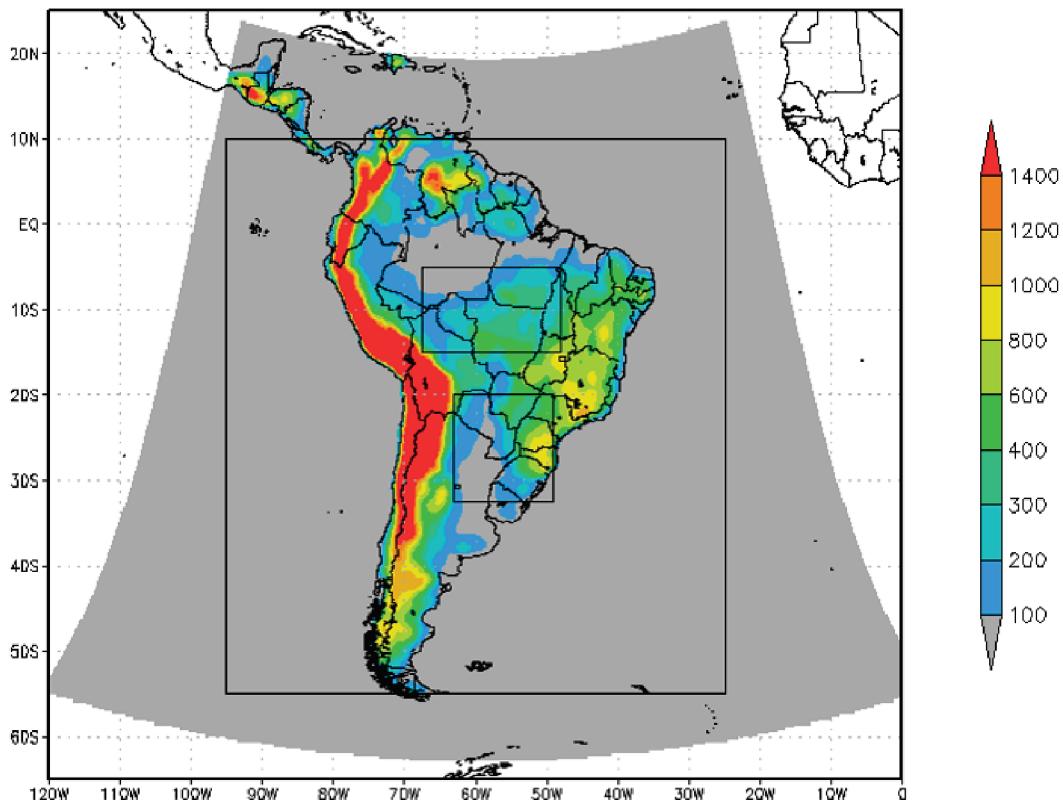


# *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 270

ISSN 1678-2518  
Outubro, 2017

## **Impacto das Mudanças Climáticas no Balanço Hídrico Climático no Estado do Rio Grande do Sul**



*ISSN 1678-2518*

*Outubro, 2017*

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Clima Temperado  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 270***

## **Impacto das Mudanças Climáticas no Balanço Hídrico Climático no Estado do Rio Grande do Sul**

Santiago Vianna Cuadra  
Marta Pereira Llopert  
Rosmeri P. da Rocha  
Ivan Rodrigues de Almeida  
Silvio Steinmetz  
Carlos Reisser Júnior

Embrapa Clima Temperado  
Pelotas, RS  
2017

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Clima Temperado**

Endereço: BR 392, Km 78

Caixa postal 403, CEP 96010-971 - Pelotas/RS

Fone: (53) 3275-8100

[www.embrapa.br/clima-temperado](http://www.embrapa.br/clima-temperado)

[www.embrapa.br/fale-conosco/sac/](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/)

**Comitê de Publicações da Unidade Responsável**

Presidente: *Ana Cristina Richter Krolow*

Vice-presidente: *Enio Egon Sosinski Junior*

Secretaria-Executiva: *Bárbara Chevallier Cosenza*

Membros: *Ana Luiza Barragana Viegas, Apes Falcão Perera, Daniel Marques Aquini, Eliana da Rosa Freire Quincozes, Marilaine Schaun Pelufê.*

Revisão de texto: *Ana Luiza Barragana Viegas*

Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufê*

Editoração eletrônica: *Manuela Coitinho (estagiária)*

Foto(s) de capa:

**1<sup>a</sup> edição**

Obra digitalizada (2017)

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Clima Temperado

- 
- I34    Impacto das mudanças climáticas no balanço hídrico climático no estado do Rio Grande do Sul / Santiago Vianna Cuadra... [et al.]. - Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017.  
25 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518 ; 270).

1. Balanço hídrico. 2. Meteorologia. 3. Simulação.  
4. Rio Grande do Sul. I. Cuadra, Santiago Vianna.  
II. Série.

# **Sumário**

<b>Resumo .....</b>	5
<b>Abstract .....</b>	7
<b>Introdução .....</b>	9
<b>Metodologia .....</b>	10
<b>Resultados e Discussão .....</b>	13
<b>Conclusões .....</b>	19
<b>Agradecimentos .....</b>	20
<b>Referências .....</b>	21



# Impacto das Mudanças Climáticas no Balanço Hídrico Climático no Estado do Rio Grande do Sul

*Santiago Vianna Cuadra<sup>1</sup>*

*Marta Pereira Llopert<sup>2</sup>*

*Rosmeri P. da Rocha<sup>3</sup>*

*Ivan Rodrigues de Almeida<sup>4</sup>*

*Silvio Steinmetz<sup>5</sup>*

*Carlos Reisser Júnior<sup>6</sup>*

## Resumo

A variabilidade climática é a principal causa das flutuações dos índices de produtividade agrícola das culturas de sequeiro no Estado do Rio Grande do Sul. O presente trabalho apresenta uma análise dos impactos das mudanças climáticas nas componentes do balanço hídrico climático (BH), sobre o Estado do Rio Grande do Sul, através das projeções climáticas das regionalizações de três modelos climáticos globais, que fazem parte do conjunto de simulações usadas no atual, Quinto Relatório de Avaliação (AR5), relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Para obtenção do balanço hídrico climático, em base mensal, aplicou-se o método de Thornthwaite e Mather (1955), com a evapotranspiração potencial estimada através do método Thornthwaite (1948). O modelo do BH foi integrado para dois períodos de 30 anos, entre 1975 e 2004 (clima

<sup>1</sup> Meteorologista, D.Sc. em Meteorologia Agrícola, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>2</sup> Meteorologista, D.Sc. em Meteorologia, USP, São Paulo, SP.

<sup>3</sup> Meteorologista, D. Sc. em Meteorologia, professora da USP, São Paulo, SP.

<sup>4</sup> Geógrafo, D.Sc. em Geografia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>5</sup> Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>6</sup> Engenheiro-agrícola, D.Sc. em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

## 6 Impacto das Mudanças Climáticas no Balanço Hídrico Climático no Estado do Rio Grande do Sul

presente) e entre 2069 e 2098 (clima futuro - cenário RCP8.5), em uma grade regular com espaçamento horizontal de 0,5 grau.

As projeções climáticas, das regionalizações com o modelo climático regional RegCM4 (governadas por três diferentes modelos climáticos globais), projetam aquecimentos médios anuais de 3,33 oC, 3,09 oC e 2,87 oC para as regiões Noroeste, Sudoeste e Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul, respectivamente, para o fim do século (cenário de emissões RCP8.5). Na maioria dos meses, nas três regiões, são projetados aumentos da precipitação média mensal, entretanto, mais significativos nos meses de outono e fim da primavera. Já a evapotranspiração potencial (ETP) aumenta em todos os meses do ano, em decorrência do aumento da temperatura, com maiores anomalias durante os meses mais quentes do ano, associados com a relação exponencial entre a temperatura do ar e a ETP. As anomalias dos excedentes hídricos (EXC) são em geral positivas, com maiores anomalias nos meses do outono e dezembro. Já as anomalias da deficiência hídrica (DEF) são, na quase totalidade, positivas ou próximas a zero, com maiores aumentos da DEF nos meses de janeiro e fevereiro. Os menores aumentos das anomalias da DEF foram observados na região Sudeste do estado.

**Termos para indexação:** Climatologia, Mudanças Climáticas, Balanço Hídrico, Rio Grande do Sul.

# Climate Change Impacts on the Water Balance over the State of Rio Grande do Sul

---

## Abstract

*Climate variability is the major cause of rainfed crop yield fluctuations in the Rio Grande do Sul state. This paper presents an analysis of the climate change impacts on the water balance components (BH), over the Rio Grande do Sul state, through climate projections from three regional climate downscaling; the climate scenarios are part of the current set of simulations used in the Fifth Assessment Report (AR5), of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The water balances were calculated on a monthly basis through the method of Thornthwaite and Mather (1955), and the potential evapotranspiration was estimated by Thornthwaite (1948) method. The BH model was integrated for two base periods (of 30 years), between 1975 and 2004 (present climate) and between 2069 and 2098 (future climate - RCP8.5 emission scenario), in a regular grid with horizontal resolution of 0.5 degree.*

*The climate projections, by the regional climate model RegCM4 (governed by three different global climate models), indicate an annual temperature average increase of 3.33 °C, 3.09 °C and 2.87 °C for the Northwest, Southwest and Southeast regions of the Rio Grande do Sul state, respectively. Monthly rainfall averages increase for most of the months, for the three regions, although more significantly in the*

*autumn and late spring. Potential evapotranspiration (ETP) increases for all months of the year, due to the temperature elevation, with higher anomalies during the warmer months of the year, associated with the exponential relationship between the air temperature and ETP. The water excess anomalies (EXC) are generally positive, with higher anomalies in the autumn months and December. Average water deficiency (DEF) anomalies are positive, or close to zero, with largest increases in January and February. The lower DEF anomalies were observed over the Southeast region of Rio Grande do Sul state.*

**Index terms:** *Climatology, Climate Change, Water Balance, Rio Grande do Sul state.*

## Introdução

A variabilidade climática, especialmente a variabilidade interanual da precipitação pluviométrica, associada com a ocorrência de anos mais secos (ou mais úmidos) e mais quentes (ou mais frios), é a principal causa da alteração dos índices de produtividade e da produção agrícola das culturas de sequeiro no Estado do Rio Grande do Sul. Por exemplo, a lavoura da soja no estado apresentou no ano safra de 2004/2005 uma redução da produtividade superior a 60% em relação à média dos últimos 20 anos (IBGE, 2013). Entre os principais fatores associados à variabilidade da precipitação pluviométrica na Região Sul do Brasil destaca-se o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do oceano Pacífico. O ENOS é o principal fenômeno acoplado oceano-atmosfera em escala global, causando grande variabilidade climática, em particular sobre o Estado do Rio Grande do Sul (GRIMM, 2003).

Em decorrência das emissões antrópicas de gases de efeito estufa e das mudanças do uso e cobertura da terra (HOUGHTON, 2007) o clima global deverá mudar nas próximas décadas (MEEHL et al., 2007). Por exemplo, são projetados aumentos da temperatura média global, da intensidade da precipitação, do número de dias secos e das ondas de calor como resultado das atividades antrópicas (MEEHL et al., 2007). Essas mudanças deverão impactar os ecossistemas naturais e agrícolas (WANG, 2005).

Alguns trabalhos têm mostrado a ocorrência de mudanças no clima sobre o Estado do Rio Grande do Sul nas últimas décadas (ex., STEINMETZ et al., 2005; VINCENT et al., 2005). As projeções dos modelos climáticos indicam, com alto grau de certeza, que ao longo do presente século ocorrerá aumento de temperatura do ar sobre o estado. Já as projeções para a precipitação pluviométrica sobre o estado indicam, em sua maioria, aumento da precipitação anual, mas com maior grau de divergência entre as projeções (VERA et al., 2006;

MEEHL et al., 2007; NUÑEZ et al., 2009; MARENGO et al., 2009; IPCC, 2013).

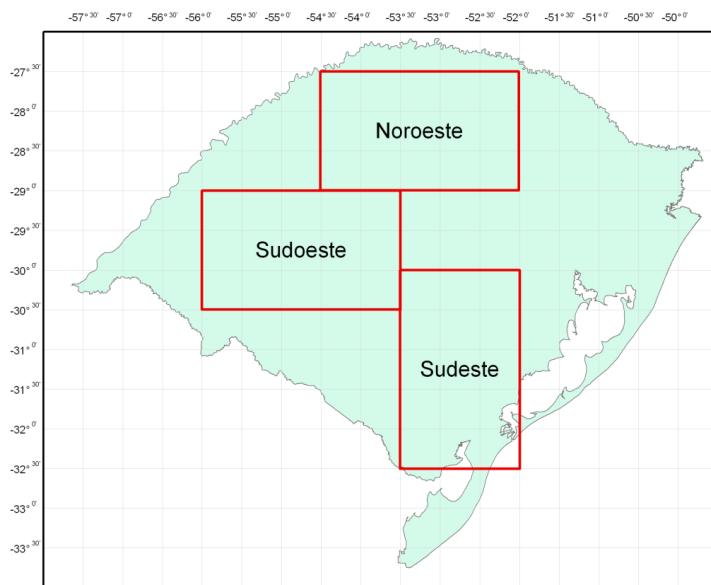
Como o clima é o fator ambiental que exerce maior influência no desempenho da agricultura, a determinação dos potenciais impactos das mudanças climáticas na agricultura e a proposição de medidas de adaptação às mudanças climáticas são estratégicos para o desenvolvimento econômico e social do País. Como exposto anteriormente, a relação entre o clima e produtividade agrícola é particularmente significativa no Estado do Rio Grande do Sul, e, portanto, mudanças no clima poderão impactar significativamente esse importante setor econômico e social do estado.

O presente trabalho apresenta uma análise dos impactos das mudanças climáticas nas componentes do balanço hídrico climático (BH) sobre o Estado do Rio Grande do Sul, através das projeções climáticas das regionalizações de três modelos climáticos globais, que fazem parte do conjunto de simulações usadas pelo atual relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), Quinto Relatório de Avaliação (IPCC, 2013). As componentes do BH têm significado prático em várias áreas aplicadas, em especial voltadas à agricultura, sendo amplamente empregadas na análise das condições climáticas/hídricas e como uma das principais ferramentas de suporte ao zoneamento agrícola, dentre outros, em diversas regiões do país (ex., CAMARGO et al., 1986; STEINMETZ; FOREST, 1986; STEINMETZ et al., 1988; SEDIYAMA et al., 2001; ALMEIDA et al., 2013).

## Metodologia

O presente trabalho é baseado nas variáveis de saída do modelo climático regional RegCM4 (GIORGİ et al., 2012), temperatura do ar e precipitação médias mensais (que são variáveis de entrada do BH), e das projeções de três Modelos Climáticos Globais (MCGs). Foram

utilizadas três simulações do RegCM4 referentes ao cenário RCP8.5 (Representative Concentration Pathways; VAN VUUREN et al., 2011) do IPCC. A diferença entre essas simulações está no uso de três diferentes modelos climáticos globais que foram usados para fornecer condições iniciais e de fronteira das simulações climáticas regionais: HadGEM2-ES (JONES et al., 2011), GFDL-ESM-2M (DUNNE et al., 2012), MPI-ESM-LR (GIORGETTA et al., 2013). O domínio das simulações abrange toda a América do Sul e segue as especificações do projeto CORDEX (GIORGIO et al, 2009), sendo o mesmo utilizado por Da Rocha et al. (2012). O RegCM4 foi integrado em simulações contínuas a partir de 1970 até 2100 (no presente trabalho foram considerados somente os períodos entre os anos 1975-2004 e 2069-2098), em uma grade de espaçamento horizontal de 50 km e 18 níveis sigma de pressão. Todas as simulações dos MCGs estão disponíveis dentro do projeto CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 – <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5>), e fazem parte do conjunto de simulações usadas pelo quinto relatório do IPCC (IPCC, 2013). As regiões onde os resultados foram aplicados e analisados são mostradas na Figura 1.



**Figura 1.** Mapa do Estado do Rio Grande do Sul, destacando as três áreas representativas das regiões Noroeste, Sudoeste e Sudeste do estado. Embrapa Clima Temperado. Pelotas/RS, 2013.

Para obtenção do balanço hídrico climático, em bases mensais aplicou-se o método de Thornthwaite e Mather (1955), detalhes desse método podem ser consultados em diversas fontes (AMORIN, 1989; SENTELHAS et al., 1999; VAREJÃO-SILVA, 2006). Nessa aproximação, considera-se que o balanço hídrico depende apenas do movimento vertical da água, e que a única entrada no sistema advém da precipitação pluviométrica. As variáveis atmosféricas de entrada do modelo são a precipitação (P) e a temperatura do ar (T). Adicionalmente, outros parâmetros que influem no cálculo da evapotranspiração (fatores de correção) foram computados em função dos meses (ex.: número de dias) e da região geográfica (ex.: latitude), ver Varejão-Silva (2006). As principais variáveis de saída do modelo são a evapotranspiração potencial (ETP), a evapotranspiração

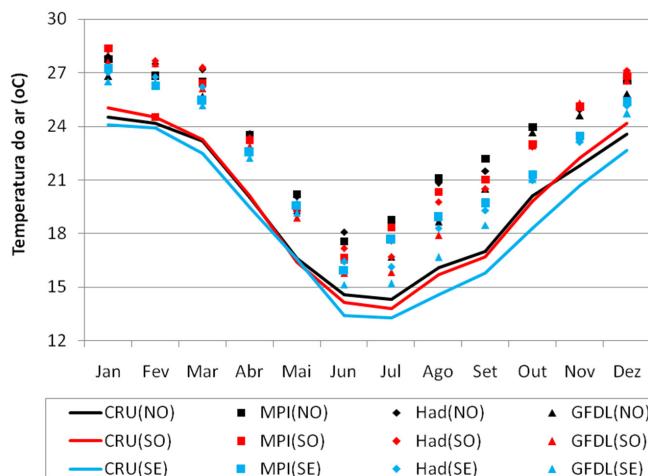
real (ETR), a deficiência hídrica (DEF), o excedente hídrico (EXC) e o armazenamento de água no solo (ARM).

Nos resultados aqui apresentados considerou-se uma capacidade de água disponível (CAD) no solo, diferença entre a capacidade de campo e ponto de murcha, de 50 mm, representativo de um solo com características de média retenção de água para culturas de grãos como a soja e o milho (ex.: FARIAS et al., 2001). A ETP foi estimada através do método Thornthwaite (1948). As equações foram implementadas em um programa computacional, em linguagem de programação Fortran, resolvendo o balanço hídrico climático em uma grade regular (Figura 1), com espaçamento horizontal de 0,5 grau. O modelo do BH foi integrado para dois períodos de 30 anos, entre 1975 e 2004 (clima presente) e entre 2069 e 2098 (clima futuro – cenário RCP8.5; VAN VUREN et al., 2011 ), em bases mensais (totalizando 360 meses para cada período). O balanço hídrico tomado como referência do clima presente foi obtido utilizando-se os dados climáticos mensais do CRU (Climate Research Unit, versão 3.2, <http://badc.nerc.ac.uk>).

## Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta o ciclo anual da temperatura média mensal do clima presente (período 1975-2004) juntamente com as projeções climáticas para o clima futuro (2069-2098) sobre as regiões do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), projeções referentes ao cenário RCP8.5. São projetados aumentos da temperatura do ar durante todos os meses do ano, nas três regiões analisadas (Figura 2). Os aquecimentos médios anuais são de 3,33 °C, 3,09 °C e 2,87 °C para as regiões Noroeste, Sudoeste e Sudeste do estado, respectivamente. Estes valores de anomalias projetados pelas regionalizações do RegCM4 estão próximos da média projetada pelo conjunto dos modelos globais utilizados pelo atual relatório do IPCC (IPCC, 2013). Em termos sazonais, os três modelos apresentam maiores alterações

durante os meses de transição entre as estações de inverno e primavera, nas três regiões.

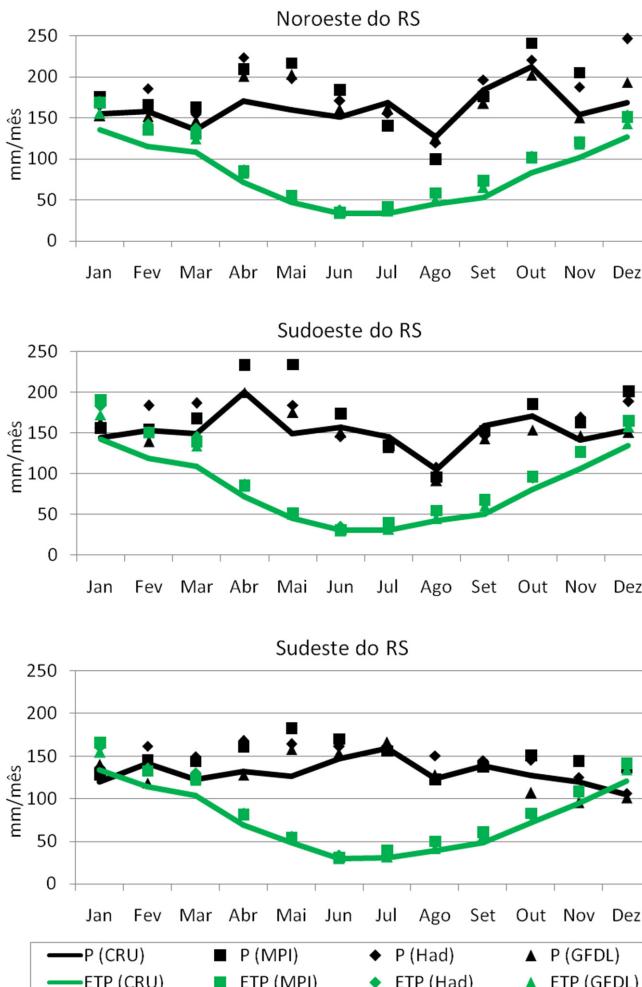


**Figura 2.** Ciclo anual da temperatura média mensal do clima presente (período 1975-2004) e das projeções climáticas do clima futuro (2069-2098) para as regiões: Noroeste (linhas e símbolos em preto), Sudoeste (linhas e símbolos em vermelho) e Sudeste (linhas e símbolos em azul) do Estado do Rio Grande do Sul. O clima presente considera a base de dados do CRU (Climate Research Unit) e as projeções do clima futuro são compostas pelas somas dos valores mensais do CRU e das anomalias das simulações climáticas do RegCM4 (governadas pelos modelos globais MPI, Had, GFDL). Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2013.

Na maioria dos meses, nas três regiões, são projetados aumentos da precipitação média mensal (Figura 3a-c, linhas e símbolos pretos). Os aumentos médios (médias das três simulações) dos totais anuais da precipitação projetados foram de 15,4%, 14,2% e 14,6% nas regiões Noroeste, Sudoeste e Sudeste do estado, respectivamente. Sazonalmente o principal padrão de variação da precipitação projetada é o aumento nos meses de outono (mudança mais significativa e comum entre as simulações), leve redução nos meses de inverno e aumento no final da primavera e em dezembro (Figura 3).

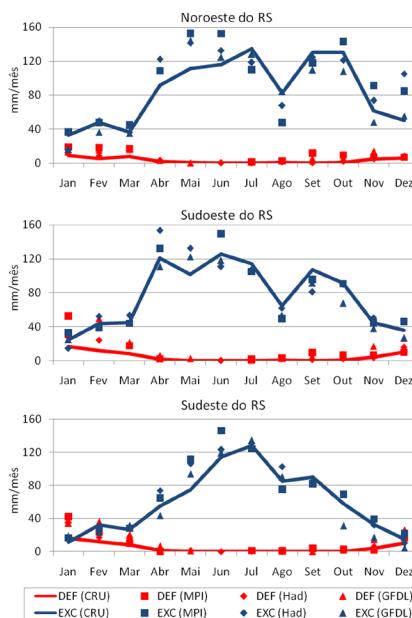
As projeções climáticas indicam que a evapotranspiração potencial (ETP), que expressa o potencial de evaporação da atmosfera (ALLEN et al. 1998), aumentará em todos os meses e em todas as regiões (Figura 3), em decorrência do aumento da temperatura (Figura 2). Observa-se um padrão bem similar entre as simulações, pouca dispersão entre estas, com anomalias maiores e menores nos meses de verão e inverno, respectivamente. Este comportamento sazonal de maiores anomalias durante os meses mais quentes do ano está associado diretamente com a relação exponencial entre a temperatura do ar e a ETP, já que as anomalias de temperatura são similares durante os meses de verão e inverno.

Em consequência dos aumentos de precipitação observa-se uma tendência de aumento do excedente hídrico (EXC). O padrão sazonal das anomalias dos excedentes é similar ao das anomalias da precipitação mensal, com maiores anomalias nos meses do outono e dezembro. As anomalias da deficiência hídrica (DEF) são, na quase totalidade, positivas ou próximas a zero (Figura 4). Os maiores aumentos da DEF são projetados para os meses de janeiro e fevereiro, associados com as elevadas anomalias positivas da ETP nestes meses (Figura 3) e aos baixos aumentos da precipitação pluviométrica.

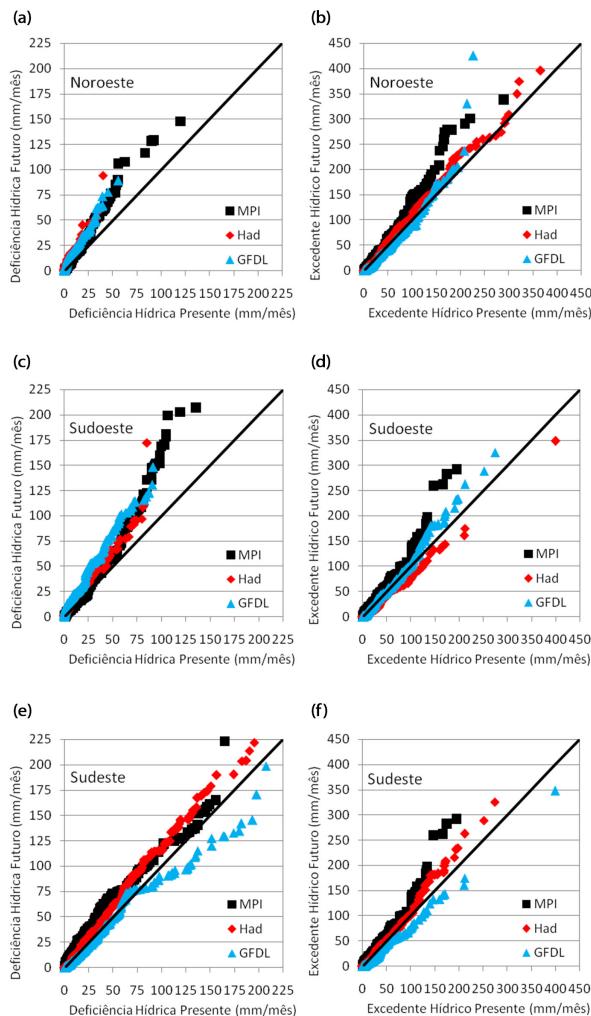


**Figura 3.** Médias mensais da precipitação (P - linha e símbolos pretos) e evapotranspiração potencial (ETP - linha e símbolos verdes) médios (climatologia do período de 1975 a 2004) sobre as regiões (a) Noroeste, (b) Sudoeste e (c) Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul, obtidas através dos campos mensais de precipitação pluviométrica e temperatura do ar do CRU (linhas) e das anomalias simuladas pelo RegCM4-MPI (símbolo quadrado), RegCM4-Had (símbolo losango) e RegCM4-GFDL (símbolo triângulo) somadas à climatologia do CRU. Embrapa ClimaTemperado, Pelotas/RS, 2013.

Em consequência dos aumentos de precipitação observa-se uma tendência de aumento do excedente hídrico (EXC). O padrão sazonal das anomalias dos excedentes é similar ao das anomalias da precipitação mensal, com maiores anomalias nos meses do outono e dezembro. As anomalias da deficiência hídrica (DEF) são, na quase totalidade, positivas ou próximas a zero (Figura 4). Os maiores aumentos da DEF são projetados para os meses de janeiro e fevereiro, associados com as elevadas anomalias positivas da ETP nestes meses (Figura 3) e aos baixos aumentos da precipitação pluviométrica.



**Figura 4.** Médias mensais das componentes do balanço hídrico, excedente hídrico (EXC - linha e símbolos azuis) e deficiência hídrica (DEF - linha e símbolos verdes), médios (climatologia do período de 1975 a 2004) sobre as regiões (a) Noroeste, (b) Sudoeste e (c) Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul, obtidas através dos campos mensais de precipitação pluviométrica e temperatura do ar do CRU (linhas) e das anomalias simuladas pelo RegCM4-MPI (símbolo quadrado), RegCM4-Had (símbolo losango) e RegCM4-GFDL (símbolo triângulo) somadas às climatologia do CRU. Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2013.



**Figura 5.** Diagrama de dispersão entre os valores mensais das componentes do balanço hídrico, deficiência hídrica (coluna da esquerda) e excedente hídrico (coluna da direita), para o período do clima presente (1975-2004, abscissa) e clima futuro (2069-2098, ordenada). Valores médios sobre as regiões Noroeste (a,b), Sudoeste (c,d) e Sudeste (e,f) do Estado do Rio Grande do Sul, obtidas com os campos mensais das simulações do RegCM4-MPI (símbolo quadrado preto), RegCM4-Had (símbolo losango vermelho) e RegCM4-GFDL (símbolo triângulo azul). Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2013.

## Conclusões

As projeções climáticas das regionalizações com o modelo climático regional RegCM4 (governadas por três diferentes modelos climáticos globais) projetam aquecimentos médios anuais de 3,33 °C, 3,09 °C e 2,87 °C para as regiões Noroeste, Sudoeste e Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul, respectivamente, para o fim do século (cenário de emissões RCP8.5). Estes valores de anomalias projetados pelas regionalizações do RegCM4 estão próximos à média obtida do conjunto dos modelos climáticos globais utilizados pelo atual relatório do IPCC (IPCC, 2013).

Na maioria dos meses, nas três regiões, são projetados aumentos da precipitação média mensal, entretanto mais significativos nos meses de outono e fim da primavera. Já a evapotranspiração potencial (ETP) aumenta em todos os meses do ano, em decorrência do aumento da temperatura, com maiores anomalias durante os meses mais quentes do ano, associados com a relação exponencial entre a temperatura do ar e a ETP. As anomalias dos excedentes hídricos (EXC) são em geral positivas, com maiores anomalias nos meses do outono e dezembro. Já as anomalias da deficiência hídrica (DEF) são, na quase na totalidade, positivas ou próximas a zero, com maiores aumentos da DEF nos meses de janeiro e fevereiro, associados com as anomalias positivas da ETP e os baixos aumentos da precipitação pluviométrica nestes meses.

Diversos autores têm enfatizado que, enquanto as mudanças das condições médias do clima puderem afetar a produtividade agrícola e exigirem políticas de adaptação, grandes partes das perdas das safras agrícolas e dos riscos à segurança alimentar deverão estar associadas com as variações interanuais das condições climáticas. Os resultados aqui apresentados sugerem que as projeções climáticas, realizadas com o modelo climático regional RegCM4, sobre o Estado do Rio Grande do Sul enquadram-se nessa situação, pois apesar de haver um

aumento do volume anual da precipitação pluviométrica há também a projeção do aumento da amplitude de variação interanual das médias mensais (diagnosticado através do aumento do desvio padrão). Em decorrência, particularmente sobre as regiões Noroeste e Sudeste do estado, há uma projeção de aumento dos valores extremos tanto do excedente quanto da deficiência hídrica.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (Capes e Capes/Procad 179/2007) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Proc. 307202/2011-9 e 155700/2010-3), pelo financiamento do projeto referente às simulações climáticas com o RegCM4, e ao CRU (Climatic Research Unit - University of East Anglia) pela cedência do conjunto de dados meteorológicos.

## Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. 297 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALMEIDA, T. S.; CALIJURI, M. L.; PINTO, L. B. Zoneamento agro-climático da cana-de-açúcar para o estado de Minas Gerais com base em regressões múltiplas. **Revista Brasileira Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 352-355, 2013.
- AMORIM NETO, M. da S. **Balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather.** Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1989. 18 p. (EMBRAPA-CPATSA. Comunicado Técnico, 34).
- CAMARGO, M. B. P.; BRUNINI, O.; MIRANDA, M. A. C. Modelo agrometeorológico para estimativa da produtividade para a cultura da soja no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 45, n. 2, p. 279-292, 1986.
- DA ROCHA, R. P.; CUADRA, S. V.; REBOITA, M. S.; KRUGER, L. F.; AMBRIZZI, T. A.; KRUSCHE, N. Effects of RegCM3 parameterizations on simulated rainy season over South America. **Climate Research**, v. 52, p. 253–265, 2012.

DUNNE, J. P.; JOHN, J. G.; ADCROFTET, A. J.; GRIFFIES, S. M.; HALLBERG, R. W.; SHEVLIKOVA, E.; STOUFFER, R. J.; COOKE, W.; DUNNE, K. A.; HARRISON, M. J.; KRASTING, J. P.; MALYSHEV, S. L.; MILLY, P. C. D.; PHILLIPPS, P. J.; SENTMAN, L.T.; SAMUELS, B. L.; SPELMAN, M. J.; WINTON, M.; WITTENBERG, A. T.; ZADEH, N. GFDL's ESM2 Global Coupled Climate–Carbon Earth System Models. Part I: Physical Formulation and Baseline Simulation Characteristics. **Journal of Climate**, v. 25, p. 6646–6665, 2012.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

GIORGETTA, M. A.; JUNGCLAUS, J. H.; REICK, C. H. et al. Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project 5. **Journal of Advances in Modelling Earth Systems**, v. 5, n. 3, p. 572-597, 2013.

GIORGİ, F.; JONES, C.; ASRAR, G. Addressing climate information needs at the regional level: The cordex framework. **WMO Bulletin**, v. 58, p. 175–183, 2009.

GIORGİ, F.; COPPOLA, E.; SOLMON, F. et al. RegCM4: Model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. **Climate Research**, v. 52, p. 7–29, 2012.

GRIMM, A. M. The El Niño Impact on the Summer Monsoon in Brazil: Regional Processes versus Remote Influences. **Journal of Climate**, v. 16, p. 263-280, 2003.

HOUGHTON, R. A. Balancing the Global Carbon Budget. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 35, p. 313–47, 2007.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Tabela 1613 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida e valor da produção da lavoura permanente. Banco de dados agregados [on-line], 2013. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listab1.asp?z=t&c=1613>>. Acesso em: 12 out 2013.

IPCC, 2013: **Summary for Policymakers**. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <[http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_SPM\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf)>.

JONES, C. D.; HUGHES, J. K.; BELLOUIN, N. et al. The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial simulations. **Geosciences Model Development**, v. 4, p. 543–570, 2011.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R. P.; ALVES, L. M.; CUADRA, S. V.; VALVERDE, M. C.; TORRES, R. R.; SANTOS, D. C.; FERRAZ, S. E.T. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**, v. 1, p. 1-25, 2009.

MEEHL, G. A.; STOCKER, T. F.; COLLINS, W. D.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GAYE, A. T.; GREGORY, J. M.; KITO, A.; KNUTTI, R.; MURPHY, J. M.; NODA, A.; RAPER, S. C. B.; WATTERSON, I. G.; WEAVER, A. J.; ZHAO, Z.-C. **Global Climate Projections**. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

NUÑEZ, M. N.; SOLMAN, S. A.; CABRÉ, M. F. Regional climate change experiments over southern South America. II: Climate change

scenarios in the late twenty-first century. **Climate Dynamics**, v. 32, p. 1081-1095, 2009.

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

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. **Balanços Hídricos Climatológicos do Brasil - 500 balanços hídricos de localidades brasileiras**. Piracicaba: ESALQ, 1999.

STEINMETZ, S.; FOREST, F. **Caracterização das épocas de plantio mais apropriadas para o arroz de sequeiro no Estado de Goiás**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1986. 33 p. (EMBRAPA-CNPAF. Circular Técnica, n. 22).

STEINMETZ, S.; REYNIERS, F. N.; FOREST, F. **Caracterização do regime pluviométrico e do balanço hídrico do arroz de sequeiro em distintas regiões produtoras do Brasil. Vol. I. Síntese e interpretação dos dados**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1988. 59 p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, n. 23)

STEINMETZ, S.; SIQUEIRA, O. J. W. de; WREGGE, M. S.; HERTER, F. G.; REISSER JÚNIOR, C. Aumento da temperatura mínima do ar na região de Pelotas, sua relação com o aquecimento global e possíveis consequências para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14. Campinas. **Anais**. Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2005.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geography Review**, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance.**

Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

VAN VUUREN, D. P. et al. The representative concentration pathways: an overview. **Climate Change**, v. 109, p. 5–31, 2011.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. 2006. Versão Digital. 449 p.

VERA, C.; SILVESTRI, G.; LIEBMANN, B.; GONZÁLEZ, B. Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. **Geophysical Research Letters**, v. 33, L13707, 2006.

VINCENT, L. A. et al. Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960–2000. **Journal of Climate**, v. 18, p. 5011–5023, 2005.

WANG, G. Agricultural drought in a future climate: results from 15 global climate models participating in the IPCC 4th assessment. **Climate Dynamics**, v. 25, p. 739–753, 2005.



MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO

