga	RS	Z	J	I	D	C
Cruz Alta	RS	S	K	I	N	C
São Borja	RS	2	P	U	Q	F
Soledade	RS	2	K	T	N	G
Caxias do Sul	RS	2	K	I	M	R
Alegrete	RS	2	K	U	Q	Y
Santa Maria	RS	2	J	U	M	C
Porto Alegre	RS	3	V	I	P	R
São Gabriel	RS	S	J	U	N	Y

Encruzilhada do Sul	RS	S	K	T	P	Q
Santana do Livramento	RS	A	F	T	Q	Y
Camaquã	RS	3	J	I	G	Y
Bagé	RS	S	K	I	Q	P
Canguçu	RS	A	V	L	G	F
Santa Vitória do Palmar	RS	3	V	A	P	J

Tabela S5. Médias mensais do acumulado de chuva projetado para o médio prazo sob uma condição de RCP 4.5 para as 97 cidades estudadas.

Cidade	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Balsas	MA	205,91	181,8	215,69	137,46	50,25	3,47	1,87	7,18	27,31	52,56	114,38	203,8
Marianópolis do Tocantins	TO	286,84	280,04	340,36	175,79	72,49	3,17	0,09	5,93	21,96	117,43	179,49	315,49
Remanso	BA	125,72	122,35	141,51	90,92	7,02	1,16	1,23	0,98	4,98	16,73	70,56	91,48
Santa Rita de Cássia	BA	169,78	134,33	130,7	68,33	11,52	1,35	0,03	1,95	8,44	51,53	135,46	161,62
Barra	BA	115,39	109,38	120,29	53,12	12,46	2,52	0,66	0,44	7,83	23,26	67,99	124,43
Morro do Chapéu	BA	88,46	70,19	97,27	64,49	23,73	39,61	23,01	22,48	14,76	28,68	67,78	93,25
Gurupi	TO	233,37	221,86	246,71	128,82	29,44	2,77	0,01	4,76	39,76	68,38	171,44	243,81
Itaberaba	BA	81,59	74,05	69,23	46,68	22,41	37,87	26,79	16,56	11,29	25,99	52,48	83,85
Sorriso	MT	289,21	283,24	208,72	112,62	34,82	3,59	4,87	4,54	48,51	128,88	187,61	292,81
Bom Jesus da Lapa	BA	156,01	112,97	110,44	66,65	4,89	2,33	1,25	1,88	10,39	42,14	92,86	208,28
Sapezal	MT	377,42	346,81	326,82	168,42	60,17	29,74	8,44	28,74	65,86	166,74	215,21	332,65
Correntina	BA	190,22	130,94	129,05	51,52	9,4	1,67	0,95	1,54	14,6	65,63	156,65	239,88
Posse	GO	221,22	230,95	247,73	110,2	25,18	4,17	1,21	7,54	22,63	91,46	199,72	293,84
Tangará da Serra	MT	312,71	243,93	249,66	145,01	43,76	11,47	15,26	17,55	66,09	130,23	230,45	310,41
Vitória da Conquista	BA	115,63	80,4	86,38	47,44	19	19,29	18,87	16,65	16,97	38,85	119,41	146,85
Formoso	MG	180,51	185,21	188,8	83,77	20,21	4,94	1,54	2,7	19,95	64,7	192,52	260,43
Januária	MG	175,64	131,47	156,31	56,36	6,1	3,06	1,49	2,55	13,36	39,91	148,69	272,5
Formosa	GO	270,09	217,46	210,7	99,74	23,13	4,4	3,35	8,69	25,57	103,2	193,76	278,67
Aragarças	GO	322,62	237,76	235,92	79,96	30,19	10,43	4,01	5,07	54,64	99,67	181,99	265,37
São Romão	MG	219,27	126,64	149,12	48,35	8,9	4,13	4,47	4,9	16,92	51,97	160,64	247,87
Rondonópolis	MT	266,63	187,96	179,07	92,61	38,5	11,11	10,8	5,06	67,57	96,55	180,82	250,07
Unaí	MG	241,51	180,42	175,51	86,52	17,95	7,65	6,61	8,34	18,34	65,35	202,29	304,67
Juramento	MG	215,02	121,64	141,36	52,86	6,93	6,09	2,62	6,06	15,14	48,9	159,58	236,61
Cristalina	GO	287,85	250,19	253,53	93,49	27,31	4,17	4,65	10,09	29,38	93,73	217,16	318,51
Paraúna	GO	247,31	217,97	233,84	96,45	33,64	13,67	2,63	6,94	44,22	107,26	163,33	242,29
Caiapônia	GO	296,24	301,3	264,05	96,49	39,19	12,76	5,22	6,42	55,74	100,14	174,27	292,22
Alto Araguaia	MT	292,68	275,43	225,04	92,15	48,39	20,86	7,04	13,06	108,58	143,44	196,14	260,86
Morrinhos	GO	292,35	212,52	218,33	82,47	38,31	8,28	6,37	6,72	49,65	91,57	200,48	306,47

Alto Taquari	MT	292,65	286,1	250,17	108,04	56,35	14,31	5,61	16,92	121,97	132,37	192,12	271,52
Catalão	GO	281,54	238,93	200,23	86,93	32,36	13,4	5,68	9,07	41,98	90,72	206,05	289,03
Três Marias	MG	199,9	167,09	144,83	68,53	30,16	6,94	5,33	9,22	21,17	56,75	187,71	229,16
Costa Rica	MS	311,76	236,28	255,93	141,32	75,37	16,27	16,91	16,4	63,12	130,64	200,86	259,26
Coxim	MS	265,92	206,21	123,06	83,23	65,5	21,66	22,03	13,05	102,79	138,68	157,87	243,55
Curvelo	MG	266,33	139,17	125,05	41,97	21,18	5,83	5,45	10,34	23,02	65,96	165,14	255,37
Chapadão do Sul	MS	304,55	240,38	198,58	92,56	94,25	16,53	22,41	30,46	90,03	169,87	241,72	288,82
Ituiutaba	MG	301,47	207,94	179,11	72,6	40,88	12,78	7,62	9,38	44,27	96,43	181,29	276,29
São Simão	GO	286,23	212,18	188,71	77,89	43,72	15,55	14,16	8,82	106,92	206,02	283,34	241,25
Patrocínio	MG	316,14	221,33	192,29	63,99	42,59	13,76	14,46	11,42	37,18	80,88	176,61	289,81
Dores do Indaiá	MG	322,77	240,5	202,96	68,46	32,46	10,55	13,84	13,55	36,84	77,89	161,97	283,8
Paranaíba	MS	299,26	212,83	184,25	68,33	36,79	14,17	19,41	10,82	80,94	99,18	142,85	245,87
Florestal	MG	341,77	132,51	165,81	63,77	25,02	12,11	7,38	10,92	36,73	73,75	210,22	393,55
Conceição das Alagoas	MG	333,74	221,23	186,41	71,67	50,42	17,55	9,3	12,13	44,57	138,76	154,57	296,39
Jales	SP	259,51	198,42	156,19	98,76	59,15	29,28	14,87	11,26	57,31	90,91	121,16	185,07
Votuporanga	SP	304,6	214,64	154,65	79,88	61,91	15,22	19,05	11,95	53,36	104,12	141,31	202,53
Campo Grande	MS	253,11	192,16	159,85	89,51	90,82	41,51	35,05	52,23	83,31	138,13	152,65	219,02
Franca	SP	377,27	255,2	191,04	83,58	61,7	20,07	18,16	17,77	64,93	139,93	213,45	332,28
Catanduva	SP	287,3	203,9	140,5	64,47	71,69	21,76	22,58	28,76	61,64	98,07	129,48	204,56
Valparaíso	SP	233,77	193,84	136,72	85,85	74,61	46,28	29,64	38,81	80,07	108,65	116,49	183,99
Pradópolis	SP	304,19	226,29	157,61	76,98	70,28	20,63	17,17	18,14	55,8	115,22	152,06	256,49
Maracaju	MS	184,48	170,58	132,38	95,29	105,56	99,98	35,05	50,71	94,51	138,91	174,02	187,81
Lins	SP	229,18	196,28	136,37	67,94	56,33	46,03	33,32	39,2	89,88	106	132,75	189,04
Casa Branca	SP	269,48	221,14	183,43	86,35	64,94	25,85	24,55	17,54	47,95	133,94	147,43	243,44
São Lourenço	MG	308,2	220,79	182,6	76,03	68,56	29,4	26,46	28,03	76,83	116,11	183,14	308,66
Ivinhema	MS	174,99	171,89	135,23	103,98	124,62	63,43	58,55	59,05	145,27	161,79	155,04	183,22
Bauru	SP	305,38	222,8	134,88	85,81	94,2	52,54	35,06	30,46	81,4	105,6	151,53	222,36
Itapira	SP	256,37	207,92	172,51	93,62	79,38	54,19	38,72	25,03	63,71	108,49	157,53	262,12
Piracicaba	SP	253,06	191,91	177,58	75,36	79,42	53,44	33,33	29,06	65,75	130,06	139,43	198,77
Ourinhos	SP	232,35	154,36	158,04	93,1	103,47	71,68	59,38	32,63	99,03	131,74	158,58	232,19
Amambai	MS	159,98	180,36	147,54	155,44	176,38	154,38	44,81	69,72	151,8	234,96	216,42	246,95

São Luíz do Paraitinga	SP	262,99	231,94	179,29	86,07	76,29	45,49	47,08	30,36	91,1	121,72	160,76	218,14
Londrina	PR	250,06	182,89	139,38	113,42	144,31	94,47	70,24	42,39	108,36	144,25	168,78	223,06
Cidade Gaúcha	PR	195,63	177,38	123,9	115,52	139,11	84,39	77,6	60,62	125,74	176,84	150,95	188,81
Sorocaba	SP	286,32	187,95	139,59	60,6	83,16	69,76	43,34	35,3	87,82	105,72	142,88	196,66
Japira	PR	242,9	166,88	117,81	106,03	116,82	82,62	66,2	44,63	108,14	127,41	128,69	185,69
Nova Tebas	PR	224,06	151,88	115,84	128,48	186,72	135,87	102,58	77,34	167,4	182,39	171,18	186,75
Iguape	SP	270,79	274,04	299,06	149,58	149,96	100,83	119,93	73,21	174,7	138,59	133,16	192,38
Castro	PR	207,83	141,28	128,64	88,22	139,7	103,99	89,11	79,24	151,17	182,71	129,56	156,31
Ivaí	PR	208,23	146,29	143,09	127,39	204,96	142,17	163,33	82,41	186,93	224,52	148,87	169,91
Dois Vizinhos	PR	189,8	155,55	122,7	135,93	226,3	164,17	118,74	101,79	185,48	269,32	188,09	185,52
Dionísio Cerqueira	SC	185,12	199,23	150,68	182,37	258,82	207,11	142,56	157,99	231,28	284,35	229,22	187,07
Major Vieira	SC	179,74	165,41	132,75	114,99	158,87	157,83	150,1	106,7	182,81	215,5	146,74	154,12
Clelândia	PR	194,29	151,81	136,09	183,6	237,42	219,12	141,69	137,06	179,2	288,13	206,27	196,93
São Miguel do Oeste	SC	165,9	206,05	149,18	187,53	227,59	164,11	162,93	118,02	209,07	261,29	173,97	176,82
Caçador	SC	157	136,78	115,9	120,13	154,28	174,04	136,93	103,95	152,65	205,72	156,61	147,6
Indaial	SC	215,16	172,15	132,29	106,54	117,3	106,22	137,06	118,79	169,13	196,12	169,41	147,53
Rio do Campo	SC	182,21	171,19	140,01	93,94	129,49	135,07	150,64	100,6	139,04	205,31	162,97	180,96
Xanxerê	SC	188,08	169,1	142,9	169,47	185,79	187,58	149,98	141,03	176,17	256,34	181,87	176,59
Joaçaba	SC	172,88	166,99	119,99	147	180,18	169,95	168,9	121,5	177,48	232,48	149,82	163,88
Curitibanos	SC	152,67	132,1	103,29	121,33	142,42	155,86	173,07	122,88	173,49	212,98	148,77	154,18
Ituporanga	SC	175,45	153,8	93,02	108,26	121,64	118,07	146,45	130,21	168,12	184,75	149,89	139,39
Erechim	RS	177,07	164,5	125,58	169,12	227,18	192,78	174,07	165,77	216,58	254,21	170,16	169,05
Lagoa Vermelha	RS	180,77	167,89	120,67	158,6	204,6	156,11	236,92	141,67	235,91	224,66	176,93	147,28
São Luiz Gonzaga	RS	139,68	156,22	153,28	223,4	220,78	170,7	130,96	125,13	169,06	211,95	182,23	142,47
Cruz Alta	RS	163,96	154,77	156,66	196,25	172,87	154,58	144,87	127,5	195,14	250	206,59	154,5
São Borja	RS	150,43	138,82	156,96	265,78	128,08	123,84	84,57	66,91	148,16	202,45	162,16	162,58
Soledade	RS	154,42	140,06	139,74	169,76	158,64	160,57	165,12	130,5	203,97	216,39	191,48	129,72
Caxias do Sul	RS	159,61	168,86	125,05	152,9	159	188,06	196,94	161,61	191,79	200,88	169,86	152,6
Alegrete	RS	136,28	149,5	153,18	206,1	142,51	135,32	112,17	83,61	150,22	170,26	159,9	123,14
Santa Maria	RS	147,44	128,51	135,82	137,93	176,99	158,89	141,97	124,79	159,79	190,78	149,65	143,51
Porto Alegre	RS	123,44	113,03	99,51	119,43	141,13	145,42	125,45	147,84	155,92	139,27	130,65	120,74

São Gabriel	RS	125,14	122,97	131,62	167,84	146,72	144,44	137,83	88,26	158,62	144,79	153,53	131,66
Encruzilhada do Sul	RS	154,14	121,58	112,88	148,75	183	165,95	160,46	142,5	167,7	167,66	142,22	131,93
Santana do Livramento	RS	129,4	205,35	163,01	187,34	167,71	115,02	108,08	114,58	185,3	165,83	158,42	132,17
Camaquã	RS	129,34	149,73	107,7	139,12	140,56	146,3	153,32	137,66	176,58	143,62	133,23	132,01
Bagé	RS	119,24	167,95	136,1	182,25	166,1	142,49	130,92	102,11	130,13	128,19	144,24	121,66
Canguçu	RS	165,00	164,97	133,02	167,39	175,84	191,9	200,26	194,08	212,11	157,94	161,3	135,61
Santa Vitória do Palmar	RS	83,28	174,51	120,52	136,36	137,56	131,29	127,13	112,72	93,07	104,49	88,96	83,06

Tabela S6. Médias mensais do acumulado de chuva projetado para o médio prazo sob uma condição de RCP 8.5 para as 97 cidades estudadas.

Cidade	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Balsas	MA	207,08	176,13	202,25	134,94	42,55	3,47	1,92	6,18	23,61	46,51	184,06	222,09
Marianópolis do Tocantins	TO	273,93	261,95	300,22	166,31	58,02	3,4	0,23	7,94	21,3	113,2	218,44	296,34
Remanso	BA	150,09	113,19	143,27	82,69	7,2	0,99	1,13	0,94	4,78	10,07	56,68	80,45
Santa Rita de Cássia	BA	155,32	133,2	135,97	72,56	16,73	1,2	0,02	2,04	8,95	35,56	115,36	172,18
Barra	BA	106	97,47	113,63	59,08	14,42	2,64	0,57	0,47	8,17	20,91	76,31	125,41
Morro do Chapéu	BA	77,75	68,51	87,21	53,31	20,87	39,01	22,49	20,68	13,53	31,05	100,83	93,5
Gurupi	TO	242,38	230,46	225,55	121,09	23,24	2,82	0,02	4,07	21,88	62,5	186,73	259,16
Itaberaba	BA	98,23	88,37	77,91	46,86	23	31,86	25,12	13,99	12,52	21,6	44,42	78,68
Sorriso	MT	292,32	272,24	197,07	114,23	25,23	4,35	2,35	5,19	28,39	90,15	179,34	319,77
Bom Jesus da Lapa	BA	155,63	112,23	112,44	60,66	6,33	1,88	0,81	2,14	11,91	31,64	137,95	182,47
Sapezal	MT	399,99	345,92	328,78	150,71	47,75	10,04	5,83	32,23	64,88	129,53	205,09	338,06
Correntina	BA	174,91	131,23	146,39	48,12	9,36	1,61	0,96	1,61	11,56	55,05	163,1	221,34
Posse	GO	223,95	235,67	240,19	129,51	16,63	3,57	1,28	7,05	11,32	77,86	188,04	257,03
Tangará da Serra	MT	316,09	234,32	252,82	156,42	47	8,17	9,06	17,34	47,78	117,79	224,7	306,74
Vitória da Conquista	BA	119,44	74,11	114,16	46,86	19,77	21,32	18,95	16,65	14,88	33,33	94,12	128,69
Formoso	MG	183,15	172,84	189,14	83,26	15,09	4,31	1,68	2,75	14,47	52,9	196,84	236,71
Januária	MG	155,65	153,85	171,45	39,64	3,79	2,33	1,54	2,6	9,9	42,48	160,29	226,84
Formosa	GO	231,23	272,5	226,58	113,3	21,81	4,97	3,04	8,51	27,56	71,12	178,58	265,46
Aragarças	GO	329,3	225,5	233,13	77,6	20,05	9,78	5,51	7,23	29,43	94,57	205,87	268,92
São Romão	MG	231,17	116,16	152,52	53,07	5,16	4,32	4,71	4,55	12,44	36,32	159	266,88
Rondonópolis	MT	269,77	186,3	177,8	89,23	38	19,31	12,31	9,03	55,34	83,19	172,97	233,04
Unaí	MG	230,96	203,65	169,17	89,22	22,69	8,87	5,46	9,81	22,09	51,54	200,55	291,57
Juramento	MG	190,18	140,01	157,34	43,78	5,6	5,67	2,18	5,04	17,41	29,12	173,27	209,52
Cristalina	GO	245,17	293,95	253,89	96,76	30	5,33	3,64	14,72	40,22	75,49	205,55	290,46
Paraúna	GO	254,12	217,74	237,41	83,61	31,56	13,33	2,3	8,92	32,1	85,52	166,09	245,28
Caiapônia	GO	298,84	255,8	253,27	93,75	34,02	13,64	5,2	11,71	31,91	89,27	185,09	283,61
Alto Araguaia	MT	301,3	229,76	230,1	107,17	38,43	34,89	7,24	16,97	85,48	113,35	202,13	278,32
Morrinhos	GO	291,64	230,43	219,37	80,23	36,11	9,01	5,01	10,75	49,55	97,93	190,56	275,95

Alto Taquari	MT	291,6	245,58	260,24	122,8	42,57	23,74	13,96	23,69	87,25	106,57	203,77	294,34
Catalão	GO	292,09	242,27	202,08	73,16	31,66	12,37	5,17	12,38	38,06	102,72	201,63	262,4
Três Marias	MG	203,69	191,35	153,44	74,47	27,27	6,84	5,52	10,28	21,83	47,71	183,98	201,17
Costa Rica	MS	327,36	235,32	251,38	134,94	53,24	15,83	16,37	15,42	55,06	111,82	207,03	263,78
Coxim	MS	265,32	212,72	115,21	83,09	64,38	29,2	27,94	14,67	82,22	117,02	156,43	235,29
Curvelo	MG	269,55	153,86	133,83	44,67	19,45	5,8	5,3	10,47	21,95	71,42	156,2	233,16
Chapadão do Sul	MS	318,41	226,97	199,01	102,47	65,62	25,34	25,77	29,95	95,63	147,37	241,38	299,28
Ituiutaba	MG	283,41	212,92	200,57	76,28	36,76	18,12	9,69	14,55	49,29	113,08	181,86	236,26
São Simão	GO	288,83	217,67	193,4	68,71	48,49	22,52	11,83	10,22	75,96	209,77	269,57	240
Patrocínio	MG	314,29	216,6	180,66	54,1	39,77	16,27	19,03	12,48	36,08	87,09	178,07	268,44
Dores do Indaiá	MG	316,08	206,88	189,89	66,97	37,07	13,88	12,36	13,7	32,22	73,72	162,57	319,33
Paranaíba	MS	314,41	206,98	215,13	80,49	47,47	27,67	13,69	12,67	40,28	92,21	135,87	245,64
Florestal	MG	360,92	182,09	171,65	69,79	24,21	12,66	10,82	9,68	32,04	58,27	181,64	365,51
Conceição das Alagoas	MG	298,87	207,41	177,73	84,15	54,63	21,57	12,88	15,29	60,42	128,36	160,23	263,01
Jales	SP	256,8	189,57	184,79	109,73	54,09	31,39	14,66	15,4	48,63	94,54	128,03	179,2
Votuporanga	SP	308,22	192,17	152,78	90,36	61,74	24,39	12,91	16,58	47,66	91,88	144,07	206,59
Campo Grande	MS	257,28	190,2	176	104,73	76,26	51,61	35,17	26,64	64,43	127,09	164,63	211,55
Franca	SP	324,62	239,29	191,74	84,99	62,58	22,83	14,25	19,99	74,09	155,69	227,77	328,31
Catanduva	SP	265,56	211,22	143,46	65,17	68,41	26,46	28,48	24,68	40,11	89,78	126,32	204,34
Valparaíso	SP	229,12	184,74	147,32	84,71	64,17	38,47	27,24	34,42	63,12	96,75	118,44	170,24
Pradópolis	SP	255,73	201,81	160,88	87,85	76,89	32,23	26,96	19,9	55,55	113,56	151,84	242,51
Maracaju	MS	181,9	164,36	114,61	91,02	91,61	98,27	44,51	35,8	85,69	128,87	159,55	197,94
Lins	SP	222,13	200,27	140,63	68,51	60,3	43,23	37,54	34,56	70,66	104,39	137,37	177,72
Casa Branca	SP	278,78	211,26	174,37	90,9	70,36	30,46	21,26	19,06	49,2	106,3	149,71	234,69
São Lourenço	MG	314,1	210,57	183,98	82,37	64,72	29,35	26,02	26,2	80,24	113,91	175,82	322,38
Ivinhema	MS	185,58	175,26	115,61	108,95	120,23	96,61	47,91	47,52	105,94	158,45	155,19	181,06
Bauru	SP	287,32	204,71	131,37	75,98	92,75	52,6	50,05	20,45	58,59	94,5	141,71	227,39
Itapira	SP	264,13	211,01	169,94	90,08	70,96	51,76	36,2	27,12	58,53	103,89	150,87	240,34
Piracicaba	SP	238,15	197,52	171,34	70,56	84,8	59,09	33,26	30,58	60,47	119,9	140,15	197,89
Ourinhos	SP	219,3	153,39	146,53	91,11	102,61	84,46	43,57	29,59	100,2	128,15	150,96	235,38
Amambai	MS	161,42	176,37	146,15	160,98	179,73	127,41	46,45	49,16	113,02	184,92	231,79	240,92

São Luíz do Paraitinga	SP	258,71	256	207,85	90,43	69,51	45,33	55,99	34,57	71,72	114,32	130,72	195,41
Londrina	PR	228,9	189,01	135,91	101,55	128,31	103,02	73,85	43,42	148,58	137,79	179,34	240,39
Cidade Gaúcha	PR	190,16	170,79	121,04	104,35	121,14	106,07	78,66	68,56	141,54	159,5	152,11	194,15
Sorocaba	SP	263,85	178,55	144,67	61,20	94,09	76,08	71,7	28,87	80,77	107,93	132,33	207,87
Japira	PR	228,72	175,54	104,70	96,04	103,56	96,32	57,64	42,51	107,45	115,3	136,93	186,43
Nova Tebas	PR	204,10	176,91	109,89	109,2	160,88	138,64	146,57	81,3	153,01	147,39	155,17	196,64
Iguape	SP	252,72	261,77	286,93	176,59	160,04	114,73	130,18	59,7	149,96	153,52	143,94	185,6
Castro	PR	199,38	154,75	125,51	94,95	162,22	96,37	87,06	64,22	146,87	173,98	138,52	169,46
Ivaí	PR	202,65	155,26	147,14	119,43	220,37	149,36	146,31	76,56	193,33	208,06	151,82	182,71
Dois Vizinhos	PR	189,67	159,34	126,38	150,51	216,63	139,15	137,71	96,59	176,13	253,00	187,06	197,92
Dionísio Cerqueira	SC	171,98	201,71	159,51	186,46	228,14	160,62	152,55	131,8	224,70	267,65	261,91	218,23
Major Vieira	SC	166,70	168,57	128,18	109,49	160,85	129,77	136,34	112,94	202,64	222,38	160,95	165,87
Clelândia	PR	182,01	168,44	135,76	185,82	210,70	176,91	149,05	124,04	191,86	269,31	211,18	201,59
São Miguel do Oeste	SC	164,05	190,87	154,06	197,25	208,6	168,72	138,74	117,74	204,19	256,16	205,09	206,22
Caçador	SC	165,34	156,76	114,44	117,2	158,39	148,48	132,44	112,51	171,58	187,42	172,52	158,18
Indaial	SC	204,58	175,23	138,56	109,75	139,42	89,27	135,79	103,25	165,88	174,17	154,47	154,99
Rio do Campo	SC	192,71	178,67	134,02	100,64	127,23	138,16	133,5	103,07	157,42	191,78	168,64	193,78
Xanxerê	SC	186,12	181,98	132,86	165,05	170,97	178,30	131,71	153,49	198,35	234,32	183,56	175,78
Joaçaba	SC	174,38	182,55	129,21	152,82	172,39	160,07	147,23	121,45	174,79	242,85	168,31	167,55
Curitibanos	SC	159,91	133,28	101,64	129,65	140,62	155,69	163,47	113,61	172,54	210,30	165,35	169,87
Ituporanga	SC	168,13	159,38	99,47	119,32	122,48	115,69	137,02	112,85	170,59	179,12	147,00	160,70
Erechim	RS	172,45	177,24	114,35	170,19	199,96	197,63	208,32	173,54	230,95	252,30	174,01	172,83
Lagoa Vermelha	RS	182,47	183,27	127,01	160,44	182,84	209,77	179,69	138,02	232,95	246,50	200,19	163,91
São Luiz Gonzaga	RS	159,21	175,42	139,01	201,5	198,71	158,3	138,30	143,39	182,24	229,40	201,84	150,84
Cruz Alta	RS	143,25	144,84	135,27	188,36	198,22	155,21	203,67	163,1	217,66	244,72	193,33	158,26
São Borja	RS	129,19	134,23	151,37	234,18	146,42	144,55	101,26	67,38	135,70	185,36	162,54	149,58
Soledade	RS	143,8	141,37	128,67	179,95	195,75	170,73	236,88	138,97	216,93	216,67	169,01	140,91
Caxias do Sul	RS	145,06	170,35	134,21	180,22	157,79	178,49	222,64	152,90	207,85	233,00	185,59	167,42
Alegrete	RS	122,33	147,15	164,96	205,74	151,14	131,2	114,08	73,16	147,94	173,92	152,80	123,07
Santa Maria	RS	130,18	125,01	132,51	148,3	188,98	159,34	159,79	117,17	176,81	202,12	154,32	158,62
Porto Alegre	RS	119,92	117,00	103,95	117,79	142,62	186,85	142,13	128,07	152,27	147,46	139,12	123,17

São Gabriel	RS	132,79	132,37	153,22	176,58	144,49	122,85	101,04	86,24	151,64	165,79	159,1	147,52
Encruzilhada do Sul	RS	168,87	135,07	131,79	136,49	178,29	169,27	158,75	124,32	176,33	162,28	148,03	140,55
Santana do Livramento	RS	130,82	215,45	196,06	191,24	171,23	114,71	94,43	85,23	154,02	164,92	167,62	142,11
Camaquã	RS	125,21	153,39	112,32	133,43	140,86	155,97	141,47	133,29	178,09	143,59	139,45	147,18
Bagé	RS	112,68	162,79	133,57	196,7	177,75	152,09	103,98	103,18	138,21	162,19	152,19	128,57
Canguçu	RS	180,62	165,16	141,9	186,93	171,95	176,67	180,81	161,89	213,02	161,33	163,11	147,75
Santa Vitória do Palmar	RS	87,70	171,51	140,03	120,19	143,68	122,51	127,27	106,26	96,92	103,06	90,04	90,35

Tabela S7. Médias mensais da temperatura máxima projetada para o médio prazo sob uma condição de RCP 4.5 para as 97 cidades estudadas.

Cidade	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Balsas	MA	32,37	32,56	32,52	33	33,84	34,19	34,85	36,26	37,01	35,99	34,57	32,65
Marianópolis do Tocantins	TO	30,71	30,52	30,46	30,74	31,46	33,78	36,37	38,32	39	36,95	34,59	31,68
Remanso	BA	33,41	33,21	32,7	32,82	32,34	31,74	31,33	32,13	34,04	35,14	34,65	34,12
Santa Rita de Cássia	BA	31,98	32,1	31,93	33,06	34,53	34,54	34,48	35,69	37,91	37,87	35,55	33,11
Barra	BA	34,08	34,15	33,91	34,25	34	33,32	33,51	34,69	36,52	37,3	36,33	34,83
Morro do Chapéu	BA	28,96	29,33	29,14	27,77	26,5	24,9	24,61	25,33	27,6	29,44	29,5	29,17
Gurupi	TO	31,54	31,47	31,29	31,75	31,8	32,09	33,8	36,99	39,25	37,84	35,02	32,67
Itaberaba	BA	35,55	35,45	34,9	33,62	32,26	30,36	29,83	30,85	33,52	35,53	35,64	34,78
Sorriso	MT	29,78	29,99	30,17	30,42	30,33	31,54	33,57	37,17	38,18	36,17	33,04	30,26
Bom Jesus da Lapa	BA	33,03	33,46	33,4	33,51	33,87	33,07	32,98	34,29	36,15	36,69	35	33,56
Sapezal	MT	29,59	29,52	29,63	29,47	28,75	28,61	29,58	33,12	34,81	33,76	31,39	29,86
Correntina	BA	31,73	32,16	32,16	32,64	32,69	31,84	31,9	33,31	35,27	35,74	33,64	32,43
Posse	GO	30,75	31,02	30,94	31,22	30,96	30,04	30,14	31,81	33,92	33,85	31,9	30,83
Tangará da Serra	MT	30,96	30,98	31,18	30,94	30,34	30,32	31,01	34,78	36,1	35,42	33,45	31,71
Vitória da Conquista	BA	29,41	29,57	29,51	28,07	26,63	24,79	24,27	25,26	27,51	28,89	29,21	28,9
Formoso	MG	31,6	31,84	31,79	31,86	31,05	29,89	30,05	31,78	34,2	34,47	32,38	31,29
Januária	MG	32,2	33,36	32,83	32,96	32,65	31,52	31,48	32,85	34,94	36	33,88	32,4
Formosa	GO	28,94	29,31	29,36	29,36	28,94	27,99	28,47	30,39	32,67	32,71	30,57	29,33
Aragarças	GO	31,61	31,78	31,98	32,23	31,29	30,81	31,74	34,63	36,8	36	33,93	32,11
São Romão	MG	30,98	31,78	31,14	31,87	31,93	31,03	31,59	33,71	36,22	36,3	33,5	31,4
Rondonópolis	MT	31,99	32,22	32,01	31,99	31,11	31,57	32,84	36,12	38,06	37,81	35,36	32,63
Unai	MG	29,68	29,84	29,52	29,61	29,41	29,17	29,91	32,38	35,33	35,3	32,45	30,48
Juramento	MG	30,39	31,2	31,11	30,67	30,37	29,31	29,1	30,53	32,54	33,58	32,27	30,35
Cristalina	GO	28,01	28,14	27,94	28,09	28,09	27,98	28,86	31,33	33,75	33,64	31,52	28,69
Paraúna	GO	29,62	29,55	29,58	29,42	28,71	29,06	30,33	33,42	36,01	35,41	33,33	30,6
Caiapônia	GO	29,13	28,94	29,06	29,24	28,14	27,97	28,89	31,87	33,95	33,6	31,82	29,79
Alto Araguaia	MT	29,17	29,06	29,11	29,15	27,86	27,17	27,87	30,8	32,62	32,18	30,97	29,82
Morrinhos	GO	29,71	29,66	29,71	29,8	28,55	28,57	29,87	33,14	35,45	35,29	32,86	30,23

Alto Taquari	MT	28,87	28,86	28,79	28,74	27,39	26,66	27,38	30,48	32,61	32,22	30,95	29,64
Catalão	GO	29,28	29,25	29,26	29,32	28,2	28,14	29,29	32,65	35,01	34,93	32,00	29,79
Três Marias	MG	29,42	29,69	29,29	29,19	27,99	27,35	27,97	30,49	33,57	33,95	31,6	29,51
Costa Rica	MS	29,36	29,29	29,24	28,97	27,2	26,94	27,52	30,73	32,8	32,85	31,43	29,76
Coxim	MS	33,13	33,42	33,39	33,53	31,64	31,43	32,64	35,88	37,65	37,71	36,34	33,94
Curvelo	MG	30,00	31,2	31,08	31,34	30,54	29,7	30,15	32,44	35,18	35,34	32,81	30,07
Chapadão do Sul	MS	30,11	30,3	30,27	30,15	27,94	27,25	27,94	30,69	32,38	32,57	31,34	30,53
Ituiutaba	MG	29,97	30,22	30,27	30,35	28,9	28,72	29,7	32,85	35,38	35,52	33,48	30,55
São Simão	GO	30,79	30,67	30,84	30,97	29,88	30,3	31,3	34,43	36,33	36,65	34,37	31,65
Patrocínio	MG	28,13	28,17	27,84	27,62	26,25	25,49	26,09	28,9	31,76	32,24	30,59	28,15
Dores do Indaiá	MG	29,39	29,25	28,89	28,56	27,6	27,08	27,83	30,23	33,13	33,97	32,53	29,67
Paranaíba	MS	32,62	32,49	32,41	32,18	30,21	29,75	30,34	32,91	34,18	35,15	34,85	33,18
Florestal	MG	27,46	28,14	28	27,91	27,32	26,87	27,44	30,09	32,38	32,2	29,84	27,56
Conceição das Alagoas	MG	30,18	30,46	30,45	30,21	28,47	28,16	28,93	31,57	33,97	33,88	32,51	30,29
Jales	SP	31,01	31,08	30,66	29,93	29,2	29,51	30,32	33,4	35,26	36,15	34,68	32,6
Votuporanga	SP	31,21	31,00	30,95	30,58	28,71	28,41	29,38	32,51	35,14	35,71	34,81	32,32
Campo Grande	MS	32,84	32,46	32,42	31,99	29,65	29,28	30,24	33,78	34,99	35,83	35,11	33,71
Franca	SP	28,54	28,81	28,47	28,32	26,67	26,62	27,5	30,75	32,98	33,02	31,21	28,78
Catanduva	SP	31,47	31,96	32,09	31,77	29,14	28,51	29,04	31,21	32,3	33,11	32,48	31,69
Valparaíso	SP	31,58	31,13	31,26	30,65	28,34	27,19	28,02	31,54	33,81	33,94	33,47	32,55
Pradópolis	SP	29,41	29,51	29,47	29,08	27,49	27,43	28,47	31,91	34,1	33,91	32,51	30,45
Maracaju	MS	32,8	32,4	32,51	31,87	28,82	27,8	28,82	32,33	34,07	34,68	33,97	33,32
Lins	SP	31,56	31,4	31,4	30,66	28,28	27,27	27,95	30,86	32,85	33,41	32,87	32,1
Casa Branca	SP	29,23	29,04	28,84	28,29	26,22	25,89	26,57	29,43	31,78	32,2	31,82	29,52
São Lourenço	MG	29,33	30,47	29,84	28,67	26,28	25,62	25,78	27,7	28,63	30,29	30,16	29,52
Ivinhema	MS	34,47	33,9	33,36	31,91	28,3	27,15	27,82	31,27	32,84	34,65	34,72	34,5
Bauru	SP	31,14	31,15	30,92	29,55	26,77	25,72	26,12	29,08	30,89	32,7	32,8	31,87
Itapira	SP	29,48	29,38	29,13	27,82	25,58	25,03	25,63	28,21	30,44	31,81	31,27	29,82
Piracicaba	SP	29,83	29,48	29,3	28,14	26,2	25,51	26,17	28,8	30,61	31,54	31,57	30,44
Ourinhos	SP	31,42	31,23	31,00	29,67	26,78	26,21	26,68	30,3	32,21	32,83	32,85	31,93
Amambai	MS	32,41	31,66	31,56	29,78	26,33	24,95	25,63	28,28	29,73	31,59	32,28	32,09

São Luíz do Paraitinga	SP	28,1	28,3	27,43	26,02	23,9	23,26	23,14	25,53	27,03	28,34	28,29	28,43
Londrina	PR	31,35	31,44	31,12	29,85	26,39	25,54	25,81	28,73	30,13	30,86	31,98	31,69
Cidade Gaúcha	PR	33,97	33,44	33,19	31,37	27,26	25,93	26,09	29,4	31,58	33,2	33,74	34,11
Sorocaba	SP	29,99	30,35	29,88	28,4	26,06	24,79	24,96	26,75	27,44	29,28	30,03	30,03
Japira	PR	30,4	29,99	30,01	28,33	25,2	23,8	23,91	26,97	28,94	29,43	30,5	30,79
Nova Tebas	PR	29,12	28,68	28,81	27,06	23,57	22,38	22,23	24,81	26,98	28,04	28,59	29,13
Iguape	SP	29,77	29,86	28,85	27,73	25,58	24,27	23,93	24,83	24,94	26,57	28,65	29,31
Castro	PR	28,92	28,46	28,36	26,29	22,81	21,39	21,36	23,95	25,69	26,79	28,02	28,71
Ivaí	PR	28,97	28,67	28,3	26,36	22,86	21,72	21,63	24,28	26,08	27	28,41	28,98
Dois Vizinhos	PR	30,98	30,04	30,35	27,99	24,14	22,29	22,28	24,54	26,11	27,99	29,77	30,81
Dionísio Cerqueira	SC	30,47	29,73	29,79	27,03	23,05	21,15	21,05	22,65	24,32	26,87	28,43	30
Major Vieira	SC	27,28	27,26	26,71	24,4	20,42	18,93	18,68	20,96	22,53	24,34	25,81	27,11
Clelândia	PR	28,72	28,35	28,13	25,51	21,75	20,34	20,26	22,28	24,37	26,38	27,43	28,58
São Miguel do Oeste	SC	31,94	30,95	30,82	27,8	23,77	21,87	21,43	23,39	24,99	27,6	29,71	31,3
Caçador	SC	27,58	27,27	26,79	24,16	20,58	19,42	19,16	21,23	22,46	24,77	25,82	27,22
Indaial	SC	28,33	28,13	27,78	25,72	22,84	20,94	20,58	22,23	22,84	24,51	26,37	28,05
Rio do Campo	SC	28,2	27,91	27,42	25,1	22,06	20,37	20,02	22,01	23,09	24,7	26,15	27,62
Xanxerê	SC	29,85	29,3	29,13	26,42	22,64	21,13	20,97	23	24,93	27,04	28,18	29,54
Joaçaba	SC	27,66	27,26	26,83	24,33	20,83	19,32	19,28	21,11	22,15	24,69	26,14	27,47
Curitibanos	SC	27,15	26,7	26,16	23,74	20,59	18,82	18,69	20,64	21,35	23,63	25,29	26,63
Ituporanga	SC	27,02	27,03	26,49	24,4	21,16	19,21	18,97	20,53	21,33	23,11	24,94	26,78
Erechim	RS	29,6	28,9	28,85	26,11	22,47	20,56	20,4	22,42	23,61	26,45	28,13	29,37
Lagoa Vermelha	RS	28,37	27,89	27,07	24,35	20,46	18,67	18,79	21,24	22,07	24,33	26,55	27,65
São Luiz Gonzaga	RS	35,59	33,65	32,68	28,7	24,1	21,46	20,79	23,06	25,21	28,61	31,68	34,43
Cruz Alta	RS	31,29	30,2	29,58	26,74	22,98	20,31	20,14	22,76	22,99	26,39	29,23	31,24
São Borja	RS	36,09	34,4	33,21	28,56	24,27	21,47	21,46	23,94	25,37	28,94	31,75	35,16
Soledade	RS	29,38	28,84	28,3	25,24	21,38	18,96	18,99	21,01	22,44	24,56	26,64	28,72
Caxias do Sul	RS	28,06	28,04	27,1	24,11	20,27	18,56	18,61	20,75	21,01	23,47	25,29	27,19
Alegrete	RS	35,27	33,06	32,27	27,29	22,99	20,31	19,86	22,53	23,79	26,85	29,94	34,01
Santa Maria	RS	32,08	30,81	30,06	26,64	22,7	19,94	19,54	22,02	22,5	26,09	28,63	31,00
Porto Alegre	RS	31,26	30,73	30,35	26,99	23,02	20,33	20,28	21,94	23,03	25,57	27,83	29,83

São Gabriel	RS	32,58	31,66	30,34	26,31	22,09	19,31	18,71	21,4	22,92	25,98	29,03	31,28
Encruzilhada do Sul	RS	30,36	29,43	28,95	24,94	20,89	18,23	18,14	20,12	20,96	24,17	26,99	29,56
Santana do Livramento	RS	33,18	31,22	29,68	25,12	20,76	17,86	18,06	19,97	21,14	24,48	27,77	31,54
Camaquã	RS	31,02	30,03	29,59	26,09	21,92	18,94	18,7	20,15	20,86	23,67	26,42	29,22
Bagé	RS	31,41	30,51	29,28	25,44	21,37	18,93	18,35	21,06	21,89	25,04	27,7	30,19
Canguçu	RS	29,82	29,06	28,61	25,07	21,07	18,05	17,57	18,97	20,02	23,15	25,53	28,14
Santa Vitória do Palmar	RS	28,53	27,89	27,18	24,11	20,56	17,33	16,82	18,53	19,04	22,14	24,71	27,41

Tabela S8. Médias mensais da temperatura máxima projetada para o médio prazo sob uma condição de RCP 8.5 para as 97 cidades estudadas.

Cidade	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Balsas	MA	32,97	33,18	33,36	33,96	35,23	35,66	35,94	37,3	38,03	36,92	34,9	33,33
Marianópolis do Tocantins	TO	31,29	31,05	31,2	31,4	32	34,58	37,81	40,12	41,12	38,9	35,43	32,37
Remanso	BA	33,7	33,57	32,88	33,22	32,88	32,5	32,07	32,71	34,68	35,92	35,45	35,03
Santa Rita de Cássia	BA	32,77	32,73	32,74	33,7	35,14	35,13	35,29	36,54	38,85	39,07	36,77	34,16
Barra	BA	34,61	34,84	34,22	34,74	34,59	34,04	34,15	35,08	36,91	37,87	36,7	35,26
Morro do Chapéu	BA	30,16	30,18	29,92	28,39	27,14	25,34	24,97	25,74	28,02	30,02	29,95	29,73
Gurupi	TO	32,02	31,96	32,19	32,46	32,69	32,76	34,56	37,53	39,68	38,15	35,73	33,01
Itaberaba	BA	35,61	35,36	34,91	34,1	32,93	31,09	30,39	31,4	33,87	35,78	36,27	35,8
Sorriso	MT	30,52	30,88	31,23	31,61	31,64	32,51	34,66	37,56	38,85	37,66	34,44	31,11
Bom Jesus da Lapa	BA	34,33	34,54	34,43	34,43	34,53	33,7	33,6	34,85	36,85	37,51	35,6	34,4
Sapezal	MT	30,6	30,64	30,63	30,84	30,11	29,62	30,44	33,7	35,69	35,1	32,78	30,86
Correntina	BA	32,69	32,89	32,63	33,19	33,19	32,15	32,46	33,85	35,48	36,6	34,54	33
Posse	GO	31,17	31,08	30,9	31,53	31,47	30,47	30,65	32,46	34,3	34,78	32,87	31,46
Tangará da Serra	MT	31,75	31,88	31,84	31,37	30,33	30,9	32,12	35,65	37,44	36,77	34,54	32,23
Vitória da Conquista	BA	30,47	30,3	29,83	28,42	27,03	25,25	24,91	25,61	28,03	29,75	30,17	30,22
Formoso	MG	32,13	32,14	31,98	32,24	31,65	30,55	30,58	32,32	34,65	35,42	32,86	31,79
Januária	MG	32,63	33,63	32,83	33,26	33,2	31,99	32,13	33,81	35,93	37,2	34,77	32,93
Formosa	GO	29,93	30,06	29,78	30,3	30,18	29,02	29,04	30,91	32,85	33,48	31,54	30,29
Aragarças	GO	32,24	32,74	32,67	33,24	32,41	31,47	32,18	35,21	37,83	37,53	34,77	32,96
São Romão	MG	31,71	32,37	31,75	32,53	32,46	31,62	32,05	33,98	36,88	37,14	33,73	31,67
Rondonópolis	MT	32,65	32,78	32,69	32,75	32,11	32,45	33,89	37,12	39,35	38,65	36,16	33,62
Unai	MG	30,43	30,48	30,22	30,58	30,43	29,8	30,4	32,83	35,96	36,18	33,29	31,15
Juramento	MG	31,28	31,83	31,71	31,56	31,16	29,79	29,49	30,87	32,95	34,05	32,52	31,31
Cristalina	GO	28,74	28,55	28,29	29,15	29,37	29,05	29,8	31,94	34,05	34,35	31,71	29,33
Paraúna	GO	29,78	29,85	29,97	30,32	29,48	29,77	31,24	34,29	36,29	36,1	33,95	30,93
Caiapônia	GO	29,6	29,92	29,82	30,19	29,43	29,07	29,69	32,28	34,71	34,44	32,84	30,47
Alto Araguaia	MT	29,59	29,92	29,76	29,55	28,46	27,97	28,47	30,95	33,39	33,53	31,86	30,32
Morrinhos	GO	30,5	30,28	30,29	30,55	29,77	29,64	30,64	33,89	36,23	36,33	33,33	31,29

Alto Taquari	MT	29,39	29,7	29,45	29,15	27,89	27,44	28,02	30,81	33,38	33,45	31,8	30,19
Catalão	GO	29,89	30,1	30,06	30,29	29,43	29,14	30,19	32,95	35,83	35,47	32,58	30,57
Três Marias	MG	29,72	29,7	29,18	29,7	28,92	28,19	28,91	31,09	33,82	34,54	31,91	30,21
Costa Rica	MS	29,72	29,88	29,87	29,59	28,11	27,73	28,35	31,08	33,48	33,92	32,15	30,6
Coxim	MS	33,35	33,71	34,08	34,27	32,57	32,25	33,42	36,55	38,79	38,66	37,02	34,69
Curvelo	MG	30,12	31,05	31,21	31,14	30,84	30,47	30,6	32,89	35,58	35,98	33,62	31
Chapadão do Sul	MS	30,32	30,93	31,07	30,84	29,07	28,21	28,69	31,29	33,78	34,01	32,66	31,35
Ituiutaba	MG	30,79	30,9	30,27	30,21	29,68	29,57	30,29	33,25	35,97	36,93	34,17	31,9
São Simão	GO	31,29	31,39	31,59	31,6	30,67	31,05	32,06	35,29	36,98	37,3	35,02	32,6
Patrocínio	MG	28,1	28,52	28,24	28,26	27,07	26,31	26,6	29,35	32,4	32,83	30,88	29,11
Dores do Indaiá	MG	29,72	30,02	29,5	29,55	28,53	27,63	28,39	30,93	34,35	34,9	33,16	30,34
Paranaíba	MS	33,08	32,87	32,77	32,59	30,31	29,83	30,61	33,45	35,09	36,49	35,81	34,08
Florestal	MG	28,34	28,57	28,72	28,71	28,03	27,34	28,13	30,49	32,74	33,1	31,67	29,35
Conceição das Alagoas	MG	31,06	31,12	31,03	30,66	28,86	28,7	29,25	32,17	34,54	34,89	33,08	31,41
Jales	SP	31,97	31,73	31,56	31,43	29,96	30,11	31,46	34,81	37,05	37,22	34,98	33,48
Votuporanga	SP	31,81	31,67	31,49	31,09	29,49	29,14	30,31	33,54	36,44	37,05	35,38	33,15
Campo Grande	MS	33,34	33,11	32,92	32,48	30,26	29,83	30,81	34,27	36,11	36,83	35,93	34,45
Franca	SP	29,02	29,41	29,31	28,62	27,3	27,27	27,98	31,14	33,47	33,36	31,49	29,56
Catanduva	SP	32,27	32,56	32,7	32,27	29,62	29,09	29,67	31,75	33,08	34,38	33,92	32,62
Valparaíso	SP	32,28	32,03	31,89	31,42	28,9	28,19	29,16	32,37	35,00	35,65	34,36	33,56
Pradópolis	SP	30,25	30,47	30,07	29,53	28,00	28,09	28,83	32,48	34,48	34,63	33,09	31,16
Maracaju	MS	33,47	33,15	33,5	32,85	29,8	28,55	29,14	32,58	34,32	35,54	35,25	33,88
Lins	SP	32,15	31,92	31,8	31,15	28,93	28,2	28,77	31,9	34,02	34,88	33,76	32,93
Casa Branca	SP	29,79	29,68	29,56	29,04	26,51	26,05	26,92	30,42	32,44	33,37	32,8	30,7
São Lourenço	MG	29,88	31,12	30,27	29,42	27,02	26,23	26,41	28,42	29,73	31,34	31,01	30,58
Ivinhema	MS	35,00	34,48	34,37	32,82	29,07	27,67	28,11	31,88	33,8	35,11	35,42	35,49
Bauru	SP	31,6	31,78	31,49	30,29	27,48	26,4	26,57	29,54	31,87	33,98	33,65	32,61
Itapira	SP	30,19	29,85	29,46	28,44	26,1	25,55	26,12	29,05	31,37	32,94	32,4	31,06
Piracicaba	SP	30,4	30,31	30,09	29,25	27,02	26,27	26,54	29,48	31,87	33,55	33,03	31,49
Ourinhos	SP	32,09	31,92	32,00	30,74	27,79	26,85	27,01	30,43	32,26	33,64	33,42	32,84
Amambai	MS	33,15	32,43	32,33	30,6	27,13	25,72	26,01	29,53	31,32	33,65	33,44	32,77

São Luíz do Paraitinga	SP	29,00	28,86	28,02	26,64	24,29	23,82	23,93	26,16	27,86	29,41	28,98	29,45
Londrina	PR	31,98	32,06	31,6	30,53	27,54	25,97	26,03	28,77	29,23	32,11	32,88	32,16
Cidade Gaúcha	PR	34,72	34,19	33,57	32,01	28,2	26,39	26,14	29,74	31,64	34,21	34,57	34,94
Sorocaba	SP	30,74	31,12	30,64	29,49	26,74	25,47	25,26	27,45	28,6	30,41	30,92	31,11
Japira	PR	31,00	30,53	30,54	29,16	25,87	24,02	24,08	27,07	28,83	30,76	31,14	31,47
Nova Tebas	PR	29,95	29,12	29,28	27,89	24,46	22,69	22,33	24,7	26,89	28,93	30,07	29,92
Iguape	SP	30,42	30,59	29,82	28,52	26,08	24,81	24,1	25,15	25,65	27,02	28,91	29,95
Castro	PR	29,55	29,33	28,97	26,92	23,08	21,62	21,44	24,25	25,44	27,46	28,26	29,39
Ivaí	PR	29,15	29,2	28,74	26,94	23,41	21,85	21,58	24,35	26,06	28,05	29,00	29,61
Dois Vizinhos	PR	31,65	30,8	30,83	28,43	24,68	23,05	22,39	24,93	26,64	29,4	30,65	31,18
Dionísio Cerqueira	SC	31,07	30,65	30,3	27,58	23,78	21,92	21,28	23,68	24,89	27,8	29,18	30,34
Major Vieira	SC	28,04	27,81	27,27	25,22	21,49	19,8	19,37	21,58	22,4	24,72	26,16	27,16
Clelândia	PR	29,5	28,9	28,51	26,43	22,87	21,12	20,71	22,82	24,25	27,22	28,21	28,96
São Miguel do Oeste	SC	32,33	31,85	31,43	28,27	24,55	22,53	21,82	24,25	25,41	28,42	30,12	31,51
Caçador	SC	28,14	27,67	27,18	25,03	21,66	19,88	19,63	21,87	22,96	25,55	26,58	27,66
Indaial	SC	29,24	29,04	28,18	26,09	22,86	21,4	20,84	22,8	22,94	25,46	27,22	28,72
Rio do Campo	SC	29,03	28,83	28,37	26,29	22,7	20,67	20,52	22,45	23,62	25,44	27,05	28,13
Xanxerê	SC	30,6	29,79	29,6	27,15	23,88	21,83	21,6	23,62	24,91	27,97	29,04	29,85
Joaçaba	SC	28,27	27,79	27,13	25,11	21,56	20,08	19,58	21,77	22,93	25,36	26,56	27,98
Curitibanos	SC	27,78	27,61	27,05	24,91	21,07	19,38	19,11	21,25	22,37	24,27	25,7	26,88
Ituporanga	SC	28,06	27,66	27,15	24,7	21,31	19,78	19,66	21,35	21,94	23,94	25,96	27,01
Erechim	RS	30,34	29,47	29,36	26,97	23,09	21,1	20,82	22,63	24,17	26,94	28,52	29,65
Lagoa Vermelha	RS	28,84	28,25	27,67	24,88	20,99	19,1	19,41	21,67	22,69	25,21	26,65	28,11
São Luiz Gonzaga	RS	35,79	34,26	33,42	29,61	24,86	22,4	21,73	24,14	25,69	29,48	32,26	34,54
Cruz Alta	RS	32,15	31,03	30,43	27,52	23,62	21,03	20,3	22,44	23,12	26,93	29,85	31,65
São Borja	RS	36,89	34,93	33,8	29,2	24,48	21,77	21,95	24,21	26,26	29,3	32,19	35,37
Soledade	RS	30,08	29,26	28,71	25,53	21,5	19,39	19,1	21,06	22,19	25,21	27,21	29,06
Caxias do Sul	RS	28,61	28,43	27,43	24,39	20,27	18,61	18,71	20,82	21,45	23,74	25,61	27,51
Alegrete	RS	36,37	33,84	32,62	27,8	23,76	20,79	20,55	22,84	24,41	27,33	30,75	34,65
Santa Maria	RS	32,81	31,54	30,5	26,82	23,13	20,3	19,84	21,95	23,17	26,42	29,21	31,45
Porto Alegre	RS	31,78	31,22	30,87	27,47	23,45	20,89	20,55	22,55	23,33	25,82	28,07	30,09

São Gabriel	RS	33,18	32,22	30,79	26,65	22,7	19,96	19,47	22,12	23,04	26,14	28,82	31,7
Encruzilhada do Sul	RS	31,05	30,1	29,22	25,27	21,21	18,92	18,72	21,01	21,03	24,74	27,3	29,95
Santana do Livramento	RS	33,35	31,67	30,5	25,51	21,26	18,37	18,34	21,01	21,93	25,35	28,04	31,77
Camaquã	RS	31,29	30,4	29,84	26,45	22,3	19,65	19,22	20,51	21,35	24,17	26,85	29,46
Bagé	RS	32,03	30,79	29,62	25,47	21,71	18,91	18,78	20,99	21,68	24,99	27,92	30,53
Canguçu	RS	30,58	29,66	28,82	25,17	20,94	18,46	18,36	19,61	20,54	23,67	26,13	28,65
Santa Vitória do Palmar	RS	28,78	28,44	27,65	24,62	21,00	17,81	17,53	18,84	19,56	22,63	25,18	27,36

Tabela S9. Médias mensais da temperatura mínima projetada para o médio prazo sob uma condição de RCP 4.5 para as 97 cidades estudadas.

Cidade	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Balsas	MA	23,54	23,49	23,72	23,96	23,46	21,88	21,3	22,01	23,87	24,66	24,49	23,66
Marianópolis do Tocantins	TO	24,87	24,87	24,96	25,03	23,98	22,91	22,71	24,1	25,95	26,25	26,33	25,47
Remanso	BA	24,27	24,3	24,23	24,21	23,74	22,8	21,84	22,03	23,42	24,84	25,08	24,69
Santa Rita de Cássia	BA	22,5	22,39	22,31	22,71	22,07	20,76	20,06	20,76	23,06	24,41	23,79	22,95
Barra	BA	22,84	22,99	22,79	22,28	20,82	18,77	18,2	19,28	21,94	23,9	23,84	23,27
Morro do Chapéu	BA	19,36	19,33	19,55	19,37	18,22	17,00	16,02	16,07	17,1	18,2	18,96	19,29
Gurupi	TO	23,68	23,65	23,67	23,57	22,07	19,81	19,29	20,96	24,22	25,5	25,09	24,12
Itaberaba	BA	22,85	23,07	23,04	22,39	20,96	19,32	18,19	18,26	19,75	21,41	22,43	22,65
Sorriso	MT	23,04	22,99	23,12	22,9	21,72	20,26	19,59	21,83	24,19	24,47	23,87	23,28
Bom Jesus da Lapa	BA	22,52	22,53	22,68	22,37	20,99	19,3	18,45	19,12	21,47	23,18	23,5	22,96
Sapezal	MT	22,28	22,08	22,14	21,54	19,62	18,07	17,21	19,54	21,99	23,44	22,96	22,52
Correntina	BA	21,19	21,19	20,96	20,52	18,76	16,77	16,13	17,39	20,19	22,24	22,6	21,97
Posse	GO	21,71	21,65	21,7	21,87	20,94	19,53	19,04	20,02	22,27	22,95	22,41	22,08
Tangará da Serra	MT	23,12	22,91	22,86	22,12	20,48	19,15	18,34	20,64	22,92	24,1	23,71	23,44
Vitória da Conquista	BA	19,57	19,29	19,44	18,96	17,63	16,04	15,01	15,19	16,28	17,81	18,97	19,23
Formoso	MG	20,99	20,81	20,63	20,17	18,6	16,59	15,87	17,05	19,83	21,43	21,42	21,23
Januária	MG	22,05	21,98	21,76	20,72	18,59	16,09	15,46	16,72	19,86	22,3	22,89	22,64
Formosa	GO	20,35	20,28	20,25	19,82	18,15	16,28	15,77	17,28	20,01	21,39	21,03	20,59
Aragarças	GO	23,01	22,93	22,86	22,11	19,94	17,92	17,51	19,24	22,46	23,98	23,82	23,13
São Romão	MG	21,79	21,77	21,39	20,61	19,06	17,23	16,67	18,18	21,01	22,79	22,67	22,16
Rondonópolis	MT	23,67	23,45	23,45	22,38	20,06	18,46	17,66	19,81	22,65	24,84	24,83	24,1
Unaí	MG	20,9	20,75	20,68	19,64	17,52	15,57	15,22	17,02	20,4	22,28	21,72	21,23
Juramento	MG	20,04	20,19	20,29	18,85	16,76	15,01	14,04	15,27	17,73	19,82	21,07	20,61
Cristalina	GO	20,15	20,05	19,87	18,82	16,75	14,95	14,83	16,48	19,5	21,31	21,16	20,5
Paraúna	GO	21,65	21,65	21,47	20,39	17,64	15,83	15,7	17,89	21,57	23,22	22,86	21,91
Caiapônia	GO	21,3	21,26	21,04	20,11	17,69	16,06	15,67	17,49	20,6	22,2	22,13	21,53
Alto Araguaia	MT	21,35	21,1	20,93	19,82	17,63	15,86	15,31	17,26	20,04	21,59	21,44	21,45
Morrinhos	GO	21,5	21,4	21,06	20,05	17,36	15,38	15,26	17,12	20,72	22,39	22,64	21,8

Alto Taquari	MT	20,96	20,59	20,51	19,38	17,2	15,44	14,83	16,61	19,38	21,02	21,02	21,00
Catalão	GO	21,04	20,84	20,61	19,65	17,13	15,27	15,28	17,15	20,36	21,93	21,8	21,31
Três Marias	MG	20,75	20,58	20,36	19,2	17,13	14,97	14,74	16,01	19,02	21,11	21,18	20,88
Costa Rica	MS	21,56	21,3	21,11	19,91	17,14	15,73	15,08	17,26	19,93	22,01	21,92	21,65
Coxim	MS	24,21	23,96	23,69	22,42	19,69	18,14	17,87	19,8	22,49	24,58	24,91	24,51
Curvelo	MG	20,97	20,65	20,63	19,76	17,77	15,93	15,61	16,65	19,36	21,1	21,61	21,13
Chapadão do Sul	MS	21,67	21,53	21,35	20,22	17,56	15,64	15,12	16,78	19,27	21,16	21,4	21,68
Ituiutaba	MG	22,17	21,87	21,55	20,44	17,56	15,97	15,84	17,55	20,78	22,82	23	22,21
São Simão	GO	23,12	23,05	22,77	21,56	18,7	17,32	17,01	19,16	22,16	24,00	23,96	23,28
Patrocínio	MG	19,75	19,51	19,37	18,08	15,22	13,28	12,98	14,32	17,34	19,47	20,21	19,67
Dores do Indaiá	MG	20,93	20,65	20,32	18,81	16,31	14,24	14,04	15,24	18,02	20,44	21,39	20,84
Paranaíba	MS	22,94	22,96	22,58	21,38	18,14	16,35	15,99	18,02	20,65	22,61	23,17	23,1
Florestal	MG	19,53	19,1	19,04	17,75	15,49	13,89	13,2	14,49	16,74	18,53	19,4	19,44
Conceição das Alagoas	MG	22,27	21,91	21,57	20,3	17,73	16,07	15,77	17,31	20,22	21,84	22,33	21,95
Jales	SP	23,62	23,58	23,02	21,29	18,69	17,38	16,94	18,95	21,64	23,71	24,02	23,94
Votuporanga	SP	22,73	22,45	21,97	20,4	17,4	16,17	15,92	17,55	20,63	22,58	23,18	22,93
Campo Grande	MS	23,41	22,99	22,7	21,19	18,29	17,08	16,32	18,7	20,58	22,73	23,16	23,37
Franca	SP	20,55	20,24	19,83	18,68	16,01	14,63	14,38	16,27	18,85	20,32	20,53	20,19
Catanduva	SP	22,12	21,85	21,6	20,43	17,71	16,55	16,18	17,8	19,62	21,04	21,48	21,83
Valparaíso	SP	22,96	22,51	21,92	20,11	16,92	15,26	14,7	16,59	19,12	21,25	22,12	22,61
Pradópolis	SP	21,35	21	20,45	18,79	16,08	14,56	14,08	15,96	18,69	20,21	20,87	21,03
Maracaju	MS	23,1	22,39	22,15	20,17	16,75	15,34	14,52	16,65	18,98	21,42	21,99	22,81
Lins	SP	22,92	22,63	22,21	20,52	17,23	15,63	15,15	16,69	18,96	20,97	21,76	22,42
Casa Branca	SP	20,45	20,31	19,66	18,02	15,11	13,81	13,43	14,66	17,18	19,02	19,84	19,87
São Lourenço	MG	18,8	18,64	18,03	15,59	12,32	9,91	9,09	10,24	13,61	16,58	17,74	18,38
Ivinhema	MS	23,25	23,00	22,44	20,4	16,87	15,14	14,64	16,23	18,34	21,07	22,09	22,78
Bauru	SP	20,86	20,85	20,3	18,45	15,72	14,09	13,19	14,58	16,46	18,83	19,47	19,97
Itapira	SP	20,07	20,15	19,47	17,44	14,75	13,24	12,54	13,46	15,95	18,24	18,97	19,33
Piracicaba	SP	20,85	20,6	19,93	17,83	15,18	13,49	12,79	13,98	16,23	18,37	19,34	19,94
Ourinhos	SP	21,7	21,48	20,9	18,68	15,4	13,82	13,18	14,66	16,92	18,91	20,12	21,06
Amambai	MS	22,3	21,82	21,19	18,88	15,78	13,64	12,7	14,16	16,12	19,42	20,71	21,79

São Luíz do Paraitinga	SP	19,07	19,21	18,32	16,61	14,02	12,33	11,55	12,33	14,14	16,04	17,32	18,28
Londrina	PR	21,35	21,32	20,59	18,67	15,39	13,66	12,99	14,61	16,75	18,5	19,98	21,07
Cidade Gaúcha	PR	22,67	22,21	21,61	19,52	15,94	14,71	13,58	15,18	17,47	19,86	20,9	22,1
Sorocaba	SP	20,55	20,63	20,05	18,16	15,52	13,56	12,7	14,08	15,7	17,84	18,8	19,58
Japira	PR	19,98	19,8	19,21	17,24	14,24	12,55	11,73	13,18	15,01	16,65	17,93	19,12
Nova Tebas	PR	20,43	19,92	19,44	17,35	13,83	12,44	11,47	12,83	14,9	17,34	18,41	19,6
Iguape	SP	23,14	23,49	22,79	20,92	18,47	16,26	15,48	16,09	17,4	19,08	20,7	21,97
Castro	PR	18,76	18,39	17,73	15,7	12,38	10,61	9,66	11,05	12,82	14,83	16,19	17,45
Ivaí	PR	19,28	19,04	18,27	16,09	12,92	11,29	10,48	11,6	13,52	15,58	17,09	18,29
Dois Vizinhos	PR	21,43	20,96	20,18	17,72	14,81	12,73	11,89	13,3	15,08	17,45	19,25	20,6
Dionísio Cerqueira	SC	20,38	20,13	19,47	16,72	13,61	11,75	10,9	12,00	13,76	16,53	17,89	19,38
Major Vieira	SC	18,15	18,3	17,42	15,14	11,45	9,97	9,34	10,15	11,97	14,2	15,55	17,11
Clevalândia	PR	18,99	18,87	18,12	15,48	11,99	10,77	10,01	10,85	12,69	15,34	16,58	18,07
São Miguel do Oeste	SC	21,03	20,75	20,03	17,01	13,91	11,84	10,68	11,99	13,73	16,53	18,32	19,97
Caçador	SC	17,56	17,54	16,64	13,9	10,32	9,2	8,37	9,27	10,96	13,62	14,74	16,44
Indaial	SC	19,88	20,13	19,41	17,21	14,22	12,09	11,39	12,52	13,69	15,65	17,27	18,78
Rio do Campo	SC	19,16	19,32	18,59	15,97	12,63	10,94	10,27	11,32	12,81	14,93	16,37	18,04
Xanxerê	SC	20,07	19,9	19,13	16,27	12,7	11,28	10,5	11,46	13,19	15,96	17,4	19,13
Joaçaba	SC	17,48	17,59	16,65	13,88	10,84	9,06	8,49	9,25	11,06	13,52	14,93	16,54
Curitibanos	SC	17,17	17,33	16,49	13,82	10,79	8,89	8,32	9,2	10,86	13,02	14,43	16,11
Ituporanga	SC	18,41	18,85	17,96	15,81	12,63	10,63	9,97	11,00	12,14	13,97	15,65	17,42
Erechim	RS	19,47	19,2	18,47	15,62	12,65	10,58	9,66	10,81	12,47	15,07	16,66	18,41
Lagoa Vermelha	RS	17,71	17,73	17	14,34	11,23	9,24	8,54	9,87	11,12	13,24	15,08	16,55
São Luiz Gonzaga	RS	21,44	20,96	19,96	16,62	13,36	11,03	9,92	11,2	13,02	15,61	17,8	19,93
Cruz Alta	RS	20,31	19,94	19,07	16,51	13,09	10,9	10,08	11,74	12,36	15,37	17,46	19,5
São Borja	RS	22,73	21,93	20,79	17,63	13,66	11,41	10,65	12,01	13,24	16,46	18,59	21,34
Soledade	RS	18,88	18,93	18,15	15,33	11,73	9,62	8,9	10,14	11,47	13,8	15,76	17,65
Caxias do Sul	RS	18,5	18,62	17,87	15,58	12,48	10,62	9,91	11,41	11,51	13,82	15,39	17,3
Alegrete	RS	21,88	20,93	20,12	16,24	12,42	10,29	9,46	11,1	12,22	14,92	17,13	20,03
Santa Maria	RS	20,29	19,87	18,86	15,83	12,6	10,13	9,33	10,89	11,52	14,51	16,38	18,77
Porto Alegre	RS	21,3	21,24	20,45	17,39	14,18	11,58	11,04	12,17	13,36	15,72	17,78	19,79

São Gabriel	RS	19,59	19,37	18,46	14,73	11,57	9,19	8,43	10,03	10,96	13,67	15,91	17,9
Encruzilhada do Sul	RS	19,51	19,18	18,89	15,89	12,95	10,62	9,69	11,22	11,77	14,1	16,27	18,06
Santana do Livramento	RS	19,65	19,00	17,9	14,53	10,78	8,32	8,09	9,22	10,23	12,93	15,12	17,68
Camaquã	RS	21,1	20,93	20,42	17,01	13,5	10,74	10,15	11,07	12,35	14,69	16,9	19,04
Bagé	RS	19,43	19,04	18,39	15,19	12,00	9,73	8,91	10,75	11,17	13,86	15,87	17,86
Canguçu	RS	19,21	19,27	18,85	15,52	12,22	9,43	8,8	9,76	10,74	13,07	15,19	17,27
Santa Vitória do Palmar	RS	19,42	19,26	18,43	15,33	11,82	9,31	8,94	9,83	10,67	13,23	15,43	17,88

Tabela S10. Médias mensais da temperatura mínima projetada para o médio prazo sob uma condição de RCP 8.5 para as 97 cidades estudadas.

Cidade	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Balsas	MA	24,3	24,39	24,42	24,8	24,64	23,21	22,39	22,94	24,91	25,65	25,15	24,44
Marianópolis do Tocantins	TO	25,35	25,18	25,31	25,46	24,71	23,44	23,99	25,74	27,61	28,01	27,05	25,85
Remanso	BA	24,88	24,74	24,52	24,62	24,21	23,43	22,39	22,5	23,67	25,22	25,4	25,24
Santa Rita de Cássia	BA	23,01	23,02	23,02	23,22	22,88	21,48	20,85	21,59	23,76	25,2	24,7	23,67
Barra	BA	23,64	23,72	23,44	23,03	21,53	19,55	18,98	19,9	22,43	24,36	24,45	24,06
Morro do Chapéu	BA	19,91	19,8	19,81	19,61	18,41	17,17	16,33	16,45	17,52	18,66	19,61	19,82
Gurupi	TO	23,99	23,94	23,98	24,07	22,66	20,37	19,83	21,67	24,78	25,89	25,58	24,39
Itaberaba	BA	23,69	23,8	23,74	22,98	21,7	19,99	18,8	18,85	20,34	22,03	23,1	23,6
Sorriso	MT	23,51	23,53	23,75	23,77	22,6	21,02	20,56	22,41	24,86	25,83	24,94	23,94
Bom Jesus da Lapa	BA	23,39	22,99	23,04	22,87	21,35	19,5	18,74	19,57	21,83	23,77	23,98	23,64
Sapezal	MT	23,19	22,92	22,87	22,37	20,73	18,94	18,02	20,04	22,68	24,5	23,89	23,4
Correntina	BA	21,79	21,85	21,58	21,25	19,51	17,32	16,79	18,01	20,72	23,1	23,36	22,45
Posse	GO	22,22	22,17	22,09	22,43	21,46	19,95	19,71	20,86	23	23,87	23,46	22,63
Tangará da Serra	MT	23,98	23,77	23,79	23,21	21,53	20,01	19,3	21,4	23,69	25,48	24,95	24,2
Vitória da Conquista	BA	20,34	20,00	20,03	19,64	18,36	16,71	15,67	15,82	16,96	18,33	19,47	20,07
Formoso	MG	21,36	21,08	21,05	20,7	19,01	17,04	16,42	17,49	20,47	22,31	22,2	21,67
Januária	MG	22,34	22,34	21,96	21,01	18,91	16,46	16,04	17,38	20,69	23,19	23,59	22,96
Formosa	GO	20,92	21,01	20,73	20,49	19,05	17,04	16,41	17,88	20,3	22,12	21,98	21,39
Aragarças	GO	23,37	23,27	23,18	22,51	20,5	18,5	18,18	19,66	23,14	25,11	24,36	23,64
São Romão	MG	22,29	22,09	21,91	21,35	19,5	17,57	17,15	18,41	21,51	23,35	23,21	22,59
Rondonópolis	MT	24,32	24,13	24,02	23,12	20,67	18,84	18,15	20,18	23,38	25,56	25,37	24,79
Unaí	MG	21,52	21,43	21,17	20,36	18,48	16,19	15,87	17,55	20,78	22,93	22,7	21,95
Juramento	MG	20,83	20,83	20,86	19,64	17,55	15,58	14,5	15,64	18,08	20,45	21,63	21,61
Cristalina	GO	20,62	20,64	20,35	19,74	18,01	16,05	16,01	17,66	20,26	22,17	21,8	21,04
Paraúna	GO	22,3	22,15	22,22	21,3	18,82	16,77	16,77	18,96	22,1	23,92	23,72	22,6
Caiapônia	GO	21,9	21,9	21,8	20,77	18,65	16,96	16,4	18,15	21,32	23,1	23,16	22,2
Alto Araguaia	MT	21,87	21,77	21,86	20,75	18,17	16,73	15,92	17,52	20,61	22,81	22,72	22,11
Morrinhos	GO	21,96	21,88	21,69	20,57	18,45	16,36	16,02	18,15	21,44	23,34	22,75	22,27

Alto Taquari	MT	21,46	21,36	21,42	20,29	17,64	16,28	15,41	16,96	19,92	22,12	22,14	21,65
Catalão	GO	21,52	21,3	21,21	20,24	18,11	16,00	16,04	17,75	20,9	22,62	22,15	21,75
Três Marias	MG	20,95	20,66	20,53	19,6	17,59	15,41	15,32	16,57	19,33	21,51	21,49	21,22
Costa Rica	MS	22,02	21,82	21,8	20,76	17,97	16,6	15,91	17,44	20,48	22,72	22,81	22,32
Coxim	MS	24,86	24,5	24,41	23,53	20,74	18,9	18,4	20,33	23,47	25,7	25,64	25,29
Curvelo	MG	21,25	21,13	21,21	19,99	18,24	16,6	16,05	17,33	19,96	21,71	22,13	21,6
Chapadão do Sul	MS	22,27	22,12	21,98	20,93	18,22	16,45	15,9	17,16	20,18	22,25	22,56	22,57
Ituiutaba	MG	22,73	22,66	22,35	20,98	18,62	16,97	16,62	18,68	21,67	24,07	23,5	23,03
São Simão	GO	23,81	23,77	23,77	22,28	19,52	18,04	17,78	20,1	22,75	24,68	24,55	24,06
Patrocínio	MG	20,02	19,96	19,9	18,66	16,22	14,13	13,71	15,03	18,04	20,05	20,56	20,31
Dores do Indaiá	MG	21,23	20,97	20,55	19,34	17,05	14,7	14,4	15,73	18,83	20,84	21,68	21,4
Paranaíba	MS	23,61	23,47	23,32	22,26	18,98	17,13	16,58	18,82	21,5	23,92	24,43	23,89
Florestal	MG	20,26	19,89	19,56	18,43	16,23	14,24	13,8	14,79	17,17	19,02	20,26	20,37
Conceição das Alagoas	MG	22,63	22,29	22,08	20,85	18,09	16,65	16,39	17,96	20,84	22,73	22,89	22,71
Jales	SP	24,3	23,91	23,59	22,14	18,86	17,36	17,35	19,32	22,34	24,39	24,38	24,35
Votuporanga	SP	23,61	23,12	22,63	21,09	18,1	16,5	16,4	18,03	21,23	23,63	23,78	23,75
Campo Grande	MS	24,03	23,73	23,41	22,19	19,02	17,77	17,11	19,29	21,76	23,99	24,41	24,32
Franca	SP	20,97	21,07	20,84	19,24	16,98	15,49	15,08	17,14	19,51	21,09	21,16	21
Catanduva	SP	22,9	22,7	22,44	21,25	18,47	17,11	16,95	18,28	20,21	22,42	22,83	22,86
Valparaíso	SP	23,6	23,21	22,64	21,15	17,72	16,14	15,8	17,27	20,01	22,47	22,94	23,49
Pradópolis	SP	21,75	21,62	21,12	19,48	16,71	15,07	14,54	16,34	18,91	20,9	21,37	21,68
Maracaju	MS	23,65	22,99	22,59	20,89	17,53	15,99	15,1	17,2	19,61	22,08	23,02	23,64
Lins	SP	23,64	23,28	22,84	21,35	18,08	16,5	16,13	17,55	20,00	22,33	22,78	23,33
Casa Branca	SP	20,94	20,91	20,35	18,74	16,05	14,28	13,8	15,52	17,8	19,7	20,64	20,76
São Lourenço	MG	19,42	19,31	18,37	16,18	12,81	10,39	9,67	10,71	14,38	17,24	18,42	19,29
Ivinhema	MS	23,92	23,66	23,00	21,34	17,47	15,83	14,99	16,71	18,96	21,6	22,75	23,68
Bauru	SP	21,52	21,61	21,07	19,4	16,59	14,94	14,11	15,2	17,22	19,78	20,35	21,03
Itapira	SP	20,88	20,72	19,88	17,9	15,25	13,89	13,19	14,35	16,55	19,12	19,94	20,54
Piracicaba	SP	21,18	21,37	20,59	18,52	15,9	14,34	13,32	14,6	16,88	19,32	20,39	20,85
Ourinhos	SP	22,23	22,15	21,48	19,43	16,22	14,75	13,75	15,19	17,38	19,75	20,57	21,68
Amambai	MS	23,2	22,69	21,94	19,53	16,35	14,39	13,48	15,82	17,91	20,96	21,97	22,64

São Luíz do Paraitinga	SP	19,96	20,00	19,3	17,42	14,57	12,91	12,4	12,98	14,68	17,03	17,92	19,31
Londrina	PR	21,95	22,19	21,12	19,33	16,21	14,46	13,75	15,37	17,23	19,53	20,87	21,79
Cidade Gaúcha	PR	23,13	22,84	22,07	20,05	16,61	15,23	13,83	15,72	17,59	20,58	21,64	22,73
Sorocaba	SP	21,06	21,33	20,76	19,04	16,27	14,35	13,44	14,48	16,29	18,38	19,53	20,52
Japira	PR	20,63	20,6	19,73	18,05	15,07	13,38	12,55	13,72	15,4	17,59	18,6	19,84
Nova Tebas	PR	20,95	20,48	19,87	17,71	14,59	12,97	12,35	13,54	15,62	18,1	19,6	20,51
Iguape	SP	23,72	24,08	23,33	21,71	18,94	16,9	15,97	16,45	17,89	19,57	21,34	22,63
Castro	PR	19,12	19,13	18,19	16,3	13,01	11,15	10,25	11,63	13,09	15,44	16,61	18,07
Ivaí	PR	19,61	19,75	18,77	16,74	13,65	12,01	11,04	12,46	14,19	16,68	17,77	18,95
Dois Vizinhos	PR	22,11	21,77	20,87	18,2	15,08	13,48	12,41	14,27	15,63	18,71	20,25	21,31
Dionísio Cerqueira	SC	21,19	21,11	20,24	17,33	14,14	12,32	11,25	13,54	14,51	17,38	19,03	20,33
Major Vieira	SC	18,46	18,56	17,6	15,38	12,14	10,00	9,38	10,75	12,25	14,51	16,06	17,4
Clelândia	PR	19,58	19,4	18,34	16,03	12,91	11,08	10,18	11,78	13,32	16,00	17,43	18,65
São Miguel do Oeste	SC	21,77	21,62	20,66	17,51	14,32	12,2	11,13	13,33	14,39	17,33	19,26	20,84
Caçador	SC	18,01	17,94	16,93	14,41	11,19	9,32	8,36	10,08	11,46	14,13	15,37	16,95
Indaial	SC	20,59	20,84	19,79	17,62	14,8	12,45	11,74	13,16	14,23	16,26	18,12	19,65
Rio do Campo	SC	19,63	19,73	18,92	16,53	13,06	11,05	10,4	11,77	13,19	15,34	16,78	18,22
Xanxerê	SC	20,59	20,3	19,33	16,59	13,63	11,49	10,75	12,55	13,88	16,73	18,24	19,59
Joaçaba	SC	18,18	18,15	17,07	14,72	11,43	9,6	8,48	10,05	11,41	14,14	15,65	17,23
Curitibanos	SC	17,88	17,89	17,05	14,81	11,11	9,28	8,51	9,75	11,28	13,42	14,97	16,55
Ituporanga	SC	18,95	19,26	18,49	16,01	12,99	10,82	10,37	11,66	12,68	14,61	16,38	17,65
Erechim	RS	20,25	19,83	18,93	16,31	12,9	10,77	10,39	11,67	13,25	15,75	17,58	19,19
Lagoa Vermelha	RS	18,4	18,44	17,55	14,89	11,26	9,51	8,98	10,14	11,44	14,05	15,43	17,26
São Luiz Gonzaga	RS	21,98	21,45	20,44	17,26	13,91	11,68	11,01	12,65	13,46	16,51	18,94	20,56
Cruz Alta	RS	20,89	20,51	19,56	16,9	13,89	11,65	10,62	12,25	13,25	16,00	18,34	19,96
São Borja	RS	23,47	22,61	21,6	17,83	13,9	11,74	11,1	12,29	14,07	16,93	19,18	21,87
Soledade	RS	19,6	19,69	18,64	15,92	12,61	10,37	9,4	10,6	11,77	14,47	16,43	18,34
Caxias do Sul	RS	19,1	19,34	18,54	16,31	12,94	11,01	10,43	11,59	12,12	14,54	16,4	17,92
Alegrete	RS	22,94	21,85	20,8	16,75	13,09	10,5	9,68	11,05	12,63	15,66	17,91	21,04
Santa Maria	RS	20,86	20,62	19,69	16,47	13,33	10,93	9,75	11,04	12,29	15,15	17,42	19,47
Porto Alegre	RS	21,59	21,83	21,09	18,15	14,67	12,33	11,26	12,51	13,73	16,03	18,04	20,03

São Gabriel	RS	20,37	20,22	19,22	15,57	12,26	9,71	8,66	10,24	11,28	14,07	16,12	18,63
Encruzilhada do Sul	RS	20,09	20,06	19,19	16,26	13,12	10,97	10,15	11,82	12,08	14,62	16,75	18,5
Santana do Livramento	RS	20,17	19,58	18,49	14,92	11,43	8,84	8,33	9,97	10,87	13,82	15,71	18,22
Camaquã	RS	21,25	21,27	20,62	17,28	13,77	11,28	10,77	11,58	12,8	15,21	17,44	19,42
Bagé	RS	19,98	19,79	18,97	15,92	12,52	9,89	9,28	10,65	11,42	14,4	16,51	18,64
Canguçu	RS	20,11	19,87	19,11	15,83	12,23	9,83	9,55	10,33	11,34	13,83	15,87	17,99
Santa Vitória do Palmar	RS	19,82	19,69	18,95	15,76	12,31	9,93	9,77	10,27	11,28	13,86	15,99	18,09

Tabela S11. Médias mensais do acumulado de chuva projetado para o longo prazo sob uma condição de RCP 4.5 para as 97 cidades estudadas.

Cidade	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Balsas	MA	217,07	216,89	210,37	122,75	35,11	3,1	2,02	4,73	14,77	43,88	104,9	210,33
Marianópolis do Tocantins	TO	260,82	264,88	297	161,04	51,81	5,33	0,34	6,15	32,94	138,45	209,11	248,98
Remanso	BA	120,33	109,79	139,58	72,55	6,15	0,94	1,16	0,95	5,06	13,02	89,52	88,63
Santa Rita de Cássia	BA	155,56	134,85	132,41	60,82	14,28	1,35	0,08	2,05	12,08	68,3	116,3	154,59
Barra	BA	99,29	103,77	123,92	56,35	9,84	2,54	0,66	0,46	8,07	19,61	84,74	120,16
Morro do Chapéu	BA	79,01	75,53	105,18	48,71	18,09	34,68	24,57	21,59	12,48	24,07	80,54	101,86
Gurupi	TO	248,73	232,55	256,13	113,97	17,3	2,95	0,01	4,56	21,79	62,37	205,49	243
Itaberaba	BA	106,18	70,24	65,31	40,29	23,25	31,97	24,85	14,54	16,15	23,07	44,24	100,75
Sorriso	MT	308,8	298,38	215,07	103,59	24,91	4,18	2,49	3,73	31,17	109,62	196,97	292,39
Bom Jesus da Lapa	BA	163,24	116,53	108,82	40,41	5,23	2,36	0,95	1,95	5,95	30,62	105,78	217,1
Sapezal	MT	368,98	356,2	307,71	155,74	63,85	18,68	13,83	26,72	82,2	164,4	205,06	300,88
Correntina	BA	185,82	134,23	126,7	44,04	10,2	1,84	1,06	2,67	21,65	57,92	162,44	237,94
Posse	GO	254,01	276,74	268,99	100,28	13,87	3,66	1,36	7,64	15,18	89,66	212,1	249,69
Tangará da Serra	MT	327,14	248,82	255,84	158,49	66,02	14,68	11,93	12,74	61,02	130	229,9	301,36
Vitória da Conquista	BA	106,46	94,25	99,2	40,65	23,06	32,12	23,6	16,12	15,25	40,33	105,11	144,65
Formoso	MG	206,29	176,63	188,01	67,89	13,34	4,49	1,45	7,53	26,09	67,62	209,9	261,39
Januária	MG	188,69	140,49	162,77	41,33	3,35	2,43	1,64	3	12,33	46,31	163,06	260,26
Formosa	GO	273,73	232,62	203,29	96,76	18,5	4,49	3,08	18,76	33,29	122,95	196,77	263,15
Aragarças	GO	343,9	252,21	229,9	83,3	22,7	11,17	6,32	11,73	34,34	93,11	204,49	264,98
São Romão	MG	226,17	129,52	145,09	47,89	6,87	4,42	4,51	5,25	16,74	51,37	178,65	267,79
Rondonópolis	MT	281,45	209,38	170,17	85,03	54,37	19,21	7,13	10,17	52,42	103,43	162,23	232,2
Unaí	MG	254,23	173,64	171,19	84,67	20,1	8,69	5,89	17,82	25,82	61,63	215,45	296,81
Juramento	MG	206,44	131,72	135,74	39,92	6,49	5,32	2,12	4,28	12,92	54,97	169,12	253,62
Cristalina	GO	279	250,6	236,29	103,84	20,77	5,52	4,24	24,24	39,72	103,54	217,94	296,84
Paraúna	GO	252,02	216,7	227,29	91,71	24,69	10,08	2,26	15,16	37,72	100,08	177,27	235,42
Caiapônia	GO	322,82	295,85	255,28	94,85	27,32	12,45	5,15	13,48	31,63	105,97	185,18	308,37
Alto Araguaia	MT	305,28	277,45	217,4	110,18	60,95	21,4	7,04	13,25	56,66	130,53	192,07	289,55
Morrinhos	GO	313,47	217,41	199,63	77,93	25,71	8,41	5,41	15,5	57,8	91,71	195,99	314,03

Alto Taquari	MT	295,72	296,63	245,89	126,26	67,49	14,57	11,13	18,5	57,81	122,68	193,6	306,22
Catalão	GO	304,2	262,87	197,75	83,86	26,27	10,66	5,18	17,54	26,39	95,55	182,07	281,14
Três Marias	MG	184,69	177,18	136,12	67,93	22,49	6,77	5,63	9,55	21,66	57,31	185,23	231,68
Costa Rica	MS	330,15	241,48	245,45	135,74	79,69	14,54	12,96	22,35	44,46	110,45	198,2	259,17
Coxim	MS	270,62	245,63	130,61	94,77	88,7	32,52	16,18	16,52	56,79	114,73	157,95	246,72
Curvelo	MG	250,72	151,32	127,54	44,05	19,43	5,76	5,51	12,23	25,49	76,18	178,43	245,63
Chapadão do Sul	MS	322,01	269,02	215,91	110,08	90,37	15,02	16,52	25,52	52,47	142,7	241,03	297,47
Ituiutaba	MG	300,1	209,93	185,74	64,71	33,6	14,6	8,45	20,89	52,7	120,86	180,25	262,1
São Simão	GO	301,87	197,17	181,69	75,2	49,99	15,51	14,48	12,64	92,85	213,68	278,82	233,47
Patrocínio	MG	296,36	221,58	179,32	73,53	39,29	11,64	15,81	13,38	33,51	72,43	176,51	288,43
Dores do Indaiá	MG	303,39	205,22	182,16	53,86	27,31	17,94	12,08	17,59	53,97	107,05	189,03	301,66
Paranaíba	MS	321,81	198,63	186,73	85,42	59,59	22,06	21,39	14,94	51,45	105,12	153,77	269,74
Florestal	MG	350,73	167,02	172,12	66,45	18,53	10,28	7,66	13,02	34,8	75,7	235,54	350,81
Conceição das Alagoas	MG	324,78	241,06	202,01	78,26	48,42	15,56	16,47	9,59	48,61	111,8	148,65	266,56
Jales	SP	262,28	196,38	172,65	85,11	60,28	28,84	10,87	15,14	61,19	94	119,14	208,74
Votuporanga	SP	319,11	210,94	154,78	85,7	66,78	14,4	20,83	12,83	43,31	103,13	138,79	209,84
Campo Grande	MS	244,93	192,46	173,59	99,55	102,94	31,6	25,52	28,74	79,31	143,98	172,31	215,11
Franca	SP	336,91	271,19	190,38	78,95	48,87	27,21	16,32	20,2	89,43	161,29	227,71	334,15
Catanduva	SP	278,74	229,12	158,94	65,11	77,23	22,65	25,92	25,19	52,07	100,47	126,95	215,78
Valparaíso	SP	232,67	209,35	149,73	94,58	79,15	22,62	27,71	26,62	61,74	100,13	110,91	202,23
Pradópolis	SP	255,29	222,03	167,42	71,72	70,02	24,09	33,19	21,86	57,41	128,32	160,29	249,55
Maracaju	MS	187	153,51	128,44	100,48	116,56	84,94	36,22	47,09	91,82	145,76	164,52	201,21
Lins	SP	236,33	230,69	149,64	73,17	66,34	29,53	31,11	28,59	65,51	101,71	131,12	200,41
Casa Branca	SP	266,09	196,73	170,62	74,65	62,52	27,97	24,69	22,24	62,52	139,77	160,33	258,75
São Lourenço	MG	287,74	203,17	176,8	68,09	67,53	32,16	21,62	24,57	79,81	123,7	190,62	324,96
Ivinhema	MS	175,99	167,59	130,16	105	134,76	78,77	53,67	52,12	106,48	175,45	152,99	195,14
Bauru	SP	263,82	212,19	140,23	76,78	101,66	42,79	50,5	32,14	57,13	127,36	164,58	239,19
Itapira	SP	244,7	203,28	176,65	91,26	80,1	51,34	31,24	32,16	67,09	128,35	185,4	272,35
Piracicaba	SP	265,97	185,66	168,68	85,42	89,44	54,39	35,64	23,43	52,27	127,67	127,89	207,28
Ourinhos	SP	226,26	160,31	158,71	91,44	104,04	97,71	50,62	34,44	102,25	143,41	152,05	217,52
Amambai	MS	177,04	199,55	167,09	195,31	168,81	106,5	51,31	60,84	122,2	193,97	212,63	245,01

São Luíz do Paraitinga	SP	274,96	243,66	157,71	87,07	71,01	46,55	45,96	33,38	73,57	124,35	147,1	213,12
Londrina	PR	243,04	201,88	137,81	113,01	158,03	110,55	59,5	43,87	112,23	141,31	159,68	224,93
Cidade Gaúcha	PR	187,07	171,53	115,92	122,16	150,57	112	59,08	67,78	115,89	170,17	147,71	183,59
Sorocaba	SP	292,54	164,75	142,36	70,75	91,7	72,78	55,47	33,94	77,75	109,81	136,47	208,06
Japira	PR	238,32	170,25	123,6	115,94	126,96	99,81	64,77	46,04	117,17	123,81	122,1	192,03
Nova Tebas	PR	212,05	169,09	126,59	127,06	210,25	118,87	101,88	66,61	143,93	179,88	172,99	185,32
Iguape	SP	284,19	262,6	275,66	159,61	147,66	124,44	120,16	75,65	162,18	163,88	143,39	189,37
Castro	PR	201,93	150,92	138,68	83,76	139,03	94,89	108,09	65,95	143,83	167,32	131,88	155,97
Ivaí	PR	215,37	164,23	151,19	125,29	184,52	147,96	133,77	59,87	195,99	190,53	152,39	160,22
Dois Vizinhos	PR	182,51	161,55	128,08	166,01	184,07	168,54	112,73	90,65	164,04	271,04	195,87	182,4
Dionísio Cerqueira	SC	186,33	216,45	151,25	211,96	177,95	174,3	141,7	127,1	224,33	276,98	255,18	206
Major Vieira	SC	170,58	169,93	128,72	112,01	176,56	141,17	137,42	109,5	178,9	213,11	158,14	156,66
Clevalândia	PR	179,12	167,79	131,95	191,2	226,27	212,21	137,21	112,85	186,55	289,68	214,62	186,64
São Miguel do Oeste	SC	176,23	189,47	140,00	230,53	203,82	191,04	108,47	108,73	228,46	275,17	206,68	201,36
Caçador	SC	150,37	154,02	118,24	111,96	177,06	145,4	139,79	105,81	154,05	200,89	163,46	152,52
Indaial	SC	216,38	157,57	130,32	111,75	113,02	102,59	104,3	108,89	178,8	177,62	170,71	173,45
Rio do Campo	SC	172,78	196,54	135,16	100,12	160,83	123,85	151,75	105,1	151,28	193,66	145,59	183,81
Xanxerê	SC	173,49	193,69	131,12	173,89	191,5	183,6	130,41	132,15	201,99	269,02	179,27	164,69
Joaçaba	SC	180,17	172,98	122,1	159,66	178,21	144,63	132,83	119,55	166,65	222,17	167,8	171,33
Curitibanos	SC	149,71	139,02	106,08	128,13	158,29	140,91	170,81	117,66	162,41	199,68	140,87	153,98
Ituporanga	SC	167,83	165,13	94,75	111,37	123,08	109,19	117,2	107,71	144,61	180,29	161,93	169,07
Erechim	RS	172,73	172,91	131,15	161,73	258,12	195,44	176,98	168	222,29	266,89	196,54	168,03
Lagoa Vermelha	RS	185,59	159,37	112,69	168,72	216,32	151,72	190,49	157,2	218,25	216,91	187,27	156,11
São Luiz Gonzaga	RS	129,98	171,97	153,45	227,81	207,02	174,87	121,56	122,65	171,89	216,27	192,24	157,74
Cruz Alta	RS	147,61	145,79	136,32	205,23	176,91	165,14	149,94	130,28	209,79	266,35	202,83	151,98
São Borja	RS	154,18	126,78	148,2	267,51	138,81	123,06	81,98	63,19	137,67	204,01	169,52	167,59
Soledade	RS	148,65	132,3	124,05	187,9	156,28	174,63	180,19	134,88	209,26	234,22	183,73	138,02
Caxias do Sul	RS	140,92	164,08	131,73	161,64	174,19	173,9	202,48	161,83	203,48	208,89	168,43	176,99
Alegrete	RS	155,79	139,76	160,82	220,2	142,77	127,1	102,81	82,61	140,03	178,78	168,87	117,4
Santa Maria	RS	130,78	125,09	125,88	144,87	179,39	155,83	127,02	110,85	175,22	211,27	148,6	149,61
Porto Alegre	RS	122,73	112,75	98,99	126,06	131,98	173,27	145,23	129,75	170,53	134,35	141,21	132,35

São Gabriel	RS	133,58	129,59	128,22	187,98	156,71	122,77	126,54	114,3	166,00	136,57	152,34	127,7
Encruzilhada do Sul	RS	141,81	139,94	109,28	160,43	170,67	182,87	158,29	115,45	194,05	159,82	153,95	134,2
Santana do Livramento	RS	140,42	200,78	155,9	202,82	175,01	111,91	105,04	103,31	161,84	177,51	156,61	135,18
Camaquã	RS	128,59	161,76	103,84	123,27	138,74	144,39	160,12	124,69	180,97	160,96	150,51	142,88
Bagé	RS	114,21	181,16	117,41	195,9	176,28	120,55	112,49	112,93	126,61	149,96	140,59	129,94
Canguçu	RS	173,12	158,46	128,82	189,29	192,12	169,48	164,92	149,76	223,78	164,05	152,97	140,79
Santa Vitória do Palmar	RS	104,26	133,75	131,85	153,54	138,11	129,41	134,47	107,41	106,54	87,31	102,72	99,07

Tabela S12. Médias mensais do acumulado de chuva projetado para o longo prazo sob uma condição de RCP 8.5 para as 97 cidades estudadas.

Cidade	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Balsas	MA	227,86	178,48	192,29	129,68	35,48	3,59	1,75	5,09	26,64	17	146,43	245,25
Marianópolis do Tocantins	TO	276,53	273,94	305,27	178,02	79,5	2,79	0,13	2,62	22,87	47,17	218,58	303,63
Remanso	BA	115,57	108,21	101,02	64,46	4,82	0,69	1,06	0,9	4,96	17,44	62,92	70,69
Santa Rita de Cássia	BA	148,32	137,15	138,28	61,28	9,44	1,23	0,03	1,97	7,25	46,93	78,54	173,89
Barra	BA	122,78	114,47	121,85	60,96	9,6	2,44	0,48	0,41	7,32	12,1	63,97	128,05
Morro do Chapéu	BA	90,92	78,97	88,9	50,39	21,05	30,38	18,67	15,5	10,6	24,91	42,62	95,89
Gurupi	TO	246,93	236,5	229,45	123,64	13,8	1,5	0,01	2,54	10,47	33,61	171,98	260,92
Itaberaba	BA	82,46	87,48	65,08	32,39	19,44	30,44	20,28	11,5	11,77	19,37	29,79	84,95
Sorriso	MT	270,2	284,13	191,44	106,71	33,62	2,1	4,42	3,8	29,13	120,46	230,58	294,53
Bom Jesus da Lapa	BA	153,32	136,23	110,17	39,86	3,32	1,87	0,8	1,87	11,16	20,47	76,33	216,19
Sapezal	MT	366,07	322,03	327,41	157,48	59,66	20,44	12,29	21,93	50,63	158,4	221,52	305,68
Correntina	BA	180,68	136,07	131,52	55,17	8,02	1,76	0,96	1,57	10,59	59,82	151,95	210,63
Posse	GO	245,14	251,36	220,41	95,57	18,96	3,48	1,43	8,42	13,12	54,05	183,08	295,92
Tangará da Serra	MT	318,51	245,26	245,43	146,11	48,92	10,64	12,73	18,45	70,55	120,35	219,4	297,21
Vitória da Conquista	BA	100,01	90,16	111,94	47,46	19,19	17,13	19,02	11,92	9,09	27,83	78,86	130,34
Formoso	MG	203,56	199,59	178,6	67,92	14,45	4,55	1,65	4,09	13,99	42,29	180,43	260,44
Januária	MG	185,65	172,63	156,82	38,54	4,4	2,18	1,61	2,54	7,82	43,77	148,83	248,05
Formosa	GO	264,37	232,04	192,97	84,82	15,8	4,48	3,15	6,9	19,11	72,42	212,85	338,94
Aragarças	GO	316,03	225,31	206,56	72,17	17,23	8,17	7,76	7,44	44,96	76,83	210,96	284,86
São Romão	MG	226,11	165,02	145,03	48,26	5,65	4,22	4,53	5,51	10,72	42,74	163,55	244,14
Rondonópolis	MT	276,87	215,56	195,89	84,29	32,15	10,7	6,42	4,2	33,93	67,51	165,16	248,8
Unai	MG	235,38	226,88	175,38	75,19	13,2	7,88	6,26	6,87	21,61	54,23	217,31	324,41
Juramento	MG	189,36	131,51	142,75	37,51	8,69	5,01	2,09	1,36	9,8	43,56	170,93	265,22
Cristalina	GO	310,51	297,71	259,02	84,43	22,54	4,77	4,05	9,19	13,13	56,45	188,62	314,02
Paraúna	GO	281,5	220,72	226,25	75,28	20,53	10,27	2,46	4,25	17,39	59,96	145,25	265,75
Caiapônia	GO	332,21	275,66	254,49	88,06	14,58	9,25	5,13	3,52	21,7	48,71	175,83	311,67
Alto Araguaia	MT	303,13	285,11	205,34	93,41	32,99	32,07	7,36	10,03	75,21	107,96	200,47	282,45
Morrinhos	GO	298,79	251,34	238,01	67,2	25,68	10,19	8,95	15,26	41,38	86,03	187,76	301,14

Alto Taquari	MT	289,3	297,05	240,52	102,99	41,69	23,33	14,11	18,53	76,59	101,33	199,52	287,63
Catalão	GO	271,5	287,9	192,89	77,46	27,74	9,59	4,88	14,17	28,29	74,86	190,79	286,06
Três Marias	MG	189,11	204,69	152,85	64,17	26,16	6,61	4,72	8,4	21,54	47,93	178,2	235,22
Costa Rica	MS	313,02	261,47	207,43	114,23	67,79	27,14	22,58	17,67	70,09	111,51	187,21	251,76
Coxim	MS	267,97	237,35	136,4	89,63	79,11	30,86	21,29	11,03	35,23	93,22	148,69	235,94
Curvelo	MG	258,52	172,16	143,05	37,57	13,26	5,71	4,65	8,69	20,18	64,83	158,17	227,31
Chapadão do Sul	MS	308,13	280,43	215,05	96,42	33,84	19,85	21,19	14,61	81,51	113,31	257,2	301,39
Ituiutaba	MG	289,12	232,65	184,28	66,99	33,5	20,76	12,17	9,5	36,1	91,41	176,46	256,08
São Simão	GO	275,15	224,59	184,97	59,23	46,68	33,7	12,9	11,25	89,53	234,05	274,45	221,51
Patrocínio	MG	307,95	211,43	217,55	59,15	28,14	13,56	10,65	11,75	30,29	66,91	145,88	266,87
Dores do Indaiá	MG	302,19	249,46	186,33	53,07	29,64	11,1	10,68	11,78	35,89	86,52	174,24	293,27
Paranaíba	MS	316,7	204	190,65	83,25	63,07	22,1	13,96	11,53	38,15	99,3	140,91	239,41
Florestal	MG	312,59	185,45	180,77	52,96	17,63	13,55	6,91	7,48	27,19	75,6	227,77	393,51
Conceição das Alagoas	MG	290,54	246,93	198,72	76,18	47,48	22,57	12,83	12,42	35,77	123,3	164,81	268,1
Jales	SP	278,21	214,23	158,9	101,81	54,53	31,14	20,29	12,19	39,7	73,91	125,82	215,65
Votuporanga	SP	322,9	230,11	149,42	92,08	58,65	27,5	24,24	12,43	40,47	84,67	147,44	214,79
Campo Grande	MS	255,35	218,79	157,83	91,33	108,13	53,1	31,09	39,24	60,4	111,95	163,14	209,6
Franca	SP	341,26	274,11	214,27	78,77	53,31	26,89	20,76	15,25	42,88	139,46	219,99	303,33
Catanduva	SP	297,63	198,44	135,65	69,13	66,69	26,76	22,48	25,44	39,48	82,82	126,89	221,01
Valparaíso	SP	241,15	202,51	131,81	90,09	74,53	28,27	26,28	24,85	51,6	94,22	125,12	197,49
Pradópolis	SP	290,65	202,86	143,31	80,8	90,38	43,9	21,45	18,26	47,37	107,88	141,69	239,72
Maracaju	MS	177,53	161,26	119,78	85,73	95,58	118,93	36,54	42,47	62,91	117,7	171,92	202,86
Lins	SP	242,64	207,91	141,09	80,2	70,35	35,23	24,44	22,1	45,39	106,35	135,87	198,34
Casa Branca	SP	273,4	231,01	159,96	76,41	59,19	27,6	25,00	19,87	44,27	132,66	160,06	237,38
São Lourenço	MG	307,74	242,77	176,8	72,94	59,21	29,14	26,55	16,5	74,13	128,56	194,82	322,06
Ivinhema	MS	177,94	168,27	108,11	120,83	138,53	92,99	35,87	34,38	85,05	148,54	162,58	182,99
Bauru	SP	303,39	216,39	123,2	85,52	121,97	71,33	40,00	22,55	60,58	109,93	152,28	230,31
Itapira	SP	261,65	209,51	162,84	100,64	81,9	49,74	33,97	22,1	58,11	129,89	198,65	287,88
Piracicaba	SP	260,77	214,12	168,18	77,88	78,64	60,42	37,92	27,22	45,86	128,37	130,42	203,85
Ourinhos	SP	236,58	184,05	143,2	83,16	100,1	92,89	48,37	52,33	82,06	128,66	160,61	226,16
Amambai	MS	173,78	209,7	143,04	140,56	175,31	158,6	57,38	54,66	103,04	220,7	249,01	265,23

São Luíz do Paraitinga	SP	268,08	213,13	196,51	95,84	80,77	52,85	40,91	22,69	68,25	134,1	147,57	234,69
Londrina	PR	246,65	206,03	106,93	119,16	156,54	119,74	67,53	35,62	94,58	146,37	185,35	240,59
Cidade Gaúcha	PR	207,78	158,53	96,77	124,27	161,32	126,00	50,36	49,75	114,59	163,45	165,86	205,39
Sorocaba	SP	261,66	166,4	120,09	69,29	104,17	90,7	59,83	29,73	75,55	119,98	135,86	193,97
Japira	PR	258,63	173,11	117,32	111,77	132,03	114,17	51,08	45,45	99,86	118,16	133,48	194,73
Nova Tebas	PR	204,78	179,32	120,81	138,17	206,51	147,01	97,5	39,99	145,01	195,57	204,56	219,41
Iguape	SP	296,32	262,47	296,39	172,87	147,97	149,22	159,53	78,74	154,11	162,12	158,65	193,84
Castro	PR	193,01	155	121,57	92,06	125,2	116,28	101,38	64,59	126,96	209,83	153,63	179,86
Ivaí	PR	207,73	166,64	140,28	123,36	205,85	180,62	136,95	55,88	167,02	249,86	183,43	209,37
Dois Vizinhos	PR	213,52	174,44	121,39	142,92	244,53	183,49	134,66	114,56	160,11	282,53	223,83	209,61
Dionísio Cerqueira	SC	188,02	220,63	147,4	200,87	249,27	203,87	173,08	135,72	202,18	287,58	281,04	225,81
Major Vieira	SC	182,38	185,4	135,93	128,62	204,15	158,84	148,47	114,5	197,42	234,38	175,7	181,29
Clelândia	PR	214,78	184,85	139,66	228,26	248,94	195,42	102,33	104,6	182,45	309,3	270,94	233,65
São Miguel do Oeste	SC	161,2	214,51	154,67	218,62	221,54	215,72	191,54	116,09	165,99	247,29	193,78	180,99
Caçador	SC	155,69	161,00	119,02	132,49	193,12	178,94	140,34	99,11	140,94	220,24	203,77	181,85
Indaial	SC	215,88	179,87	119,36	101,58	125,48	130,24	140,88	112,35	164,91	197,86	190,97	169,11
Rio do Campo	SC	191,84	213,39	149,44	111,31	172,36	123,47	145,77	102,28	154,54	220,33	183,6	201,35
Xanxerê	SC	206,97	192,07	142,27	188,64	201,74	182,66	120,26	109,22	173,04	292,79	226,08	199,87
Joaçaba	SC	174,5	194,75	121,55	153,6	214,85	175,98	224,46	131,71	163,89	245,79	191,96	194,43
Curitibanos	SC	159,01	156,42	112,73	152,56	186,28	156,27	163,33	120,02	187,34	224,3	186,05	184,66
Ituporanga	SC	178,6	174,6	102,26	127,34	141,37	127,99	158,73	111,32	160,15	200,25	155,12	156,22
Erechim	RS	200,53	184,92	138,43	208,93	245,21	193,81	125,52	134,93	220,95	287,93	237,73	194,05
Lagoa Vermelha	RS	178,53	167,51	125,00	161,34	269,89	177,32	269,68	146,39	204,59	244,09	217,04	171,13
São Luiz Gonzaga	RS	152,02	168,97	155,69	268,61	217,62	164,92	168,38	111,94	157,41	232,23	186,3	160,5
Cruz Alta	RS	158,59	157,41	146,69	225,69	221,2	170,46	147,64	132,22	191,48	245,41	223,43	168,99
São Borja	RS	154,92	146,09	149,23	252,18	131,32	137,89	103,9	72,85	142,79	190,26	177,11	171,29
Soledade	RS	150,52	141,12	118,54	184,37	192,26	203,83	213,8	169,62	212,49	212,27	204,15	173,12
Caxias do Sul	RS	144,54	162,75	121,75	174,49	201,48	223,47	222,47	183,16	193,84	216,01	180,96	200,16
Alegrete	RS	131,15	145,08	159,62	217	148,71	144,12	125,64	88,75	146,41	181,32	169,63	129,82
Santa Maria	RS	151,99	131,08	122,29	152,61	175,27	201,64	162,91	128,74	169,28	186,1	151,47	164,52
Porto Alegre	RS	115,2	118,72	96,29	126,2	180,81	198,74	138,59	140,09	177,69	156,21	158,64	122,56

São Gabriel	RS	141,26	127,55	133,35	204,45	149,6	139,36	129,86	100,9	163,3	153,21	164,58	146,62
Encruzilhada do Sul	RS	158,84	152,64	126,16	153,77	185,85	207,08	173,95	136,46	184,01	172,35	176,81	156,5
Santana do Livramento	RS	126,1	182,00	168,45	189,5	176,07	120,43	123,17	127,37	188,07	181,89	155,66	150,23
Camaquã	RS	117,56	142,07	113,76	158,2	187,28	177,62	173,12	138,48	211,79	147,15	140,57	150,9
Bagé	RS	133,00	177,33	151,01	202,34	199,72	144,64	113,54	114,38	132,38	147,17	154,45	134,9
Canguçu	RS	172,98	146,63	153,19	221,49	226,09	217,75	207,82	177,5	240,95	183,07	160,79	152,91
Santa Vitória do Palmar	RS	90,82	156,04	144,78	122,26	144,8	144,18	150,64	139,12	96,43	102,65	80,9	97,17

Tabela S13. Médias mensais da temperatura máxima projetada para o longo prazo sob uma condição de RCP 4.5 para as 97 cidades estudadas.

Cidade	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Balsas	MA	32,74	32,65	33,06	33,56	34,5	34,98	35,56	37,09	38,09	36,91	35,27	33,44
Marianópolis do Tocantins	TO	31,09	30,79	30,95	31,33	32	33,98	36,89	39,03	40,02	37,87	34,8	32,4
Remanso	BA	33,95	33,59	33,08	33,32	32,92	32,44	32,04	32,72	34,38	35,66	35,24	34,65
Santa Rita de Cássia	BA	32,77	32,45	32,76	33,89	35,07	34,99	35,01	36,22	38,23	38,33	36,22	34,07
Barra	BA	34,77	34,75	34,47	34,66	34,61	33,86	33,9	35,02	36,73	37,71	36,58	35,28
Morro do Chapéu	BA	29,81	29,89	29,55	28,47	26,77	25,01	24,58	25,38	27,46	29,7	29,73	29,59
Gurupi	TO	31,88	31,68	31,63	32,03	32,53	33,01	34,42	37,44	39,98	38,11	35,47	33,04
Itaberaba	BA	35,74	35,7	35,4	34,24	32,98	31,07	30,43	31,42	33,83	35,78	36,16	35,17
Sorriso	MT	30,3	30,43	30,73	31,27	31,44	32,33	34,26	37,58	38,81	37,55	33,67	31,13
Bom Jesus da Lapa	BA	33,43	33,73	33,72	34,02	34,25	33,45	33,33	34,84	36,96	37,94	35,96	34,12
Sapezal	MT	30,18	30,22	30,48	30,69	29,97	29,8	30,59	33,87	35,08	33,8	31,79	30,48
Correntina	BA	32,58	32,73	32,72	33,31	33,22	32,28	32,16	33,57	35,58	36,14	34,25	32,8
Posse	GO	30,72	30,8	30,69	31,44	31,47	30,64	30,6	32,35	34,9	34,9	32,72	31,24
Tangará da Serra	MT	31,36	31,55	31,83	31,66	30,45	30,61	31,34	34,83	36,66	35,87	33,84	32,18
Vitória da Conquista	BA	30,04	29,78	29,74	28,43	27,02	25,07	24,55	25,46	27,73	29,33	29,56	29,73
Formoso	MG	31,51	31,98	32,00	32,3	31,74	30,88	30,76	32,71	35,17	35,62	32,96	31,71
Januária	MG	32,33	33,31	32,78	33,3	33,18	32,27	32,22	33,72	35,77	36,7	34,41	32,9
Formosa	GO	29,36	29,7	29,92	30,02	29,58	28,76	28,64	30,8	33,17	33,14	30,75	29,82
Aragarças	GO	32,02	32,12	32,37	32,7	31,94	31,21	31,94	34,8	37,33	37,12	34,87	33,08
São Romão	MG	31,37	32,1	31,7	32,42	32,4	31,62	32,02	34,15	36,87	37,2	33,88	31,81
Rondonópolis	MT	32,42	32,42	32,61	32,91	32,00	32,21	33,4	36,96	38,91	38,15	36,14	33,61
Unaí	MG	29,77	30,05	29,92	30,1	29,74	29,39	30,02	32,82	35,86	36,25	32,86	30,81
Juramento	MG	31,28	31,8	31,79	31,42	30,8	29,7	29,62	30,79	33,1	34,39	32,66	31,04
Cristalina	GO	28,48	28,26	28,42	28,68	29,05	28,77	29,34	31,61	34,16	34,06	31,65	29,08
Paraúna	GO	30,09	30,11	29,93	30,12	29,57	29,77	31,16	34,08	36,7	35,92	33,34	30,9
Caiapônia	GO	29,44	29,37	29,74	29,94	29,24	28,75	29,29	31,98	34,6	34,18	32,55	30,17
Alto Araguaia	MT	29,15	29,34	29,6	29,56	28,09	27,59	28,17	30,91	33,13	33,37	31,76	30,13
Morrinhos	GO	30,19	30,06	30,22	30,47	29,46	29,35	30,25	33,27	35,99	35,66	33,35	30,77

Alto Taquari	MT	28,94	29,12	29,3	29,16	27,51	27,06	27,73	30,76	33,12	33,29	31,7	29,99
Catalão	GO	29,73	29,47	29,72	29,74	29,21	28,92	29,77	32,46	35,43	35,1	33,18	30,57
Três Marias	MG	29,97	29,75	29,42	29,34	28,45	27,9	28,55	30,72	33,64	34,2	32,3	30,02
Costa Rica	MS	29,56	29,64	29,74	29,65	27,87	27,52	27,97	30,69	33,05	33,54	31,98	30,41
Coxim	MS	33,38	33,33	33,63	33,8	31,79	31,85	33,00	36,08	38,39	38,61	37,22	34,59
Curvelo	MG	30,49	31,29	31,04	31,26	30,89	30,41	30,82	32,59	35,32	35,71	33,2	30,55
Chapadão do Sul	MS	30,41	30,4	30,42	30,11	28,09	27,71	28,14	30,88	33,29	33,9	32,59	31,27
Ituiutaba	MG	30,36	30,48	30,08	29,96	29,35	29,49	29,75	32,5	35,44	35,67	33,69	31,25
São Simão	GO	31,31	31,23	31,08	31,24	30,57	31,05	31,74	34,58	36,71	37,00	34,68	32,12
Patrocínio	MG	28,91	28,67	28,38	28,2	26,79	26,02	26,67	29,28	32,36	32,93	31,31	29,23
Dores do Indaiá	MG	29,24	29,75	29,22	29,13	28,06	27,51	28,44	30,88	33,8	34,4	32,45	30,33
Paranaíba	MS	32,6	32,81	32,81	32,47	30,04	29,86	30,6	33,02	35,04	35,71	34,64	33,33
Florestal	MG	28,39	28,61	28,66	28,49	28,05	27,69	28,08	30,38	32,59	33,03	30,69	29,1
Conceição das Alagoas	MG	30,66	30,62	30,34	30,4	28,79	28,29	29,08	32,12	34,78	35,49	33,72	31,26
Jales	SP	31,49	31,22	30,74	30,7	29,92	30,19	30,69	33,78	35,98	36,89	35,36	32,71
Votuporanga	SP	31,48	31,1	31,06	31,07	29,3	28,96	29,79	33,04	35,95	36,41	34,97	32,58
Campo Grande	MS	32,93	32,61	32,47	32,64	30,37	29,9	30,6	34,33	35,58	36,03	34,93	34,12
Franca	SP	29,16	29,04	28,87	28,59	27,32	27,35	28,2	31,07	33,2	33,35	31,34	29,84
Catanduva	SP	32,18	32,42	32,26	32,00	29,49	28,92	29,48	32,00	33,17	34,31	33,48	32,61
Valparaíso	SP	31,75	31,41	31,26	30,95	28,67	28,1	28,73	31,86	34,54	34,85	34,33	32,84
Pradópolis	SP	30,43	30,26	30,07	29,75	28,02	27,95	28,98	32,41	34,34	34,78	32,76	30,91
Maracaju	MS	33,21	33,15	33,12	32,57	29,75	28,58	29,28	32,68	34,42	35,02	34,5	33,75
Lins	SP	31,76	31,45	31,28	30,81	28,56	27,83	28,35	31,6	33,94	34,76	33,86	32,73
Casa Branca	SP	29,04	29,3	28,97	28,86	26,8	26,28	26,83	30,06	32,13	32,47	31,22	29,67
São Lourenço	MG	29,7	30,89	30,01	29,26	26,89	25,99	26,16	28,67	29,58	30,84	30,18	30,16
Ivinhema	MS	34,61	34,14	33,63	32,52	28,95	27,68	27,89	31,42	33,71	34,5	34,88	34,69
Bauru	SP	31,68	31,73	31,38	30,34	27,49	26,69	26,76	29,58	31,98	32,74	33,09	31,88
Itapira	SP	29,78	29,71	29,16	28,07	26,15	25,52	26,04	28,69	30,7	31,48	31,11	29,92
Piracicaba	SP	30,13	30,3	30,05	29,1	26,64	26,00	26,67	29,46	32,28	32,9	32,88	31,22
Ourinhos	SP	31,87	31,67	31,15	30,38	27,62	26,42	26,83	30,3	32,13	32,94	33,15	32,84
Amambai	MS	33,22	32,19	32,18	30,43	26,73	25,75	26,14	29,56	31,29	32,81	33,08	32,94

São Luíz do Paraitinga	SP	28,46	28,39	27,82	26,46	24,37	23,83	23,73	26,21	27,95	28,71	28,86	28,91
Londrina	PR	31,71	31,73	31,65	30,59	27,12	25,84	26,05	28,69	30,34	31,64	32,52	32,31
Cidade Gaúcha	PR	34,45	33,94	33,5	31,94	28,18	26,37	26,38	29,94	32,18	33,77	34,23	34,64
Sorocaba	SP	30,39	30,92	30,39	28,95	26,23	25,2	25,27	27,52	29,02	30,25	30,56	30,73
Japira	PR	30,61	30,38	30,17	28,76	25,4	24,09	24,08	26,8	29,27	30,09	30,99	31,21
Nova Tebas	PR	29,63	29,08	29,02	27,75	24,24	22,53	22,36	24,82	26,96	28,43	29,17	29,96
Iguape	SP	30,11	30,17	29,51	28,28	25,96	24,77	24,23	25,24	25,86	27,01	28,34	29,74
Castro	PR	29,13	28,92	28,63	27,13	23,26	21,63	21,52	23,97	25,63	27,36	28,51	29,31
Ivaí	PR	29,54	29,18	28,5	26,84	23,42	21,78	22,03	24,73	26,14	28,2	29,05	29,82
Dois Vizinhos	PR	31,66	30,71	30,55	28,44	24,53	22,84	22,73	25,12	26,98	28,44	30,35	31,54
Dionísio Cerqueira	SC	31,23	30,45	30,09	27,43	23,45	21,55	21,64	23,96	25,14	27,49	28,86	30,59
Major Vieira	SC	27,37	27,61	26,99	24,92	21,04	19,26	19,1	21,33	23,1	24,89	26,59	27,6
Clelândia	PR	29,11	28,56	28,35	26,09	22,26	20,65	20,68	22,91	24,81	26,89	28,02	28,98
São Miguel do Oeste	SC	32,04	31,56	31,24	27,88	24,02	22,17	22,3	24,74	25,51	27,8	29,59	31,24
Caçador	SC	27,72	27,37	27,21	25,09	21,24	19,76	19,49	21,63	23,08	24,98	26,55	27,49
Indaial	SC	28,9	28,81	28,00	25,8	22,84	21,34	21,01	22,75	23,18	24,8	26,69	28,26
Rio do Campo	SC	28,93	28,78	28,11	25,95	22,45	20,42	20,29	21,96	23,24	25,38	27,2	28,57
Xanxerê	SC	30,22	29,56	29,36	26,89	23,18	21,15	21,43	23,62	25,17	27,62	28,71	29,88
Joaçaba	SC	27,79	27,69	27,04	24,83	21,03	19,47	19,79	21,86	23,28	25,18	26,63	27,76
Curitibanos	SC	27,52	27,45	26,92	24,5	20,7	19,2	18,86	21,18	22,47	24,67	26,27	27,18
Ituporanga	SC	27,35	27,08	26,58	24,67	21,45	19,91	19,46	21,45	22,28	23,63	25,53	26,96
Erechim	RS	29,85	29,26	29,48	26,77	22,88	21,11	20,72	22,96	24,43	27,01	28,34	29,55
Lagoa Vermelha	RS	29,01	28,44	27,64	24,72	21,04	19,71	19,29	21,36	22,25	25,17	26,80	28,43
São Luiz Gonzaga	RS	35,54	33,67	32,77	29,07	24,41	21,92	21,6	24,11	25,97	28,88	31,74	34,51
Cruz Alta	RS	32,00	30,96	30,2	27,32	23,53	20,85	20,63	23,15	23,02	26,73	29,67	31,81
São Borja	RS	36,32	34,56	33,53	29,03	24,47	21,8	21,63	24,16	25,82	29,08	32,02	35,29
Soledade	RS	29,95	29,41	28,94	25,82	21,98	19,87	19,44	21,73	22,10	25,00	27,19	29,15
Caxias do Sul	RS	28,92	28,22	27,4	24,26	20,30	19,02	18,76	21,12	21,40	23,78	26,15	27,74
Alegrete	RS	35,35	33,21	32,24	27,68	23,42	20,67	20,27	22,77	24,10	27,29	30,46	34,35
Santa Maria	RS	32,45	31,2	30,43	27,06	23,01	20,43	20,30	22,65	23,37	26,26	29,13	31,17
Porto Alegre	RS	31,81	31,27	30,41	27,01	23,24	20,67	20,45	22,28	23,03	25,75	28,13	30,17

São Gabriel	RS	33,00	31,83	30,67	26,41	22,33	19,76	19,35	21,59	22,63	26,26	29,11	31,79
Encruzilhada do Sul	RS	31,03	29,87	29,03	25,04	21,00	18,61	18,50	20,74	21,27	24,37	27,17	30,00
Santana do Livramento	RS	33,28	31,44	30,00	25,62	21,30	18,48	18,39	20,39	21,53	24,93	28,25	32,14
Camaquã	RS	31,21	30,48	29,98	26,45	22,47	19,95	19,14	20,81	21,24	24,14	26,66	29,62
Bagé	RS	32,30	30,71	29,58	25,58	21,68	19,32	19,23	21,41	21,71	25,17	27,98	30,78
Canguçu	RS	30,28	29,65	28,98	25,28	21,22	18,72	18,04	19,85	20,07	23,13	25,97	28,69
Santa Vitória do Palmar	RS	29,01	28,76	27,77	24,43	20,85	17,77	17,05	18,81	19,35	22,35	25,21	27,57

Tabela S14. Médias mensais da temperatura máxima projetada para o longo prazo sob uma condição de RCP 8.5 para as 97 cidades estudadas.

Cidade	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Balsas	MA	34,56	34,8	34,76	35,41	36,84	37,13	37,58	39,05	39,75	39,21	38,09	35,41
Marianópolis do Tocantins	TO	33,1	32,86	32,92	33,46	34,37	36,33	38,8	40,92	41,98	40,12	37,33	34,31
Remanso	BA	35,86	35,49	34,99	35,28	34,53	33,56	33,37	34,38	36,62	38,14	38,04	37,18
Santa Rita de Cássia	BA	34,77	34,39	34,2	35,28	36,65	36,55	36,49	37,78	40,16	40,81	39,05	36,16
Barra	BA	36,26	36,28	35,88	36,29	36,46	35,79	35,63	36,71	38,83	40,05	39,18	37,4
Morro do Chapéu	BA	31,39	31,66	31,41	30,42	29,02	27,12	26,56	27,11	29,24	31,26	31,72	31,77
Gurupi	TO	33,88	33,74	33,79	34,66	34,57	34,88	36,31	39,23	41,42	39,87	37,86	35,25
Itaberaba	BA	37,41	37,11	36,91	35,96	34,65	32,8	32,07	32,96	35,29	37,45	38	36,96
Sorriso	MT	32,47	32,59	32,91	33,22	33,55	35,27	37,55	41,14	42,64	40,59	35,91	33,12
Bom Jesus da Lapa	BA	35,47	35,21	35,24	35,81	35,9	35,27	34,84	36,09	38,05	39,66	38,45	36,29
Sapezal	MT	32,88	33,15	32,99	33,31	31,98	31,64	32,89	36,54	38,54	37,44	34,37	33,02
Correntina	BA	34,26	34,38	34,12	34,92	35,07	34,23	34,02	35,24	37,97	38,84	36,46	34,83
Posse	GO	32,66	32,77	32,91	33,99	33,94	32,81	32,23	34,05	36,68	37,06	34,76	32,92
Tangará da Serra	MT	33,62	33,82	34,08	33,75	32,93	33,24	34,44	37,86	39,58	38,85	36,65	34,63
Vitória da Conquista	BA	32,21	31,44	30,81	29,77	28,52	26,88	26,07	27,06	29,6	31,52	32,16	32,18
Formoso	MG	33,35	33,51	33,94	34,67	34,05	32,78	32,28	34,11	36,83	37,57	35,14	33,28
Januária	MG	34,06	34,89	34,33	34,96	35,03	34,07	33,94	35,39	37,75	39,29	37,16	35,00
Formosa	GO	31,28	31,63	31,58	32,37	31,85	30,7	30,85	32,68	35,30	36,12	33,37	31,35
Aragarças	GO	33,95	34,07	34,35	35,00	34,00	33,34	33,94	36,61	38,96	39,00	36,63	34,72
São Romão	MG	33,18	33,69	33,14	34,22	34,5	33,89	33,74	35,76	38,73	39,64	36,24	33,77
Rondonópolis	MT	34,26	34,24	34,19	34,54	34,13	34,27	35,56	39,44	41,90	41,82	38,94	35,60
Unaí	MG	31,73	31,63	31,15	32,12	31,73	31,45	32,15	34,39	37,6	38,45	35,43	32,67
Juramento	MG	32,90	32,94	32,65	32,89	32,55	31,59	30,94	32,68	35,74	37,13	34,54	32,58
Cristalina	GO	30,00	30,00	29,83	30,94	31,19	30,81	31,48	33,57	36,76	37,03	34,69	30,97
Paraúna	GO	31,75	31,84	31,64	32,16	31,69	31,53	32,81	35,97	38,50	38,82	37,50	33,37
Caiapônia	GO	31,13	31,31	31,52	32,02	31,40	30,71	31,19	33,98	36,21	37,02	35,76	32,42
Alto Araguaia	MT	31,52	31,27	31,63	32,09	30,84	29,93	30,3	32,98	35,39	36,23	34,18	32,38
Morrinhos	GO	31,90	31,7	31,39	31,98	31,41	31,29	32,10	35,10	37,64	37,91	35,45	32,89

Alto Taquari	MT	31,26	31,08	31,34	31,69	30,29	29,35	29,86	32,8	35,33	36,13	34,2	32,26
Catalão	GO	31,66	31,44	31,56	31,9	31,1	30,82	31,53	34,19	37,09	37,3	35,24	32,5
Três Marias	MG	31,31	31,18	30,66	31,22	30,26	29,72	30,25	32,57	35,66	36,45	34,52	31,95
Costa Rica	MS	31,79	31,45	31,94	31,93	30,43	29,48	30,03	33,14	35,27	36,03	34,03	32,53
Coxim	MS	35,79	35,58	35,49	35,83	34,07	33,61	34,84	38,18	40,78	41,82	40,01	37,31
Curvelo	MG	32,50	32,89	32,61	32,96	32,56	31,95	32,44	34,71	37,14	37,94	36,22	33,54
Chapadão do Sul	MS	32,57	32,32	32,58	32,37	30,48	29,81	30,12	32,92	35,29	36,84	35,90	33,73
Ituiutaba	MG	33,00	32,64	32,61	32,86	31,25	30,84	31,73	34,84	37,90	38,41	37,01	34,24
São Simão	GO	33,31	33,01	33,04	33,17	32,73	32,87	33,75	36,73	38,69	39,16	36,90	34,44
Patrocínio	MG	30,17	30,15	29,73	29,81	28,77	27,51	27,94	30,51	33,65	34,53	34,04	31,29
Dores do Indaiá	MG	31,25	30,94	30,47	30,89	29,76	29,31	30,07	32,79	35,88	36,56	34,76	32,15
Paranaíba	MS	35,02	34,78	34,45	34,57	32,26	31,77	32,65	35,40	37,28	38,28	37,07	35,91
Florestal	MG	30,25	30,26	29,74	30,06	29,58	29,52	29,94	32,47	35,45	35,84	32,98	30,53
Conceição das Alagoas	MG	32,56	32,39	32,15	32,15	30,52	30,44	30,95	33,69	36,54	37,59	35,16	33,17
Jales	SP	33,38	33,02	32,95	33,13	31,58	31,9	32,89	36,09	38,58	39,76	37,55	34,65
Votuporanga	SP	33,34	32,85	32,75	32,75	30,81	30,81	31,73	35,04	38,00	39,39	37,35	34,57
Campo Grande	MS	35,15	34,42	34,73	34,75	32,39	31,67	32,53	36,13	37,89	39,37	37,57	36,05
Franca	SP	31,10	30,88	30,51	30,56	28,75	28,78	29,58	32,69	35,12	35,94	34,16	31,91
Catanduva	SP	33,44	33,89	34,06	34,01	31,43	30,76	30,96	33,70	35,91	37,17	35,57	33,89
Valparaíso	SP	33,66	33,34	33,48	33,26	30,76	30,05	30,69	34,22	37,09	37,53	36,39	34,64
Pradópolis	SP	31,94	31,65	31,85	31,55	29,99	29,62	30,29	33,81	36,47	37,08	35,24	33,05
Maracaju	MS	35,16	34,79	35,41	34,86	32,11	30,51	31,46	34,97	37,18	37,98	36,97	35,2
Lins	SP	33,39	33,17	32,99	32,69	29,98	29,68	30,39	33,68	36,83	36,67	35,24	34,12
Casa Branca	SP	31,54	31,15	31,05	30,88	28,59	28,11	28,85	31,82	34,06	34,54	34,16	32,42
São Lourenço	MG	31,55	32,56	31,51	30,87	28,57	27,94	27,90	30,37	31,56	32,72	32,79	32,08
Ivinhema	MS	37,28	36,64	36,29	34,44	30,66	29,35	30,26	34,35	37,18	37,50	37,17	37,1
Bauru	SP	33,38	33,08	32,96	32,02	29,15	28,03	28,38	31,55	34,12	35,57	35,29	34,05
Itapira	SP	31,16	31,52	31,25	30,09	27,86	27,46	28,00	31,37	34,21	34,28	32,94	31,45
Piracicaba	SP	31,88	31,6	31,58	30,63	28,54	27,8	28,11	31,21	33,69	34,26	33,92	32,4
Ourinhos	SP	33,81	33,24	33,68	32,79	30,10	28,87	28,98	32,47	34,80	35,55	35,31	34,25
Amambai	MS	35,25	33,86	34,11	32,74	29,03	27,68	27,80	31,54	33,80	35,00	34,95	34,82

São Luíz do Paraitinga	SP	30,12	29,96	29,16	27,9	25,66	24,95	25,13	27,77	29,54	30,21	30,53	30,1
Londrina	PR	33,79	33,83	33,92	32,74	28,85	27,62	27,92	30,95	32,39	33,39	34,07	33,89
Cidade Gaúcha	PR	36,36	35,96	36,06	33,96	30,11	28,07	28,66	32,6	34,68	36,15	36,01	36,06
Sorocaba	SP	32,49	32,82	32,54	31,01	28,26	27,1	26,88	29,26	30,75	31,48	31,98	32,34
Japira	PR	32,45	32,34	32,37	30,79	27,44	25,77	26,03	29,19	31,17	32,04	32,64	32,6
Nova Tebas	PR	31,92	31,61	31,19	29,21	26,05	24,43	24,5	27,93	29,81	30,32	30,99	31,45
Iguape	SP	31,83	31,66	30,79	29,97	27,80	26,44	25,76	26,53	27,02	28,86	30,45	31,16
Castro	PR	30,57	30,88	30,8	28,73	25,28	23,65	23,53	26,05	28,1	28,59	29,63	30,1
Ivaí	PR	30,94	30,98	30,62	28,69	25,40	23,83	23,75	26,87	28,71	29,31	30,16	30,66
Dois Vizinhos	PR	33,09	32,13	32,32	30,38	26,54	24,65	24,32	26,86	29,1	30,76	31,87	32,67
Dionísio Cerqueira	SC	33,18	32,21	31,89	29,35	25,59	23,32	22,98	25,36	27,12	29,51	30,98	32,44
Major Vieira	SC	29,89	29,35	28,67	26,6	22,63	21,2	21,01	23,73	24,55	26,60	28,19	29,43
Clevalândia	PR	31,18	30,61	30,33	27,83	23,92	22,26	22,85	25,80	27,01	28,65	29,54	30,37
São Miguel do Oeste	SC	34,41	33,29	32,95	29,75	26,06	23,82	23,79	25,74	28,1	30,10	32,14	33,53
Caçador	SC	29,62	29,12	28,40	26,27	22,92	21,56	21,32	24,04	25,29	27,02	28,14	29,17
Indaial	SC	30,26	30,12	29,55	27,51	24,70	22,65	22,05	24,05	24,63	26,66	27,96	29,49
Rio do Campo	SC	30,93	30,39	29,57	27,52	23,86	22,4	22,13	24,63	25,1	27,04	28,76	30,27
Xanxerê	SC	31,97	31,53	31,37	28,87	24,97	23,26	23,39	26,37	27,78	29,23	30,15	31,28
Joaçaba	SC	29,76	29,17	28,88	26,68	23,00	21,24	20,83	23,19	25,29	27,18	28,41	29,28
Curitibanos	SC	29,70	29,08	28,19	26,00	22,26	21,03	20,69	23,58	24,22	25,93	27,58	28,99
Ituporanga	SC	29,36	28,79	27,86	25,71	22,48	20,81	21,02	23,07	23,74	25,27	27,18	28,32
Erechim	RS	31,75	31,27	30,98	28,23	24,26	22,44	22,93	25,87	26,83	28,61	29,84	30,97
Lagoa Vermelha	RS	30,36	29,78	29,21	26,5	22,36	20,49	20,26	23,27	25,23	27,24	28,76	29,46
São Luiz Gonzaga	RS	38,20	36,40	35,21	30,64	25,94	23,15	22,63	24,91	27,45	30,36	33,78	36,83
Cruz Alta	RS	33,52	32,22	31,84	28,93	25,09	22,8	22,24	24,87	25,24	28,57	31,01	33,01
São Borja	RS	37,84	36,32	35,26	30,41	25,96	23,29	23,39	26,05	28,01	31,15	33,78	36,68
Soledade	RS	31,11	30,62	30,62	27,32	23,51	21,24	20,76	23,04	24,43	26,84	28,48	30,06
Caxias do Sul	RS	30,32	29,70	29,05	25,8	22,01	20,27	20,14	22,36	23,45	25,37	27,25	29,05
Alegrete	RS	36,91	34,93	33,78	28,86	24,74	22,35	21,84	24,31	26,05	28,61	31,82	35,40
Santa Maria	RS	33,96	32,82	31,81	28,22	24,43	21,64	21,63	23,48	24,88	27,86	30,66	32,92
Porto Alegre	RS	32,90	32,05	32,17	28,35	24,4	21,77	22,00	23,70	24,76	26,94	28,90	30,83

São Gabriel	RS	34,58	33,66	32,44	28,27	24,01	21,24	20,75	23,51	24,45	27,70	30,69	33,35
Encruzilhada do Sul	RS	32,16	31,31	30,83	26,82	22,96	20,11	19,83	22,38	22,77	25,89	28,16	31,00
Santana do Livramento	RS	35,13	33,26	32,37	27,49	22,88	19,75	19,68	22,16	23,17	26,62	29,94	33,67
Camaquã	RS	32,32	31,53	31,33	27,60	23,74	20,68	20,06	21,69	22,34	24,82	27,55	30,31
Bagé	RS	33,24	32,10	30,90	26,90	23,22	20,39	20,05	22,72	23,09	26,15	28,80	31,65
Canguçu	RS	32,07	31,07	30,54	26,48	22,25	19,48	19,25	20,95	21,39	24,50	27,27	29,73
Santa Vitória do Palmar	RS	29,97	29,40	28,80	25,50	21,96	18,56	18,37	19,70	20,65	23,56	26,11	28,19

Tabela S15. Médias mensais da temperatura mínima projetada para o longo prazo sob uma condição de RCP 4.5 para as 97 cidades estudadas.

Cidade	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Balsas	MA	23,90	23,82	24,07	24,31	23,87	22,49	21,9	22,59	24,62	25,36	24,79	24,18
Marianópolis do Tocantins	TO	25,14	25,04	25,29	25,41	24,5	23,21	23,47	24,97	26,91	27,08	26,6	25,85
Remanso	BA	24,69	24,56	24,57	24,58	24,02	23,1	22,25	22,41	23,66	25,22	25,46	25,12
Santa Rita de Cássia	BA	22,93	22,67	22,85	23,19	22,64	21,31	20,66	21,39	23,55	24,99	24,34	23,58
Barra	BA	23,37	23,44	23,29	22,61	21,12	19,22	18,63	19,68	22,3	24,12	24,22	23,62
Morro do Chapéu	BA	19,80	19,87	20,05	19,71	18,36	17,09	16,16	16,24	17,19	18,32	19,55	19,8
Gurupi	TO	24,03	23,9	23,92	23,77	22,29	20,34	19,90	21,61	24,83	25,86	25,5	24,47
Itaberaba	BA	23,42	23,51	23,46	22,81	21,37	19,66	18,59	18,57	20,07	21,79	22,85	23,08
Sorriso	MT	23,42	23,35	23,44	23,21	22,28	20,85	20,24	22,48	25,26	25,69	24,30	23,75
Bom Jesus da Lapa	BA	23,08	22,82	22,75	22,52	21,3	19,66	18,9	19,68	21,82	23,91	23,96	23,38
Sapezal	MT	22,72	22,49	22,46	21,97	20,47	18,91	18,21	19,97	21,99	23,20	23,06	22,95
Correntina	BA	21,78	21,69	21,51	21,01	19,04	16,92	16,33	17,59	20,5	22,83	23,09	22,28
Posse	GO	22,22	22,17	22,30	22,43	21,51	20,28	19,87	20,83	23,22	24,12	23,33	22,51
Tangará da Serra	MT	23,61	23,36	23,42	22,96	21,25	19,82	18,96	20,96	23,51	24,54	24,15	23,82
Vitória da Conquista	BA	19,91	19,70	19,88	19,47	18,16	16,63	15,68	15,51	16,56	18,12	19,05	19,59
Formoso	MG	21,30	21,11	20,99	20,57	18,95	17,03	16,39	17,81	20,61	22,3	21,85	21,45
Januária	MG	22,52	22,43	22,23	21,24	18,91	16,57	15,99	17,36	20,45	22,98	23,46	23,08
Formosa	GO	20,78	20,51	20,65	20,25	18,57	16,62	16,04	17,88	20,54	21,77	21,31	21,08
Aragarças	GO	23,45	23,31	23,21	22,47	20,42	18,37	17,82	19,65	22,90	24,93	24,33	23,72
São Romão	MG	22,16	22,17	21,94	21,32	19,62	17,80	17,27	18,78	21,56	23,60	22,99	22,41
Rondonópolis	MT	24,04	23,79	23,66	22,85	20,82	18,80	18,16	20,66	23,55	25,07	25,05	24,56
Unaí	MG	21,39	21,20	21,06	20,23	18,21	16,01	15,76	17,82	21,07	23,03	22,23	21,72
Juramento	MG	20,52	20,43	20,59	19,35	17,15	15,28	14,43	15,53	18,04	20,48	21,36	21,27
Cristalina	GO	20,47	20,24	20,07	19,30	17,26	15,25	15,25	16,99	19,95	21,48	21,36	20,83
Paraúna	GO	22,09	21,95	21,88	20,87	18,32	16,40	16,30	18,38	21,85	23,51	23,04	22,24
Caiapônia	GO	21,63	21,52	21,44	20,47	18,25	16,56	16,05	17,78	21,08	22,75	22,70	21,88
Alto Araguaia	MT	21,58	21,35	21,33	20,48	18,08	16,21	15,7	17,54	20,56	22,49	22,18	21,97
Morrinhos	GO	21,85	21,63	21,40	20,43	17,92	15,91	15,64	17,61	21,15	22,83	22,77	22,05

Alto Taquari	MT	21,17	20,94	20,89	20,02	17,55	15,75	15,19	16,98	19,87	21,8	21,6	21,52
Catalão	GO	21,39	21,16	20,94	19,83	17,72	15,65	15,75	17,39	20,77	22,27	22,39	21,76
Três Marias	MG	21,14	20,76	20,49	19,34	17,2	15,24	15,15	16,26	19,19	21,45	21,71	21,42
Costa Rica	MS	21,89	21,71	21,5	20,64	18,05	16,49	15,77	17,52	20,39	22,41	22,36	22,16
Coxim	MS	24,67	24,33	24,11	23,09	20,25	18,65	18,08	20,25	23,30	25,60	25,63	25,21
Curvelo	MG	21,28	20,97	20,78	19,98	18,33	16,42	16,11	17,12	19,78	21,69	22,00	21,59
Chapadão do Sul	MS	22,17	22,02	21,74	20,73	17,93	16,17	15,43	17,13	20,16	22,31	22,53	22,49
Ituiutaba	MG	22,71	22,45	22,05	20,75	18,64	17,08	16,54	18,39	21,67	23,37	23,36	22,85
São Simão	GO	23,61	23,47	23,04	21,96	19,45	17,98	17,5	19,6	22,64	24,55	24,35	23,69
Patrocínio	MG	20,05	19,75	19,6	18,56	15,59	13,79	13,43	14,79	17,78	19,95	20,66	20,16
Dores do Indaiá	MG	20,80	20,72	20,28	19,02	16,59	14,5	14,39	15,69	18,72	20,68	21,19	21,17
Paranaíba	MS	23,42	23,26	23,1	22,25	18,76	17,07	16,48	18,38	21,46	23,53	23,66	23,48
Florestal	MG	20,06	19,58	19,36	18,08	16,02	14,23	13,69	14,72	16,97	19,01	19,69	19,97
Conceição das Alagoas	MG	22,28	22,11	21,71	20,47	17,76	16,27	15,84	17,59	20,8	22,72	22,73	22,32
Jales	SP	24,12	23,94	23,39	21,92	19,52	18,08	17,42	19,50	22,48	24,46	24,69	24,27
Votuporanga	SP	23,02	22,69	22,2	20,76	18,09	16,55	16,2	18,01	21,33	23,18	23,41	23,21
Campo Grande	MS	23,55	23,19	22,88	21,65	19,1	17,75	16,84	19,30	21,32	23,14	23,28	23,81
Franca	SP	21,16	20,95	20,64	19,33	17,06	15,59	15,36	17,05	19,41	21,08	20,98	21,07
Catanduva	SP	22,64	22,57	22,27	20,76	18,56	17,04	16,67	18,31	20,32	21,99	22,21	22,72
Valparaíso	SP	23,13	22,84	22,2	20,61	17,73	16,21	15,52	17,21	20,09	22,05	22,81	23,14
Pradópolis	SP	21,43	21,33	20,93	19,29	16,6	14,96	14,73	16,44	18,97	20,83	20,86	21,23
Maracaju	MS	23,38	22,8	22,45	20,51	17,68	16,11	15,10	16,92	19,53	21,82	22,59	23,35
Lins	SP	23,26	23,09	22,6	20,79	18,09	16,28	15,68	17,38	20,03	22,15	22,64	23,18
Casa Branca	SP	20,29	20,34	19,7	18,24	15,75	14,38	13,66	15,36	17,66	19,27	19,62	20,02
São Lourenço	MG	19,15	18,98	18,32	16,14	13,14	10,48	9,58	11,07	14,58	17,13	18,11	19,12
Ivinhema	MS	23,54	23,26	22,71	20,86	17,7	16,12	14,86	16,57	19,25	21,19	22,44	23,16
Bauru	SP	21,20	21,16	20,68	18,91	16,61	14,97	14,27	15,22	17,59	19,3	20,23	20,56
Itapira	SP	20,43	20,39	19,72	17,86	15,5	13,87	13,12	13,99	16,24	18,55	19,53	20,01
Piracicaba	SP	21,02	20,87	20,19	18,59	15,72	14,07	13,41	14,33	17,24	18,92	20,09	20,48
Ourinhos	SP	22,05	21,84	21,04	19,25	16,47	14,76	13,90	15,41	17,52	19,39	20,47	21,52
Amambai	MS	23,00	22,39	21,98	19,77	15,59	14,27	13,13	14,99	17,18	20,32	21,31	22,4

São Luíz do Paraitinga	SP	19,61	19,59	18,77	17,03	14,32	12,68	11,98	12,83	14,68	16,35	17,66	18,74
Londrina	PR	21,54	21,67	20,82	19,18	16,17	14,47	13,71	15,16	17,38	19,28	20,39	21,37
Cidade Gaúcha	PR	22,77	22,53	21,76	19,81	16,77	15,28	13,96	15,69	17,88	20,18	21,2	22,3
Sorocaba	SP	20,99	20,93	20,41	18,87	15,97	14,23	13,42	14,57	16,7	18,37	19,34	20,27
Japira	PR	20,11	20,11	19,41	17,81	14,95	13,58	12,58	13,56	15,68	17,32	18,44	19,47
Nova Tebas	PR	20,57	20,33	19,69	17,84	14,74	13,12	12,11	13,26	15,27	17,79	18,79	20,06
Iguape	SP	23,58	23,68	23,14	21,51	18,75	16,89	15,77	16,36	17,85	19,47	20,83	22,32
Castro	PR	18,77	18,82	18,06	16,28	12,85	11,07	10,52	11,4	12,94	15,25	16,62	17,64
Ivaí	PR	19,63	19,5	18,48	16,62	13,36	11,8	11,36	12,36	13,74	16,31	17,53	18,66
Dois Vizinhos	PR	21,92	21,5	20,56	18,59	14,86	13,46	12,32	13,77	15,53	17,98	19,67	21,16
Dionísio Cerqueira	SC	21,1	20,67	19,76	17,57	13,55	12,19	11,36	13,07	14,1	17,02	18,28	20,03
Major Vieira	SC	18,16	18,34	17,48	15,44	12,00	10,08	9,44	10,39	12,36	14,62	16,16	17,32
Clelândia	PR	19,13	19,04	18,33	16,06	12,65	11,21	10,27	11,32	13,12	15,73	17,08	18,26
São Miguel do Oeste	SC	21,4	21,14	20,1	17,56	13,84	12,19	11,25	13,04	14,17	16,73	18,42	20,43
Caçador	SC	17,63	17,46	16,71	14,4	11,24	9,29	8,58	9,45	11,51	13,77	15,36	16,79
Indaial	SC	20,49	20,69	19,65	17,63	14,45	12,58	11,79	12,86	14,04	16,08	17,75	19,28
Rio do Campo	SC	19,67	19,8	18,73	16,5	13,4	11,05	10,75	11,29	13,32	15,6	17,11	18,77
Xanxerê	SC	20,32	20,31	19,42	16,98	13,39	11,49	10,86	12,09	13,69	16,66	17,95	19,47
Joaçaba	SC	17,67	17,64	16,64	14,56	10,95	9,04	8,54	9,78	11,32	13,84	15,36	16,76
Curitibanos	SC	17,77	17,76	17,06	14,74	10,97	9,43	8,5	9,84	11,4	13,85	15,41	16,73
Ituporanga	SC	18,67	19,03	18,23	16,13	13,03	11,06	10,19	11,34	12,56	14,34	16,14	17,61
Erechim	RS	19,69	19,4	19,01	16,34	12,79	10,98	9,94	11,31	12,78	15,59	17,13	18,7
Lagoa Vermelha	RS	18,42	18,23	17,33	14,79	11,33	9,92	8,69	9,96	10,78	13,74	15,37	17,26
São Luiz Gonzaga	RS	21,33	20,94	19,97	17,26	13,36	11,57	10,53	11,87	13,47	15,89	17,97	20,22
Cruz Alta	RS	20,58	20,33	19,25	16,96	13,23	11,01	10,46	11,9	12,55	15,75	17,73	19,92
São Borja	RS	22,75	21,93	21,09	17,92	13,93	11,82	10,86	12,09	13,66	16,54	18,92	21,35
Soledade	RS	19,39	19,23	18,46	15,99	12,12	10,14	9,17	10,6	11,24	14,19	16,18	18,24
Caxias do Sul	RS	19,19	19,05	18,54	16,07	12,82	11,22	10,3	11,91	11,92	14,34	16,32	17,81
Alegrete	RS	22,13	21,35	20,32	16,93	12,98	10,55	9,67	11,24	12,4	15,33	17,79	20,47
Santa Maria	RS	20,37	20,31	19,17	16,43	12,8	10,57	9,9	11,29	12,41	15,09	17,15	19,18
Porto Alegre	RS	21,77	21,92	20,68	17,66	14,33	11,99	11,27	12,22	13,47	15,99	18,02	20,06

São Gabriel	RS	20,19	19,88	18,7	15,09	11,87	9,54	8,85	10,15	11,02	14,13	16	18,37
Encruzilhada do Sul	RS	19,75	19,85	18,93	16,1	12,9	10,81	10,08	11,18	12,01	14,36	16,42	18,34
Santana do Livramento	RS	19,94	19,53	18,3	15,07	11,44	8,96	8,11	9,36	10,25	13,13	15,43	18,19
Camaquã	RS	21,15	21,23	20,72	17,36	13,68	11,3	10,5	11,68	12,64	15,09	17,23	19,41
Bagé	RS	20,01	19,84	18,55	15,67	12,08	9,73	9,41	10,69	11,32	14,42	16,14	18,44
Canguçu	RS	19,85	19,79	19,13	16,14	12,4	10,01	9,08	10,29	10,98	13,47	15,69	18,04
Santa Vitória do Palmar	RS	19,93	19,73	18,92	15,76	12,11	9,88	9,27	10,06	11,1	13,51	15,89	18,26

Tabela S16. Médias mensais da temperatura mínima projetada para o longo prazo sob uma condição de RCP 8.5 para as 97 cidades estudadas.

Cidade	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Balsas	MA	25,8	25,82	25,77	26,19	26,06	24,55	23,76	24,49	26,47	27,78	27,92	26,27
Marianópolis do Tocantins	TO	27,27	27,17	27,32	27,84	27,26	25,72	25,51	26,91	28,85	29,43	29,25	27,98
Remanso	BA	26,09	26,03	25,77	25,82	25,2	24,22	23,27	23,62	24,89	26,63	27,16	26,5
Santa Rita de Cássia	BA	24,92	24,73	24,57	24,85	24,38	23,07	22,36	23,19	25,41	27,04	26,74	25,58
Barra	BA	25,09	25,05	24,75	24,34	22,84	20,74	20,14	21,14	23,87	25,88	26,41	25,8
Morro do Chapéu	BA	21,93	21,78	21,64	21,42	20,25	18,81	17,79	17,82	18,62	19,94	20,96	21,58
Gurupi	TO	25,73	25,7	25,85	26,15	24,63	22,22	21,65	23,47	26,55	27,96	27,95	26,51
Itaberaba	BA	24,8	24,93	24,83	24,17	22,73	21,12	19,98	20,1	21,44	23,18	24,53	24,82
Sorriso	MT	25,32	25,32	25,47	25,5	24,44	23,31	23,12	25,2	27,97	27,99	26,42	25,68
Bom Jesus da Lapa	BA	24,49	24,28	24,17	24,12	22,83	21,11	20,24	21,02	23,12	25,45	26,1	25,12
Sapezal	MT	24,91	24,74	24,75	24,65	22,86	21,35	20,78	22,91	25,63	26,73	25,69	25,17
Correntina	BA	23,44	23,4	23,11	22,82	21,08	19,15	18,34	19,5	22,45	24,77	25,11	24,24
Posse	GO	23,84	23,75	23,75	24,3	23,58	22,16	21,41	22,41	24,66	25,79	25,02	24,21
Tangará da Serra	MT	25,79	25,65	25,69	25,23	23,54	21,89	21,32	23,12	25,67	27,49	26,92	26,12
Vitória da Conquista	BA	21,52	21,04	21,02	20,73	19,44	17,95	16,86	16,94	18,05	19,55	21,02	21,34
Formoso	MG	22,86	22,61	22,83	22,61	21,04	19,02	18,1	19,26	21,92	23,91	23,87	23,2
Januária	MG	23,92	23,79	23,48	22,76	20,94	18,6	17,95	19,16	22,44	25,23	25,41	24,53
Formosa	GO	22,6	22,37	22,26	22,34	20,77	18,88	18,26	19,55	22,34	24,36	23,88	23,08
Aragarças	GO	25,17	24,99	25,13	24,74	22,67	20,66	20,01	21,37	24,62	27,2	26,37	25,5
São Romão	MG	23,65	23,61	23,38	22,89	21,48	19,77	19,12	20,35	23,16	25,34	24,95	23,96
Rondonópolis	MT	25,85	25,59	25,36	24,6	22,52	20,8	20,17	22,36	25,58	27,96	27,68	26,55
Unai	MG	23,00	22,92	22,79	22,08	20,2	18,27	17,99	19,59	23,08	25,34	24,72	23,62
Juramento	MG	21,85	21,75	21,69	20,75	18,84	16,88	15,98	16,95	19,88	22,18	22,84	22,58
Cristalina	GO	22,15	21,99	21,71	21,22	19,44	17,45	17,22	18,72	21,77	23,9	23,92	22,68
Paraúna	GO	23,82	23,49	23,31	22,56	20,1	18,21	18,01	20,21	23,86	26,12	26,34	24,48
Caiapônia	GO	23,57	23,38	23,28	22,65	20,38	18,76	17,96	19,89	22,74	25,4	25,65	24,09
Alto Araguaia	MT	23,4	23,14	23,22	22,73	20,51	18,96	18,14	19,73	22,69	25,17	24,28	23,68
Morrinhos	GO	23,47	23,43	23,37	22,56	20,35	18,41	17,77	19,85	23,36	25,41	24,75	23,89

Alto Taquari	MT	22,98	22,74	22,79	22,25	20,01	18,42	17,59	19,04	21,95	24,4	23,72	23,23
Catalão	GO	23,21	22,93	22,77	22,07	20,09	18,07	17,92	19,37	22,53	24,66	24,52	23,56
Três Marias	MG	22,71	22,29	22,08	21,32	19,31	17,27	17,01	18,03	21,21	23,55	24,05	23,27
Costa Rica	MS	23,51	23,26	23,3	22,57	20,39	18,85	18,04	19,77	22,42	24,56	23,91	23,66
Coxim	MS	26,48	26,12	26,02	25,21	22,81	21,19	20,61	22,84	25,96	28,61	28,04	27,01
Curvelo	MG	23,18	22,66	22,51	21,59	19,93	18,21	17,76	18,86	21,52	23,61	24,26	23,63
Chapadão do Sul	MS	24,21	23,95	23,98	23,03	20,08	18,55	17,56	19,17	22,08	25,45	25,43	24,87
Ituiutaba	MG	24,29	23,86	23,54	22,67	19,89	18,38	17,98	19,71	23,4	25,38	25,45	24,6
São Simão	GO	25,37	25,32	25,24	24,18	21,98	20,33	19,87	22,02	25,03	26,81	26,22	25,61
Patrocínio	MG	21,89	21,66	21,44	20,32	17,8	15,49	14,93	16,16	19,31	21,71	23,07	22,27
Dores do Indaiá	MG	22,89	22,39	21,8	20,9	18,57	16,63	16,27	17,51	20,67	22,89	23,72	23,26
Paranaíba	MS	25,12	24,95	24,59	23,98	20,93	19,31	18,63	20,75	23,65	25,5	25,4	25,37
Florestal	MG	21,79	21,48	20,92	19,96	17,91	16,38	15,61	16,94	19,57	21,5	21,87	21,82
Conceição das Alagoas	MG	24,36	24,22	23,79	22,87	20,32	18,89	18,29	19,82	22,94	25,08	24,77	24,38
Jales	SP	25,7	25,45	25,08	24,06	21,17	19,98	19,45	21,41	24,71	27,08	26,67	25,87
Votuporanga	SP	24,96	24,65	24,21	23,13	20,32	19,16	18,52	20,33	23,69	26,13	25,8	25,15
Campo Grande	MS	25,69	25,23	25,18	24,29	21,54	20,2	19,39	21,72	23,98	26,43	25,91	25,81
Franca	SP	23,06	22,83	22,35	21,36	18,73	17,27	17,07	18,59	21,2	23,39	23,64	23,15
Catanduva	SP	24,37	24,07	23,87	22,94	20,26	18,92	18,25	19,91	22,21	24,31	24,53	24,38
Valparaíso	SP	24,89	24,62	24,02	22,8	19,7	18,22	17,47	19,33	21,99	24,26	24,59	24,73
Pradópolis	SP	23,39	22,85	22,38	21,11	18,5	16,94	16,21	17,79	20,69	22,74	23,17	23,36
Maracaju	MS	25,49	24,85	24,63	23,06	20,06	18,43	17,55	19,46	22,41	24,82	24,87	25,15
Lins	SP	25,09	24,71	24,06	22,97	19,61	18,3	17,72	19,33	22,27	23,88	24,33	24,77
Casa Branca	SP	22,58	22,28	21,48	20,22	17,56	16,16	15,79	16,86	19,29	21,26	22,25	22,44
São Lourenço	MG	20,99	20,83	19,79	17,76	14,7	12,23	11,41	12,83	16,42	18,89	20,18	20,89
Ivinhema	MS	25,73	25,37	24,75	23,02	19,24	17,65	17,17	18,93	21,61	23,51	24,33	25,13
Bauru	SP	22,99	22,78	22,1	20,86	18,46	16,97	16,26	17,38	19,75	21,61	22,11	22,5
Itapira	SP	22,27	22,28	21,44	19,95	17,29	15,9	15,08	16,42	18,77	20,59	21,15	21,55
Piracicaba	SP	23,03	22,94	22,24	20,54	17,91	16,1	15,28	16,39	19,04	20,99	21,78	22,03
Ourinhos	SP	24,11	23,93	23,23	21,63	18,69	17,01	15,93	17,35	19,58	21,7	22,39	23,06
Amambai	MS	25,04	24,28	23,71	22,05	18,17	16,45	14,9	17,45	19,53	22,4	23,22	24,28

São Luíz do Paraitinga	SP	21,09	21,03	20,23	18,61	15,85	14	13,47	14,29	16,22	17,83	19,28	20,16
Londrina	PR	23,65	23,71	22,67	21,44	18,09	16,55	15,75	17,31	19,26	21,12	22,09	23,02
Cidade Gaúcha	PR	24,65	24,26	23,71	21,88	18,51	16,83	16,08	17,94	19,96	22,19	22,9	23,94
Sorocaba	SP	22,72	22,78	22,08	20,47	17,79	15,95	15,22	16,26	18,13	19,59	20,7	21,72
Japira	PR	22,12	22,11	21,46	19,81	16,91	15,36	14,43	15,66	17,17	18,97	19,94	20,91
Nova Tebas	PR	22,6	22,6	21,59	19,68	16,33	14,88	13,98	15,72	17,5	19,53	20,68	21,79
Iguape	SP	25,42	25,49	24,65	23,17	20,76	18,54	17,81	18,08	19,44	21,3	22,69	24,17
Castro	PR	20,26	20,55	19,78	17,93	14,89	13,1	12,18	13,24	15,09	16,79	17,99	18,96
Ivaí	PR	21,12	21,24	20,21	18,36	15,33	13,85	12,85	14,28	15,89	17,69	18,91	20,07
Dois Vizinhos	PR	23,73	23,3	22,39	20,44	17,09	15,66	14,53	15,95	17,56	20,19	21,43	22,69
Dionísio Cerqueira	SC	23,09	22,75	21,66	19,47	15,96	14,41	13,18	14,86	16,24	19,12	20,36	22,02
Major Vieira	SC	20,28	20,11	19,14	17,1	13,73	12,03	11,09	12,54	13,65	16,07	17,51	19,05
Clelândia	PR	21,21	21,05	20,06	17,88	14,34	12,5	11,85	13,99	15,17	17,4	18,6	19,87
São Miguel do Oeste	SC	23,64	23,26	22,3	19,61	15,82	14,07	13,1	14,41	16,57	19,13	20,69	22,47
Caçador	SC	19,56	19,52	18,29	16,14	12,92	11,16	9,99	11,79	13,18	15,76	16,89	18,49
Indaial	SC	21,74	21,93	20,89	18,94	15,95	13,96	12,94	14,28	15,34	17,38	18,89	20,31
Rio do Campo	SC	21,41	21,36	20,38	18,15	14,84	13,06	12,04	13,63	14,57	16,84	18,37	20,04
Xanxerê	SC	22,08	21,99	21,08	18,76	15,2	13,3	12,28	14,43	15,69	18	19,35	20,89
Joaçaba	SC	19,81	19,69	18,78	16,53	13,25	11,51	10,34	11,9	13,54	16,03	17,26	18,67
Curitibanos	SC	19,57	19,44	18,41	16,2	12,9	11,2	10,09	11,81	12,89	15,11	16,64	18,32
Ituporanga	SC	20,41	20,63	19,62	17,54	14,36	12,51	11,98	13,24	14,38	16,02	17,53	18,9
Erechim	RS	21,63	21,43	20,49	18,06	14,52	12,42	11,76	13,89	14,95	17,2	18,7	20,25
Lagoa Vermelha	RS	19,87	19,77	19,09	16,54	13,12	11,49	10,44	12,25	13,4	15,68	17,27	18,52
São Luiz Gonzaga	RS	24,25	23,66	22,47	19,34	15,15	13,00	12,15	13,14	15,21	17,91	20,18	22,59
Cruz Alta	RS	22,43	21,86	21,19	18,53	15,26	13,2	12,06	13,97	14,68	17,51	19,18	21,27
São Borja	RS	24,72	24,04	23,03	19,27	15,63	13,39	12,79	14,09	15,62	18,53	20,76	23,14
Soledade	RS	21,15	20,94	20,32	17,44	14,37	12,29	11,2	12,67	13,67	16,11	17,77	19,71
Caxias do Sul	RS	20,84	20,62	19,96	17,47	14,38	12,52	11,69	13,15	13,9	15,95	17,49	19,46
Alegrete	RS	23,57	23,14	22,04	17,93	14,35	12,15	11,31	12,94	14,5	16,89	19,09	21,74
Santa Maria	RS	22,49	22,2	20,88	17,79	14,39	12,19	11,62	12,48	14,18	16,64	18,72	21,12
Porto Alegre	RS	23,13	23,08	22,48	19,28	15,9	13,22	12,88	13,89	15,4	17,46	19,27	21,1

São Gabriel	RS	21,9	21,93	20,79	17,32	13,73	11,08	10,24	11,95	12,87	15,55	17,68	20,03
Encruzilhada do Sul	RS	21,4	21,52	20,95	17,99	14,95	12,46	11,33	13,17	13,38	15,93	17,79	19,65
Santana do Livramento	RS	21,46	20,9	20,47	16,95	13,31	10,44	9,73	11,43	12,07	14,9	16,93	19,5
Camaquã	RS	22,58	22,6	22,17	18,89	15,56	12,43	11,71	12,83	14,28	16,35	18,39	20,7
Bagé	RS	21,39	21,25	20,47	17,24	13,94	11,21	10,48	12,41	12,91	15,54	17,43	19,61
Canguçu	RS	21,41	21,21	20,66	17,53	14,14	11,47	11,24	12,19	12,92	15,06	17,17	19,16
Santa Vitória do Palmar	RS	21,01	20,81	20,22	16,92	13,46	10,82	10,8	11,42	12,63	15,06	17,07	19,08

5. IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUTIVIDADE DO MILHO NO BRASIL: UMA ABORDAGEM MULTI-MODELOS

Resumo

O milho é uma das culturas com maior importância em nível mundial tanto pela área destinada à sua produção quanto pelos volumes anuais produzidos do grão. Nesse cenário, o Brasil configura como o 3º maior produtor mundial, sendo a região Centro-Oeste a maior responsável pelos volumes de milho produzidos no país. Sabendo-se dos efeitos do clima nos resultados de produtividade do milho e que os efeitos das mudanças climáticas em cenários futuros afetam tanto a temperatura quanto a distribuição de chuvas no Brasil, projetar o impacto dessas mudanças na produtividade do milho se faz necessário principalmente para direcionar políticas públicas e eventuais ações mitigadoras dos impactos negativos. Sendo assim, o presente estudo teve por objetivos: desenvolver o *ensemble* dos modelos MZA-FAO, DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST-Maize e MONICA-Maize, devidamente calibrados e validados, para determinar as produtividades potenciais (PP) e atingíveis (PA) do milho durante o período de safra e de safrinha para a condição climática atual, definida pela série histórica compreendida entre 1980 e 2009; desenvolver o *ensemble* dos modelos MZA-FAO, DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST-Maize e MONICA-Maize, devidamente calibrados e validados, para determinar as produtividades potenciais (PP) e atingíveis (PA) do milho durante o período de safra e de safrinha sob as condições de clima futuro de médio e longo prazo para as condições de emissão dos RCPs 4.5 e 8.5, conforme proposto por Ruane e McDermid (2017); avaliar o impacto das mudanças climáticas na produtividade potencial e atingível do milho nos diferentes cenários climáticos propostos e avaliar o impacto das mudanças climáticas nos polos produtivos e em suas datas preferenciais de semeadura. De maneira geral, as simulações da produtividade do milho nos cenários de clima futuro apresentaram redução nos patamares produtivos tanto para PP quanto para PA, chegando a perdas de 958,6 kg ha⁻¹ e 1583,9 kg ha⁻¹, respectivamente, no cenário mais crítico. Existiu um padrão comum de redução acentuada da produtividade (PP e PA) nas regiões Brasil-Norte e Brasil-Central e de menor redução, ou até ligeiros aumentos, da produtividade na região Brasil-Sul, sendo que o período da safra é o que sofre as maiores perdas relativas quando comparado ao período histórico.

Palavras-chave: Milho, Efeito das mudanças climática, Perdas de produtividade.

Abstract

Maize is one of the most important cereals worldwide, with both the area destined for production and the amount of the grain produced. Brazil is the 3rd largest producer in the world, with the Midwest region being the largest responsible for the volumes of maize produced in the country. As knowing, the effects of climate on maize yields and that the effects of climate change in future scenarios affect both temperature and rainfall distribution in Brazil, projecting the impact of these changes on maize yields is very important mainly to direct public policies and possible actions to mitigate negative impacts. Therefore, the present study aimed to: develop the ensemble of the AEZ-FAO, DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST-Maize and MONICA-Maize models, duly calibrated and validated, to determine the maize potential (YP) and attainable (YA) yields during two season periods for the current climatic condition, defined by the historical series between 1980 and 2009; develop the ensemble of the AEZ-FAO, DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST-Maize and MONICA-Maize models, duly calibrated and validated, to determine the maize potential (YP) and attainable (YA) yields of maize during two season periods under the medium and long-term future weather conditions and RCPs 4.5 and 8.5, as proposed by Ruane and McDermid (2017); assess the impact of climate change on the potential and attainable maize yields in the different climatic future scenarios and assess the impact of climate change on maize production centers and on their suitable sowing dates. Generally, the maize yield simulations in the future climate scenarios showed a reduction in both yield levels (YP and YA), reaching losses of 958.6 kg ha⁻¹ and 1583.9 kg ha⁻¹, respectively, in the

most critical scenario. There was a common pattern in maize yields reduction (YP and YA) in the North and Central regions and a smaller reduction, or even slight increases, in the South region, with the first season the one that suffers the greatest relative losses when compared to the baseline.

Keywords: Maize, Climate change effects, Yield reduction.

5.1. Introdução

O milho é uma das culturas com maior importância em nível mundial, sendo o cereal mais produzido tanto em área quanto em produção total. Segundo o último levantamento da USDA (USDA, 2022), a produção mundial de milho na safra 2021/22 foi de 1.219,8 milhões de toneladas, sendo que o Brasil foi o 3º maior produtor, contribuindo com 116 milhões de toneladas em 4.534,7 mil hectares cultivados na safra e 16.456,5 na safrinha (Conab, 2022). Sabendo-se dos efeitos das mudanças climáticas, cada vez mais se discute sobre seus impactos na agricultura brasileira incluindo no cultivo do milho. Modelos climáticos globais (GCM em inglês) disponibilizados na quinta fase do Projeto de Intercomparação de Modelos (CMIP-5) (IPCC, 2014) apontam aumentos na temperatura média em todo território nacional e variações no padrão de distribuição de chuvas que podem afetar tanto os níveis de produtividade do milho quanto as épocas de semeadura e as aptidões das diferentes regiões em cultivar o grão, afetando diretamente os indicadores de segurança alimentar do país.

No Brasil, o milho é cultivado principalmente em sistemas de sequeiro e a região Centro-Oeste é a que mais contribui com sua produção, cultivando o grão majoritariamente durante o período da safrinha, com datas de semeadura preferenciais entre janeiro e março, sendo que os meses de abril e maio já começam a apresentar condições de restrição mais frequentes (Conab, 2022). Na safra 2020/21, a região foi responsável por 55,65% da produção do milho brasileiro, registrando uma média de produtividade de 4891,6 kg ha⁻¹. Para o cultivo do milho no período da safra, as regiões mais importantes são as Sul e Sudeste, contribuindo com 66,46% da produção nacional do grão atingindo um nível de produtividade médio de 6090,9 kg ha⁻¹. Para essas regiões, o cultivo do milho safra apresenta os menores riscos climáticos e melhores resultados quando semeados entre setembro e dezembro. Os valores de produtividade médios disponibilizados pelos órgãos responsáveis não distinguem as produções de sequeiro das irrigadas, entretanto, é sabido que diferentes níveis tecnológicos, como adesão de sistemas irrigados, proporcionam diferentes patamares produtivos (Muller e Bergamaschi, 2005 e Waclawovsky, 2010). Além disso fatores atuantes no desenvolvimento das plantas como radiação solar, temperatura, disponibilidade de água e nutrientes, ação de pragas e doenças, características genéticas da planta e sua população no plantio bem como a época de plantio escolhidas influencia diretamente nos patamares de produtividade, permitindo classifica-la em termos de produtividade potencial (PP), produtividade atingível (PA) e produtividade real (PR) (Lobell et al., 2009; Battisti et al., 2012; van Ittersum et al., 2013; Sentelhas et al., 2015) (Figura 1).

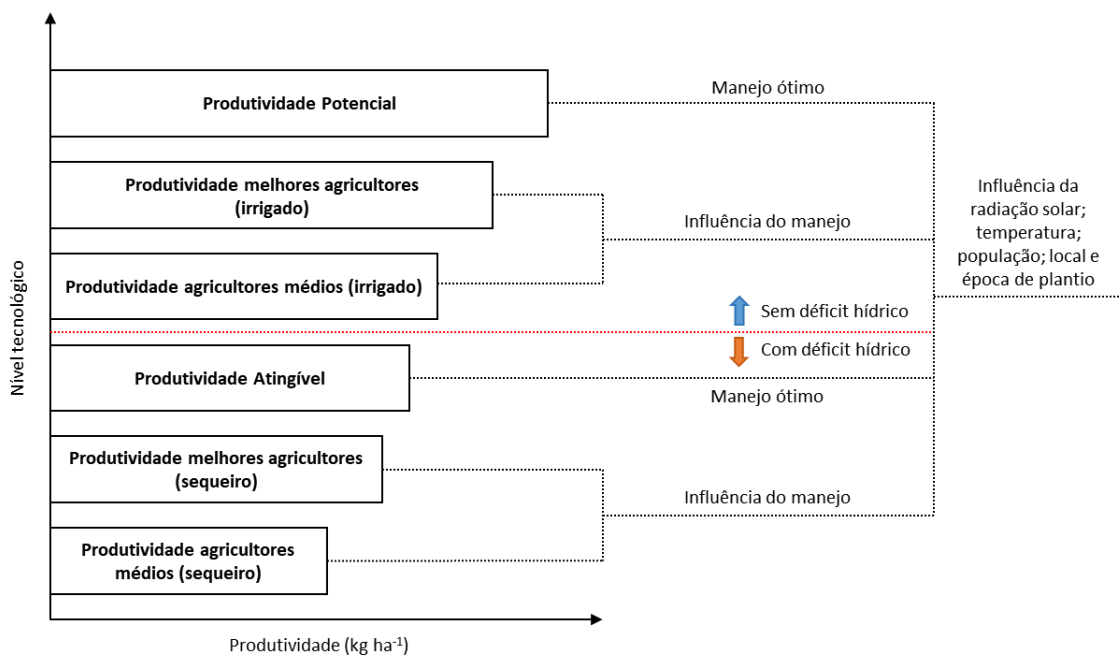


Figura 1. Classificação da produtividade de acordo com seus fatores de influência. Adaptado de: Lobell et al. (2009); van Ittersun et al. (2013) e Sentelhas et al. (2015)

Avaliar o desempenho desses níveis de produtividade nos diversos polos produtivos de milho no Brasil, sob condições de clima e solo diferentes é possível através da aplicação de modelos de simulação de culturas (Junior e Sentelhas, 2019; Duarte e Sentelhas, 2020a; Battisti et al., 2020). Esses, quando bem calibrados e devidamente validados, se tornam opções viáveis para projetar resultados de produtividade sob diferentes condições climáticas e avaliar perdas de produtividade quando comparados com resultados reais observados. Dentre as diversas opções de modelos de simulação da produtividade das culturas agrícolas, para o milho, alguns se destacam por terem sido utilizados com sucesso em estudos no Brasil, como o Modelo da Zona Agrometeorológica da FAO (MZA-FAO) (Doorenbos e Kassam, 1979; Allen et al., 1998), o *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT) CERES-Maize (Hoogenboom et al., 1994; Kiniry et al., 1997), o *Agricultural Production Systems Simulator* (APSIM) Maize (Keating et al., 2003), o *World Food Security System* (WOFOST) Maize (Djaby et al., 2013; de Wit et al., 2019) e o *Model for Nitrogen and Carbon in Agro-ecosystems* (MONICA) Maize (Kersebaum, 1995; Nendel et al., 2011; Nendel et al., 2014; Specka et al., 2015).

Apesar de oferecerem resultados consistentes, a variabilidade observada nos resultados dos estudos com modelos de simulação de culturas é grande, de modo que utilizar estratégias que contribuam para a minimização dessa variabilidade contribui para a qualidade dos resultados com modelos de simulação de cultura (Asseng et al., 2013; Martre et al., 2015; Battisti et al., 2017 e Duarte e Sentelhas, 2020a). O *ensemble*, técnica que utiliza da composição de resultados de diversos modelos para obter uma informação única, cada vez mais mostra sucesso em reduzir a variabilidade dos dados

observados em estudos de simulação de modelos e é indicada pelo órgão internacional responsável por coordenar os estudos com modelos de simulação de cultura, o *Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project* (AgMIP).

Sabendo que o clima é fator preponderante e define os patamares produtivos das culturas agrícolas nos resultados dos modelos de simulação, se valer desses modelos e aplica-los em cenários de clima futuro proporciona a capacidade de identificar os níveis dos impactos das mudanças de temperatura, chuva e [CO₂] ao longo dos próximos anos na produtividade e no perfil das regiões produtoras. Variações positivas para o aumento da temperatura no Brasil vem sendo evidenciados em estudos sobre mudanças climáticas, como demonstrado por Sánchez et al. (2015), Bender (2017), Dias (2020) e Elli et al., (2020), que apontam um aumento médio na temperatura do Brasil variando entre 1 e 4,5°C. Os efeitos das mudanças climáticas nas chuvas apresentam uma tendencia de redução do acumulado anual bem como de alteração na distribuição das chuvas ao longo do ano (Bender 2017, Gondim et al., 2018 Dias 2020 e Martel et al., 2021), o que pode impactar diretamente as épocas de plantio da safra e da safrinha no país.

Os efeitos negativos derivados de temperaturas elevadas e do aumento do déficit hídrico na produtividade do milho foi evidenciado por diversos autores (Tabela 1), que apresentaram reduções na produtividade do milho em função do aumento na temperatura bem como em função da redução no acumulado de chuvas. Além desses, os efeitos do clima futuro atuam de forma a aumentar as [CO₂] na atmosfera o que também pode influenciar na produtividade do milho, entretanto, isso pouco favorece o aumento produtivo do grão (Araújo et al., 2015; Martinez et al., 2015), como demonstrado por Nendel et al. (2011), Bender (2017), Webber et al. (2018) e Chen et al. (2020) (Tabela 1). Estudos mostram os elevados níveis de eficiência das plantas C₄ em sequestrar carbono atmosférico, sendo essas, portanto, menos sensíveis a aumentos de suas concentrações na atmosfera, principalmente o milho (Deryng et al., 2014, Makowski et al., 2015, Kimball, 2016 e Makowski et al., 2020).

Tabela 1. Sumario das análises de sensibilidade do impacto das alterações na temperatura, chuva e [CO₂] na produtividade do milho sob diferentes condições climáticas e métodos de análise.

Método	Autores	Variação na temperatura		Variação na chuva		Variação na [CO ₂]	
		+1°C	-1°C	+50%	-50%	50% a mais	100% a mais
Experimentação	Renato (2013)						0%
DSSAT-CERES-Maize	Bender (2017)	-8.4 a -14.4%	9.4 a 10%	1 a 25%	-9 a -47%		<6%
	Sanchez et al. (2020)					6.4 a 8.8%	
	Chen et al. (2020)	-3%					
APSIM-Maize	Liman e Maina (2018)	-3 a -4.12%					
MONICA-Maize	Bender (2017)	-7.4 a -11.4%	6.4 a 19.6%	2 a 6%	-2 a -12.9%		<6%
Ensemble	Bassu et al. (2014)	-3.5 a -9.8%	1.2 a 6%				3.6 a 7.2%
	Zhu et al. (2019)	-4.6 a -0.65%					
	Webber et al. (2018)					<2%	<2%
Outros modelos	Renato (2013)	-6.5 a -15%					<5%

Para alimentar os modelos de simulação da produtividade com cenários de clima futuro, primeiro é necessário desenvolvê-los através dos modelos globais climáticos (*Global Climatic Models* - GCM) oferecidos pelo quinto relatório do Projeto de Intercomparação de Modelos (*Coupled Model Intercomparison – Phase 5*, CMIP-5) (Taylor et al., 2012; IPCC, 2014; Bender, 2017; Ruane e McDermid, 2017, Dias, 2020). Os GCMs determinam os cenários de mudanças climáticas aplicando forçantes radiativas nas séries históricas de dados climáticos, de modo a expressar a variação do balanço de energia no sistema atmosférico do planeta em relação ao período pré-industrial (Bender, 2017; Ruane e McDermid, 2017, Dias, 2020). Essas forçantes foram denominadas de Caminhos Representativos de Concentrações (*Representative Concentration Pathways* - RCPs) e fazem referência as concentrações dos GEE ao longo de todo o cenário futuro e não apenas o valor final dessa concentração no cenário de emissão em questão (Moss et al., 2010; Van Vuuren et al., 2011), diferentemente da sua versão anterior, descrita pelo quarto Relatório de Avaliação (AR4) do IPCC (2007).

Visto a importância da produção de milho em nível global e a relevância do Brasil em ser um dos maiores produtores da cultura, apresentando diversos polos produtivos e diferentes períodos de cultivo em cada um deles, saber os efeitos que o clima futuro irá exercer na produtividade do grão ao longo das principais regiões produtoras e nas diferentes épocas de cultivo se faz necessário principalmente para se dimensionar tais efeitos e direcionar políticas públicas e eventuais ações mitigadoras. Sendo assim, o presente estudo teve por objetivo principal dimensionar o impacto das

mudanças climáticas nas produtividades potenciais e atingíveis do milho durante sua semeadura nas épocas de safra e de safrinha ao longo de todo território brasileiro e avaliar os efeitos dessas na migração dos polos produtores do grão. Para isso, foram estabelecidos os seguintes objetivos auxiliares: a) desenvolver o *ensemble* dos modelos MZA-FAO, DSSAT-CERES-*Maize*, APSIM-*Maize*, WOFOST-*Maize* e MONICA-*Maize*, devidamente calibrados e validados, para determinar as produtividades potenciais (PP) e atingíveis (PA) do milho durante o período de safra e de safrinha para a condição climática atual, definida pela série histórica compreendida entre 1980 e 2009; b) desenvolver o *ensemble* dos modelos MZA-FAO, DSSAT-CERES-*Maize*, APSIM-*Maize*, WOFOST-*Maize* e MONICA-*Maize*, devidamente calibrados e validados, para determinar as produtividades potenciais (PP) e atingíveis (PA) do milho durante o período de safra e de safrinha sob as condições de clima futuro de médio e longo prazo para as condições de emissão dos RCPs 4.5 e 8.5, conforme proposto por Ruane e McDerimid (2017); c) avaliar o impacto das mudanças climáticas na produtividade potencial e atingível do milho nos diferentes cenários propostos e d) avaliar o impacto das mudanças climáticas nos polos produtivos e em suas datas preferenciais de semeadura.

5.2. Material e Métodos

5.2.1. Locais de estudo

Com o objetivo de dimensionar em escala nacional o efeito das mudanças climáticas na produtividade do milho no Brasil, 97 cidades foram selecionadas e avaliadas durante o presente estudo (Figura 2). Para cada cidade, foi acessada a série histórica de dados meteorológicos em escala diária, compreendida entre 1980 e 2009 (*baseline*) a partir de estações meteorológicas, convencionais e automáticas, disponibilizadas pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP-INMET) (Figura 2). O preenchimento de eventuais falhas nas séries de dados climáticos obtidas bem como os perfis de solo para cada local se deu de acordo com método proposto por Duarte e Sentelhas (2020b).

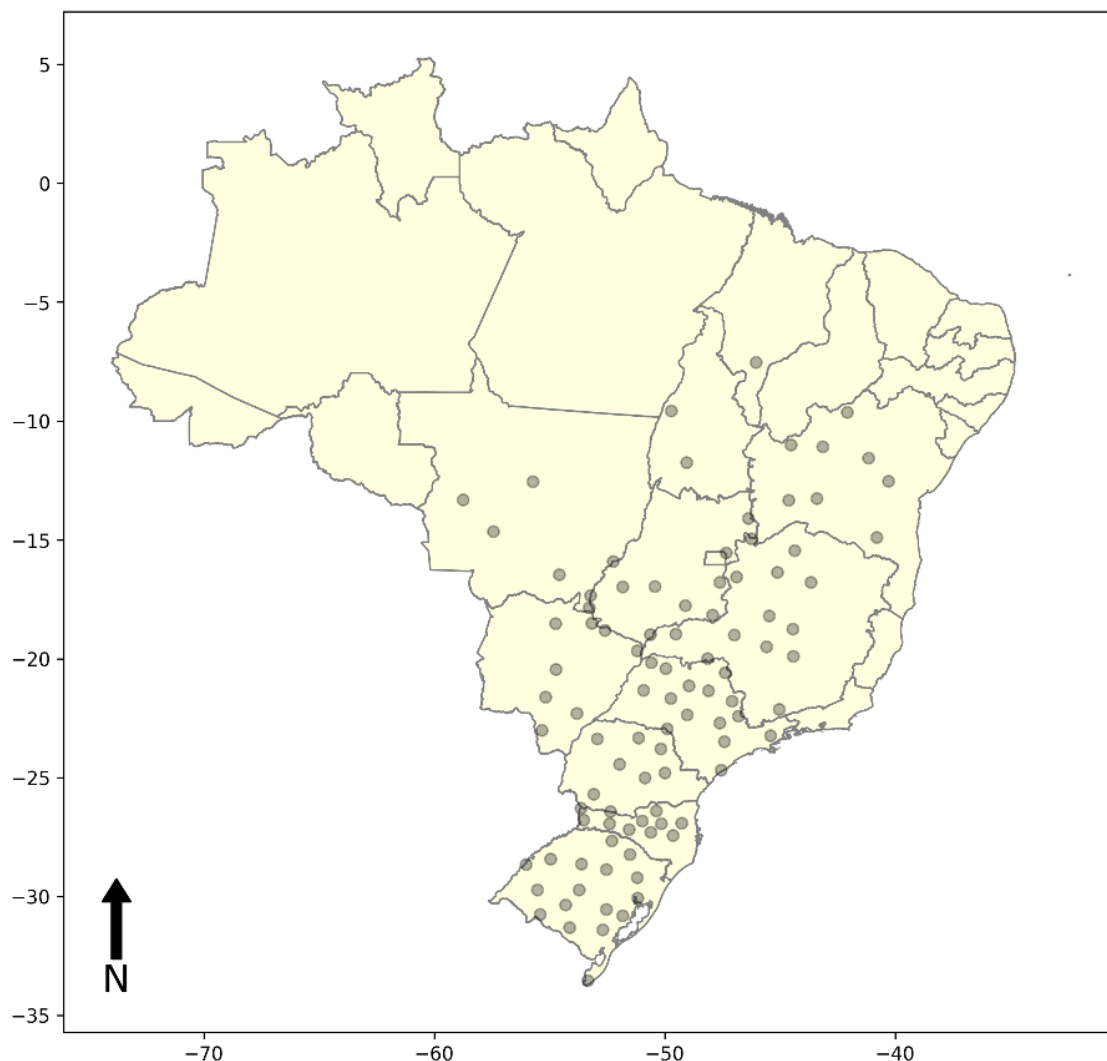


Figura 2. Estações meteorológicas disponibilizadas pelo sistema BDMEP-INMET e utilizadas no presente estudo.

5.2.2. Modelos de simulação da produtividade do milho

Para simular a produtividade potencial e atingível do milho foi utilizado o *ensemble* do resultado dos modelos MZA-FAO, DSSAT-Ceres-Maize, APSIM-Maize, MONICA e WOFOST, devidamente calibrados e avaliados conforme demonstrado em capítulo anterior. O uso desses modelos bem como da adoção de técnicas de *ensemble* para estimar a produtividade das culturas agrícolas em cenários de clima futuro foram adotados e validados em diversos trabalhos como os apresentados por Gilardelli et al. (2018), Xu et al. (2018), Anna et al. (2020), Fanshuri (2020), Xiao et al. (2020) e Kamali et al. (2022).

5.2.3. Cenários climáticos futuros

Para determinar os cenários de clima futuros, as projeções climáticas foram estabelecidas conforme método proposto por Ruane e McDermid (2017) utilizando o cenário de clima atual (*baseline*) compreendido entre 1980 a 2009, conforme descrito em capítulo anterior, através da aplicação de modelos climáticos globais (GCMs) disponibilizados na quinta fase do Projeto de Intercomparação de Modelos (CMIP-5) (IPCC, 2014). A lista completa dos GCMs selecionados para cada local do estudo está disponível no material suplementar do capítulo 3. As mudanças climáticas foram aplicadas nas variáveis de temperatura mínima, temperatura máxima e chuva sob duas diferentes condições de emissão de GEE, determinadas pelo RCP 4.5 e 8.5 e duas condições de período, uma de médio (2040-2069) e outra de longo prazo (2070-2099). Ao final, cada um dos cinco GCMs selecionados pelo método de Ruane e McDermid (2017) simulou quatro cenários de clima futuro para cada uma das 97 cidades estudadas (Figura 3), totalizando 1940 cenários climáticos simulados.

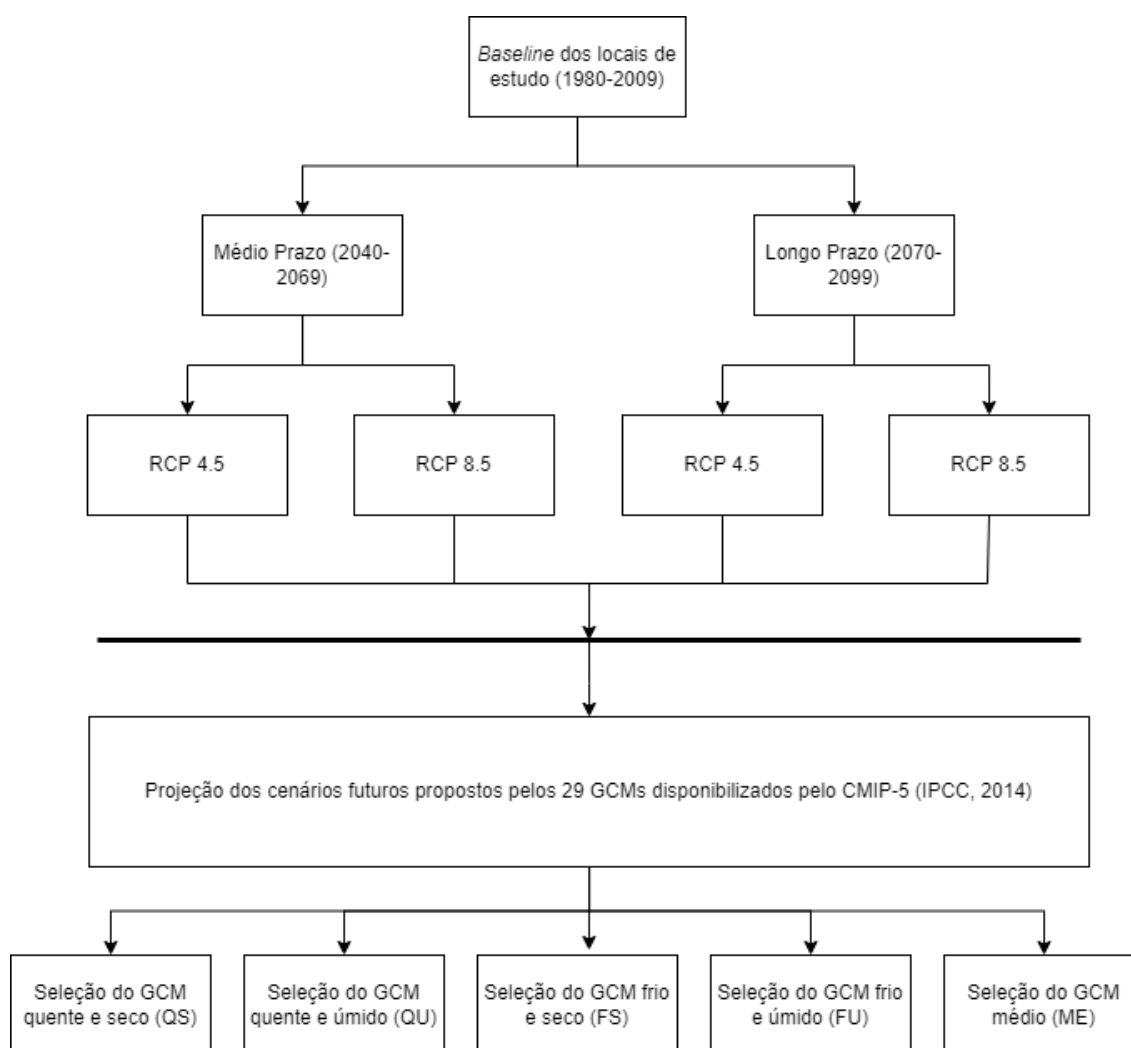


Figura 3. Representação esquemática da obtenção dos cenários climáticos futuros para aplicação em modelos de simulação da produtividade do milho.

5.2.4. Simulação dos impactos climáticos na produtividade do milho

A determinação dos impactos do clima futuro na produtividade do milho se deu a partir da relação estabelecida entre o *ensemble* dos modelos de produtividade do milho simulados na *baseline* (Figura 4) e nos diferentes cenários de clima futuro de cada local. Foram analisados os impactos tanto na produtividade atingível (PA -sob influência do déficit hídrico) quanto na produtividade potencial (PP – sem influência do déficit hídrico). Para avaliar o efeito sazonal das mudanças climáticas na produtividade do milho, diferentes datas de semeadura foram estabelecidas ao longo dos meses de setembro e março, compreendendo os períodos de safra e de safrinha nas regiões estudadas (Tabela 2). No total, 21 datas de semeadura foram simuladas ao longo dos dias 1, 11 e 21 de cada mês.

Tabela 2. Meses definidos para as épocas de semeadura de safra e de safrinha.

Safra				Safrinha		
Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março

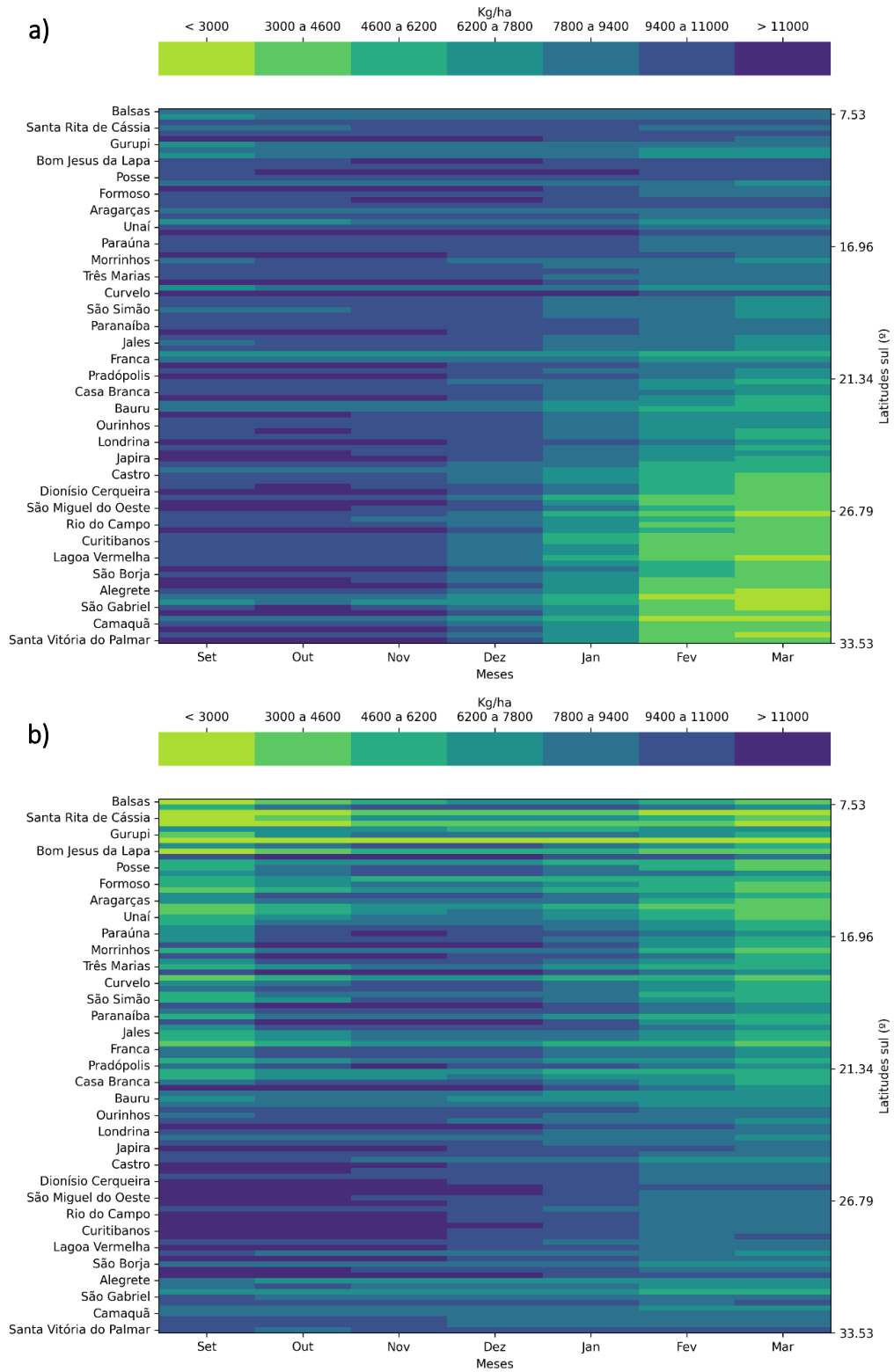


Figura 4. Médias mensais das produtividades potenciais (a) e atingíveis (b) simuladas pelo *ensemble* dos modelos MZA-FAO, DSSAT-Ceres-Maize, APSIM-Maize, MONICA e WOFOST para a série histórica (*baseline*) de 1980 a 2009.

Após a definição das datas de semeadura, para cada modelo de simulação da produtividade do milho e para cada tipo de produtividade (PP e PA), foram registrados 407.400 resultados de produtividade simulada. Os resultados obtidos foram agrupados de acordo com a influência do déficit hídrico (PP e PA) através do *ensemble* dos modelos de simulação do milho em cada mês e local para o médio (2040-2069) e o longo prazo (2070-2099) sob as condições de emissão estabelecidas pelos RCPs 4.5 e 8.5 (Figura 5), resumizando os registros para análise em 6.208 observações. O impacto na produtividade em cada um dos cenários climáticos futuros estudados foi evidenciado através da diferença em relação a *baseline*.

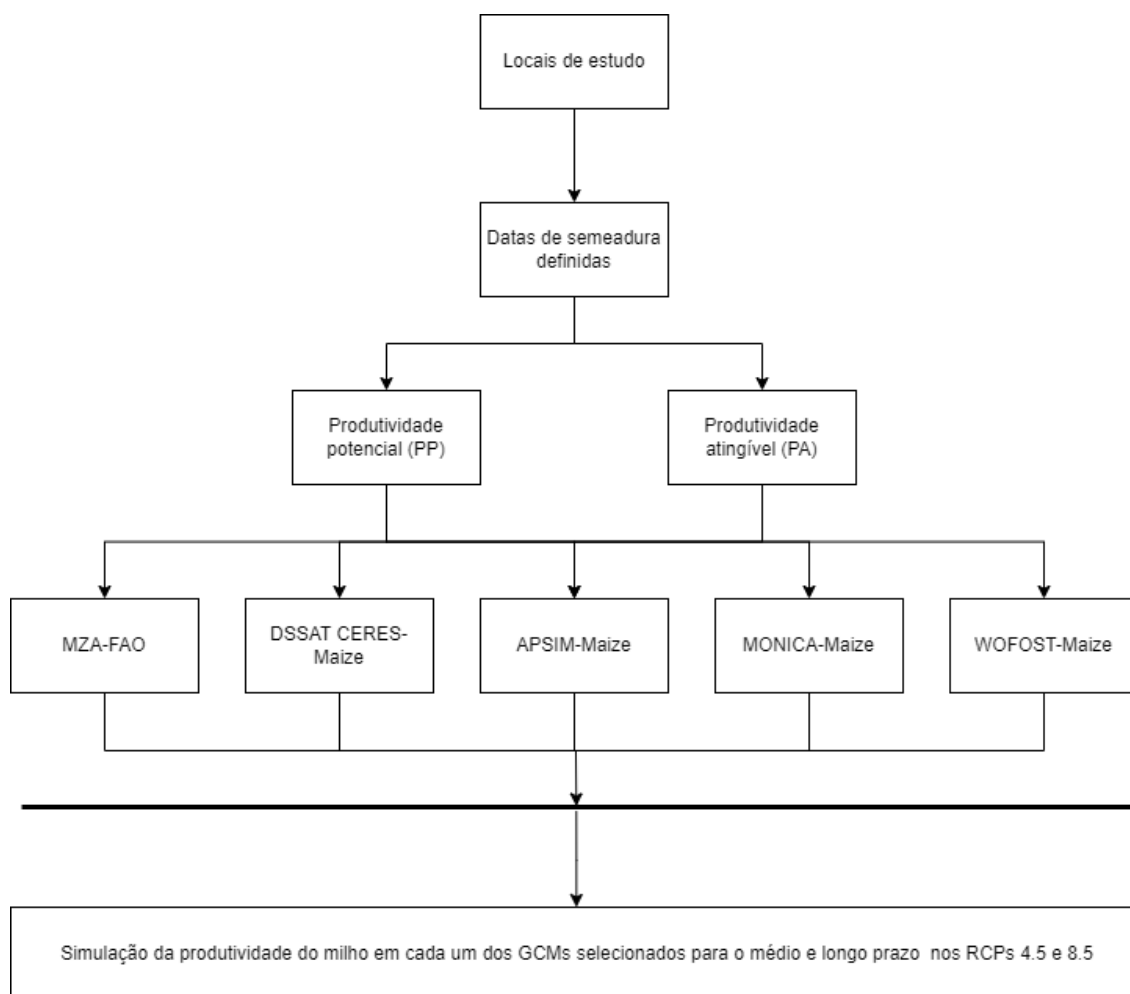


Figura 5. Representação esquemática da simulação da produtividade potencial e atingível do milho nos diferentes cenários climáticos futuros projetados.

5.2.5. Avaliação espacial e sazonal dos efeitos das mudanças climáticas na produtividade do milho

Para melhor avaliar o efeito das mudanças climáticas na produtividade do milho ao longo do território brasileiro nos meses propostos, as cidades foram divididas em três grupos, de acordo com sua latitude: a) Brasil-Norte – cidades entre 7 e 15,5° de latitude sul; b) Brasil-Central – cidades entre 15,5 e 24° de latitude sul e c) Brasil-Sul – cidades entre 24 e 33° de latitude sul. O efeito sazonal das mudanças climáticas na produtividade do milho também foi observado nas épocas de safra (semeadura realizada entre os meses de setembro e dezembro) e de safrinha (semeadura realizada entre os meses de janeiro e março). Foi calculado o delta de variação entre as produtividades simuladas nos cenários de clima futuro em relação as produtividades obtidas na *baseline* (Figuras 6 e 7) para cada um dos grupos de regiões tanto na safra quanto na safrinha.

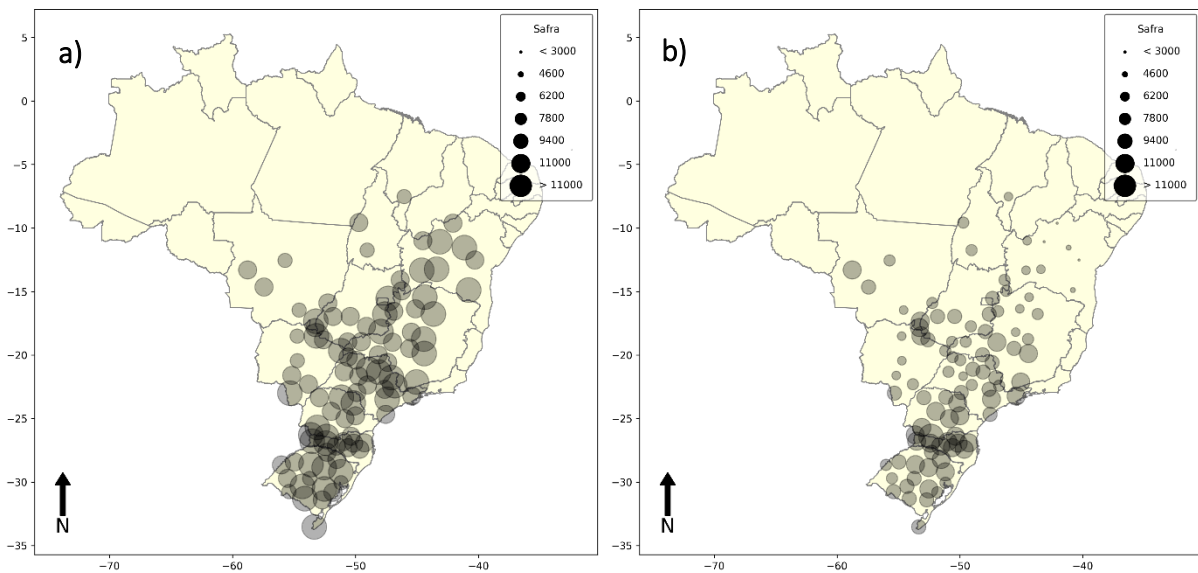


Figura 6. Mapeamento das produtividades potencial (a) e atingível (b) médias do milho para o período da safra no período de 1980 a 2009 (*baseline*).

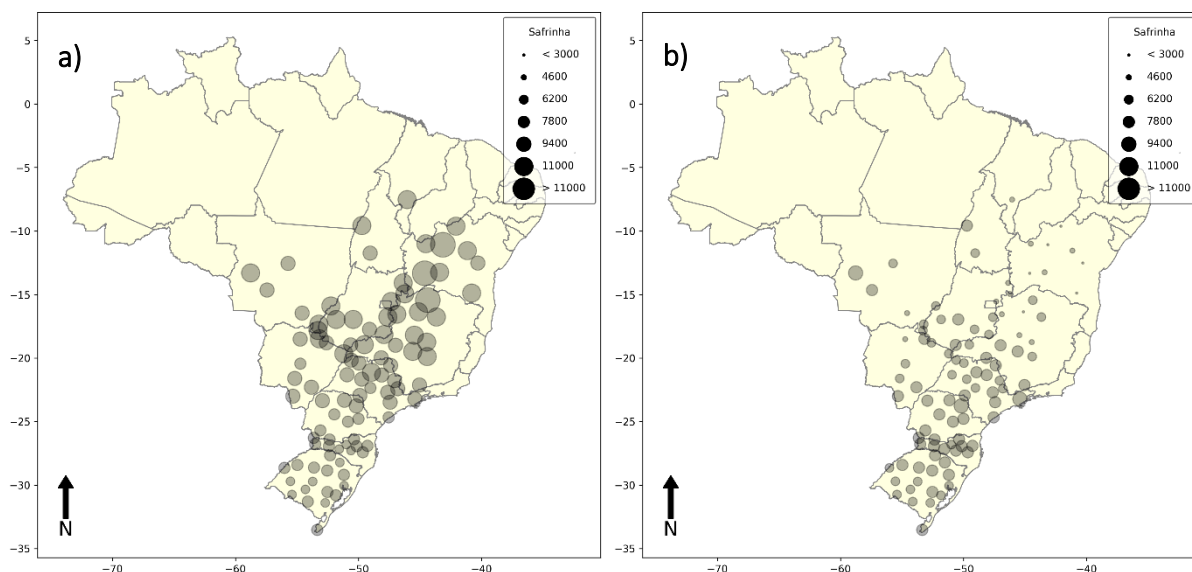


Figura 7. Mapeamento das produtividades potencial (a) e atingível (b) médias do milho para o período da safrinha no período de 1980 a 2009 (*baseline*).

5.3. Resultados e Discussão

5.3.1. Impacto dos cenários climáticos futuros na produtividade do milho

5.3.1.1. Impactos na produtividade potencial (PP)

A produtividade potencial (PP) do milho sofreu redução na grande maioria dos locais estudados ao longo de praticamente todas as datas de semeadura propostas, tanto para o médio quanto para o longo prazo, independentemente do cenário de emissão (RCP) avaliado. As simulações de longo prazo sob a condição de emissão estabelecida pelo RCP 8.5 foram as mais negativamente impactadas. Isso se deve aos cenários de aumento de temperatura fortemente evidenciados para o Brasil em capítulo anterior, principalmente nessas condições de emissão, onde esse aumento de temperatura leva a um aumento da demanda hídrica da cultura bem como a taxa de respiração noturna do milho, reduzindo o saldo de biomassa acumulada.

Nas simulações de médio prazo foram registradas perdas em todo território brasileiro, com destaque para as regiões centro-oeste, norte, nordeste e parte da região sudeste. Para esse período e sob uma condição de emissão proposta pelo RCP 4.5, foi registrada uma perda média no potencial produtivo do milho da ordem de $227,8 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo que a maior perda de potencial produtivo foi registrada em Januária, para as semeaduras realizadas em outubro, superando os $1417,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de perda (Figura 8a). A cidade de São Lourenço foi a que apresentou os maiores aumentos no potencial produtivo quando as semeaduras foram realizadas em fevereiro, atingindo $1229,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de aumento em relação a produtividade potencial simulada na *baseline*. Essa condição de aumento na PP para esse

cenário futuro foi observada em apenas 36,3% das simulações realizadas nesse estudo, indicando redução no potencial produtivo do milho nesse período.

Já numa condição de emissão determinada pelo RCP 8.5 dentro de um cenário futuro de médio prazo, foi registrada uma redução média na PP quando comparada a *baseline* da ordem de 413,4 kg ha⁻¹, com destaque negativo para a cidade de Sapezal em semeaduras realizadas em setembro, registrando perdas potenciais da ordem de 1959,3 kg ha⁻¹(Figura 8b). A cidade de Joaçaba, por sua vez, apresentou o maior aumento na PP simulada nessa condição, registrando 1518,8 kg ha⁻¹ a mais do que as simulações feitas na *baseline*. Essa situação de aumento na PP para essa condição de clima futuro foi registrada em apenas 30,2% das simulações, 6,1% a menos do que na condição de RCP 4.5.

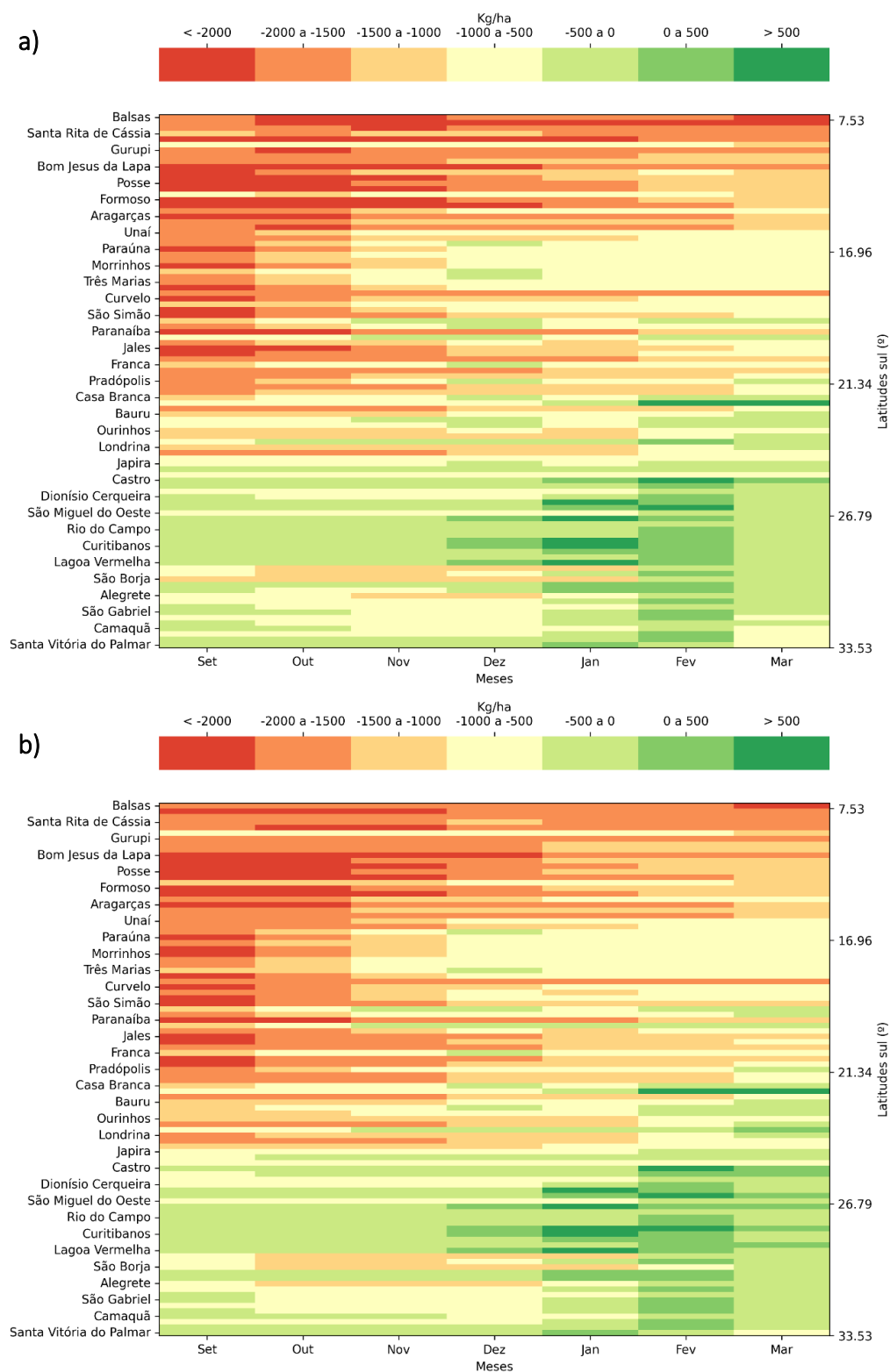


Figura 8. Diferença entre as produtividades potenciais simuladas no médio prazo (2040-2069) para os RCPs 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação a *baseline* (1980-2009).

Para o longo prazo (2070-2099), as condições de emissão dos GEE determinadas pelo RCP 4.5 apresentaram potenciais produtivos de milho ainda mais reduzidos (Figura 9a). As simulações

apresentaram uma redução média no potencial produtivo de 343 kg ha^{-1} , sendo que a cidade de Januária apresentou o maior registro de perdas potenciais quando as semeaduras ocorreram em outubro, com valores de $1722,5 \text{ kg ha}^{-1}$ a menos do que o apresentado pela *baseline*. Para essa mesma condição climática, a cidade de São Lourenço apresentou o maior aumento no potencial produtivo quando a semeadura foi realizada em março, incrementando à PP em $1418,9 \text{ kg ha}^{-1}$ em relação ao simulado no período histórico. Apenas 30,9% das simulações realizadas nesse cenário climático futuro apresentam aumentos na PP.

As simulações de longo prazo sob uma condição de emissão proposta pelo RCP 8.5 foram as que apresentaram as maiores perdas na PP do milho, com uma redução média no potencial produtivo de $958,6 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 9b). A cidade de Sapezal, quando as semeaduras foram realizadas em setembro, apresentou a maior redução na PP, da ordem de $2969,4 \text{ kg ha}^{-1}$. Nesse cenário, apenas 19,4% das simulações apresentaram aumentos na produtividade potencial, sendo que a cidade de São Lourenço, novamente para as semeaduras realizadas em março, apresentou o maior aumento em relação as simulações históricas, da ordem de $2055,6 \text{ kg ha}^{-1}$.

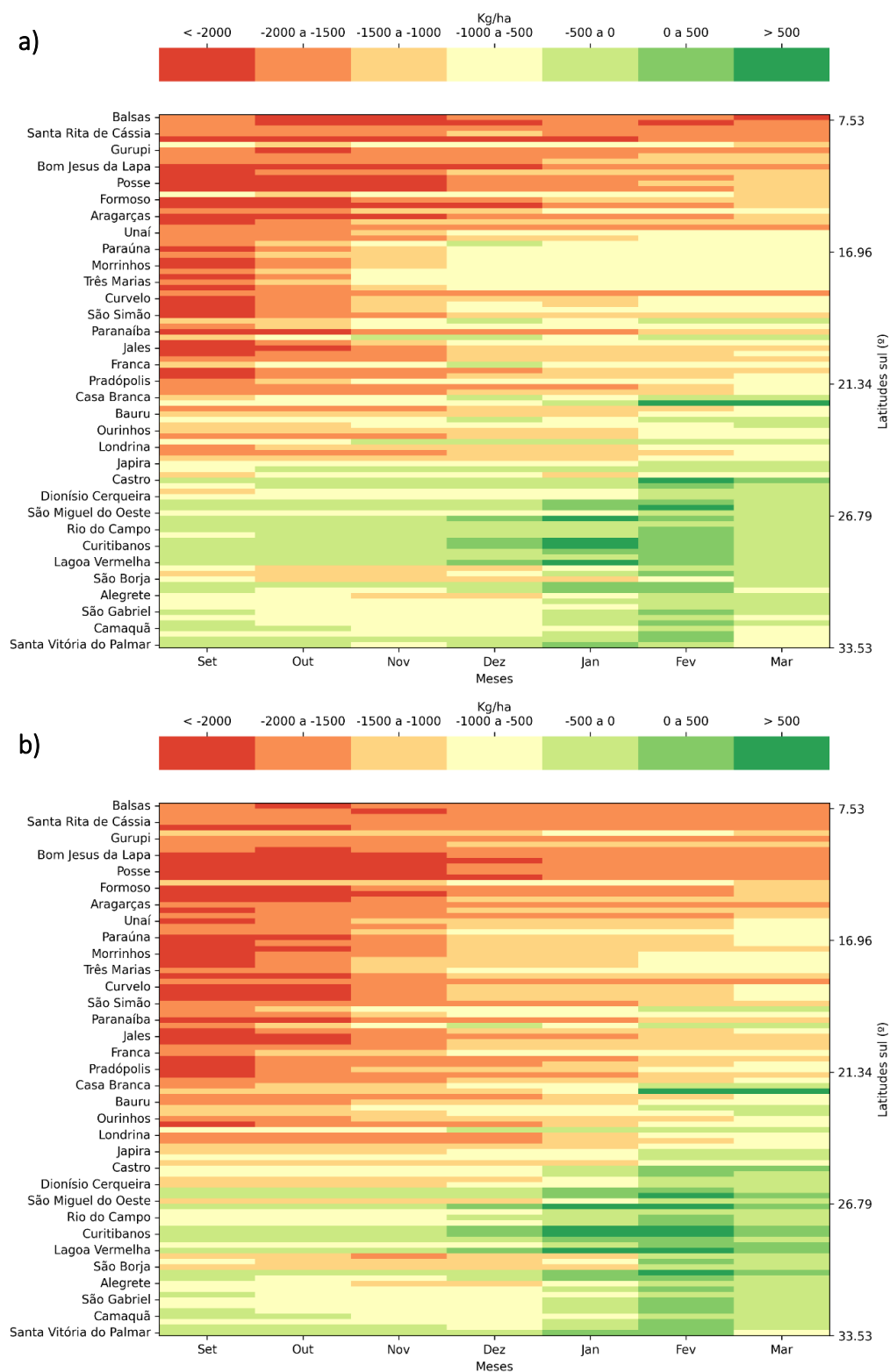


Figura 9. Diferença entre as produtividades potenciais simuladas no longo prazo (2070-2099) para os RCPs 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação a *baseline* (1980-2009).

Mesmo desconsiderando o efeito negativo das mudanças climática no acumulado de chuvas ao longo do Brasil, nota-se uma queda relevante no potencial produtivo (PP) do milho, com algumas

exceções para locais mais ao sul, que eventualmente apresentaram aumentos no potencial produtivo principalmente para situações de semeaduras realizadas entre janeiro e março. As regiões centro-oeste, norte, nordeste e parte da região sudeste foram as que mais sofreram com as reduções no potencial produtivo do milho, principalmente nas situações de semeadura realizadas entre setembro e dezembro. Isso pode afetar o desempenho potencial do milho plantado principalmente no período da safra nessas regiões. A região centro-oeste, que hoje é o maior polo produtor de milho, com destaque para o milho safrinha, teve seus patamares produtivos potenciais reduzidos para essa época de semeadura, o que pode impactar no cultivo do grão nessa região durante o período de safrinha, mesmo com a demanda hídrica da cultura sendo totalmente atendida. O mapeamento completo do efeito das mudanças climáticas na PP do milho nos diferentes meses de semeadura ao longo do Brasil está disponível no material suplementar.

O aumento nas temperaturas projetadas pelos cenários climáticos futuros, evidenciados em capítulo anterior, proporcionou aumento no potencial produtivo do milho safrinha, cultivado entre janeiro e março nas cidades da região sul e sul de São Paulo. Entretanto, observa-se uma redução no potencial produtivo do milho safra, cultivado entre setembro e dezembro, época preferencial de cultivo do milho nessa região. Essa condição é um indicativo de que pode ocorrer uma inversão época de cultivo do milho.

5.3.1.2. Impactos na produtividade atingível (PA):

O impacto negativo na produtividade atingível (PA) do milho se mostrou mais contundente nas regiões sudeste, centro-oeste, norte e nordeste, principalmente para semeaduras realizadas entre setembro e dezembro, independentemente do cenário de emissão ou período futuro simulado. A região sul do Brasil apresentou ligeiro aumento na PA do milho, também para as semeaduras realizadas entre setembro e dezembro, principalmente pelo fato dessa região ter apresentado aumentos na chuva acumulada, conforme evidenciado em capítulo anterior. A região centro-oeste, responsável pela maior parte da produção do milho de sequeiro no Brasil, cultivado principalmente na safrinha, irá sofrer perdas na produtividade atingível que podem influenciar na viabilidade de produzir o grão em sistema de sequeiro nessa época e região, podendo haver uma inversão no polo produtor de milho, migrando para a regiões mais ao sul do Brasil.

Nas simulações de PA em cenários futuros de médio prazo, observa-se uma condição média de redução da produtividade da ordem de $346,6 \text{ kg ha}^{-1}$ para o RCP 4.5, sendo que a cidade de Marianópolis do Tocantins, para as semeaduras realizadas em outubro, apresentou a maior perda de produtividade atingível, com reduções de 2270 kg ha^{-1} (Figura 10a). Para o mesmo cenário climático futuro, a cidade de Itapira, para as semeaduras realizadas no mês de novembro, apresentou o maior aumento na PA para o período, da ordem de 725 kg ha^{-1} . Para a condição de emissão estabelecida pelo

RCP 8.5 no médio prazo (Figura 10b), as simulações apontaram uma redução média na PA do milho da ordem de $703,3 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo que a cidade que mais sofreu com perdas foi Sapezal, quando as semeaduras foram realizadas em setembro, registrando perdas médias de 3200 kg ha^{-1} . Ao mesmo tempo, para esse mesmo cenário climático futuro e condição de emissão, a cidade de Camaquã, também para semeaduras realizadas em setembro, apresentou o maior registro de aumento na produtividade atingível média do milho, da ordem de $615,4 \text{ kg ha}^{-1}$. Nesse cenário de médio prazo sob uma condição de RCP 4.5, 77,7% das simulações apresentaram redução na PA do milho, enquanto que a condição de RCP 8.5 foi ainda mais rigorosa para a PA e 92,2% das simulações realizadas apresentaram redução na produtividade simulada. A lista completa com os resultados obtidos para as simulações da produtividade atingível do milho nos diferentes cenários de clima futuro está disponível no material suplementar.

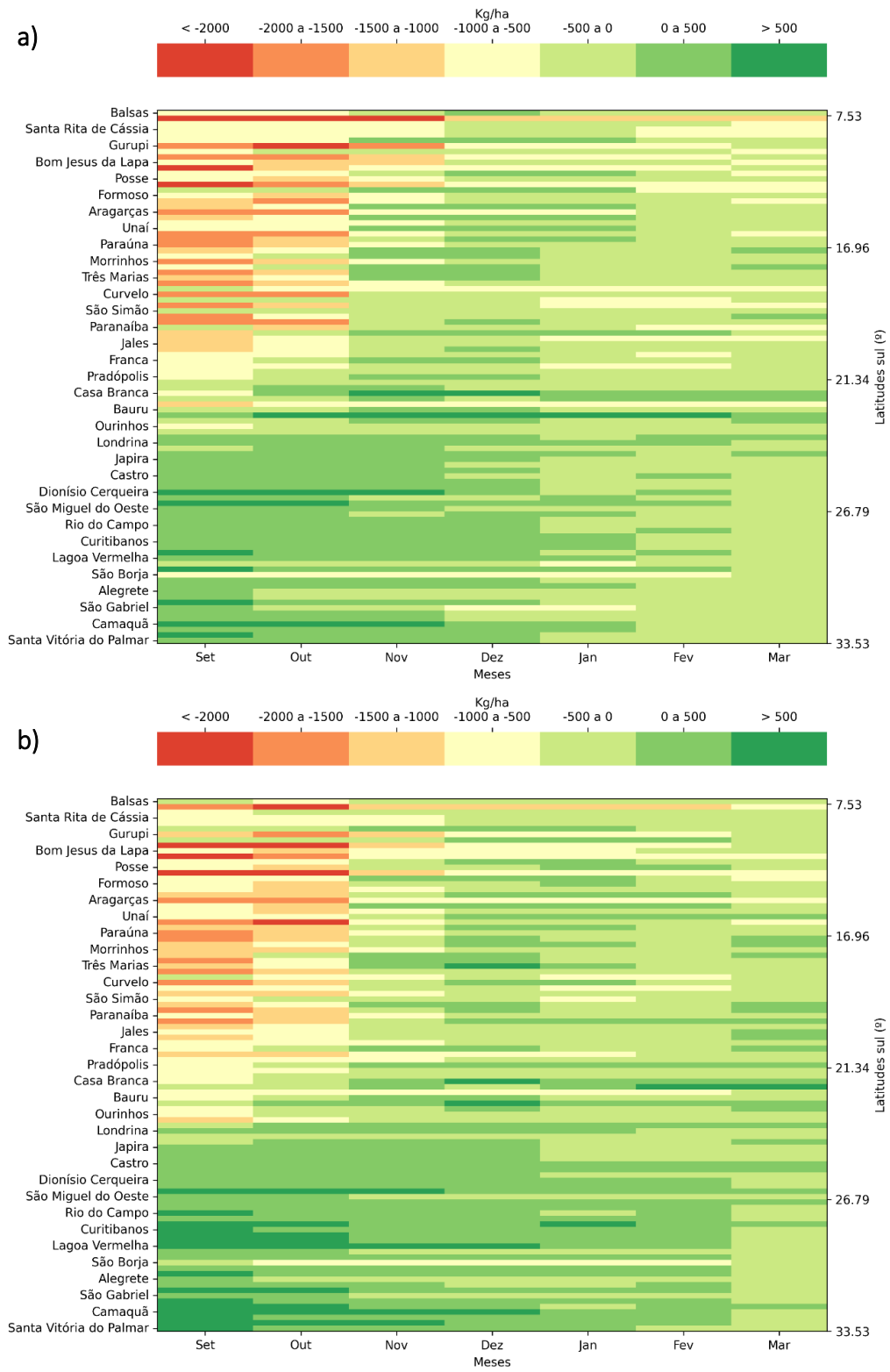


Figura 10. Diferença entre as produtividades atingíveis simuladas no médio prazo (2040-2069) para os RCPs 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação a *baseline* (1980-2009).

Para as simulações de longo prazo em cenários de emissão determinados pelo RCP 4.5, foi observada uma redução média na PA da ordem de 567,9 kg ha⁻¹ e a cidade de Costa Rica registrou as maiores perdas na produtividade atingível do milho, superando os 2454 kg ha⁻¹ de perda quando as semeaduras foram realizadas em setembro (Figura 11a). A cidade de Itapira, por outro lado, registrou o maior aumento na produtividade média quando as semeaduras foram realizadas em novembro, registrando 637,2 kg ha⁻¹ em relação à média simulada na *baseline*. Já sob uma condição proposta pelo RCP 8.5, observou-se a maior redução média na PA para os locais e datas de semeadura propostas, da ordem de 1583,9 kg ha⁻¹ (Figura 11b). Nesse cenário, novamente a cidade de Sapezal foi a que apresentou o maior impacto negativo dos efeitos das mudanças climáticas, com uma perda média registrada de 4526,2 kg ha⁻¹ para semeaduras realizadas em setembro, enquanto que Camaquã apresentou ligeiro aumento na produtividade média para essa mesma condição climática futura, da ordem de 379,4 kg ha⁻¹ em semeaduras realizadas nesse mesmo mês. O cenário de longo prazo apresentou impacto negativo em 90,4% das simulações realizadas sob condição de RCP 4.5 e em 99,5% das simulações realizadas sob condição de RCP 8.5. Nesse último caso, apenas três locais apresentaram pequenos aumentos na produtividade, todas elas registradas para semeaduras realizadas em setembro, nas cidades de Porto Alegre, Camaquã e Canguçu, todas na região sul do país.

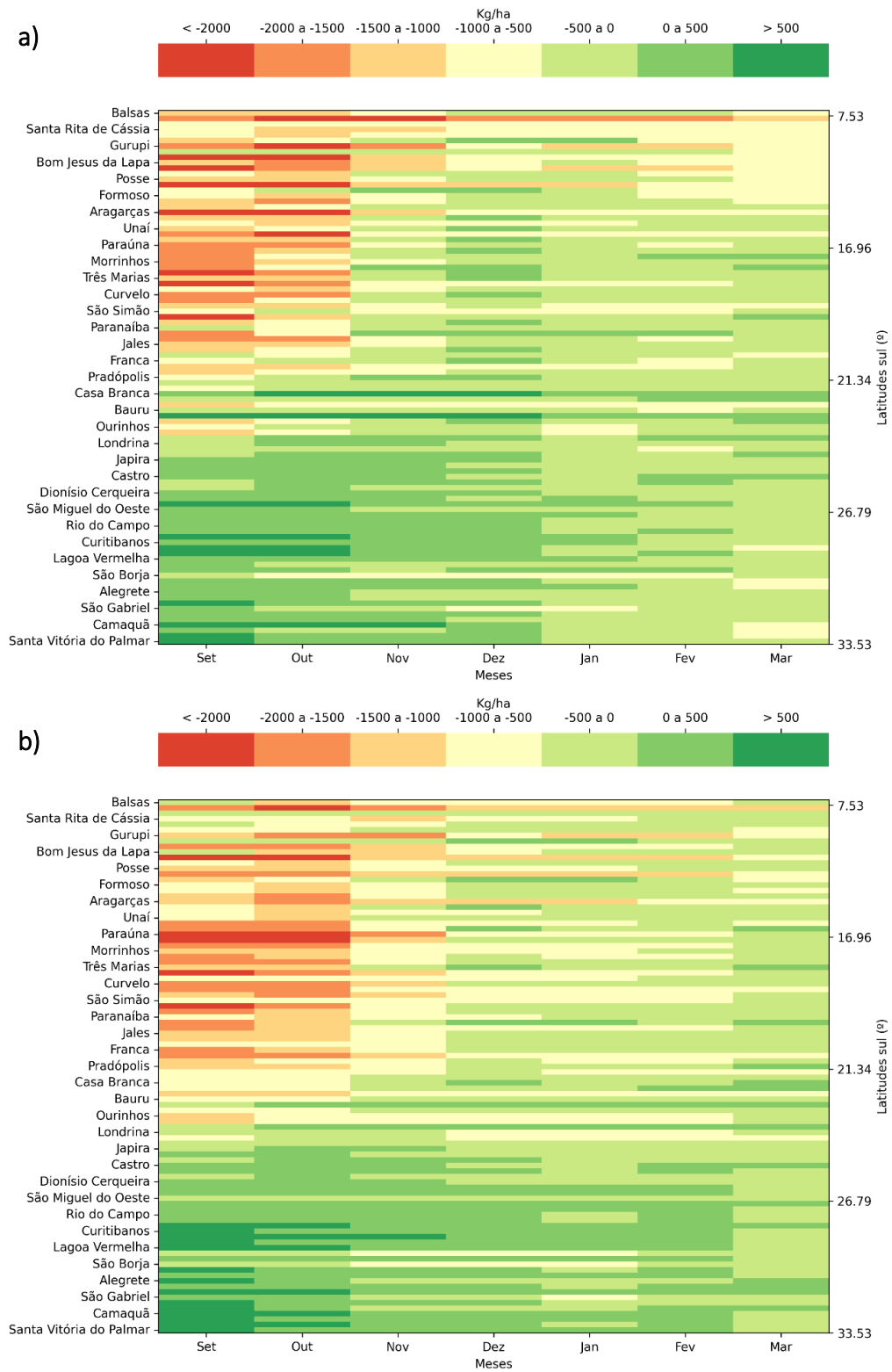


Figura 11. Diferença entre as produtividades atingíveis simuladas no longo prazo (2070-2099) para os RCPs 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação a *baseline* (1980-2009).

Para as simulações da produtividade atingível do milho nos cenários de clima futuro, os meses de setembro, outubro e novembro foram os que registraram as maiores perdas na produtividade atingível, mas também foram os que registraram os casos de aumento, a depender da região do Brasil que se está analisando. Regiões mais ao norte do país apresentaram as maiores perdas produtivas e, conforme as projeções caminham para o sul, essas perdas são reduzidas e eventualmente registraram aumentos. As semeaduras realizadas nos meses de janeiro, fevereiro e março apresentaram um padrão de perda mais ameno, quando comparado as perdas na safra, e distribuído ao longo de todo o território nacional, independentemente do período (médio e longo prazo) ou cenário de emissão (RCP 4.5 e 8.5) analisado. O mapeamento completo do efeito das mudanças climáticas na PA do milho nos polos produtivos do Brasil nos diferentes meses de semeadura está disponível no material suplementar.

Realizar comparações entre os resultados obtidos nesse estudo com demais estudos disponíveis em literatura, principalmente para condições brasileiras, é algo complexo devido as diferentes abordagens aplicadas pelos autores quanto aos ambientes simulados, calibração das variedades de milho simuladas e também o desempenho dos diferentes modelos de simulação da produtividade quando aplicados nos diversos cenários climáticos futuros. Mesmo com as limitações citadas, estudos apontam para reduções na produtividade atingível do milho no Brasil, principalmente para regiões mais ao norte do país, como os apresentados por Bender (2017), que sugere uma redução média na produtividade atingível do milho da ordem de 41 a 63% para semeaduras realizadas entre setembro e dezembro e uma redução de 58 a 65% para semeaduras realizadas entre janeiro e abril. Spera et al. (2020), para regiões no estado de Mato Grosso, apontam reduções de até 20% na produtividade atingível do milho quando comparada a *baseline* observada. Os autores apontam como causa principal dessa queda os aumentos de temperatura registrados no clima futuro, que impactam diretamente no consumo hídrico e no aumento das temperaturas noturnas, que estão diretamente relacionados ao saldo de biomassa acumulada diariamente pela planta de milho.

Souza et al. (2019) apontam redução na produtividade atingível do milho semeado em outubro variando entre 5 e 55%, sendo o cenário de longo prazo sob condição de RCP 8.5 o que trouxe o maior impacto negativo. Para a região sul do Brasil, os autores apontam uma tendência de aumento na produtividade do milho quando semeado em fevereiro. Para ambas as situações evidenciadas, os autores apontam que os efeitos de aumento na temperatura média dessas regiões foram os maiores responsáveis pelos consequentes impactos na produtividade do milho. Martins et al. (2019) apontam que o cenário de maior impacto negativo para a produtividade do milho no Brasil foi o de longo prazo e RCP 8.5, registrando mais de 60% de perdas em relação à média histórica avaliada. Ambos os autores apontam como efeito principal das perdas produtivas a redução do ciclo da cultura, motivado principalmente pelos aumentos de temperatura, conforme apontado pelos demais autores e evidenciados ao longo do presente estudo.

5.3.2. Influência regional e sazonal das mudanças climáticas na produtividade atingível do milho

Das regiões avaliadas no estudo, nota-se que, tanto para PP quanto para PA, existe um padrão comum de redução acentuada da produtividade nas regiões Brasil Norte e Brasil Central e uma redução menor ou até ligeiros aumentos da produtividade na região Brasil Sul, sendo que o período da safra é o que sofre as maiores perdas relativas à *baseline*. A região Brasil Norte foi a mais negativamente afetada pelas mudanças climáticas em todos os cenários climáticos avaliados (Tabelas 3 e 4), sendo a condição de longo prazo e RCP 8.5 a que mais impactou, reduzindo o potencial da região em 19,7% para a safra e 16,8% para a safrinha, quando comparados aos potenciais observados na *baseline*. Nessa região, o mês que apresentou o pior resultado para as semeaduras na safra foi setembro, com uma queda potencial variando entre 9,7 e 20,9%. As menores perdas foram observadas para o período da safrinha, com reduções variando entre 6,5 e 17% em relação à *baseline*.

Tabela 3. Produtividade potencial (kg ha⁻¹) do milho simulada através do ensemble dos modelos MZA-FAO, DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST e MONICA-Maize, nos cenários climáticos futuros de médio (MP) e longo prazo (LP) em cenários de emissão dos RCPs 4.5 e 8.5 durante o período da safra, suas médias e desvio padrão (D.Pad.).

	RCP	Período	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	D.Pad.	Média
Brasil Norte		<i>Baseline</i>	10233,05	10552,60	10743,58	10675,78	1055,87	10551,25
	4.5	MP	9244,32	9555,91	9846,35	9912,58	1203,86	9639,79
		LP	8999,95	9309,21	9605,95	9700,87	1216,02	9404,00
	8.5	MP	8879,99	9172,01	9481,11	9596,11	1239,13	9282,30
		LP	8090,10	8352,64	8650,09	8814,36	1215,03	8476,80
	Brasil Central		<i>Baseline</i>	10779,83	11022,96	10944,36	10575,41	858,76
4.5		MP	10029,35	10446,57	10568,60	10355,21	1031,40	10349,93
		LP	9760,35	10210,61	10387,28	10220,49	1049,74	10144,68
8.5		MP	9618,43	10070,98	10269,23	10117,50	1061,18	10019,04
		LP	8661,55	9141,90	9413,36	9380,65	1058,46	9149,36
Brasil Sul			<i>Baseline</i>	11029,03	11180,69	10784,62	9775,99	986,72
	4.5	MP	11173,07	11286,34	10875,62	9942,61	1005,17	10819,41
		LP	11129,64	11240,87	10822,71	9911,36	1004,84	10776,14
	8.5	MP	11098,70	11194,39	10769,79	9871,42	1020,66	10733,58
		LP	10784,79	10828,11	10375,16	9538,44	1064,66	10381,63

Tabela 4. Produtividade potencial (kg ha⁻¹) do milho simulada através do ensemble dos modelos MZA-FAO, DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST e MONICA-Maize, nos cenários climáticos futuros de médio (MP) e longo prazo (LP) em cenários de emissão dos RCPs 4.5 e 8.5 durante o período da safrinha, suas médias e desvio padrão (D.Pad.).

	RCP	Período	Janeiro	Fevereiro	Março	D.Pad.	Média
Brasil Norte		<i>Baseline</i>	10385,71	10017,96	9882,70	847,42	10095,46
	4.5	MP	9680,27	9362,43	9238,63	862,12	9427,11
		LP	9479,38	9162,87	9023,32	879,94	9221,86
	8.5	MP	9395,92	9093,74	8966,22	909,16	9151,96
		LP	8653,38	8354,58	8205,58	917,79	8404,51
	Brasil Central		<i>Baseline</i>	9243,76	8858,11	8569,59	1055,88
4.5		MP	9085,87	8763,13	8514,05	997,40	9085,87
		LP	9007,12	8697,33	8459,80	996,04	9007,12
8.5		MP	8944,12	8644,50	8414,88	999,68	8944,12
		LP	8429,24	8182,08	7995,91	967,26	8429,24
Brasil Sul			<i>Baseline</i>	8014,85	5978,06	5294,15	1369,71
	4.5	MP	8366,86	6506,41	5541,97	1357,86	6805,08
		LP	8384,14	6581,03	5562,47	1352,82	6842,55
	8.5	MP	8386,30	6614,28	5592,91	1345,16	6864,50
		LP	8233,35	6786,04	5733,09	1214,00	6917,49

O Brasil Central apresentou um padrão de redução na PP semelhante ao da região Brasil Norte, mas com impacto relativo reduzido. A safra apresentou variação de queda entre 4,4 e 15,5%, sendo o mês de dezembro o mais indicado para semeaduras no período para a região, já que apresentou a menor redução relativa. A safrinha apresenta uma perda média potencial variando entre 1,1 e 7,7%, sendo que o mês de março foi o que apresentou as menores reduções em todos os cenários climáticos avaliados. Em oposição ao padrão observado nas demais regiões, o Brasil Sul apresentou aumento no potencial produtivo do milho tanto na safra quanto na safrinha, com destaque para os aumentos potenciais observados na safrinha, que variaram entre 6 e 8,2%, sendo que o cenário de longo prazo sob condições de emissão do RCP 8.5 foi o que proporcionou o maior aumento potencial. O período da safra no Brasil Sul apresenta ligeiro aumento no potencial produtivo para o médio prazo, mas já mostra condições de redução no longo prazo, evidenciadas pelo RCP 8.5.

Quando adicionado o efeito do déficit hídrico nas simulações da produtividade do milho (PA), os impactos negativos do clima futuro são ainda mais contundentes. A região Brasil Norte novamente apresenta a maior perda relativa, sendo o cenário de longo prazo e RCP 8.5 o que causou maior impacto, reduzindo a produtividade da safra em 40,6% e a da safrinha em 33,5% em relação à média histórica. Os meses de dezembro e janeiro foram os que apresentaram as melhores condições de plantio para a safra e para a safrinha nessa região, respectivamente (Tabelas 5 e 6). A região Brasil Central acompanha o padrão do impacto das mudanças climáticas apresentado pela região Brasil

Norte, mas com menor intensidade. Os meses de dezembro e janeiro foram os que apresentaram as melhores condições de plantio para a safra e para a safrinha, respectivamente, por apresentarem os maiores potenciais atingíveis e as menores reduções relativas em todos os cenários climáticos futuros avaliados. Em média, a redução na PA do Brasil Central variou entre 5,9 e 27,8% na safra e 4,9 e 22,8% na safrinha.

Tabela 5. Produtividade atingível (kg ha^{-1}) do milho simulada através do ensemble dos modelos MZA-FAO, DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST e MONICA-Maize, nos cenários climáticos futuros de médio (MP) e longo prazo (LP) em cenários de emissão dos RCPs 4.5 e 8.5 durante o período da safra, suas médias e desvio padrão (D.Pad.).

	RCP	Período	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	D.Pad.	Média
Brasil Norte		<i>Baseline</i>	4539,08	5824,47	6618,28	6668,96	2176,82	5912,70
	4.5	MP	3418,35	4648,20	5887,93	6245,53	2122,50	5050,00
		LP	3156,46	4324,96	5606,28	5962,97	2083,57	4762,67
	8.5	MP	2970,92	4089,88	5468,21	5828,42	2007,85	4589,36
		LP	2159,37	3079,68	4314,30	4797,06	1783,08	3587,60
Brasil Central		<i>Baseline</i>	6956,79	8172,07	8650,45	8466,59	1533,33	8061,48
	4.5	MP	6107,53	7541,35	8430,97	8357,85	1814,63	7609,42
		LP	5743,55	7236,51	8179,30	8135,09	1835,82	7323,61
	8.5	MP	5464,07	6891,97	7938,62	7959,99	1861,05	7063,66
		LP	4247,88	5574,18	6742,39	6906,44	1856,71	5867,72
Brasil Sul		<i>Baseline</i>	9475,74	9279,25	9137,38	8734,26	1064,46	9156,66
	4.5	MP	9604,62	9349,03	9138,22	8659,08	1189,10	9187,74
		LP	9519,67	9239,19	8998,52	8517,09	1173,84	9068,62
	8.5	MP	9458,78	9167,26	8916,08	8443,38	1221,93	8996,37
		LP	8998,08	8630,78	8303,23	7794,47	1259,43	8431,64

Tabela 6. Produtividade atingível (kg ha⁻¹) do milho simulada através do ensemble dos modelos MZA-FAO, DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST e MONICA-Maize, nos cenários climáticos futuros de médio (MP) e longo prazo (LP) em cenários de emissão dos RCPs 4.5 e 8.5 durante o período da safrinha, suas médias e desvio padrão (D.Pad.).

	RCP	Período	Janeiro	Fevereiro	Março	D.Pad.	Média
Brasil Norte		<i>Baseline</i>	6267,15	5382,40	4605,94	1753,02	5418,49
	4.5	MP	5819,47	4842,30	4006,89	1671,86	4889,56
		LP	5505,73	4491,97	3694,65	1628,38	4564,12
	8.5	MP	5432,71	4465,25	3666,07	1558,68	4521,34
		LP	4435,43	3565,63	2874,58	1376,32	3625,21
	Brasil Central		<i>Baseline</i>	6719,52	6199,94	5742,62	1359,33
4.5		MP	6407,85	5891,54	5453,45	1414,50	6407,85
		LP	6211,95	5702,87	5285,32	1396,37	6211,95
8.5		MP	6106,74	5613,08	5216,79	1400,62	6106,74
		LP	5209,71	4769,78	4435,83	1336,41	5209,71
Brasil Sul			<i>Baseline</i>	8288,51	7768,34	7757,12	775,98
	4.5	MP	8069,21	7548,73	7379,16	842,45	7665,70
		LP	7925,26	7412,28	7205,32	837,12	7514,29
	8.5	MP	7850,12	7370,71	7179,63	871,25	7466,82
		LP	7207,50	6834,05	6593,81	865,46	6878,45

O Brasil Sul apresenta uma condição neutra para as simulações de médio prazo no período da safra, com ligeiro aumento quando analisado o RCP 4.5, apontando 0,3% de aumento médio, e ligeira queda quando analisado o RCP 8.5, que aponta queda de 1,8% comparado ao período histórico. Nas simulações de longo prazo, ambas as condições de emissão apontam queda na produtividade atingível média, sendo de 1% no RCP 4.5 e 8% no RCP 8.5. Já o período da safrinha apresenta uma queda na PA em todos os cenários climáticos avaliados, sendo que a condição de longo prazo no RCP 8.5 foi a que mais impactou, diminuindo a PA do milho em 13,4% em relação à *baseline*. Para essa região, o mês de setembro foi o que apresentou a melhor condição para semeadura no período da safra enquanto que o mês de janeiro apresentou a melhor condição para semeaduras no período da safrinha, pois foram nesses meses onde observa-se as maiores PAs e menores perdas relativas.

Utilizando o modelo DSSAT para simular a produtividade atingível do milho em cenários climáticos futuros variando a data de semeadura, Bender (2017) aponta uma antecipação da semeadura do milho safra para o mês de setembro em simulações de médio e longo prazo, para a cidade de Cruz Alta (Brasil Sul), enquanto que, para a cidade de Diamantino (Brasil Central), a melhor condição de semeadura se dá no mês de novembro para os mesmos períodos futuros. Para o período da safrinha, a autora aponta o mês de janeiro como preferencial para a semeadura do milho em todas as regiões do Brasil avaliadas em seu estudo, acompanhando os resultados aqui obtidos. Para regiões do Brasil Central, Spera et al. (2020) apontam reduções na produtividade atingível do milho safra superando

20% ao comparar com a média histórica. Para regiões classificadas como Brasil Norte, Martins et al. (2019) apontam redução na produtividade atingível do milho para o longo prazo variando entre 1 e 38% enquanto que, para a condição de médio prazo e RCP 4.5, os autores revelam uma variação de +10 a -10% da produtividade atingível do milho.

Justino et al (2013), utilizando o modelo DSSAT-CERES *Maize* em modelos de mudanças climáticas propostos pelo AR4 (IPCC, 2007), estudando regiões localizadas no Brasil Norte, apontam reduções de até 70% na produtividade potencial do milho safra em suas simulações de longo prazo. Silva et al. (2012), utilizando cenários futuros com forçantes de aumentos na temperatura apontam menores impactos climáticos no período da safrinha em relação à safra para a região Brasil Norte, sendo a janela de semeadura mais favorável compreendida entre janeiro e março, segundo os autores. Em estudos mais recentes, Camilo et al. (2018) apontam redução na produtividade atingível do milho no Brasil Central ao simular cenários de clima futuro com o modelo DSSAT-CERES *Maize*, indicando o mês de outubro como o mais propício para semeaduras no período da safra e o mês de janeiro para semeaduras no período da safrinha. Os autores convergem suas conclusões sobre o efeito negativo do aumento da temperatura no desenvolvimento fenológico do milho, de modo a acelerar o metabolismo da planta bem como a taxa de respiração basal e os processos de acúmulo de fotoassimilados, de modo a reduzir a produtividade do milho tanto em termos de PP quanto de PA, conforme relatado através de experimentos realizados por Hatfield (2016), Minuzzi e Lopes (2016) e Bergamaschi (2017).

5.4. Conclusões

Com base nos resultados evidenciados é possível concluir bem como mensurar o efeito negativo das mudanças climáticas na produtividade do milho ao longo do território brasileiro e nas diferentes épocas de cultivo do grão. O impacto negativo causado nas regiões do Brasil Norte e Brasil Central foram as maiores registradas tanto para PP quanto para PA, sendo que o impacto negativo observado na safra foi mais contundente do que na safrinha, principalmente para as simulações de produtividade atingível (PA). A região Brasil Sul terá ligeiro aumento na produtividade potencial (PP) e atingível (PA) para uma condição de médio prazo e terá seus potenciais reduzidos ao final do século, sendo que a safrinha dessa região é a que mais sofreu com os impactos negativos das mudanças climáticas.

Nota-se que o cultivo do milho no Brasil será fortemente penalizado, promovendo alterações no polo produtivo que hoje se concentra na região Centro-Oeste do país, uma das mais impactadas pelos efeitos das mudanças climáticas, migrando em direção a região Sul, que apresentou a melhor condição para cultivo do milho tanto no período da safra quanto da safrinha, com os menores impactos relativos e maiores potenciais produtivos simulados tanto para PP quanto para PA. O efeito do déficit hídrico somado ao efeito do aumento de temperatura foi o que trouxe maiores impactos negativos na

produtividade do milho (PA), concluindo que a busca por redefinir as janelas de cultivo do milho safra e safrinha em busca de condições hídricas mais favoráveis em paralelo ao desenvolvimento de cultivares de milho mais resistentes ao déficit hídrico bem como mais tolerantes a altas temperaturas são um dos principais caminhos a serem tomados para fazer com que o cultivo do milho de sequeiro ainda seja possível, principalmente ao final do século.

Referências

- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO: **Irrigation Drainage and Paper**, **56**, p.291, 1998.
- ANNA, H. C., TOMMASO, S., MICHAEL, B. M., TOBIAS, K., MARKUS, K., CLAAS, N. Future yields of doble-cropping systems in the Southern Amazon, Brazil, under climate change and technological development. **Agricultural Systems**, v.177, p. 18, 2020.
- ARAÚJO, L. F., OLIVEIRA, N. P. S., ILVA, R. M., BEZERRA, M. A., ANGELOTTI, F. Influência do aumento do CO₂ no crescimento inicial e nas trocas gasosas do meloeiro amarelo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, p. 439-453, 2015.
- ASSENG, S.; EWERT, F.; ROSENZWEIG, C. J. W.; HATFIELD, J. L.; RUANE, A. C.; BOOTLE, K. J.; THORBURN, P. J.; ROTTER, R. P.; CAMMARANO, D.; BRISON, N.; BASSO, B.; MATRE, P.; AGGARWAL, P. K.; ANGULO, C.; BERTUZIZI, P.; BIERNATH, C.; CHALLINOR, A. J.; DOLTRA, J.; GAYLER, S.; GOLDBERG, R.; GRANT, R.; HEING, L.; HOOKER, J.; HUNT, L. A.; INGWERSEN, J.; IZAURRALDE, R. C.; KERSEBAUM, K. C.; MULLER, C.; NARESH KUMAR, S.; NENDEL, C.; O'LEARY, G.; OLSEN, J. A.; OSBORNE, T. M.; PALOSUO, T.; STOCKLE, C.; STRATONOVITCH, P.; STRECK, T.; SUPIT, I.; TAO, F.; TRAVASSO, M.; WAHA, K.; WALLACH, D.; WHITE, J. W.; WILLIAMS, J. R.; WOLF, J. Uncertainty in simulation wheat yields under climate change. **Nature Climate Change**, London, v.3, p. 827-832, 2013.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C. Eficiência climática para as culturas da soja e do trigo no estado do Rio Grande do Sul em diferentes datas de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, p. 390-396, 2012.
- BATTISTI, R, SENTELHAS, P. C.; BOOTE, K. J. Inter-comparison of performance of soybean crop simulation models and their ensembles in southern Brazil. **Field Crops Research**, 200, 28-37, 2017.
- BATTISTI, R., FERREIRA, M. D. P., TAVARES, E. B., KNAPP, F. B., BENDER, F. D., CASAROLI, D., JÚNIOR, J. A. Rules for grown soybean-maize cropping systems in Midwestern Brazil: Food production and economic profits. **Agricultural Systems**, v. 182, p. 14, 2020.

- BENDER, F. D. Mudanças climáticas e seus impactos na produtividade da cultura do milho e estratégias de manejo para minimização de perdas em diferentes regiões brasileiras. **Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências**. ESALQ/USP, Piracicaba, 2017.
- CAMILO, J. A., ANDRADE, C. L. T., AMARAL, T. A., TIGGES, C. H. P., MELO, M. L. A., GARCIA, A. G. Impact of climate change on maize grown in Brazilian Cerrado. **ASABE**, ASABE Annual International Meeting, p. 8, 2018.
- CHEN, X., WANG, L., NIU, Z., ZHANG, M., LI, C., LI, J. The effects of projected climate change and extreme climate on maize and rice in the Yangtze River Basin, China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.282-283, p. 14, 2020.
- DIAS, H. B. Sugarcane variety modelling: evaluation and improving the APSIM-Sugar model for simulating crop performance under current and future climates across Brazil. **Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências**, ESALQ/USP, 2020.
- DJABY, B., de WIT, A., KOUADIO, L., JARROUDI, M. E., TYCHON, B. Spatial distribution of calibrated WOFOST parameters and their influence on the performances of a regional yield forecasting system. **Suitable Agricultural Research**, v.2, p. 12-29, 2013.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. **FAO: Irrigation and Drainage paper**, **33**, p. 212, 1979.
- DERYNG, D., CONWAY, D., RAMANKUTTY, N., PRICE, J., WARREN, R. Global crop yield response to extreme heat stress under multiple climate change futures. **Environmental Research Letters**, v.9, p. 13, 2014.
- DUARTE, Y. C. N.; SENTELHAS, P. C. Intercomparison and performance of maize crop models and their ensemble for yield simulations Brazil. **International Journal of Plant Production**, v.14, p. 127-139, 2020a.
- DUARTE, Y. C. N., SENTELHAS, P. C. NASA/POWER and DailyGridded weather datasets—how good they are for estimating maize yields in Brazil? **International Journal of Biometeorology**, v.64, p. 319–329, 2020b.
- ELLI, E. P., SENTELHAS, P. C., BENDER, F. D. Impacts and uncertainties of climate change projections on *Eucalyptus* plantations productivity across Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.474, p. 11, 2020.
- FANSHURI, B. A. Simulation of climate change impact on maize growth and yield using DSSAT modeling. **IOP Publishing**, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v.456, 2020.
- GILARDELLI, C., CONFALONIERI, R., CAPPELLI, G. A., BELLOCCHI G. Sensitivity of WOFOST-based modeling solutions to crop parameters under climate change. **Ecological Modeling**, v.368, p. 14, 2018.

- GONDIM, R., SILVEIRA, C., FILHO, F. S., JUNIOR, F. V., CID, D. Climate change impacts on water demand and availability using CMIP5 models in the Jaguaribe basin, semi-arid Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v.77, p. 14, 2018.
- HATFIELD, J. L. Increased temperatures have dramatic effects on growth and grain yield of three maize hybrids. **Agricultural and Environmental Letter**, v.1, p. 5, 2016.
- HOOGENBOON, G.; JONES, J.W.; WILKENS, P.W.; BATCHELOR, D.W.; BOWEN, W.T.; HUNT, L.A.; PIKERING, N.B.; SINGH, U.; GODWING, D.C.; BAER, B.; BOOTE, K.J.; RITCHIE, J.T.; WHITE, J.W. Crops models. In: TSUJI, G.Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. DSSAT v3, support system for agrotechnology transfer. Honolulu: University of Hawaii, v. 2, p.95-244, 1994.
- van ITTERSUM, M.K., CASSMAN, K.G., GRASSINI, P., WOLF, J., TITTONELL, P., HOCHMAN, Z., Yield gap analysis with local to global relevance—a review. **Field Crops Research**, v.143, p.4–17, 2013.
- JÚNIOR, R. S. N., SENTELHAS, P. C. Soybean-maize off-season double crop system in Brazil as affected by El Niño Southern Oscillation phases. **Agricultural Systems**, v.173, p. 254-267, 2019.
- KAMALI, B., LORITE, I. J. WEBBER, H. A., REZAEI, E. E., LEAL, C. G., NENDEL, C., SIEBERT, S., CUESTA, J. M. R., EWERT, F., OJEDA, J. J. Uncertainty in climate change impact studies for irrigated maize cropping systems in southern Spain. **Scientific Reports**, v.12, p. 13, 2022.
- KEATING, B.A.; CARBERRY, G.L.; HAMMER, G.L.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, M.J.; HOLZWORTH, D.; HUTH, N.I.; HARGREAVES, J.N.G.; MEINKE, H.; HOCHMAN, Z.; MCLEAN, G.; VERBURG, K.; SNOW, V.; DIMES, J.P.; SILBURN, M.; WANG, E.; BROWN, S.; BRISTOW, K. L.; ASSENG, S.; CHAPMAN, S.; MCCOWN, R.L.; FREEBAIRN, D.M.; SMITH, C.J. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. **European Journal Agronomy**, v.18, p. 267-288, 2003.
- KERSEBAUM, K. C. Application of a simple management model to simulate water and nitrogen dynamics. **Ecological Modeling**, v.81, p. 145-156, 1995.
- KIMBALL, B. A. Crop response to elevated CO₂ and interactions with H₂O, N, and temperature. **Plant Biology**, v.31, p. 31-36, 2016.
- KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R.; VANDERLIP, R.L.; ATWOOD, J.D.; REICOSKY, D.C.; MULLIKEN, J.; COX, W.J.; MASCANI JR., H. J.; HOLLINGER, S.E.; WIEBOLD, W. J. Evaluation of two maize models for nine U. S. locations. **Agronomy Journal**, v.89, p.421-426, 1997.
- LOBELL, D.B.; CASSMAN, K.G.; FIELD, C.B. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. **The Annual Review of Environment and Resources**, v.34, 174–204, 2009.

- MAKOWSKI, D., ASSENG, S., EWERT, F., BASSU, S., DURAND, J. L., LI, T., MARTRE, P., ADAM, M., AGGARWAL, P. K., ANGULO, C., BARON, C., BASSO, B., BERTUZZI, P., BIERNATH, C., BOOGAARD, H., BOOTE, K. J., BOUMAN, B., BREGAGLIO, S., BRISSON, N., BUIS, S., CAMMARANO, D., CHALLINOR, A. J., CONFALONIERI, R., CONIJN, J. G., CORBEELS, M., DERYNG, D., DE SANCTIS, G., DOLTRA, J., FUMOTO, T., GAYDON, D., GAYLER, S., GOLDBERG, R., GRANT, R. F., GRASSINI, P., HATFIELD, J. L., HASEGAWA, T., HENG, L., HOEK, S., HOOKER, J., HUNT, L. A., INGWERSEN, J., IZAURRALDE, R. C., JONGSCHAAP, R. E. E., JONES, J. W., KEMANIAN, R. A., KERSEBAUM, K. C., KIM, S. H., LIZASO, J., MARCAIDA, M., MÜLLER, C., NAKAGAWA, H., NARESH KUMAR, S., NENDEL, C., O'LEARY, G. J., OLESEN, J. E., ORIOL, P., OSBORNE, T. M., PALOSUO, T., PRAVIA, M. V., PRIESACK, E., RIPOCHE, D., ROSENZWEIG, C., RUANE, A. C., RUGET, F., SAU, F., SEMENOV, M. A., SHCHERBAK, I., SINGH, B., SINGH, U., SOO, H. K., STEDUTO, P., STÖCKLE, C., STRATONOVITCH, P., STRECK, T., SUPIT, I., TANG, L., TAO, F., TEIXEIRA, E. I., THORBURN, P., TIMLIN, D., TRAVASSO, M., RÖTTER, R. P., WAHA, K., WALLACH, D., WHITE, J. W., WILKENS, P., WILLIAMS, J. R., WOLF, J. YIN, X., YOSHIDA, H., ZHANG, Z., ZHU, Y. A statistical analysis of three ensembles of crop model responses to temperature and CO₂ concentration. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.214-215, p. 483-493, 2015.
- MAKOWSKI, D., PETITZON, E. M., DURAND, J. L., ARI, T. B. Quantitative synthesis of temperature, CO₂, rainfall, and adaptation effects on global crop yields. **European Journal of Agronomy**, v.115, p. 11, 2020.
- MARTEL, J. L., BRISSET, F. P., PICHER, P. L., TROIN, M., ARSENAULT, R. Climate change and rainfall intensity-duration-frequency curves: Overview of science and guidelines for adaptation. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.26, p. 18, 2021.
- MARTINS, M. A., TOMASELLA, J., DIAS, C. B. Maize yield under a changing climate in the Brazil Northeast: Impacts and adaptations. **Agricultural Water Management**, v.2016, p. 339-350, 2019.
- MARTINEZ, C. A., OLIVEIRA, E. A. D., MELLO, T. R. P., MARIN, A. L. A. Resposta das plantas ao incremento atmosférico de dióxido de carbono e temperatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, p. 635-650, 2015.

- MARTRE, P., WALLACH, D., ASSENG, S., EWERT, F., JONES, J. W., ROTTER, R. P., BOOTE, K. J., RUANE, A. C., THORBURNE, P. J., CAMMARANO, D., HATFIELD, J. L., ROSENZWEIG, C., AGGARWAL, P. K., ÂNGULO, C., BASSO, B., BERTUZZI, P., BIERNATH, C., BRISSON, N., CHALLINOR, A. J., DOLTRA, J., GAYLER, S., GOLDBERG, R., GRANT, R. F., HENG, L., HOOKER, J., HUNT, L. A., INGWERSEN, J., IZAURRALDE, R. C., KERSEBAUM, K. C., MULLER, C., KUMAR, S., NENDEL, C., O'LEARY, G., OLESEN, J. A., OSBORNE, T., PALOSUO, T., PRIESACK, E., RIPOCHE, D., SEMENOV, M. A., SHCHERBAK, I., STEDUTO, P., STOCKLE, C. O., STRATONOVITCH, P., STRECK, T., SUPIT, I., TAO, F., TRAVASSO, M., WAHA, K., WHITE, J. W.; WOLF, J. Multimodel ensembles of wheat growth: many models are better than one. **Global Change Biology**, 21, 911-925, 2015.
- MINUZZI, R. B., LOPES, F. Z. Desempenho agrônômico do milho em diferentes cenários climáticos no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p. 734-740, 2015.
- MULLER, A. G., BERGAMASCHI, H. Eficiência de interceptação, absorção e uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo milho (*Zea mays* L.), em diferentes disponibilidades hídricas e verificação do modelo energético de estimativa de massa seca acumulada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, p. 27-33, 2005.
- NENDEL, C.; BERG, M.; KERSEBAUM, K. C.; MIRSCHEL, W.; SPECKA, X.; WEGEHENKEL, M.; WENKEL, K. O.; WIELAND, R. The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. **Ecological Modeling**, v.222, p. 1614-1625, 2011.
- NENDEL, C., KERSEBAUM, K. C., MIRSCHEL, W., WENKEL, K. O. Testing farm management options as climate change adaptation strategies using the MONICA model. **European Journal of Agronomy**, v.52, p. 47-56, 2014.
- RUANE, A. C., MCDERMID, S. P. Selection of a representative subset of global climate models that captures the profile of regional changes for integrated climate impacts assessment. **Earth Perspectives**, v.4, p. 20, 2017.
- SÁNCHEZ, E., SOLMAN, S., REMEDIO, A. R. C., BERBERY, H., SAMUELSSON, P., DA ROCHA, R. P., MOURÃO, C., LI, L., MARENGO, J., DE CASTRO, M., JACOB, D. Regional climate modelling in CLARIS-LPB: a concerted approach towards twentyfirst century projections of regional temperature and precipitation over South America. **Climate Dynamics**, v.45, p. 2193-2212, 2015.
- SENTELHAS, P. C.; BATISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, p.1-18, 2015.

- SILVA, J. B. L., FERREIRA, P. A., PEREIRA, E. G., COSTA, L. C., MIRANDA, G. V. Development of experimental structure and influence of high CO₂ concentrations in maize crop. **Engenharia Agrícola**, v.32, p. 306-314, 2012.
- SOUZA, T. T., ANTOLIN, L. A. S., BIANCHINI, V. J. M., PEREIRA, R. A. A., SILVA, E. H. F. M., MARIN, F. R. Longer crop cycle lengths could offset the negative effects of climate change on Brazilian maize. **Bragantia**, v.78, p. 622-631, 2019.
- SPECKA, X.; NENDEL, C.; WIELAND, R. Analysing the parameter sensitivity of the agroecosystem model MONICA for different crops. **European Journal of Agronomy**, v.71, p. 73-87, 2015.
- SPERA, S. A., WINTER, J. M., PARTRIDGE, T. F. Brazilian maize yields negatively affected by climate after land clearing. **Nature Sustainability**, v.3, p. 845-852, 2020.
- TAYLOR, K. E., STOUFFER, R. J., & MEEHL, G. A. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design, **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.93, p. 485-498, 2012.
- WACLAWOVSKY, A.J.; SATO, P.M.; LEMBKE, C.G.; MOORE, P.H.; SOUZA, G.M. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, v.8, p.263-276, 2010.
- WEBBER, H., EWERT, F., OLESEN, J. E., MÜLLER, C., FRONZEK, S., RUANE, A. C., BOURGAULT, M., MARTRE, P., ABABAEI, B., BINDI, M., FERRISE, R., FINGER, R., FODOR, N., GABALDÓN-LEAL, C., GAISER, T., JABLOUN, M., KERSEBAUM, K. C., LIZASO, J. I., LORITE, I. J., MANCEAU, L., MORIONDO, M., NENDEL, C., RODRÍGUEZ, A., RUIZ-RAMOS, M., SEMENOV, M. A., SIEBERT, S., STELLA, T., STRATONOVITCH, P., TROMBI, G., WALLACH, D. Diverging importance of drought stress for maize and winter wheat in Europe. **Nature Communications**, v.9, p. 10, 2018.
- de WIT, A.; BOOGAARD, H.; FUMAGALLI, D.; JANSSEN, S.; KNAPEN, R.; van KRAALINGEN, D.; SUPIT, I.; van der WIJNGAART, R.; van DIEPEN, K. 25 years of the WOFOST cropping systems model. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v.168, p. 154-167, 2019.
- XIAO, D., LIU, D. L., WANG, B., FENG, P., BAI, H., TANG, J. Climate change impact on yields and water use of wheat and maize in the North China Plain under future climate change scenarios. **Agricultural Water Management**, v.238, p. 15, 2020.
- XU, H., TIAN, Z., WANG, M., FAN, D., HU, B., WANG, X. Crop water demand for rain-fed maize in Northeast of China. **IOP Publishing**, IOP Conference Series: Earth and Environmental Systems Research, v.178, 2018.

Material Suplementar

Tabela S1. Produtividade potencial (PP) média do milho simulada pelo *ensemble* dos modelos DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST-Maize, MONICA-Maize e MZA-FAO para o cenário climático futuro de médio prazo (2040-2069) e sob influência do RCP 4.5.

Cidade	UF	Latitude	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Balsas	MA	-7,5294	7925,26	7816,92	8008,32	8307,73	8477,36	8602	8839,5
Marianópolis do Tocantins	TO	-9,5764	7775,87	8145,34	8495,28	8687,43	8623,17	8653,84	8803,75
Remanso	BA	-9,6257	10167,69	10000,12	9917,15	9903,8	9825,15	9656,66	9626,39
Santa Rita de Cássia	BA	-11,003	8750,2	9301,93	9913,82	10103,03	9766,57	9176,97	8781,7
Barra	BA	-11,085	9745,88	9873,28	10137,5	10291,05	10192,12	10028,33	10078,25
Morro do Chapéu	BA	-11,548	11850,27	12064,79	12107,37	11737,82	10923,06	10060,05	9580,19
Gurupi	TO	-11,746	7580,28	8018,13	8344,46	8462,31	8402,67	8430,23	8687,33
Itaberaba	BA	-12,524	8582,93	8807,04	8855,42	8719,43	8256,71	7787,47	7467,66
Sorriso	MT	-12,555	7612,27	8267,79	8695,26	8756,04	8594,81	8352,68	8239,24
Bom Jesus da Lapa	BA	-13,251	9696,92	10031,8	10452,01	10583,22	10311,12	9914,79	9714,72
Sapezal	MT	-13,304	9488,09	10063,31	10339,4	10362,05	10201,74	9990,55	9916,3
Correntina	BA	-13,332	9891,93	10249,95	10799,69	11086,1	10914,97	10583,03	10451,45
Posse	GO	-14,089	9497,82	9772,39	10088,97	10230,64	10127,81	9890,98	9829,35
Tangará da Serra	MT	-14,65	7744,52	8320,64	8784,14	8905,39	8733,17	8456,8	8253,06
Vitória da Conquista	BA	-14,886	11594,77	11854,09	11910,71	11532,19	10694,19	9760,85	9258,35
Formoso	MG	-14,95	9551,23	9862,59	10090,48	10162,27	9957,08	9589,05	9418,56
Januária	MG	-15,448	9697,47	10000,43	10447,9	10683,36	10562,81	10226,99	10110,9
Formosa	GO	-15,549	10232,38	10520,39	10829,95	10904,56	10676,43	10350,47	10186,18
Aragarças	GO	-15,903	8091,41	8549,85	8845,12	9064,57	9032,8	8987,89	9037,3

São Romão	MG	-16,363	9389,23	10131,34	10617,34	10728,65	10323,87	9743,13	9398,15
Rondonópolis	MT	-16,463	7213,28	7733,09	8235,63	8420,09	8272,61	8073,6	7946,94
Unaí	MG	-16,554	9661,26	10448,47	10995,73	11027,99	10546,35	9929,76	9540,69
Juramento	MG	-16,775	11081,19	11480,17	11802,65	11683,82	11242,11	10610,11	10196
Cristalina	GO	-16,785	10215,43	10799,58	11100,44	10989,92	10479,92	9899,97	9605,36
Paraúna	GO	-16,963	9455,12	10252,86	10808,81	10892,88	10425,03	9891,13	9572,74
Caiapônia	GO	-16,967	9609,5	10157,07	10510,73	10588,3	10267,64	9767,34	9369,67
Alto Araguaia	MT	-17,339	10683,73	11158,6	11310,1	11170,71	10669,31	10085,84	9737,75
Morrinhos	GO	-17,745	8388,97	9307,98	9788,86	9808,7	9372,07	8842,96	8361,07
Alto Taquari	MT	-17,841	10433,89	10891,37	10919,92	10643,29	10071,48	9475,38	9148,67
Catalão	GO	-18,155	10179,16	10912,15	11268,03	11030,86	10355,9	9705,02	9325,32
Três Marias	MG	-18,201	9878,73	10419,53	10738,72	10617,7	10059,53	9415,09	9086,96
Costa Rica	MS	-18,493	10899,37	11496,65	11692,16	11503,59	10852,27	10114,46	9586,72
Coxim	MS	-18,512	7782,14	8253,21	8580,5	8630,87	8323,94	7915,78	7669,54
Curvelo	MG	-18,748	10936,72	11630,65	12035,79	11800,05	11207,88	10473,8	10029,19
Chapadão do Sul	MS	-18,802	10112,71	10458,24	10476,57	10221,48	9594,61	8940,79	8535,18
Ituiutaba	MG	-18,953	9266,19	10087,43	10541,51	10459,78	9865,11	9191,55	8682,53
São Simão	GO	-18,969	8325,29	9088,06	9647,56	9766,25	9334,82	8847,68	8485,15
Patrocínio	MG	-18,997	10549,64	10928,83	11004,24	10711,83	10086,43	9444,88	9091,83
Dores do Indaiá	MG	-19,482	10097,04	10622,68	10987,13	10900,92	10273,27	9510,65	8978,45
Paranaíba	MS	-19,664	9904,5	10259,21	10414,1	10331,97	9898,26	9365,51	8961,11
Florestal	MG	-19,885	11476,91	11878,49	11963,23	11570,22	10796,47	9961,4	9399,63
Conceição das Alagoas	MG	-19,986	9754,97	10324,9	10478,29	10267,86	9616,98	8985,99	8572,36
Jales	SP	-20,165	8872,16	9606,21	10093,94	10084,64	9543,05	8857,03	8320,49
Votuporanga	SP	-20,403	9266,57	9819,33	10129,43	10039,71	9450,2	8781,18	8321,84
Campo Grande	MS	-20,447	7304,68	7586,74	7734,21	7688,06	7260,08	6743,84	6375,15

Franca	SP	-20,584	9668,69	9883,62	9823,6	9665,1	9039,48	8380,9	8052,86
Catanduva	SP	-21,122	10987,02	11148,4	10965,68	10591,63	9963,73	9332,95	8877,64
Valparaíso	SP	-21,319	9920,7	10349,21	10426,16	10193,33	9498,16	8718,18	8163,13
Pradópolis	SP	-21,338	10865,45	11444,01	11521,77	11144,56	10226,31	9227,02	8558,99
Maracaju	MS	-21,609	9461,23	9855,44	9795	9490,96	8690,56	7844,56	7235,4
Lins	SP	-21,666	9805,34	10107,9	10083,11	9777,02	9104,35	8405,5	7923,93
Casa Branca	SP	-21,781	11097,12	11355,85	11255,02	10864,3	10025,12	9143,77	8479,14
São Lourenço	MG	-22,126	11845,49	11811,17	11646,72	11224,28	10479,21	8911,59	7372,29
Ivinhema	MS	-22,301	8885,3	9154,43	9105,21	8844,95	8163,36	7418,57	6854,52
Bauru	SP	-22,358	9329,92	9413,55	9258,71	8892,54	8264,21	7437,65	6955,94
Itapira	SP	-22,415	11598,63	11711,81	11350,92	10768,28	9905,08	8988,03	8329,11
Piracicaba	SP	-22,703	10934,84	11103,66	10913,58	10443,9	9582,81	8648,08	8004,94
Ourinhos	SP	-22,949	10539,39	10702,26	10494,81	10042,73	9272,37	8479,19	7865,57
Amambai	MS	-23,003	10683,51	11040,19	10882,76	10374,08	9286,08	8099,36	7044,17
São Luíz do Paraitinga	SP	-23,228	11252,25	11403,96	11161,96	10555,6	9507,48	8358,86	7669,91
Londrina	PR	-23,326	11604,55	11693,78	11413,35	10873,6	10017,36	8995,72	8199,54
Cidade Gaúcha	PR	-23,359	10285,61	10485,2	10284,37	9846,01	8907,16	7995,1	7266,56
Sorocaba	SP	-23,48	11657,79	11574,34	11170,71	10636,59	9823,69	8815,37	8170,14
Japira	PR	-23,773	11894,65	11946,7	11620,08	10915,91	9719,01	8461,35	7614,46
Nova Tebas	PR	-24,437	11601,73	11551,07	11104,43	10344,18	9089,39	7716,61	6824,83
Iguape	SP	-24,672	9268,54	9544,95	9366,32	8873,09	8017,47	7042,96	6364,89
Castro	PR	-24,787	11019,37	11016,37	10677,49	9987,82	8784,12	7265,56	6346,82
Ivaí	PR	-25,011	10917,01	11016,75	10636,34	9841,38	8570,28	7081,39	6154,45
Dois Vizinhos	PR	-25,699	11321,82	11489,38	11190,53	10388,13	8976,99	7486,61	6400,75
Dionísio Cerqueira	SC	-26,287	11822,24	12016,68	11692,31	10773,12	9245,07	7497,64	6197,85
Major Vieira	SC	-26,394	11648,14	11638,72	11092,02	10074,33	8389,59	6563,72	5976,81

Clevelândia	PR	-26,417	12208,53	12301,18	11861,65	10848,99	9121,99	7081,12	6040,77
São Miguel do Oeste	SC	-26,786	11583,1	11715,93	11341,1	10433,56	8896,37	7313,64	6010,61
Caçador	SC	-26,819	11342,83	11388,78	10924,33	9854,71	7852,49	5852,58	5263,33
Indaial	SC	-26,914	10467,07	10601,59	10253,44	9479,86	8262,53	6871,25	6041,7
Rio do Campo	SC	-26,938	11306,36	11343,75	10890,23	9940,35	8446,96	6766,23	5974,52
Xanxerê	SC	-26,939	12023,92	12153,64	11750,63	10738,58	9077,23	7220,04	6026,95
Joaçaba	SC	-27,169	11734,52	11783,55	11285,75	10206,86	8162,03	6007,43	5457,72
Curitibanos	SC	-27,289	11608,29	11653,65	11107,47	9933,69	7869,28	5865,31	5424,95
Ituporanga	SC	-27,418	11189,44	11336,88	10920,83	9935,06	8332,17	6577,09	5917,33
Erechim	RS	-27,658	11338,66	11474,65	11075,13	10107,93	8513,64	6614,54	5446,56
Lagoa Vermelha	RS	-28,223	11725,55	11853,59	11320,72	10131,83	8088,89	5869,09	5203,04
São Luiz Gonzaga	RS	-28,417	10760,89	10722,87	10326,48	9570,76	8289,12	6734,09	5285,86
Cruz Alta	RS	-28,626	12244,8	12460,32	12167,69	11197,75	9481,66	7278,38	5930,07
São Borja	RS	-28,65	10505,78	10475,12	10049,71	9290,35	8043,82	6579,07	5231,26
Soledade	RS	-28,859	11981,41	12174,38	11681,77	10527,78	8627,12	6337,98	5281,14
Caxias do Sul	RS	-29,196	11745,54	11966,97	11602,93	10620,99	8847,39	6669,65	5917,99
Alegrete	RS	-29,709	10463,49	10492,66	10161,58	9370,04	7975,63	6214,99	4811,59
Santa Maria	RS	-29,725	9252,25	9343,08	8975,81	8215,08	6918,68	5205,49	4113,32
Porto Alegre	RS	-30,054	8914,48	8995,96	8615,99	7857,65	6677,38	5314,49	4298,83
São Gabriel	RS	-30,341	11554,84	11679,1	11198,71	10104,49	8375,78	5988,73	4674,52
Encruzilhada do Sul	RS	-30,543	11890,83	12094,02	11675,82	10574,15	8836,48	6591,2	5654,57
Santana do Livramento	RS	-30,751	9255,23	9506,78	9249,8	8456,38	6963,04	4774,45	3874,46
Camaquã	RS	-30,808	10797,64	10844,52	10483,63	9585,37	8127,27	6350,82	5180,33
Bagé	RS	-31,306	12145,67	12284,47	11758,75	10613,01	8746,26	6196,52	5076,78
Canguçu	RS	-31,403	11081,56	11239,56	10670,39	9615,54	7943,6	5747,93	4804,3
Santa Vitória do Palmar	RS	-33,532	11989,92	12288,24	11785,68	10613,36	8556,73	6035,04	5676,07

Tabela S2. Produtividade potencial (PP) média do milho simulada pelo *ensemble* dos modelos DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST-Maize, MONICA-Maize e MZA-FAO para o cenário climático futuro de médio prazo (2040-2069) e sob influência do RCP 8.5.

Cidade	UF	Latitude	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Balsas	MA	-7,5294	7589,01	7481,51	7674,59	7946,91	8124,04	8209,09	8332,29
Marianópolis do Tocantins	TO	-9,5764	7290,37	7778,33	8201,06	8425,21	8364,85	8385,35	8514,22
Remanso	BA	-9,6257	9903,15	9712,45	9645,09	9678,78	9635,37	9433,9	9330,04
Santa Rita de Cássia	BA	-11,003	8347,11	8867,64	9505,04	9771,92	9467,54	8894,59	8466,27
Barra	BA	-11,085	9503,31	9592,74	9800,07	9936,82	9859,44	9675,31	9683,04
Morro do Chapéu	BA	-11,548	11690,49	11861,45	11922,37	11651,2	10893,44	10019,14	9507,14
Gurupi	TO	-11,746	7430,66	7827,41	8117,2	8211,16	8090,42	8086,95	8315,15
Itaberaba	BA	-12,524	8290,96	8461,75	8539,47	8485,54	8051,58	7578,5	7233,81
Sorriso	MT	-12,555	7201,83	7792,29	8235,73	8326,8	8163,74	7927,99	7842,96
Bom Jesus da Lapa	BA	-13,251	9363,32	9629,42	9947,73	10110,7	9903,76	9569,77	9412,29
Sapezal	MT	-13,304	8803,54	9327,3	9646,77	9756,4	9688,87	9585,44	9593,49
Correntina	BA	-13,332	9468,28	9787,29	10327,86	10621,35	10524,68	10254,83	10193,48
Posse	GO	-14,089	9026,74	9317,7	9749,08	10013,52	9941,59	9716,13	9660,54
Tangará da Serra	MT	-14,65	7261,61	7786,47	8219,38	8357,09	8216,68	8040,72	7932,93
Vitória da Conquista	BA	-14,886	11347,02	11556,43	11631,93	11378,52	10599,53	9654,88	9097,1
Formoso	MG	-14,95	9180,25	9503,47	9824,53	9966,12	9777,91	9441,33	9283,53
Januária	MG	-15,448	9262,15	9640,45	10190,89	10495,88	10427,25	10119,6	10027,48
Formosa	GO	-15,549	9777,8	10020,17	10398,64	10620,93	10475,42	10167,97	10011,52
Aragarças	GO	-15,903	7716,14	8179,03	8515,54	8730,98	8717,44	8680,39	8742,48
São Romão	MG	-16,363	9105,48	9852,67	10337,93	10450,14	10064,35	9533,69	9231,51
Rondonópolis	MT	-16,463	6926,33	7415,55	7875,79	8069,45	7944,13	7751,57	7646,65
Unaí	MG	-16,554	9206,33	9992,89	10628,13	10808,2	10390,34	9783,95	9430,34
Juramento	MG	-16,775	10735,76	11017,54	11359,06	11350,14	10972,12	10402,43	10053,45

Cristalina	GO	-16,785	9920,85	10572,45	10960,92	10929,46	10397,45	9777,52	9483,9
Paraúna	GO	-16,963	9105,96	9905,59	10525,37	10670,73	10242,94	9727,7	9441,84
Caiapônia	GO	-16,967	9134,71	9738,23	10182,89	10348,74	10112,59	9663,13	9280,57
Alto Araguaia	MT	-17,339	10066,37	10691,42	11008,68	10947,43	10490,77	9980,3	9631,2
Morrinhos	GO	-17,745	8040,7	8980,73	9516,33	9587,8	9221,19	8720,38	8261,33
Alto Taquari	MT	-17,841	9888,45	10496,61	10693,31	10490,06	9955,39	9413,86	9063,32
Catalão	GO	-18,155	9834,77	10630,71	11058,05	10850,72	10227,21	9579,34	9211,27
Três Marias	MG	-18,201	9656,69	10238,09	10644,32	10591,46	10024,28	9358,64	9025,68
Costa Rica	MS	-18,493	10379,38	11079,31	11426,5	11310,72	10720,6	10028,02	9525,22
Coxim	MS	-18,512	7474,4	7960,05	8328,33	8391,38	8065,68	7598,78	7341,13
Curvelo	MG	-18,748	10576,33	11319,6	11874,73	11701,04	11151,09	10446,92	9969,47
Chapadão do Sul	MS	-18,802	9436,69	9907,18	10079,96	9927,79	9371,19	8759,51	8377,54
Ituiutaba	MG	-18,953	8718,73	9557,68	10120,46	10152,44	9696,34	9071,98	8563,2
São Simão	GO	-18,969	7965,68	8645,95	9162,88	9300,82	8930,13	8529,6	8240,68
Patrocínio	MG	-18,997	10351,35	10814,24	10998,71	10713,51	10069	9405,8	9054
Dores do Indaiá	MG	-19,482	9748,25	10356,29	10815,28	10792,77	10194,64	9431,62	8939,39
Paranaíba	MS	-19,664	9376,78	9761,89	10017,94	9986,3	9577,66	9099,34	8790,89
Florestal	MG	-19,885	11073,28	11543,21	11829,06	11580	10793,96	9942,76	9393,77
Conceição das Alagoas	MG	-19,986	9273,41	9862,51	10104,25	9986,75	9409,56	8846,01	8461,59
Jales	SP	-20,165	8534,2	9268,67	9692,88	9681,46	9134,37	8523,89	8089,93
Votuporanga	SP	-20,403	8795,89	9360,3	9676,67	9655,67	9164,48	8576,43	8184,07
Campo Grande	MS	-20,447	6920,63	7222,52	7428,62	7411,38	7025,01	6529,31	6193,38
Franca	SP	-20,584	9444,76	9736,49	9759,87	9590,9	9004,5	8342,22	8003,75
Catanduva	SP	-21,122	10312,23	10521,35	10470,1	10191,54	9652,83	9105,13	8693,45
Valparaíso	SP	-21,319	9326,65	9803,54	9952,08	9766,87	9150,15	8476,44	8006,05
Pradópolis	SP	-21,338	10515,1	11119,28	11251,59	10930,28	10083,9	9144,44	8482,13

Maracaju	MS	-21,609	9006,01	9389,15	9384,43	9146,2	8418,28	7653,8	7100,66
Lins	SP	-21,666	9214,6	9599,47	9676,11	9444,22	8846,11	8216,33	7787,94
Casa Branca	SP	-21,781	10702,41	11043,09	11070,45	10757,39	9949,93	9134,36	8521,97
São Lourenço	MG	-22,126	11603,54	11580,28	11458,5	11103,35	10420,15	9090,54	7709,16
Ivinhema	MS	-22,301	8560,4	8796,59	8767,69	8545,9	7894,3	7183,26	6686,18
Bauru	SP	-22,358	8972,36	9060,27	8967,37	8645,02	8073,76	7322,13	6895,46
Itapira	SP	-22,415	11077,88	11276,81	11115,26	10655,18	9837,61	8976,08	8364,45
Piracicaba	SP	-22,703	10380,47	10693,77	10650,62	10261,56	9467,34	8608,79	8006,42
Ourinhos	SP	-22,949	10179,06	10319,24	10144,52	9731,53	9016,85	8312,6	7790,34
Amambai	MS	-23,003	9938,58	10421,51	10368,36	9931,65	8954,14	7917,6	6964,96
São Luíz do Paraitinga	SP	-23,228	11049,34	11237,8	11071,99	10508,56	9483,2	8397,41	7752,47
Londrina	PR	-23,326	11195,92	11305,1	11064,99	10575,15	9812,74	8864,48	8152,21
Cidade Gaúcha	PR	-23,359	9910,07	10090,53	9942,03	9549,24	8697,56	7841,45	7160,22
Sorocaba	SP	-23,48	11328,7	11275,43	10895,19	10377,72	9599,81	8688,37	8085,72
Japira	PR	-23,773	11606,92	11675,4	11381,29	10772,03	9635,17	8477,58	7696,32
Nova Tebas	PR	-24,437	11348,8	11399,86	11022,46	10310,26	9097,29	7790,41	6945,09
Iguape	SP	-24,672	9053,43	9303,24	9109,9	8613,24	7789,78	6879,61	6218,78
Castro	PR	-24,787	10951,36	10958,89	10604,69	9952,45	8818,92	7452,32	6558,95
Ivaí	PR	-25,011	10796,38	10984,51	10606,41	9818,25	8584,69	7223,71	6340,92
Dois Vizinhos	PR	-25,699	11029,23	11226,64	10916,33	10180,91	8864,91	7488,38	6430,23
Dionísio Cerqueira	SC	-26,287	11582,49	11799,51	11439,17	10579,49	9169,16	7588,75	6263,63
Major Vieira	SC	-26,394	11651,5	11657,3	11106,88	10107,19	8530,86	6712,04	6032,95
Clevelândia	PR	-26,417	12160,04	12293,14	11871,55	10921,72	9304,01	7357,35	6210,9
São Miguel do Oeste	SC	-26,786	11348,68	11460,99	11026,88	10166,15	8743,56	7287,11	6037,38
Caçador	SC	-26,819	11344,52	11414,9	10967,51	9951,4	8141,33	6107,22	5369,55
Indaial	SC	-26,914	10324,91	10484,11	10155,42	9430,56	8238,59	6896,83	6062,16

Rio do Campo	SC	-26,938	11289,24	11300,16	10833,94	9917,86	8464,02	6846,57	5960,43
Xanxerê	SC	-26,939	11938,01	12070,49	11662,08	10712,8	9130,28	7378,62	6153,84
Joaçaba	SC	-27,169	11743,33	11818,09	11348,44	10343,3	8478,14	6312,88	5531,56
Curitibanos	SC	-27,289	11615,36	11654,23	11121,46	10058,64	8214,67	6130,62	5425,58
Ituporanga	SC	-27,418	11239,72	11359,29	10919,51	9953,7	8387,16	6638,84	5892,56
Erechim	RS	-27,658	11265,52	11381,73	11004,5	10102,74	8570,16	6765,72	5591,76
Lagoa Vermelha	RS	-28,223	11732,07	11837,11	11327,5	10204,42	8257,43	6036,26	5178,32
São Luiz Gonzaga	RS	-28,417	10623,72	10581,94	10115,14	9341,76	8105,28	6712,14	5417,17
Cruz Alta	RS	-28,626	12083,46	12231,27	11909,06	10998,22	9428,86	7442,39	6037,79
São Borja	RS	-28,65	10418,3	10294,25	9795,87	9051,43	7838,53	6493,39	5239,43
Soledade	RS	-28,859	11936,47	12129,61	11678,6	10576,2	8781,32	6615,47	5416,89
Caxias do Sul	RS	-29,196	11765,66	11966,1	11572,87	10611,08	8928	6801,53	5911,47
Alegrete	RS	-29,709	10262,29	10179,39	9775,52	9058,09	7794,56	6189,57	4790,95
Santa Maria	RS	-29,725	9205,93	9237,76	8834,58	8068,73	6866,99	5313,36	4177,79
Porto Alegre	RS	-30,054	8870,31	8920,01	8506,15	7750,61	6606,08	5358,4	4336,08
São Gabriel	RS	-30,341	11388,46	11454,1	10967,49	9902,47	8305,98	6108,47	4666,44
Encruzilhada do Sul	RS	-30,543	11830,94	11966,09	11515,17	10488,11	8842,42	6650,91	5620,35
Santana do Livramento	RS	-30,751	9330,67	9473,07	9158	8318,41	6932,19	4904,49	3891,72
Camaquã	RS	-30,808	10887,56	10874,6	10453,32	9533,34	8098,54	6425,78	5265,77
Bagé	RS	-31,306	12011,22	12138,78	11632,29	10506,33	8746,27	6266,92	5037,42
Canguçu	RS	-31,403	11092,71	11214,23	10667,53	9624,72	7972,49	5830,36	4856,62
Santa Vitória do Palmar	RS	-33,532	12134,97	12349,51	11776,99	10602,31	8715,4	6264,96	5695,47

Tabela S3. Produtividade potencial (PP) média do milho simulada pelo *ensemble* dos modelos DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST-Maize, MONICA-Maize e MZA-FAO para o cenário climático futuro de longo prazo (2070-2099) e sob influência do RCP 4.5.

Cidade	UF	Latitude	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Balsas	MA	-7,5294	7690,29	7598,83	7797,33	8118,43	8317,48	8427,25	8602,13
Marianópolis do Tocantins	TO	-9,5764	7577,33	8004,62	8384,43	8578,65	8495,18	8484,75	8613,06
Remanso	BA	-9,6257	9942,07	9773,72	9699,82	9718,8	9640,31	9450,15	9369,53
Santa Rita de Cássia	BA	-11,003	8472,38	8976,36	9595,47	9830,41	9505,2	8925,03	8519,73
Barra	BA	-11,085	9606,08	9695,83	9893,08	10025,67	9927,52	9776,03	9811
Morro do Chapéu	BA	-11,548	11706,23	11888,04	11931,67	11632,64	10868,07	10006,89	9492,12
Gurupi	TO	-11,746	7449,46	7858,65	8164,35	8279,08	8200,81	8211,24	8430,79
Itaberaba	BA	-12,524	8399,93	8612,82	8660,97	8549,09	8070,48	7590,54	7271,79
Sorriso	MT	-12,555	7315,15	7963,29	8396,09	8471,14	8344,86	8104,13	7993,65
Bom Jesus da Lapa	BA	-13,251	9329,68	9681,2	10143,85	10358,36	10133,79	9742,03	9534,25
Sapezal	MT	-13,304	9332,2	9821	10015,15	10030,57	9880,77	9671,25	9552,86
Correntina	BA	-13,332	9618,87	9934,49	10424,08	10708,84	10585,33	10316,78	10234,27
Posse	GO	-14,089	9004,12	9366,16	9804,59	10045,04	9954	9718,61	9636,38
Tangará da Serra	MT	-14,65	7532,08	8063,94	8463,76	8556,18	8360,59	8109,38	7958,58
Vitória da Conquista	BA	-14,886	11512,38	11745,52	11817,24	11482,06	10638,95	9662,94	9084,59
Formoso	MG	-14,95	9152,22	9576,49	9916,04	10036,27	9827,32	9472,35	9294,71
Januária	MG	-15,448	9358,67	9695,6	10193,21	10493,62	10398,88	10099,51	9997,06
Formosa	GO	-15,549	9983,07	10281,03	10633,47	10751,87	10564,19	10272,44	10107,34
Aragarças	GO	-15,903	7771,71	8200,36	8549,9	8803,57	8820,92	8796,84	8859,31
São Romão	MG	-16,363	9094,99	9890,18	10397,28	10495,93	10091,52	9548,14	9221,22
Rondonópolis	MT	-16,463	7047,51	7532,96	8007,35	8211,69	8051,82	7808,7	7678,8
Unaí	MG	-16,554	9321,41	10172,16	10820,14	10931,58	10474,19	9860,84	9492,84
Juramento	MG	-16,775	10755,6	11067,85	11454,32	11439,27	11058,97	10498,36	10148,6

Cristalina	GO	-16,785	10056,5	10654,29	11003,45	10952,89	10434,46	9842,85	9551,85
Paraúna	GO	-16,963	9265,8	10054,73	10583	10703,03	10298,55	9800,48	9509,23
Caiapônia	GO	-16,967	9296,85	9896,26	10317,88	10451,29	10182,05	9707,45	9313,03
Alto Araguaia	MT	-17,339	10232,27	10828,9	11147,41	11051,28	10553,23	10007,85	9673,91
Morrinhos	GO	-17,745	8199,31	9117,03	9612,6	9678,63	9287,74	8784,7	8308,79
Alto Taquari	MT	-17,841	10050,56	10617,84	10799,61	10560,46	9991,16	9431,37	9100,97
Catalão	GO	-18,155	9873,85	10609,15	11068,61	10932,07	10323,42	9663,13	9272,5
Três Marias	MG	-18,201	9629,09	10158,88	10534,17	10537,54	10032,16	9405,93	9061,37
Costa Rica	MS	-18,493	10581,47	11225,54	11505,21	11355,31	10731	10010,76	9519,62
Coxim	MS	-18,512	7507,16	7979,47	8367,65	8476,61	8174,09	7752,19	7523,45
Curvelo	MG	-18,748	10684,18	11351,05	11836,08	11702,76	11164	10430,01	9974,36
Chapadão do Sul	MS	-18,802	9484,73	9946,69	10148,28	10052,04	9500,7	8908,39	8548,02
Ituiutaba	MG	-18,953	9014,53	9832,2	10317,02	10309,78	9819,25	9158,82	8603,88
São Simão	GO	-18,969	8098,2	8820,75	9343,79	9500,75	9140,46	8684,65	8328,29
Patrocínio	MG	-18,997	10290,59	10706,34	10898,6	10695,68	10062,59	9423,96	9066,68
Dores do Indaiá	MG	-19,482	9945,54	10537,01	10965,48	10893,66	10265,76	9491,19	8966,54
Paranaíba	MS	-19,664	9679,28	10106,82	10249,37	10126,07	9641,88	9134,6	8809,22
Florestal	MG	-19,885	11235,79	11677,7	11900,96	11582,16	10808,65	9953,06	9388,39
Conceição das Alagoas	MG	-19,986	9251,51	9937,79	10284,75	10195,16	9600,42	8989,58	8572,19
Jales	SP	-20,165	8548,02	9332,64	9851,22	9885,94	9353,5	8688,72	8170,96
Votuporanga	SP	-20,403	9030,47	9653,69	9980,73	9918,28	9352,95	8699,12	8252,75
Campo Grande	MS	-20,447	7222,27	7513,25	7670,49	7617	7181,74	6642,28	6280,53
Franca	SP	-20,584	9436,2	9694,05	9715,9	9588,02	9001,7	8337,68	7981,86
Catanduva	SP	-21,122	10434,71	10661,55	10564,34	10277,2	9765,2	9211,2	8787,53
Valparaíso	SP	-21,319	9530,5	10064,78	10245,87	10066,76	9406,11	8653,95	8117,63
Pradópolis	SP	-21,338	10639,9	11255,84	11341,34	10979,02	10094,92	9137,41	8478,59

Maracaju	MS	-21,609	9212,04	9592,82	9538,85	9242,09	8500,91	7703,26	7123,84
Lins	SP	-21,666	9271,19	9706,7	9842,62	9634,75	9030,39	8357,42	7897,64
Casa Branca	SP	-21,781	11121,53	11414,2	11292,76	10866,48	10008,78	9134,88	8494,72
São Lourenço	MG	-22,126	11744,93	11717,36	11590,35	11199,43	10479,63	9141,71	7764,58
Ivinhema	MS	-22,301	8770,83	9055,69	8998,37	8739,31	8057,28	7305,38	6766,87
Bauru	SP	-22,358	9145,77	9224,02	9044,42	8707,58	8124,86	7343,63	6889
Itapira	SP	-22,415	11457,01	11577,1	11261,59	10726,91	9881,17	8971,55	8361,16
Piracicaba	SP	-22,703	10542,33	10854,05	10766,69	10340	9489,01	8602,19	8013,96
Ourinhos	SP	-22,949	10294,59	10426,41	10255,69	9882,47	9169,07	8385,29	7820,82
Amambai	MS	-23,003	10190,82	10615,52	10479,81	10015,84	8963,05	7892,82	6935,52
São Luíz do Paraitinga	SP	-23,228	11157,03	11339,4	11148,56	10559	9511,11	8396,7	7711,09
Londrina	PR	-23,326	11371,52	11484,01	11251,35	10738,97	9894,65	8887,32	8156,7
Cidade Gaúcha	PR	-23,359	10084,18	10305,72	10119,07	9692,79	8801,38	7896,83	7194,37
Sorocaba	SP	-23,48	11430,77	11365,72	10972,19	10447,12	9650,25	8719,24	8122,55
Japira	PR	-23,773	11748,22	11841,34	11523,41	10846,84	9664,64	8463,1	7687,74
Nova Tebas	PR	-24,437	11487,11	11478,56	11049,29	10320,46	9099,62	7824,81	6993,78
Iguape	SP	-24,672	9119,81	9393,56	9211,76	8715,2	7871,77	6941,5	6261,96
Castro	PR	-24,787	10960,77	10967,07	10604,64	9938,1	8792,79	7411,36	6544,38
Ivaí	PR	-25,011	10755,46	10926,78	10578,9	9831,7	8572,25	7174,73	6332,87
Dois Vizinhos	PR	-25,699	11074,11	11225,62	10928,33	10220,25	8870,64	7460,51	6407,72
Dionísio Cerqueira	SC	-26,287	11611,3	11782,09	11471,69	10660,43	9172,21	7505,52	6213,17
Major Vieira	SC	-26,394	11724,6	11738,59	11141,83	10089,3	8453,3	6637,24	5972,45
Clevelândia	PR	-26,417	12214,67	12331,83	11883,34	10876,76	9207,02	7255,36	6126,82
São Miguel do Oeste	SC	-26,786	11504,55	11610,81	11191,83	10289,18	8782,3	7243,82	5989,3
Caçador	SC	-26,819	11391,5	11461,37	10970,3	9876,28	8029,46	6056,03	5340,51
Indaial	SC	-26,914	10398,79	10531,47	10188,76	9463,98	8263,69	6912,9	6079

Rio do Campo	SC	-26,938	11205,13	11295,88	10850,18	9932,98	8473,77	6854,98	5997,17
Xanxerê	SC	-26,939	11959,52	12106,62	11681,17	10701,94	9096,21	7330,03	6100,46
Joaçaba	SC	-27,169	11823,63	11854,18	11330,87	10283,03	8298,48	6088,85	5421,03
Curitibanos	SC	-27,289	11723,3	11771,19	11176,77	10048,86	8140,29	6090,65	5422,48
Ituporanga	SC	-27,418	11277,2	11395,31	10952,5	9950,07	8365,12	6650,28	5886,2
Erechim	RS	-27,658	11341,34	11462,42	11047,43	10078,29	8536,34	6741,15	5492,07
Lagoa Vermelha	RS	-28,223	11685,58	11856,97	11389,3	10249,24	8247,43	6038,24	5153,65
São Luiz Gonzaga	RS	-28,417	10766,69	10756,18	10355,67	9580,36	8274,95	6730,83	5345,89
Cruz Alta	RS	-28,626	12096,78	12291,93	11994,18	11076,71	9438,18	7309,16	5911,35
São Borja	RS	-28,65	10499,14	10453,16	10008,14	9251,16	7982,86	6568,65	5260,31
Soledade	RS	-28,859	11912,43	12139,2	11682,74	10550,07	8702,23	6526,33	5290,19
Caxias do Sul	RS	-29,196	11754,03	11992,24	11644,52	10662,31	8947,42	6806,07	5915,02
Alegrete	RS	-29,709	10435,16	10450,09	10083,54	9309,35	7943,5	6256,32	4863,31
Santa Maria	RS	-29,725	9297,27	9349,26	8944,44	8164,55	6892,28	5263,63	4154,18
Porto Alegre	RS	-30,054	8861,38	8908,31	8502,14	7771,67	6630,37	5322,36	4309,24
São Gabriel	RS	-30,341	11445,25	11554,89	11097,6	10043,56	8375,03	6080,51	4715,2
Encruzilhada do Sul	RS	-30,543	11841	11987,95	11564,77	10535,9	8841,38	6586,75	5576,49
Santana do Livramento	RS	-30,751	9258,64	9474,05	9197,95	8393,41	6970,18	4907,84	3876,24
Camaquã	RS	-30,808	10851,08	10847,47	10421,97	9493,26	8056,95	6386,58	5206,76
Bagé	RS	-31,306	11964,9	12075,88	11592,62	10537,09	8729,92	6189,58	4984,56
Canguçu	RS	-31,403	11016,36	11190,7	10648,74	9585,52	7932,64	5831,98	4772,68
Santa Vitória do Palmar	RS	-33,532	12019,6	12286,99	11761,42	10594,05	8686,18	6189,51	5645,15

Tabela S4. Produtividade potencial (PP) média do milho simulada pelo *ensemble* dos modelos DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST-Maize, MONICA-Maize e MZA-FAO para o cenário climático futuro de longo prazo (2070-2099) e sob influência do RCP 8.5.

Cidade	UF	Latitude	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Balsas	MA	-7,5294	6746,96	6667,78	6972,19	7335,84	7567,01	7681,19	7787,59
Marianópolis do Tocantins	TO	-9,5764	6797,2	7149,26	7486,06	7687,98	7619,1	7554,24	7627,13
Remanso	BA	-9,6257	9061,21	8938,17	8916,89	8996,05	8964,77	8821,17	8734,68
Santa Rita de Cássia	BA	-11,003	7612,2	8026,13	8596,23	8904,92	8721,36	8265,8	7874,28
Barra	BA	-11,085	8666,65	8770,51	9034,16	9264,71	9199,55	8995,55	8894,56
Morro do Chapéu	BA	-11,548	11013,67	11003,48	11010,71	10871,1	10334,28	9585,34	9088,58
Gurupi	TO	-11,746	6787,88	7088,14	7363,04	7476,76	7395,2	7316,86	7472,67
Itaberaba	BA	-12,524	7710,1	7926,03	8018,73	7974,32	7509,37	7029,47	6716,96
Sorriso	MT	-12,555	6319,57	6943,41	7333,48	7390,63	7302,85	7104,44	6992,47
Bom Jesus da Lapa	BA	-13,251	8521,87	8799,9	9275,32	9595,36	9426,38	9001,13	8706,16
Sapezal	MT	-13,304	7793,41	8275,29	8465,51	8484,71	8404,61	8328,48	8416,11
Correntina	BA	-13,332	8538,27	8833,95	9302,96	9651,26	9629,26	9395,19	9312,14
Posse	GO	-14,089	8122,14	8409,71	8762,44	9049,29	8967,97	8665,22	8561,77
Tangará da Serra	MT	-14,65	6597,68	7063,69	7431,72	7525,33	7360,38	7125,16	7022,24
Vitória da Conquista	BA	-14,886	10622,44	10760,65	10875,51	10856,71	10233,07	9369,39	8766,27
Formoso	MG	-14,95	8250,1	8595,79	8912,96	9102,91	8866,5	8502,01	8373,16
Januária	MG	-15,448	8370,28	8742,93	9293,7	9676,26	9605,75	9287,23	9148,11
Formosa	GO	-15,549	8643,75	8967,98	9413,89	9716,78	9654,46	9466,97	9408,8
Aragarças	GO	-15,903	7080	7468,9	7750,35	7974,36	7949,28	7844,95	7844,33
São Romão	MG	-16,363	8110,23	8830,88	9389,1	9588,59	9289,32	8755,16	8380,75
Rondonópolis	MT	-16,463	6206,51	6730,57	7265,76	7479,92	7374,07	7145,98	7001,99
Unaí	MG	-16,554	8169,79	8957,79	9691,3	10022,79	9745,75	9247,52	8935,35
Juramento	MG	-16,775	9695,88	10071,49	10578,06	10745	10457,29	9955,27	9659,23

Cristalina	GO	-16,785	8759,14	9531,93	10214	10481,15	10083,79	9504,4	9174,97
Paraúna	GO	-16,963	7884,9	8551,79	9266,89	9632,38	9462,09	9122,21	8958,04
Caiapônia	GO	-16,967	7937,63	8481,09	9060,93	9372,92	9259,86	9006,77	8795,16
Alto Araguaia	MT	-17,339	8709,88	9350,42	9791,32	9905,79	9575,89	9213	8997,65
Morrinhos	GO	-17,745	7235,9	8053,17	8581,03	8786,88	8541,27	8172,6	7821,39
Alto Taquari	MT	-17,841	8577,36	9211,76	9608,21	9614,28	9217,45	8806,43	8574,32
Catalão	GO	-18,155	8679,1	9347,78	9877,21	9920,39	9482,96	8993,26	8685,06
Três Marias	MG	-18,201	8520,09	9097,66	9649,28	9854,33	9505,06	8980,6	8691,7
Costa Rica	MS	-18,493	9215,65	9893,43	10229,12	10204,24	9772,22	9251,84	8883,84
Coxim	MS	-18,512	6611,78	7129,37	7596,15	7729,26	7473,19	7031,88	6778,03
Curvelo	MG	-18,748	9328,64	9926,8	10575,78	10736,88	10427,78	9849,58	9449,48
Chapadão do Sul	MS	-18,802	8011,66	8438,47	8765,36	8850,51	8499,51	8146,49	7967,2
Ituiutaba	MG	-18,953	7840,99	8513,31	9022,11	9172,32	8844,27	8416,07	8103,74
São Simão	GO	-18,969	7245,81	7872,96	8350,57	8519,72	8226,24	7807,38	7476,71
Patrocínio	MG	-18,997	9271,95	9739,86	10198,08	10308,15	9829,62	9209,85	8896,21
Dores do Indaiá	MG	-19,482	8728,43	9335,76	9927,05	10176,6	9783,33	9144,43	8703,15
Paranaíba	MS	-19,664	8624,02	9018,96	9214,7	9182,76	8839	8372,3	8092,02
Florestal	MG	-19,885	9972,06	10690,01	11228,48	11225,93	10597,66	9791,65	9220,84
Conceição das Alagoas	MG	-19,986	8162,34	8782,24	9103,94	9099,69	8680,58	8248,17	7958
Jales	SP	-20,165	7597,58	8393,08	8962,39	9001,6	8516,09	7920,63	7478,56
Votuporanga	SP	-20,403	7854,02	8503,94	8907,19	8915,92	8500,64	7994,03	7646,11
Campo Grande	MS	-20,447	6328,7	6689,64	6913,68	6896,18	6517,11	5998,15	5669,92
Franca	SP	-20,584	8259,36	8593,41	8808,93	8898,54	8519,9	8004,31	7736,55
Catanduva	SP	-21,122	9203,17	9658,44	9710,2	9474,62	8986,31	8480,1	8151,46
Valparaíso	SP	-21,319	8454,1	9039,61	9260,59	9103,77	8550,07	7976,77	7602,04
Pradópolis	SP	-21,338	9275,77	9933,02	10229,32	10121,54	9451,66	8672,04	8100,82

Maracaju	MS	-21,609	8025,23	8574,79	8658,78	8409,4	7704,27	6993,3	6521,3
Lins	SP	-21,666	8376,31	8868,01	8986,96	8803,45	8301,93	7775,77	7453,48
Casa Branca	SP	-21,781	9826,39	10125,41	10243,93	10134,13	9519,71	8835,97	8321,15
São Lourenço	MG	-22,126	10824,06	10777,44	10703,18	10497,63	10004,89	9172,65	8332,27
Ivinhema	MS	-22,301	7730,4	8088,54	8044,82	7816,32	7254,35	6670,74	6314,39
Bauru	SP	-22,358	8160,57	8336,39	8298,11	8068,44	7603,16	6979,36	6639,72
Itapira	SP	-22,415	10392,95	10755,77	10570,54	10101,46	9372,09	8684,67	8193,11
Piracicaba	SP	-22,703	9673,01	9986,15	9918,2	9598,98	8932,19	8241,53	7754,24
Ourinhos	SP	-22,949	9142,21	9408,3	9280,71	8936,44	8323,57	7766,07	7353,21
Amambai	MS	-23,003	9084,3	9536,46	9473,81	9115,33	8252,1	7353,37	6587,15
São Luíz do Paraitinga	SP	-23,228	10621,53	10888,85	10787,31	10320,42	9355,45	8341,55	7705,37
Londrina	PR	-23,326	10364,22	10486,43	10231,3	9782,32	9080,33	8308,87	7777,21
Cidade Gaúcha	PR	-23,359	9041,1	9406,03	9252,66	8832,92	7998,28	7246,63	6743,57
Sorocaba	SP	-23,48	10689,18	10597,25	10161,12	9658,19	8999,73	8264,38	7751,84
Japira	PR	-23,773	10945,17	11027,82	10675,32	10101,2	9091,55	8142,42	7516,41
Nova Tebas	PR	-24,437	10719,39	10761	10286,63	9673,25	8669,23	7642,25	6897,5
Iguape	SP	-24,672	8339,62	8596,74	8463,43	8022,87	7336,91	6547,93	5924,32
Castro	PR	-24,787	10619,23	10663,84	10244,23	9595,94	8604,32	7569,58	6809,03
Ivaí	PR	-25,011	10337,33	10558,77	10173,41	9467,05	8343,36	7227,14	6419,38
Dois Vizinhos	PR	-25,699	10259,98	10462,92	10152,44	9550,68	8417,49	7248,23	6334,25
Dionísio Cerqueira	SC	-26,287	10771,27	10922,21	10606,59	9941,16	8764,74	7513,47	6339,15
Major Vieira	SC	-26,394	11315,68	11408,05	10935,55	10029,88	8625,13	7107,82	6198,5
Clevelândia	PR	-26,417	11818,51	11922,97	11462,22	10612,75	9170,95	7588,73	6369
São Miguel do Oeste	SC	-26,786	10564,25	10600,1	10189,41	9486,56	8290,69	7119,86	6110,23
Caçador	SC	-26,819	11107,31	11270,01	10873,85	9991,57	8451,04	6702,12	5715,83
Indaial	SC	-26,914	10107,28	10251,64	9896,11	9212,82	8096,96	6910,42	6062,4

Rio do Campo	SC	-26,938	10798,86	10850,12	10423,62	9622,28	8296,04	6975	6051,28
Xanxerê	SC	-26,939	11409,88	11535,92	11064,52	10197,33	8787,21	7405,06	6274,93
Joaçaba	SC	-27,169	11701,7	11759,05	11284,79	10375,53	8853,16	7060,89	5943,42
Curitibanos	SC	-27,289	11499,75	11581,5	11106,89	10125,72	8510,86	6730,08	5719,64
Ituporanga	SC	-27,418	11142,63	11247,88	10838,3	9956,23	8489,47	6938,28	6013,11
Erechim	RS	-27,658	10939,34	10991,08	10520,65	9667,21	8318,43	6883,18	5726,55
Lagoa Vermelha	RS	-28,223	11650,64	11748,12	11265,69	10201,3	8524,91	6692,24	5524,68
São Luiz Gonzaga	RS	-28,417	9945,2	9747,96	9179,61	8532,83	7534,86	6484,14	5435,77
Cruz Alta	RS	-28,626	11720,36	11738,68	11369,97	10573,99	9158,38	7500,9	6148,48
São Borja	RS	-28,65	9935,49	9809,73	9286,8	8574,62	7511,48	6451,15	5448,23
Soledade	RS	-28,859	11795,73	11875,7	11379,65	10267,97	8663,22	7012,52	5733,77
Caxias do Sul	RS	-29,196	11548,44	11684,11	11326,1	10450,31	8981,53	7141,36	6009,14
Alegrete	RS	-29,709	10182,31	9999,89	9470,54	8709,15	7556,92	6304,12	5106,51
Santa Maria	RS	-29,725	8982,62	8900,2	8452,05	7723,07	6683,2	5450,3	4426,59
Porto Alegre	RS	-30,054	8750,55	8720,91	8249,74	7492,72	6415,25	5332,89	4438,55
São Gabriel	RS	-30,341	11137,68	11072,57	10499,09	9468,03	8067,77	6357,69	4969,7
Encruzilhada do Sul	RS	-30,543	11680,12	11670,18	11133,93	10098,15	8630,98	6873,93	5630,68
Santana do Livramento	RS	-30,751	9155,1	9143,23	8764,01	7968,78	6802,15	5334,91	4174,38
Camaquã	RS	-30,808	10819,37	10659,63	10100,35	9174,08	7837,22	6426,51	5277,37
Bagé	RS	-31,306	11849,56	11826,36	11253,75	10160,82	8620,1	6595,23	5193,46
Canguçu	RS	-31,403	11050,68	10999,6	10375,63	9293,97	7819,46	6157,12	5029,68
Santa Vitória do Palmar	RS	-33,532	12242,35	12347,06	11750,71	10549,74	8867,12	6654,13	5736,56

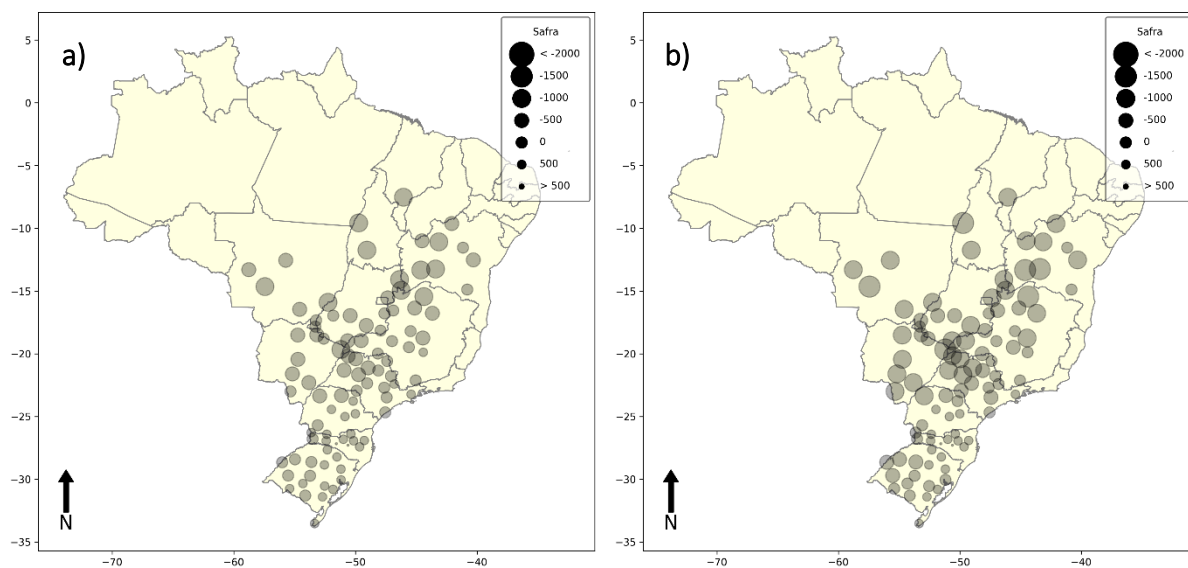


Figura S1. Diferença entre a produtividade potencial do milho simulada durante a safra (semeadura entre os meses de setembro a dezembro) no médio prazo (2040-2069) e pelos RCPs 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação à *baseline* (1980-2009).

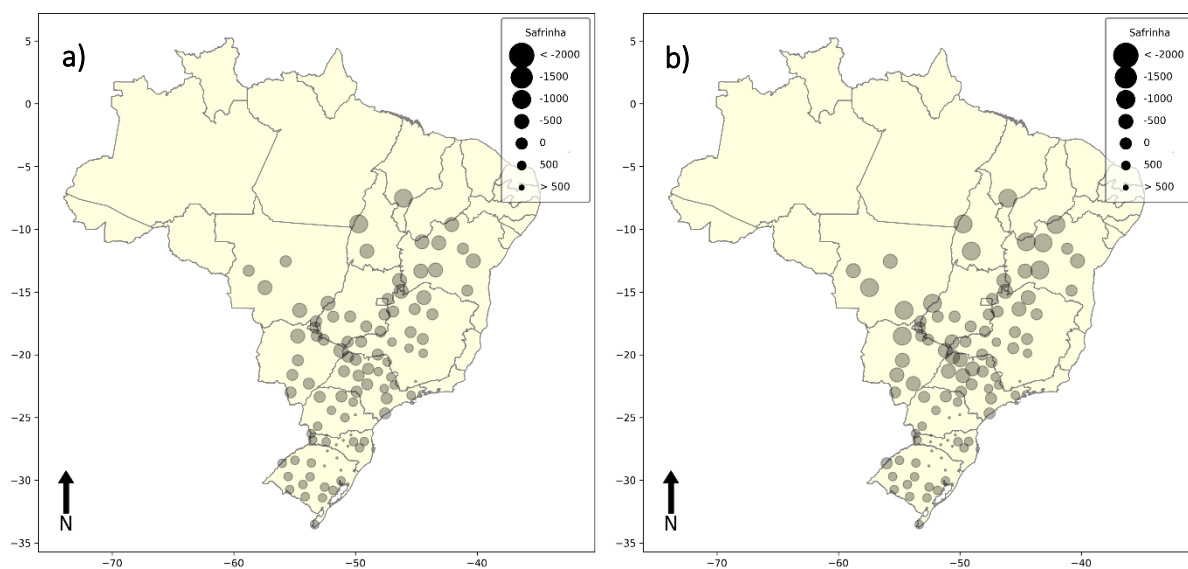


Figura S2. Diferença entre a produtividade potencial do milho simulada durante a safrinha (semeadura entre os meses de janeiro a março) no médio prazo (2040-2069) e pelos RCPs 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação à *baseline* (1980-2009).

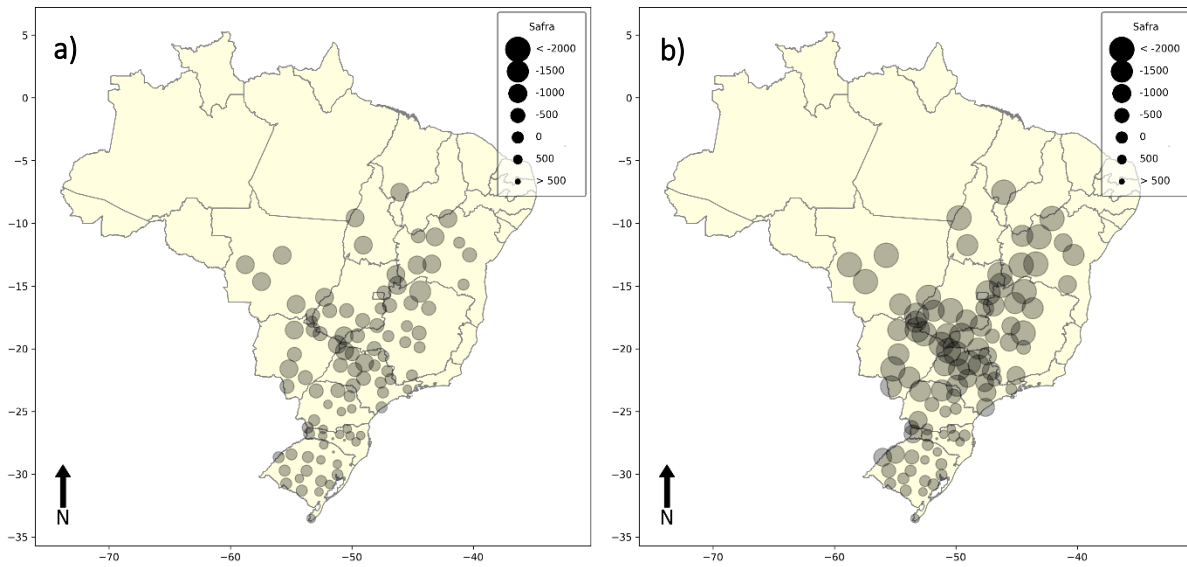


Figura S3. Diferença entre a produtividade potencial do milho simulada durante a safra (semeadura entre os meses de setembro a dezembro) no longo prazo (2070-2099) e pelos RCPs 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação à *baseline* (1980-2009).

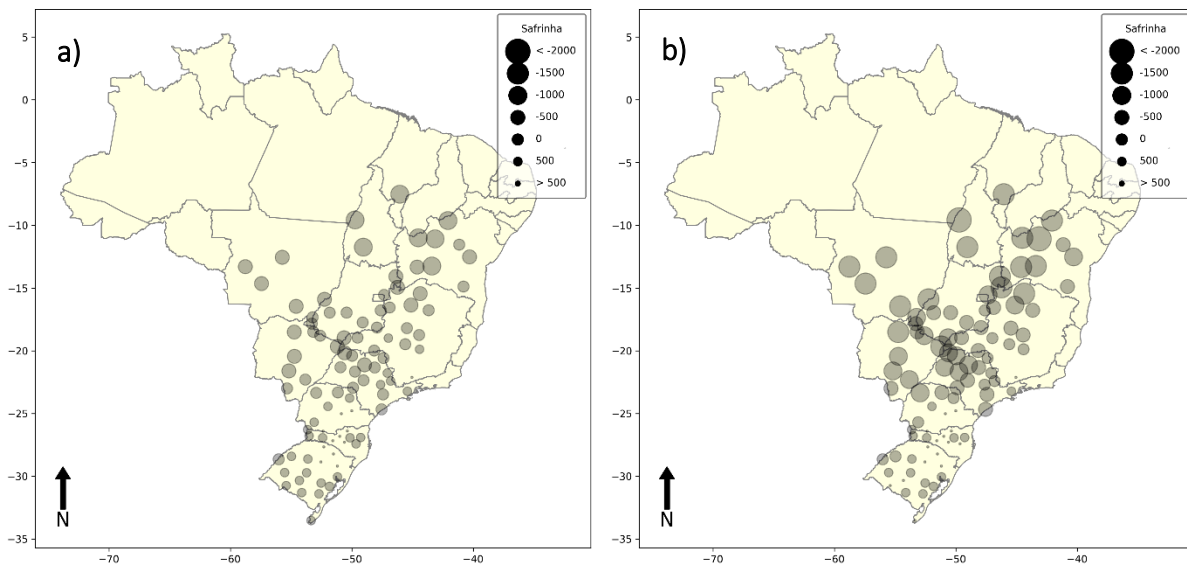


Figura S4. Diferença entre a produtividade potencial do milho simulada durante a safrinha (semeadura entre os meses de janeiro a março) no longo prazo (2070-2099) e pelos RCPs 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação à *baseline* (1980-2009).

Tabela S9. Produtividade atingível (PA) média do milho simulada pelo *ensemble* dos modelos DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST-Maize, MONICA-Maize e MZA-FAO para o cenário climático futuro de médio prazo (2040-2069) e sob influência do RCP 4.5

Cidade	UF	Latitude	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Balsas	MA	-7,5294	2168,66	3573,77	5278,09	6132,76	5912,75	4803,82	3581,64
Marianópolis do Tocantins	TO	-9,5764	3420,18	5395,79	7033,15	7962,73	7765,03	6769,07	5301,97
Remanso	BA	-9,6257	1892,57	2117,9	2746,67	3252,71	3365,44	2820,53	2240,41
Santa Rita de Cássia	BA	-11,003	2088,51	3496,55	5486,33	6252,12	5617,3	4089,61	2862,25
Barra	BA	-11,085	1613,37	2039,48	2914,37	3420,46	3312	2785,3	2358,16
Morro do Chapéu	BA	-11,548	5418,54	5720,92	5947,95	5900,47	5931,65	5499,66	5501,28
Gurupi	TO	-11,746	2688,55	4308,22	6327,15	7187,13	6754,74	5706,57	4519,1
Itaberaba	BA	-12,524	1452,19	1642,82	2236,91	2337,08	2342,72	2270,74	2413,08
Sorriso	MT	-12,555	4240,11	6336,26	7601,1	7775,98	7190,87	6049,13	4786,4
Bom Jesus da Lapa	BA	-13,251	1757,96	2833,72	4471,84	5163,7	4867,5	3758,9	2784,12
Sapezal	MT	-13,304	6517,37	8627,61	9390,41	9461,7	9009,64	8081,28	6973,86
Correntina	BA	-13,332	3921,75	5126,47	6259,18	6266,42	5292,18	4256,22	3736,01
Posse	GO	-14,089	4549,99	6377,89	7999,6	8176,58	7177,11	5307,01	4025,08
Tangará da Serra	MT	-14,65	4599,74	6384,53	7702,82	7919,63	7465,99	6420,27	5300,29
Vitória da Conquista	BA	-14,886	5299,67	5688,88	5793,46	5452,8	4980,48	4375,6	4214,31
Formoso	MG	-14,95	4240,81	5785,15	7436,45	7436,45	6336,16	4828,89	3961,34
Januária	MG	-15,448	2241,94	3563,52	5469,28	6075,37	5609,49	4496,58	3557,78
Formosa	GO	-15,549	5413,37	7657,26	9089,6	9106,45	8110,45	6208,73	4833,19
Aragarças	GO	-15,903	4128,61	6035,26	7375,31	7608,56	6681,87	5196,46	3851,35
São Romão	MG	-16,363	2954,1	4919,2	6480,34	6492,47	5452,56	4086,38	3325,83
Rondonópolis	MT	-16,463	2923,04	4625,31	6312,25	6741,47	5986,05	4727,88	3445,5
Unaí	MG	-16,554	4401,09	6179,36	7808,25	7760,24	6633,98	5126,47	4023,83
Juramento	MG	-16,775	3872,15	5474	7345,63	7814,66	7072,91	5523,93	4503,73

Cristalina	GO	-16,785	5505,11	7833,18	9391,03	9383,6	8061,51	6020,72	4550,67
Paraúna	GO	-16,963	4923,75	7285,25	9027,32	9415,4	8597,49	7378,03	6148,52
Caiapônia	GO	-16,967	5751,41	7853,5	9218,18	9301,59	7969,5	6052,61	4613,99
Alto Araguaia	MT	-17,339	8060,23	9574,59	10024,55	9768,29	8443,65	6686,03	5309,51
Morrinhos	GO	-17,745	4116,32	6165,87	7654,45	7993,3	6984,51	5270,05	3947,81
Alto Taquari	MT	-17,841	7998,78	9488,96	9874,63	9632,97	8498,74	6916,79	5367,13
Catalão	GO	-18,155	5042,3	7495,43	9297,87	9280,52	8085,63	6250,58	4754,78
Três Marias	MG	-18,201	4315,32	5955,34	7527,94	7462,08	6512,68	5210,94	4342
Costa Rica	MS	-18,493	7373,84	9105,74	9910,93	9841,49	8808,47	7302,34	5782,2
Coxim	MS	-18,512	3125,86	4246,26	5350,06	5686,61	5071,48	4207,09	3401,86
Curvelo	MG	-18,748	4303,39	6560,18	8432,23	8221,86	7105,73	5695,19	4741,06
Chapadão do Sul	MS	-18,802	7767,64	8687,97	8904,37	8518,24	7392,54	6335,59	5418,91
Ituiutaba	MG	-18,953	3759,81	6005,76	7837,9	7939,71	6847,44	5195,99	4035,09
São Simão	GO	-18,969	5098,18	6911,33	8097,91	8125	7255,91	6179,66	5287,24
Patrocínio	MG	-18,997	7361,71	8930,05	9854,78	9859,8	9053,8	7954,98	6897,99
Dores do Indaiá	MG	-19,482	5915,03	7713,77	9212,47	9558,63	8518,64	7124,03	5923,52
Paranaíba	MS	-19,664	4904,37	6393,04	7668,57	7771	6510,64	5006,16	3919,87
Florestal	MG	-19,885	7316,86	9245,24	10384,15	9921,11	8678,12	6978,61	5692,93
Conceição das Alagoas	MG	-19,986	5804	7958,08	8938,51	8851,47	7816,85	6692,21	5838,23
Jales	SP	-20,165	3625,94	5302,06	6871,75	7664,43	7013,54	5791,95	4821,79
Votuporanga	SP	-20,403	4012,47	5775,06	7341,63	7812,71	7042,57	5864,19	4930,48
Campo Grande	MS	-20,447	3876,5	4878,53	5582,05	5758,05	5108,75	4323,75	3626,31
Franca	SP	-20,584	7305,55	8696,21	9129,43	8902,09	7919,56	6929,46	5999,93
Catanduva	SP	-21,122	6531,21	8092,66	8953,49	8611,84	7586,58	6617,56	6170
Valparaíso	SP	-21,319	5062,69	6334,63	7122,85	7369,76	6666,98	5944,65	5528,51
Pradópolis	SP	-21,338	6507,35	8743,92	9863,09	9605,74	8314,85	7095,73	6064,76

Maracaju	MS	-21,609	5019,56	5938,22	6177,18	5989,23	5213,6	4668,37	4359,98
Lins	SP	-21,666	5323,25	6460,8	7139,31	7091,52	6295,01	5451,86	5099,75
Casa Branca	SP	-21,781	6905,28	8554,87	9250,48	9110,03	7974,61	6899,24	5731,81
São Lourenço	MG	-22,126	9928,16	10525,86	10491,15	10108,3	9356,87	8359,78	7284,92
Ivinhema	MS	-22,301	6705,67	7015,21	6964,16	6721,6	6203,72	6025,54	5922,22
Bauru	SP	-22,358	6434,48	7109,32	7312,37	7134,34	6464,31	6043,13	5845,14
Itapira	SP	-22,415	7363,82	8493,55	9037,99	8770,63	7844,6	6997,16	6283,13
Piracicaba	SP	-22,703	8266,44	9198,19	9577,59	9414,13	8645,18	7972,74	7486,3
Ourinhos	SP	-22,949	7710,62	8439,59	8544,18	8223,47	7727,58	7411,79	7038,46
Amambai	MS	-23,003	8513,93	8601,47	8392,84	7984,46	7449,2	7180,28	6719,91
São Luíz do Paraitinga	SP	-23,228	10157,08	10616,35	10521,78	9992,02	9232,19	8484,33	8064,63
Londrina	PR	-23,326	8827,41	9282,73	9305,78	8709,5	8041,8	7771,78	7571,77
Cidade Gaúcha	PR	-23,359	7666,58	7994,72	7961,49	7495,33	6904,05	6804,2	6598,74
Sorocaba	SP	-23,48	9218,94	9783	9599,29	8897,66	7877,4	7273,98	7345,55
Japira	PR	-23,773	9954,69	10306,38	10096,6	9395,38	8667,85	8253,26	7861,28
Nova Tebas	PR	-24,437	9630,98	9477,49	9084,19	8463,37	8113,5	7875,64	7552,68
Iguape	SP	-24,672	8482,27	8662,03	8560,59	8162,64	7488,38	6840,66	6537,83
Castro	PR	-24,787	9994,69	10011,48	9858,82	9408,56	8836,49	8166,83	7758,3
Ivaí	PR	-25,011	9836,34	9854,45	9647,38	9119,15	8454,69	7788,98	7370,98
Dois Vizinhos	PR	-25,699	9695,8	9680,42	9461,44	8761,21	8041,82	7625,86	7233,75
Dionísio Cerqueira	SC	-26,287	10388,84	10206,5	10041,58	9435,28	8680,16	8121,28	7605,34
Major Vieira	SC	-26,394	10723,86	10525,41	10247,05	9701,32	9014,32	8271,83	8227,66
Clevelândia	PR	-26,417	11280,59	11122,01	10739,86	10028,5	9276,83	8424,03	8007,54
São Miguel do Oeste	SC	-26,786	9961,53	9721,31	9493,16	8956,65	8259,97	7751,66	7270,66
Caçador	SC	-26,819	10283,68	10062,76	9814,03	9322,01	8524,98	7763,9	7734,94
Indaial	SC	-26,914	9624,53	9613,33	9409,19	8833,21	8127,53	7538,94	7326,98

Rio do Campo	SC	-26,938	10312,77	10157,9	9923,93	9295,18	8505,04	7838,4	7717,25
Xanxerê	SC	-26,939	10586,78	10376,7	10139,14	9470,3	8729,82	8073,79	7621,73
Joaçaba	SC	-27,169	11005,05	10851,99	10546,87	9901,6	8986,86	8146,96	8161,24
Curitibanos	SC	-27,289	10949,96	10702,87	10273,13	9625,84	8760,89	8040,04	8164,01
Ituporanga	SC	-27,418	10501,94	10454,15	10161,93	9400,8	8661,55	8065,48	8068,67
Erechim	RS	-27,658	9975,81	9759,32	9424,12	8835,53	8151,89	7529,76	7219,88
Lagoa Vermelha	RS	-28,223	10896,86	10651,16	10271,24	9557,08	8670,1	7859,94	7823,52
São Luiz Gonzaga	RS	-28,417	8297,49	7768,38	7531,66	7366,63	7214,15	7001,47	6557,25
Cruz Alta	RS	-28,626	10314,42	10036,88	10084,49	9704,08	8949,78	8168,35	7821,63
São Borja	RS	-28,65	7609,09	6981,12	6594,27	6336,87	6290,59	6275,21	6115,5
Soledade	RS	-28,859	10177,17	9850,2	9616,01	9164,06	8567,59	7866,39	7703,69
Caxias do Sul	RS	-29,196	10916,41	10744,45	10483,32	9940,25	9098,5	8360,81	8433,78
Alegrete	RS	-29,709	7403,51	6675,44	6593,99	6400,66	6399,5	6459,68	6323,82
Santa Maria	RS	-29,725	8379,24	8305,93	8093,05	7558,83	6876,02	6170,31	5825,08
Porto Alegre	RS	-30,054	7413,02	7012,06	6717,63	6229,64	5779,3	5515,35	5340,03
São Gabriel	RS	-30,341	8614,35	7879,99	7560,83	7403,7	7266,34	7004,65	6900,23
Encruzilhada do Sul	RS	-30,543	9868,25	9582,69	9493,92	8880,82	8356,33	7906,04	7953,07
Santana do Livramento	RS	-30,751	8275,33	8009,09	8046,76	7792,73	7115,09	6491,89	6301,91
Camaquã	RS	-30,808	8659,56	8108,21	7933,85	7605,35	7182,99	7085,37	7087,29
Bagé	RS	-31,306	8960,48	8368,02	8383,32	8279,37	7829,48	7416,25	7489,74
Canguçu	RS	-31,403	9378,43	8983,56	8657,61	8168,58	7740,39	7386,12	7459
Santa Vitória do Palmar	RS	-33,532	8553,33	8320,59	8672,98	8639,83	8333,06	8276,17	8797,34

Tabela S10. Produtividade atingível (PA) média do milho simulada pelo *ensemble* dos modelos DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST-Maize, MONICA-Maize e MZA-FAO para o cenário climático futuro de médio prazo (2040-2069) e sob influência do RCP 8.5.

Cidade	UF	Latitude	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Balsas	MA	-7,5294	2059,7	3275,93	5024,89	5601,25	5336,85	4197,74	3028,17
Marianópolis do Tocantins	TO	-9,5764	2948,32	4827,23	6947,03	7589,24	7364,28	6224,16	4809,84
Remanso	BA	-9,6257	1632,9	1888,13	2539,76	3032,43	3192,54	2616,02	2031,6
Santa Rita de Cássia	BA	-11,003	1645,24	2801,16	4659,75	5676,29	5243,22	3861,21	2683,75
Barra	BA	-11,085	1461,98	1828,6	2593,23	2986,99	2931,85	2488,47	2116,55
Morro do Chapéu	BA	-11,548	5383,61	5542,67	5674,39	5543,08	5446,88	5033,35	5151,96
Gurupi	TO	-11,746	2465,73	4158,72	6281,48	6889,38	6353,25	5277,03	4152,34
Itaberaba	BA	-12,524	1228,15	1402,84	2016,42	2287,52	2412,22	2214,16	2243,38
Sorriso	MT	-12,555	3230,22	5107,34	6891,28	7260,64	6644,45	5470,69	4268,66
Bom Jesus da Lapa	BA	-13,251	1606,68	2540,52	4177,14	4539,91	4217,62	3281,7	2475,29
Sapezal	MT	-13,304	5345,91	7222,43	8579,31	8778,58	8284,47	7297,39	6101,05
Correntina	BA	-13,332	3519,52	4495,08	5725,76	5786,97	4927,61	3984,8	3519,3
Posse	GO	-14,089	3986,26	5753,59	7609,38	7906,47	7007,24	5139,48	3796,89
Tangará da Serra	MT	-14,65	3675,06	5374,13	6950,11	7312,93	6947,88	6038,97	5021,57
Vitória da Conquista	BA	-14,886	4527,59	4863,34	5089,56	5084,59	4748,15	4161,48	3998,93
Formoso	MG	-14,95	3889,02	5261,21	7128,72	7113,73	6050,84	4527,6	3704,19
Januária	MG	-15,448	1899,76	3185,05	5071,32	5693,18	5246,68	4095,05	3219,78
Formosa	GO	-15,549	4812,87	6502,42	8406,67	8729,65	7825,99	6001,48	4613,74
Aragarças	GO	-15,903	3458,01	5458,25	6886,28	7103,09	6157,75	4624,54	3341,01
São Romão	MG	-16,363	2531,56	4298	6209,71	6152,6	5180,17	3882,53	3148,99
Rondonópolis	MT	-16,463	2439,57	3982,16	5763,22	6281,82	5570,59	4415,73	3261,57
Unaí	MG	-16,554	3946,34	5498,03	7310,99	7352,07	6244,78	4918,26	3934,8
Juramento	MG	-16,775	3348,81	4537,74	6584,98	7163,22	6576,96	5042	4063

Cristalina	GO	-16,785	5230,59	7300,67	9105,46	9095,93	7757,12	5760,29	4360,32
Paraúna	GO	-16,963	4386,54	6558,04	8545,19	9063,67	8192,98	6917,16	5774,62
Caiapônia	GO	-16,967	4532,69	6804,54	8475,38	8787,67	7508,02	5601,85	4256,73
Alto Araguaia	MT	-17,339	6854,26	8700,36	9526,18	9393,58	8283,54	6498,99	5150,14
Morrinhos	GO	-17,745	3656,73	5666,01	7250,03	7558,18	6551,99	4873,63	3647,96
Alto Taquari	MT	-17,841	7047,03	8760,66	9460,05	9342,04	8306,95	6638,47	5204,72
Catalão	GO	-18,155	4623,02	7117,99	8974,76	8935,93	7632,71	5743,39	4325,53
Três Marias	MG	-18,201	3943,58	5516,68	7488,83	7521,3	6470,25	5058,1	4161,45
Costa Rica	MS	-18,493	6514,15	8547,27	9535,24	9496,38	8429,6	6785,26	5378
Coxim	MS	-18,512	2540,54	3641,26	4882,17	5285,38	4672,03	3809,56	3106,95
Curvelo	MG	-18,748	3904,99	6180,81	8209,42	8245,07	7164,11	5654,67	4618,94
Chapadão do Sul	MS	-18,802	6692,18	7903,52	8395,19	8085,59	7025,34	5844,88	4999,44
Ituiutaba	MG	-18,953	3368,77	5438,85	7245,01	7529,48	6560,09	4925,91	3779,43
São Simão	GO	-18,969	4440,07	6358,08	7592,47	7627,32	6773,43	5775,9	5003,32
Patrocínio	MG	-18,997	6975,41	8783,48	9771,39	9633,29	8649,61	7492,98	6593,85
Dores do Indaiá	MG	-19,482	5357,63	7207,09	8857,06	9192,25	8171,94	6850,7	5818,77
Paranaíba	MS	-19,664	4022,52	5704,78	6993,8	7415,9	6426,76	5174,84	4290,56
Florestal	MG	-19,885	6199,5	7966,73	9726,97	9847,57	8568,07	6861,27	5632,12
Conceição das Alagoas	MG	-19,986	5445,1	7411,62	8456,35	8450,7	7565,22	6555,52	5799,18
Jales	SP	-20,165	3191,87	4956,27	6458,6	7234,38	6733,28	5561,51	4575,34
Votuporanga	SP	-20,403	3422,98	5073,24	6744,08	7277,58	6729,1	5645,52	4789,7
Campo Grande	MS	-20,447	3390,11	4356,23	5074,74	5371,32	4874,35	4110,75	3456,56
Franca	SP	-20,584	7072,63	8497,66	8898,27	8624,63	7680,32	6686,45	5847,47
Catanduva	SP	-21,122	5373,69	6890,4	7952,35	8010,53	7143,13	6228,35	5810,57
Valparaíso	SP	-21,319	4191,24	5468,67	6424,04	6800,17	6261,63	5504,36	5048,2
Pradópolis	SP	-21,338	6068,13	8144,39	9274,11	9167,85	8111,11	7001,1	6141,48

Maracaju	MS	-21,609	4204,17	5130,34	5482,24	5377,17	4541,48	4020,38	3791,08
Lins	SP	-21,666	4449,15	5700,98	6535,46	6613,29	5949,77	5119,14	4758,84
Casa Branca	SP	-21,781	6267,99	7829,2	8612,47	8590,84	7590,33	6663,26	5674,73
São Lourenço	MG	-22,126	9335,52	9973,66	10125,24	9780,14	9066,76	8164,09	7188,86
Ivinhema	MS	-22,301	6173,43	6506,99	6518,48	6234,37	5742,14	5590,76	5638,02
Bauru	SP	-22,358	5723,92	6500,47	6824,66	6673,29	6035,49	5587,27	5510,72
Itapira	SP	-22,415	6498,63	7653,79	8376,67	8372,51	7466,3	6628,99	5979,27
Piracicaba	SP	-22,703	7353,58	8347,32	8943,37	8921,83	8250,96	7623,17	7238,63
Ourinhos	SP	-22,949	7186,5	7854,47	8021,71	7710,06	7220,6	6983,53	6783,35
Amambai	MS	-23,003	7383,57	7746,39	7778,63	7430,19	6966,95	6779,98	6294,89
São Luíz do Paraitinga	SP	-23,228	9457,36	10094,59	10224,62	9810,38	9017,72	8273,9	7874,41
Londrina	PR	-23,326	8591,61	8878,12	8889,59	8270,44	7548,39	7282,44	7372,83
Cidade Gaúcha	PR	-23,359	7134,13	7403,93	7453,71	7091,84	6509,94	6411,4	6340,84
Sorocaba	SP	-23,48	8567,14	9219,02	9100,43	8428,66	7474,38	6919,07	7117,31
Japira	PR	-23,773	9501,67	9851,37	9749,07	9038,24	8241,17	7947,07	7690,77
Nova Tebas	PR	-24,437	9109,69	9126,16	8842,96	8253,24	7770,24	7638,84	7434
Iguape	SP	-24,672	8201,05	8322,01	8207,52	7799,48	7182,09	6577,94	6295,25
Castro	PR	-24,787	9829,86	9840,44	9660,26	9206,91	8674,25	8173,29	7779,94
Ivaí	PR	-25,011	9645,64	9727,54	9505,66	8955,87	8276,21	7727,68	7345,57
Dois Vizinhos	PR	-25,699	9321,67	9345,51	9110,68	8474,37	7821,48	7425	7034,88
Dionísio Cerqueira	SC	-26,287	10123,81	9908,48	9625,4	9070,9	8377,39	7866,68	7325,3
Major Vieira	SC	-26,394	10713,27	10449,21	10091,74	9515,38	8841,96	8139,12	8056,95
Clevelândia	PR	-26,417	11081,5	10950,51	10601,71	9901,34	9114,02	8353,98	7873,26
São Miguel do Oeste	SC	-26,786	9778,91	9487,39	9095,6	8551,86	7944,41	7442,56	7010,45
Caçador	SC	-26,819	10204,89	10011,66	9758,24	9206,63	8455,62	7681,63	7548,42
Indaial	SC	-26,914	9305,93	9343,25	9188,83	8674,07	7962,61	7408,5	7162,39

Rio do Campo	SC	-26,938	10191,17	10004,68	9717,1	9065,67	8267,49	7665,57	7461,81
Xanxerê	SC	-26,939	10342,18	10156,61	9936,57	9252,61	8474,92	7894,24	7445,17
Joaçaba	SC	-27,169	10900,9	10757,73	10466,14	9820,32	8939,47	8060,07	7951,26
Curitibanos	SC	-27,289	10909,5	10593,59	10080,48	9426,55	8675,55	7900,57	7883,52
Ituporanga	SC	-27,418	10428,62	10324,16	10028,43	9320,62	8541,56	7871,48	7738,93
Erechim	RS	-27,658	9784,04	9549,95	9223,95	8647,9	7928,05	7376,93	7070,74
Lagoa Vermelha	RS	-28,223	10885,34	10620,41	10224,69	9524,15	8597,05	7715,36	7572,09
São Luiz Gonzaga	RS	-28,417	8251,25	7727,21	7419,71	7126,25	6842,71	6640,54	6299,19
Cruz Alta	RS	-28,626	9946,12	9533,52	9456,14	9117,04	8494	7924,38	7609,33
São Borja	RS	-28,65	7383,46	6635,88	6166,17	5893,21	5844,12	5934,63	5887,5
Soledade	RS	-28,859	9940,05	9595,4	9373,4	8972,35	8408,23	7835,37	7578,59
Caxias do Sul	RS	-29,196	10890,44	10604,43	10272,22	9805,56	9024,89	8241,73	8203,47
Alegrete	RS	-29,709	7036,32	6223,76	5992,39	5839,95	5870,17	6085,55	6032,06
Santa Maria	RS	-29,725	8255,94	8055,3	7781,21	7277,94	6632,23	6020,69	5658,94
Porto Alegre	RS	-30,054	7384,08	6900,67	6559,27	6078,99	5595,22	5370,35	5181,92
São Gabriel	RS	-30,341	8552,3	7765,2	7422,6	7275,96	7074,18	6805,99	6680,7
Encruzilhada do Sul	RS	-30,543	9752,99	9469,02	9444,75	8895,97	8246,13	7709,38	7711,74
Santana do Livramento	RS	-30,751	8378,17	8033,39	7951,92	7590,75	6837,85	6269,29	6074,15
Camaquã	RS	-30,808	8736,03	8090,24	7841,72	7511,72	7026,18	6926,3	6905,45
Bagé	RS	-31,306	8852,95	8120,48	8048,95	7959,32	7579,32	7274,3	7319,7
Canguçu	RS	-31,403	9322,38	8925,5	8634,93	8135,97	7600,85	7219,62	7244,89
Santa Vitória do Palmar	RS	-33,532	8699,3	8320,14	8499,15	8482,72	8133,48	8055,85	8550,23

Tabela S11. Produtividade atingível (PA) média do milho simulada pelo *ensemble* dos modelos DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST-Maize, MONICA-Maize e MZA-FAO para o cenário climático futuro de longo prazo (2070-2099) e sob influência do RCP 4.5.

Cidade	UF	Latitude	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Balsas	MA	-7,5294	1709,37	2999,55	4842,61	5851,58	5556	4363,17	3155,85
Marianópolis do Tocantins	TO	-9,5764	3338,8	5271,03	6916,47	7622,3	7407,02	6224,88	4793,62
Remanso	BA	-9,6257	1741,33	1923,05	2516,82	2911,78	3015,28	2530,4	2001,72
Santa Rita de Cássia	BA	-11,003	1922,84	3129,6	4855,91	5704	5167,95	3763,86	2644,26
Barra	BA	-11,085	1518,75	1849,77	2598,47	2964,35	2938,14	2489,35	2142,99
Morro do Chapéu	BA	-11,548	5161,2	5405,26	5698,64	5797,38	5721,06	5148,58	5088,68
Gurupi	TO	-11,746	2503,99	4194,32	6270,71	7021,44	6511,68	5377,77	4166,6
Itaberaba	BA	-12,524	1370,74	1514,28	2083,13	2293,62	2285,14	2077,84	2144
Sorriso	MT	-12,555	3490,4	5557,56	7137,87	7449,65	6818,79	5589,04	4334,13
Bom Jesus da Lapa	BA	-13,251	1493,04	2457,87	4301,37	4946,76	4565,88	3373,99	2436,77
Sapezal	MT	-13,304	6336,11	8069,23	8961,12	9026,43	8511,02	7543,65	6387,03
Correntina	BA	-13,332	3709,22	4740,11	5873,66	5806,26	4822,64	3939,92	3542,56
Posse	GO	-14,089	4078,4	5990,42	7855,92	8063,92	6971,14	4972,64	3680,57
Tangará da Serra	MT	-14,65	4176,38	5999,13	7321,28	7543,96	7142,23	6279,75	5292,42
Vitória da Conquista	BA	-14,886	4905,7	5315,64	5479,01	5338,4	4817,14	4212,88	4221,66
Formoso	MG	-14,95	4081,12	5624,4	7281,33	7184,44	5962,77	4349,29	3579,08
Januária	MG	-15,448	2122,4	3483,04	5312,36	5844,22	5383,47	4126,51	3197,13
Formosa	GO	-15,549	5417,3	7437,61	8786,9	8788,57	7759,02	5896,12	4603,2
Aragarças	GO	-15,903	3638,96	5543,65	6961,11	7246,15	6400,4	4920,67	3582,05
São Romão	MG	-16,363	2769,61	4681,57	6263,38	6160,61	5135,82	3854,61	3136,66
Rondonópolis	MT	-16,463	2652,5	4320,79	5947,16	6416,88	5662,69	4545,85	3452,41
Unaí	MG	-16,554	4211,24	5873,96	7548,45	7465,97	6359,46	4961,3	3951,59
Juramento	MG	-16,775	3558,38	5247,65	7022,63	7390,96	6586,17	5033,45	4125,11

Cristalina	GO	-16,785	5583,49	7745,36	9150,39	9168,3	7884,67	5813,86	4358,79
Paraúna	GO	-16,963	4571,52	6896,53	8788,51	9112,5	8255,18	6913,03	5692,28
Caiapônia	GO	-16,967	5162,23	7428,94	8848,91	9019,26	7672,73	5652,24	4260,94
Alto Araguaia	MT	-17,339	6874,95	8871,43	9762,92	9539,93	8403,57	6822,41	5460,64
Morrinhos	GO	-17,745	4048,69	6065,67	7511,75	7730,64	6652,42	4882,74	3608,62
Alto Taquari	MT	-17,841	7063,68	8970,38	9664,3	9452,95	8416,41	6922,48	5413,18
Catalão	GO	-18,155	4467,91	6912,13	8927,08	9148,48	7897,16	5947,48	4450,37
Três Marias	MG	-18,201	4037,19	5598,11	7211,86	7299,09	6359,6	5011,2	4143,56
Costa Rica	MS	-18,493	6483,67	8621,01	9651,16	9556,18	8504,53	7033,73	5624,55
Coxim	MS	-18,512	2490,79	3745,77	5093,38	5594,01	5085,16	4316,37	3529,1
Curvelo	MG	-18,748	4240,39	6508,33	8346,89	8272,93	7126,88	5607,31	4599,45
Chapadão do Sul	MS	-18,802	6512,42	8012,27	8609,3	8414,74	7417,71	6322,89	5341,85
Ituiutaba	MG	-18,953	3783,87	5881,21	7537,9	7704,55	6631,37	4892,8	3754,18
São Simão	GO	-18,969	4656,19	6546,45	7777,5	7828,44	6993,88	5940,27	5097,85
Patrocínio	MG	-18,997	6768,28	8311,69	9506,24	9621,22	8806,27	7761,88	6737,59
Dores do Indaiá	MG	-19,482	6391,82	8196,97	9292,4	9341,23	8209,69	6688,32	5641,01
Paranaíba	MS	-19,664	4753,31	6626,93	7682,02	7580,1	6505,46	5392,87	4572,82
Florestal	MG	-19,885	6825,19	8810	10348,99	9937,96	8613,67	6793,1	5474,04
Conceição das Alagoas	MG	-19,986	5082,48	7106,85	8594,73	8796,83	7821,44	6679,05	5805,24
Jales	SP	-20,165	3334,94	5045,37	6601,16	7546,78	6813,31	5524	4594,28
Votuporanga	SP	-20,403	3629,83	5531,89	7163,96	7690,5	6945,22	5731,35	4806,9
Campo Grande	MS	-20,447	3800,1	4797,67	5488,05	5634,93	5015,75	4214,99	3414,09
Franca	SP	-20,584	7097,5	8537,61	8972,37	8713,43	7655,24	6514,49	5676,11
Catanduva	SP	-21,122	5731,21	7453,53	8458,13	8328,47	7402,63	6453,88	6013,3
Valparaíso	SP	-21,319	4361,63	5829,2	6797,25	7286,54	6628,53	5832,75	5156,62
Pradópolis	SP	-21,338	6401,47	8465,09	9512,71	9316,93	8049,02	6813,08	5970,08

Maracaju	MS	-21,609	4682,77	5575,1	5759,28	5569,05	4842,89	4347,16	4048,8
Lins	SP	-21,666	4510,17	5877,12	6769,02	6977,9	6233,22	5341,75	4885,01
Casa Branca	SP	-21,781	7284,52	8895,33	9361,22	8948,26	7673,32	6599,41	5635,26
São Lourenço	MG	-22,126	9794,43	10362,7	10256,31	9819,73	8979,46	8030,8	7173,28
Ivinhema	MS	-22,301	6518,87	6889,75	6801,82	6520,77	5989,96	5788,73	5728,31
Bauru	SP	-22,358	6217,17	6841,63	6945,18	6804,67	6125,98	5651,76	5519,16
Itapira	SP	-22,415	7531,33	8547,97	8950,16	8616,86	7610,72	6724,85	6056,9
Piracicaba	SP	-22,703	7434,91	8621,9	9197,53	9106,84	8416,19	7792,47	7341,7
Ourinhos	SP	-22,949	7486,79	8118	8255,45	7983,21	7468,28	7138,78	6934,72
Amambai	MS	-23,003	7845,07	8136,98	8038,89	7668,29	7183,68	6870,16	6308,8
São Luíz do Paraitinga	SP	-23,228	9807,38	10383,52	10381,47	9817,67	9028,85	8301,8	7870,09
Londrina	PR	-23,326	8501,34	8932,23	9022,17	8378,04	7689,46	7450,31	7413,7
Cidade Gaúcha	PR	-23,359	7339,88	7672,04	7641,55	7212,62	6660,3	6556,33	6391,74
Sorocaba	SP	-23,48	8797,65	9476,81	9253	8537,98	7707,02	7237,01	7255,39
Japira	PR	-23,773	9792,01	10163,17	9964,38	9281,14	8534,59	8137,66	7798,9
Nova Tebas	PR	-24,437	9404,48	9289,18	8959,31	8389,78	7963,42	7777,62	7527,24
Iguape	SP	-24,672	8340,69	8505,12	8396,88	7957,27	7297,89	6665,23	6361,77
Castro	PR	-24,787	9817,05	9845,62	9687,79	9258,03	8675,19	8131,6	7792,45
Ivaí	PR	-25,011	9518,89	9647,93	9538,58	9049,24	8318,98	7714,67	7363,66
Dois Vizinhos	PR	-25,699	9365,98	9324,68	9145,76	8541,66	7871,05	7432,49	7045,07
Dionísio Cerqueira	SC	-26,287	10155,23	9959,13	9813,31	9270,5	8530,05	7891,65	7338,11
Major Vieira	SC	-26,394	10755,4	10525,73	10175,3	9586,45	8887,9	8157,44	8040,06
Clevelândia	PR	-26,417	11215,29	11012,37	10640,34	9944,73	9159,9	8354,96	7876,08
São Miguel do Oeste	SC	-26,786	10006,71	9700,45	9325,45	8712,23	8079,09	7507,06	7032,9
Caçador	SC	-26,819	10259,34	10049,59	9757,11	9184,35	8433,91	7707,17	7602,89
Indaial	SC	-26,914	9510,28	9498,29	9263,02	8722,66	8017,98	7438,92	7196,86

Rio do Campo	SC	-26,938	10019,6	9936,89	9752,16	9109,79	8318,66	7747,22	7561,08
Xanxerê	SC	-26,939	10418,02	10171,81	9988,56	9321,82	8559,51	7960,72	7483,25
Joaçaba	SC	-27,169	11069,47	10891,5	10529,91	9871,71	8942	8014,55	7940,71
Curitibanos	SC	-27,289	10845,47	10588,57	10129,05	9476,48	8672,33	7882,43	7818,66
Ituporanga	SC	-27,418	10603,93	10478,4	10143,8	9359,57	8540,19	7897,59	7788,26
Erechim	RS	-27,658	9999,36	9684,03	9294,55	8685,56	7972,8	7396,96	7032,08
Lagoa Vermelha	RS	-28,223	10752,38	10564,81	10183,26	9453,4	8569,06	7764,31	7596,12
São Luiz Gonzaga	RS	-28,417	8429,4	7879,21	7582,82	7400,62	7169,93	6855,89	6405,99
Cruz Alta	RS	-28,626	10020,14	9626,25	9601,5	9277,64	8660,44	7958,36	7626,89
São Borja	RS	-28,65	7631,04	7005,38	6553,31	6247,77	6177,18	6166,22	6005,07
Soledade	RS	-28,859	10019,96	9672,69	9387,69	8900,03	8322,53	7734,94	7473,58
Caxias do Sul	RS	-29,196	10834,03	10620,72	10288,48	9813,45	9001,64	8230,61	8181,45
Alegrete	RS	-29,709	7340,57	6634,92	6553,24	6297,73	6369,69	6369,24	6206,35
Santa Maria	RS	-29,725	8377,68	8199,8	7920,88	7369,06	6690,55	6002,69	5633,25
Porto Alegre	RS	-30,054	7408,29	6963,89	6576,4	6124,34	5675,85	5429,34	5266,68
São Gabriel	RS	-30,341	8425,74	7721,22	7457,78	7300,3	7166,97	6941,4	6801,46
Encruzilhada do Sul	RS	-30,543	9756,93	9330,91	9306,15	8853,05	8274,34	7765,92	7776,65
Santana do Livramento	RS	-30,751	8236,69	8004,83	7990,72	7640,04	7029,79	6389,59	6156,69
Camaquã	RS	-30,808	8749,58	8091,73	7856,34	7499,78	6952,94	6831,91	6826,18
Bagé	RS	-31,306	8752,54	8113,24	8161,2	8007,3	7492,89	7215,91	7246,23
Canguçu	RS	-31,403	9229,49	8882,38	8547,22	7985,96	7473,32	7180,34	7187,41
Santa Vitória do Palmar	RS	-33,532	8879,39	8472,01	8443,37	8451,68	8265,69	8090,33	8584,36

Tabela S12. Produtividade atingível (PA) média do milho simulada pelo *ensemble* dos modelos DSSAT-CERES-Maize, APSIM-Maize, WOFOST-Maize, MONICA-Maize e MZA-FAO para o cenário climático futuro de longo prazo (2070-2099) e sob influência do RCP 8.5.

Cidade	UF	Latitude	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Balsas	MA	-7,5294	1270,4	2056,68	3554,76	4491,39	4268,56	3260,41	2290,35
Marianópolis do Tocantins	TO	-9,5764	2047,34	3484,67	5527,57	6484,44	6287,81	5178,73	3851,49
Remanso	BA	-9,6257	1067,36	1234,96	1690,3	1950,32	2051,4	1727,46	1406,75
Santa Rita de Cássia	BA	-11,003	1098,5	1969,54	3301,75	4387,64	4103,71	3021,51	2080,85
Barra	BA	-11,085	926,63	1239,31	1943,25	2378,48	2336,45	1894,7	1553,43
Morro do Chapéu	BA	-11,548	3984,65	4248,82	4660,19	4771,24	4744,46	4309,94	4305,48
Gurupi	TO	-11,746	1541,51	2810,49	4731,7	5699,95	5220,88	4083,87	3113,01
Itaberaba	BA	-12,524	813,09	923,32	1349,03	1686,35	1711,05	1564,84	1524,58
Sorriso	MT	-12,555	2543,8	4272,86	5866,21	6157,19	5650,82	4610,48	3559,22
Bom Jesus da Lapa	BA	-13,251	1038,07	1624,52	2989,81	3817,57	3576,26	2639,3	1828,02
Sapezal	MT	-13,304	4019,87	5950,21	7065,91	7198,51	6738,48	5920,91	5118,47
Correntina	BA	-13,332	2627,14	3452,46	4558,74	4719,26	4112,47	3291,4	2841,98
Posse	GO	-14,089	2975,52	4360,03	6240,49	6656,82	5645,95	4018,55	2935,49
Tangará da Serra	MT	-14,65	3037,62	4478,64	5743,14	6092,09	5684,29	4760,61	3918,42
Vitória da Conquista	BA	-14,886	3357,58	3623,57	4067,07	4274,89	4096,53	3553,45	3292,1
Formoso	MG	-14,95	2979,04	4149,83	5937,65	6047,95	4902,13	3530,43	2813,65
Januária	MG	-15,448	1381,14	2474,66	4115,52	4735,85	4271,01	3249,19	2434,57
Formosa	GO	-15,549	3758,63	5310,41	7145	7332,25	6370,26	4850,94	3768,33
Aragarças	GO	-15,903	2844,24	4252,28	5677,34	5876,57	4928,72	3553,13	2483,34
São Romão	MG	-16,363	1846,14	3345,79	5200,76	5368,73	4385,64	3236,74	2526,37
Rondonópolis	MT	-16,463	1705,97	2959,24	4695,6	5426,78	4695,33	3556,5	2518,26
Unaí	MG	-16,554	2974,4	4341,24	6187,62	6395,5	5368,63	4189,98	3277,08
Juramento	MG	-16,775	2400,51	3786,28	5817,15	6254,28	5635,97	4251,98	3356,06

Cristalina	GO	-16,785	3425,18	5256,04	7607,98	8211,93	6976,62	5092,09	3844,91
Paraúna	GO	-16,963	2519,6	4217,96	6531,94	7772,08	7143,39	5940,93	4941,62
Caiapônia	GO	-16,967	2762,98	4376,7	6746,78	7549,04	6452,99	4724,44	3407,06
Alto Araguaia	MT	-17,339	4967,89	6646,24	8040,43	7977,19	6797,83	5211,71	4106,24
Morrinhos	GO	-17,745	2719,92	4459,77	6032,4	6500,84	5495,09	3931,5	2851,76
Alto Taquari	MT	-17,841	5197,09	6856,81	8113,73	8086,64	6920,17	5415,2	4348,36
Catalão	GO	-18,155	3262,32	5231,28	7375	7824,95	6690,34	4977,76	3630,84
Três Marias	MG	-18,201	2916,61	4199,81	5997,43	6364,55	5563,3	4376,77	3638,53
Costa Rica	MS	-18,493	5015,6	6810,85	8058,24	8042,74	7018,13	5684,53	4617,94
Coxim	MS	-18,512	1610,18	2587,66	3733,56	4328,05	3983,42	3260,9	2595,98
Curvelo	MG	-18,748	2702,98	4421,02	6396,5	7013,51	6193,8	4757,96	3858,55
Chapadão do Sul	MS	-18,802	4674,08	5760,65	6711,05	6857,82	5942,07	4687,22	3847,28
Ituiutaba	MG	-18,953	2437,8	4032,96	5585,71	6030,33	5188,5	3874,05	2963,92
São Simão	GO	-18,969	3500,2	5144,2	6382,99	6571,16	5742,58	4777,27	4095,46
Patrocínio	MG	-18,997	4761,52	6251,51	7875,54	8694,38	7927,48	6708,75	5875,71
Dores do Indaiá	MG	-19,482	4335,49	6091,67	7709,08	8289,27	7307,6	5931,78	5048
Paranaíba	MS	-19,664	3135,01	4806,65	5869,52	6166,58	5340,05	4327,22	3490,58
Florestal	MG	-19,885	4814,68	7021,01	9136,64	9099,06	7778,55	5994,05	4850,27
Conceição das Alagoas	MG	-19,986	3752,6	5638,04	7119,41	7447,88	6583,1	5548,6	4856,4
Jales	SP	-20,165	2164,89	3616,95	5259,82	6237,05	5659,67	4533,81	3712,55
Votuporanga	SP	-20,403	2477,45	3945,76	5663,84	6295,53	5717,14	4691,4	3987,01
Campo Grande	MS	-20,447	2589,42	3499	4261,38	4478,8	3931,19	3322,57	2775,58
Franca	SP	-20,584	4802,88	6388,31	7467,93	7699,04	6790,23	5720,21	5030,37
Catanduva	SP	-21,122	3789,11	5461	6862,55	7048,37	6203,99	5314,5	4879,08
Valparaíso	SP	-21,319	3174,71	4507,98	5504,33	5896,91	5326,12	4704,91	4270,07
Pradópolis	SP	-21,338	4456,72	6280,99	7636,64	8020,63	7102,88	6163,16	5542,42

Maracaju	MS	-21,609	3043,91	4019,62	4554,98	4464,36	3638,55	3128,78	2901,2
Lins	SP	-21,666	3238,76	4747,51	5641,37	5838,38	5291,44	4609,29	4218,59
Casa Branca	SP	-21,781	5393,71	6803,69	7500,77	7559,71	6576,27	5625,51	4901,57
São Lourenço	MG	-22,126	8101,42	8846,67	9073,91	8742,88	7902,53	7099,43	6604,02
Ivinhema	MS	-22,301	4784,81	5318,86	5405,09	5095,38	4654,14	4635,54	4675,98
Bauru	SP	-22,358	4842,74	5598,19	5927,38	5792,02	5294,12	4931,47	4909,01
Itapira	SP	-22,415	5970,07	7288,17	7823,11	7471,82	6606,43	5871,29	5369,7
Piracicaba	SP	-22,703	6200,9	7387,58	8097,97	8043,18	7383,38	6740,04	6448,27
Ourinhos	SP	-22,949	5826,06	6585,79	6979,67	6685,66	6047,38	5756,24	5719,78
Amambai	MS	-23,003	6341,37	6739,92	6714,03	6301,11	5763,15	5681,85	5398,89
São Luíz do Paraitinga	SP	-23,228	8828,33	9574,62	9701,84	9328	8564,94	7856,02	7442,72
Londrina	PR	-23,326	7290,55	7717,84	7667,42	6852,97	6154,12	6069,22	6322,55
Cidade Gaúcha	PR	-23,359	6047,32	6530,33	6483,01	5896,88	5333,97	5364,64	5328,98
Sorocaba	SP	-23,48	7596,02	8246,92	8041,02	7223	6401,65	6030,49	6251,35
Japira	PR	-23,773	8647,76	9074,82	8876,84	8148,75	7436,79	7162,42	6995,59
Nova Tebas	PR	-24,437	8436,16	8339,81	7877,51	7363,14	6950,51	6888,2	6703,49
Iguape	SP	-24,672	7365,29	7553,44	7493,16	7103,84	6526,29	5938,94	5629,32
Castro	PR	-24,787	9322,43	9302,97	9006,28	8448,01	7825,2	7500,24	7246,15
Ivaí	PR	-25,011	9045,33	9120,63	8836,65	8277,25	7535,24	7069,95	6751,93
Dois Vizinhos	PR	-25,699	8542,68	8572,43	8340,79	7674,87	6983,47	6624,09	6322,05
Dionísio Cerqueira	SC	-26,287	9124,17	8942,83	8729,22	8174,12	7529,28	7144,98	6739,67
Major Vieira	SC	-26,394	10092	9941,99	9672,04	9063,44	8305,99	7733,46	7450,89
Clevelândia	PR	-26,417	10623,96	10417,78	9989,66	9275,7	8551,53	7872,9	7289,15
São Miguel do Oeste	SC	-26,786	8717,23	8375,55	8084,99	7640,43	7119,16	6723,26	6423,76
Caçador	SC	-26,819	9728,67	9572,04	9300,25	8767,85	8022,25	7404,28	7053,68
Indaial	SC	-26,914	9060,84	9004,11	8785,58	8186,43	7395,6	6905,98	6678,59

Rio do Campo	SC	-26,938	9467,71	9329,25	9149,94	8530,2	7659,14	7119,74	6861,98
Xanxerê	SC	-26,939	9860,07	9614,12	9267,78	8515,02	7777,67	7276,31	6823,82
Joaçaba	SC	-27,169	10608,58	10357,29	9993,35	9283,47	8465,07	7796,28	7408,65
Curitibanos	SC	-27,289	10448,76	10174,09	9739,06	9082,39	8271,29	7566,64	7266,41
Ituporanga	SC	-27,418	10115,27	9994,44	9776,87	9078,29	8185,47	7520,1	7214,83
Erechim	RS	-27,658	9433,95	9077,92	8642,97	8030,15	7337,73	6825,48	6437,41
Lagoa Vermelha	RS	-28,223	10462,94	10132,41	9655,34	8945,14	8104,32	7413,64	6987,86
São Luiz Gonzaga	RS	-28,417	7342,88	6680,66	6202,36	5884,47	5792,8	5836,84	5763,72
Cruz Alta	RS	-28,626	9527,01	9007,06	8871,86	8548,16	7979,11	7402,01	7007,33
São Borja	RS	-28,65	7065,5	6336,12	5739,04	5318,13	5244,8	5389,09	5461,74
Soledade	RS	-28,859	9888,12	9334,33	8872,19	8268,79	7640,56	7261,05	6627,57
Caxias do Sul	RS	-29,196	10379,39	10073,19	9687,44	9201,04	8466,44	7761,41	7504,54
Alegrete	RS	-29,709	7029,74	6054,16	5644,47	5349,33	5417,86	5622,32	5648,91
Santa Maria	RS	-29,725	7908,77	7654,7	7318,35	6755,53	6172,37	5639,83	5309,59
Porto Alegre	RS	-30,054	7137,27	6501,64	6049,72	5576,05	5069,61	4931,58	4770,3
São Gabriel	RS	-30,341	8143,15	7282,71	6772,03	6426,36	6238,88	6172,94	6099,56
Encruzilhada do Sul	RS	-30,543	9616,08	9017,06	8798,9	8246,63	7543,99	7136,72	6979,58
Santana do Livramento	RS	-30,751	7860,71	7350,73	7061,84	6687,57	6023,06	5799,9	5614,06
Camaquã	RS	-30,808	8500,04	7636,91	7144,94	6796,71	6340,03	6280,6	6268,24
Bagé	RS	-31,306	8601,77	7788,02	7632,45	7416,49	6999,16	6765,23	6711,86
Canguçu	RS	-31,403	9019,93	8393,7	7939,34	7396,37	6842,81	6624,18	6578,74
Santa Vitória do Palmar	RS	-33,532	8460,28	7881,69	7930,17	7906,11	7530,71	7575,55	7960,22

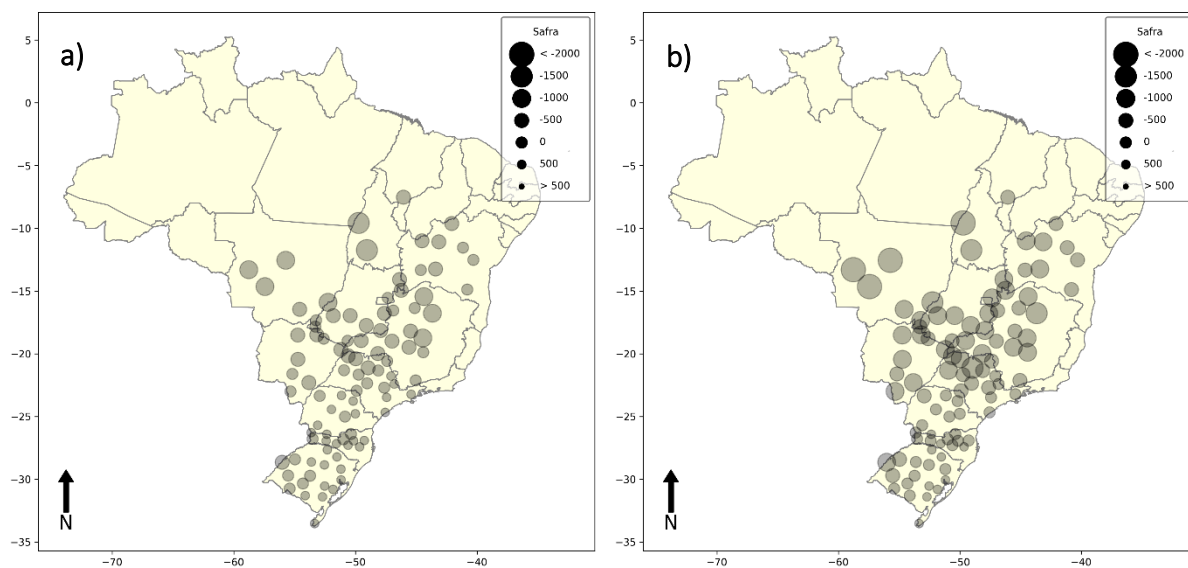


Figura S5. Diferença entre a produtividade atingível do milho simulada durante a safra (semeadura entre os meses de setembro a dezembro) no médio prazo (2040-2069) e pelos RCPs 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação à *baseline* (1980-2009).

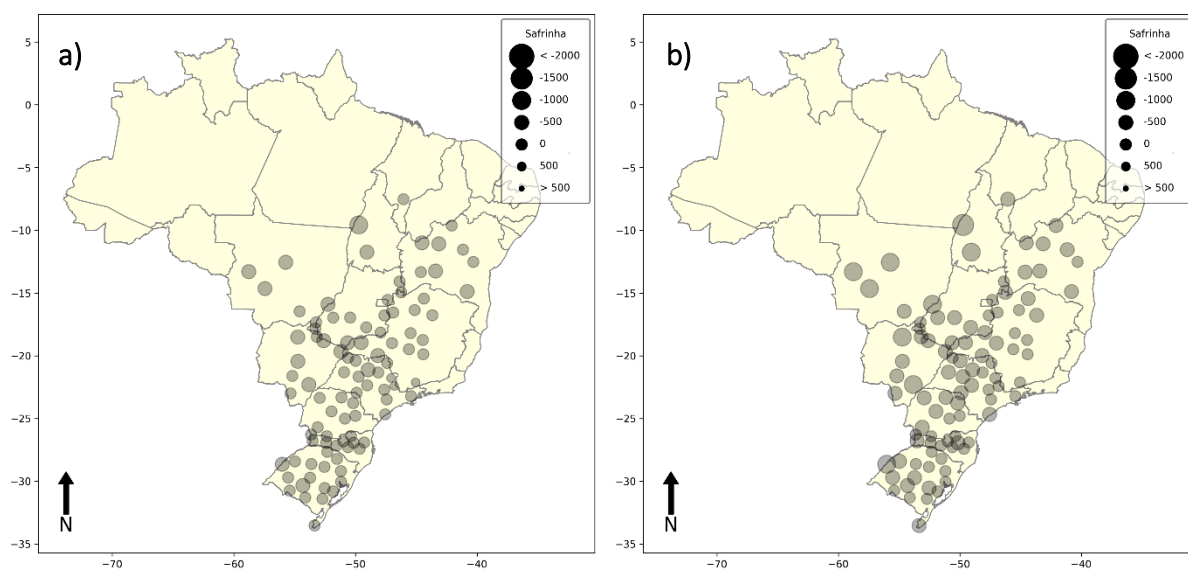


Figura S6. Diferença entre a produtividade atingível do milho simulada durante a safrinha (semeadura entre os meses de janeiro a março) no médio prazo (2040-2069) e pelos RCPs 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação à *baseline* (1980-2009).

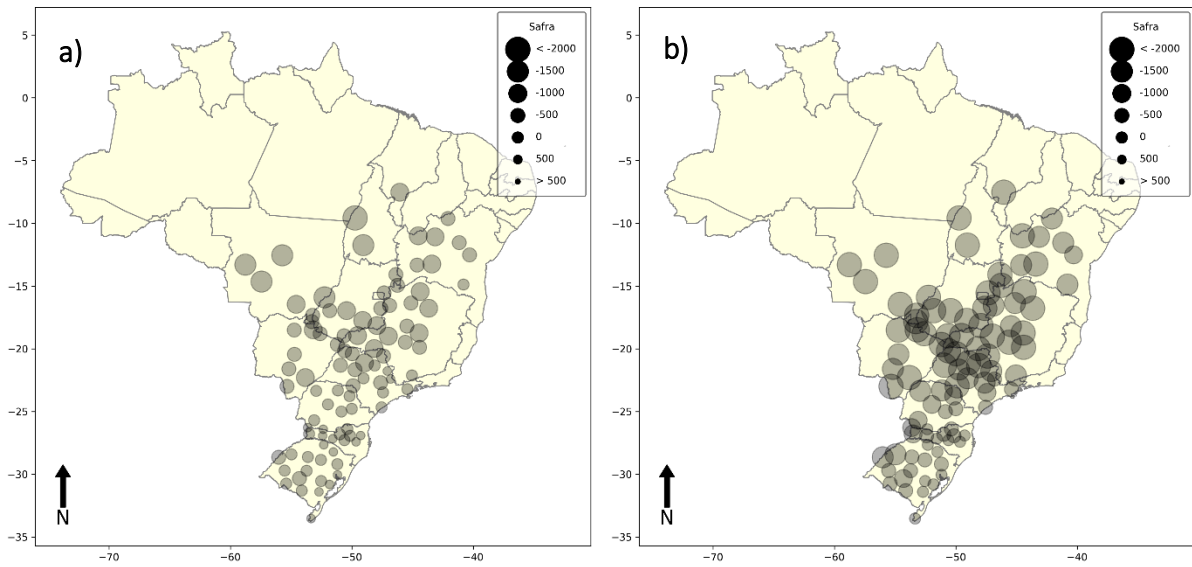


Figura S7. Diferença entre a produtividade atingível do milho simulada durante a safra (semeadura entre os meses de setembro a dezembro) no longo prazo (2070-2099) e pelos RCPs 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação à *baseline* (1980-2009).

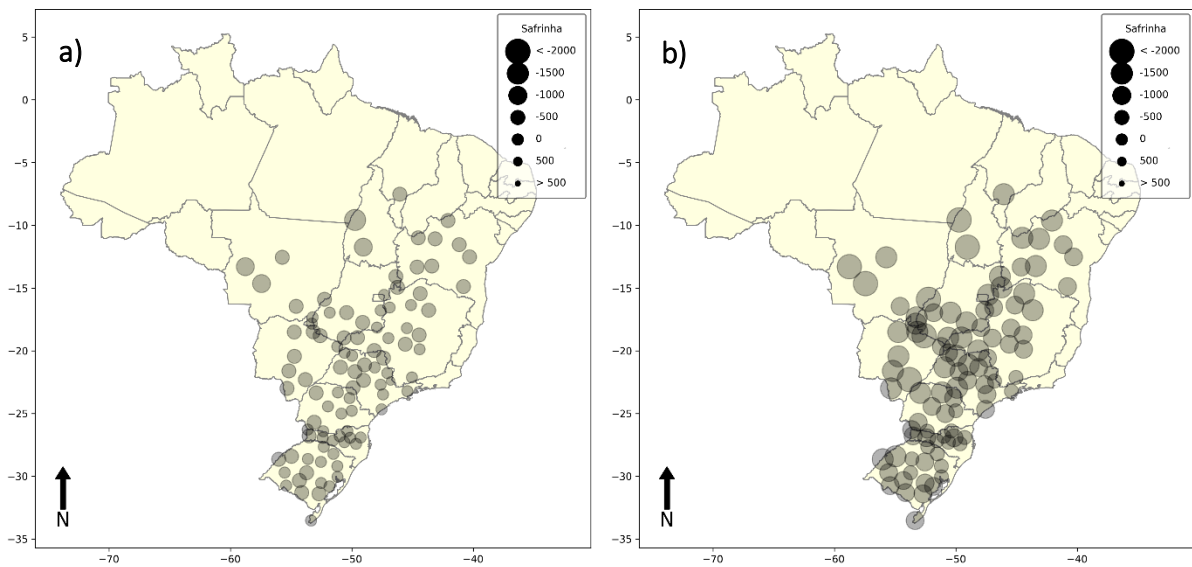


Figura S8. Diferença entre a produtividade atingível do milho simulada durante a safrinha (semeadura entre os meses de janeiro a março) no longo prazo (2070-2099) e pelos RCPs 4.5 (a) e 8.5 (b) em relação à *baseline* (1980-2009).