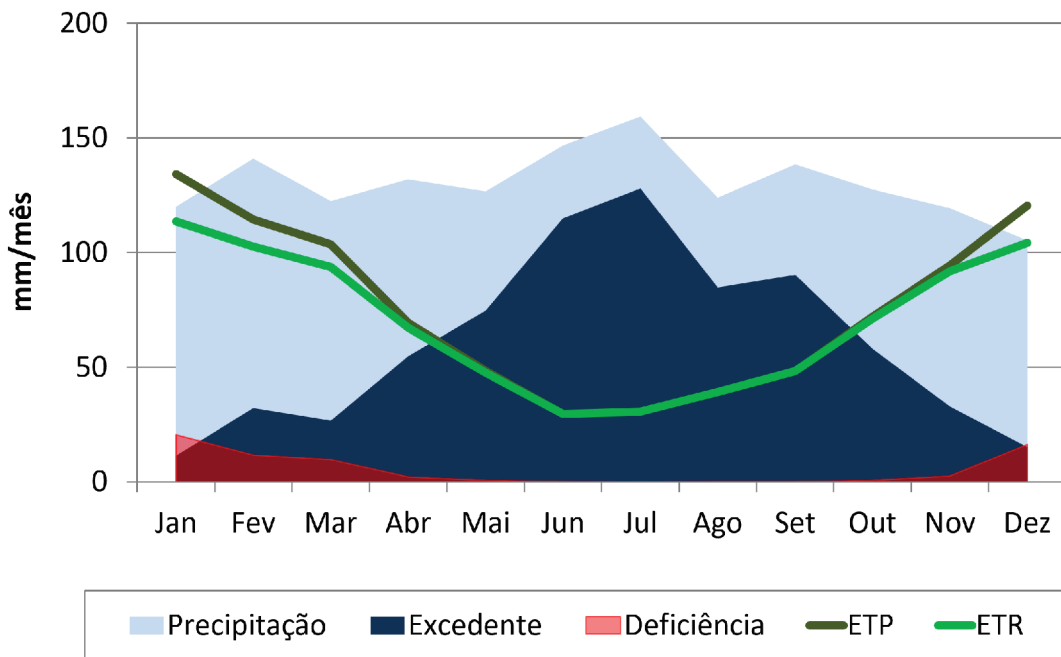


## Representação do Balanço Hídrico pelas Regionalizações das Simulações Climáticas do IPCC sobre o Estado do Rio Grande do Sul



ISSN 1678-2518

Outubro, 2017

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

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 269***

## **Representação do Balanço Hídrico pelas Regionalizações das Simulações Climáticas do IPCC sobre o Estado do Rio Grande do Sul**

Santiago Vianna Cuadra  
Marta Pereira Llopart  
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*

Secretária-Executiva: *Bárbara Chevallier Cosenza*

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

Supervisor editorial: *Antônio Luiz Oliveira Heberlê*

Revisão de texto: *Bárbara Chevallier Cosenza*

Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufê*

Editoração eletrônica: *Rosana Bosenbecker (estagiária)*

Foto de capa:

**1ª 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

- 
- R425 Representação do balanço hídrico pelas regionalizações das simulações climáticas do IPCC sobre o Estado do Rio Grande do Sul / Santiago Vianna Cuadra... [et al.]. – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017. 22 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518 ; 269).

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>Material e Métodos</b> .....	10
<b>Resultados e Discussão</b> .....	12
<b>Conclusões</b> .....	17
<b>Agradecimentos</b> .....	18
<b>Referências</b> .....	19



# Representação do Balanço Hídrico pelas Regionalizações das Simulações Climáticas do IPCC sobre o Estado do Rio Grande do Sul.

---

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

*Marta Pereira Llopart<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

Grande parte das oscilações e quebras de safras no País estão associadas com eventos de estiagens e, conseqüentemente, à deficiência hídrica. Essa relação é, particularmente, intensa no Estado do Rio Grande do Sul, onde apesar do ganho de produtividade nas últimas décadas, as culturas anuais de sequeiro apresentam considerável variabilidade interanual. O presente trabalho apresenta uma análise da representação do balanço hídrico climático pelas regionalizações das simulações climáticas do IPCC (Painel

---

<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

Intergovernamental de Mudanças Climáticas) sobre três regiões do Estado do Rio Grande do Sul. Essas análises são relevantes quando tais projeções climáticas são utilizadas em estudos de impactos, como os estudos dos impactos das mudanças climáticas na agricultura, considerando que as incertezas relacionadas aos erros sistemáticos dos modelos climáticos influenciam as simulações dos modelos de estudo dos impactos, como, por exemplo, aplicados à hidrologia e à produtividade agrícola. A simulação que mais se aproxima dos valores observados, sobre as três regiões analisadas, é a RegCM-Had, em particular para a região noroeste do estado. Essa região é a principal produtora de grãos do estado, sugerindo que tal simulação pode ser aplicada com sucesso como forçante atmosférica nos modelos de simulação do crescimento e produtividade agrícola. Entretanto, cabe ressaltar que todas as simulações apresentaram desvios negativos significativos do volume de precipitação pluviométrica. Tais erros devem ser considerados ao se aplicar tais simulações climáticas em áreas relacionadas ao balanço hídrico, como em hidrologia e em simulações de crescimento e produtividade agrícola.

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

# Water Balance Representation by the Climate Regional Simulations of the IPCC Projections over the Rio Grande do Sul State

---

## Abstract

*Rainfed crop yield variability is to great extend associated with events of droughts, and hence with water deficit. This relationship is particularly strong in the Rio Grande do Sul state, where despite the productivity gains in recent decades, the annual rainfed crops yield exhibit considerable interannual variability. This paper presents an analysis of the representation of the water balance by the climate simulations of the regional climate model RegCM4, when forced with three global climate models from the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) set of simulations, over three regions of the Rio Grande do Sul state. These analysis are relevant when such projections are used in climate impact assessments, whereas the uncertainties related to the climate models systematic errors may influence the impact simulations, such as, for example, applied to hydrology and crop yield simulations. The climate simulation that most closely matches the observations over the three regions analyzed is the RegCM-Had, in particular for the Northwest region of Rio Grande do Sul state. This region is the major grain producer in the state, suggesting that this simulation can be successfully applied to impacts assessments simulations, such as for agricultural productivity. However, it is noteworthy that all simulations showed significant negative deviations in the volume of rainfall. Such errors should be*



- 8 Representação do Balanço Hídrico pelas Regionalizações das Simulações Climáticas do IPCC sobre o Estado do Rio Grande do Sul.

*considered when applying such climate simulation projections in studies related to the water balance, such as hydrology and simulation of growth and agricultural productivity.*

*Intex terms: Climatology, ClimateChange, Water Balance, Rio Grande do Sul state.*

## Introdução

O Estado do Rio Grande do Sul não apresenta nenhuma região onde, em termos médios anuais, a precipitação pluviométrica seja inferior à evapotranspiração potencial (WREGGE et al., 2011). Entretanto, em termos sazonais, uma fração significativa do estado, principalmente a área conhecida como Metade Sul, apresenta valores negativos da diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial. Destacam-se os déficits hídricos durante os meses de verão, crítico para as atividades agrícolas, presentes inclusive nas médias históricas. Apesar de o problema ser mais efetivo na Metade Sul, outras regiões do estado sofrem com secas recorrentes e, dependendo da intensidade da estiagem, todas as áreas agrícolas do estado podem ser afetadas. Em geral, os impactos na agricultura como a queda da produtividade de grãos, por exemplo, são elevados, pois é no verão que se concentram os períodos críticos de algumas culturas agrícolas importantes para a economia do estado, como a soja, o milho e o feijão.

Grande parte das oscilações e quebras de safras no País estão associadas com eventos de estiagens e, conseqüentemente, à deficiência hídrica. Essa relação é, particularmente, intensa no Estado do Rio Grande do Sul, onde apesar do ganho de produtividade nas últimas décadas, as culturas anuais de sequeiro apresentam considerável variabilidade interanual. Por exemplo, a lavoura da soja no estado apresentou no ano safra 2004/05 uma redução da produtividade superior a 60% em relação à média dos últimos 20 anos.

O balanço hídrico climático (BH) expressa matematicamente, de forma simplificada, a relação solo-planta-atmosfera. As variáveis nele computadas têm significado prático podendo ser empregado em diversas áreas aplicadas, principalmente voltadas à agricultura. O BH tem sido amplamente empregado na análise das condições climáticas/

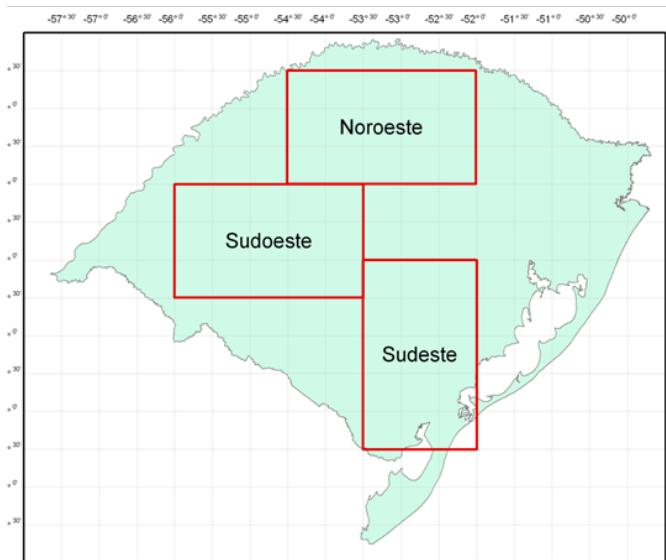
hídricas e como uma das principais ferramentas de suporte ao zoneamento agrícola, dentre outras, em diversas regiões do país (ex., CAMARGO et al., 1986; STEINMETZ; FOREST, 1986; STEINMETZ et al., 1988; SEDIYAMA et al., 2001; ALMEIDA et al., 2013).

Considerando-se a grande importância econômica e social do setor agrícola no Estado do Rio Grande do Sul, terceiro maior produtor nacional de soja (IBGE, 2013), e que os principais cultivos agrícolas no estado têm forte correlação com as condições climáticas/hídricas, o presente trabalho apresenta uma análise da representação do balanço hídrico climático pelas regionalizações das simulações climáticas do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) sobre o Estado do Rio Grande do Sul. Essa simulações fazem parte do conjunto de simulações usadas pelo quinto relatório de avaliação do IPCC (IPCC, 2013) e que serão aplicadas em estudos de impactos das mudanças climáticas nos próximos anos.

## **Materiais e Métodos**

No presente trabalho aplicou-se o método de Thornthwaite e Mather (1955) para obtenção do balanço hídrico climático em bases mensais (AMORIN, 1989); detalhes desse método podem ser consultados em diversas fontes, como, por exemplo, Amorin (1989), Sentelhas et al. (1999) e 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. A ETP foi estimada através do método Thornthwaite (1948). As equações foram implementadas em um programa computacional, usando-se a linguagem de programação Fortran, resolvendo o balanço hídrico climático em uma grade regular (Figura 1), com espaçamento horizontal de 0,5 grau, sobre o domínio apresentado na Figura 1. O modelo do BH foi integrado para um período de 30 anos, entre 1975 e 2004, em bases mensais (totalizando 360 meses). O balanço hídrico tomado como referência foi obtido com os dados climáticos mensais do CRU3.2 (*Climate Research Unit*, versão 3.2, <http://badc.nerc.ac.uk>).



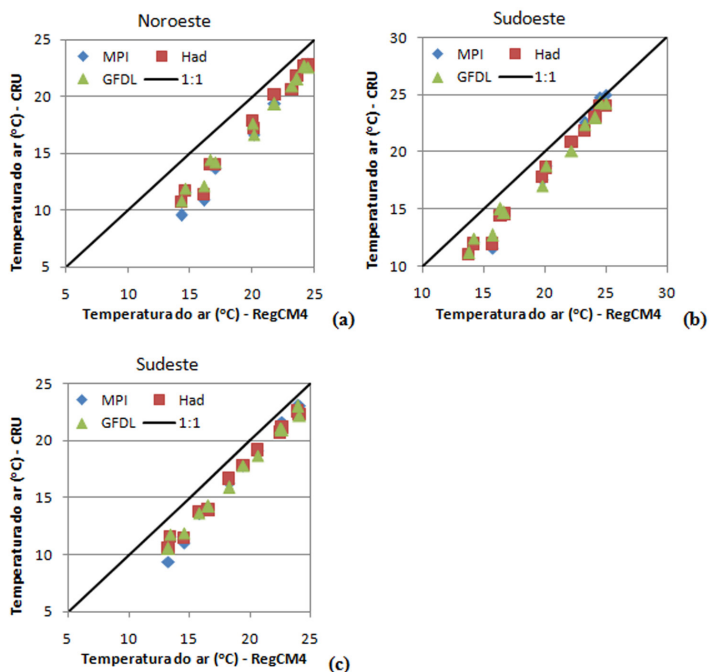
**Figura 1.** Mapa do Estado do Rio Grande do Sul, destacando as três áreas representativas das regiões Nordeste, Sudoeste e Sudeste do estado. Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2013.

Nesse documento serão validadas as variáveis de saída das regionalizações climáticas do modelo climático regional RegCM4 (GIORGI et al., 2012), temperatura do ar e precipitação médias mensais (que são variáveis de entrada do BH), assim como os resultados da integração do BH considerando-se as rodadas do modelo regional. Foram utilizadas três simulações do RegCM4, regionalizações, 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 (GIORGI 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 considerou-se somente os anos entre 1975 e 2004), em uma grade de espaçamento horizontal de 50 km e 18 níveis sigma de pressão. Todas as simulações dos Modelos Climáticos Globais 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).

## Resultados e Discussão

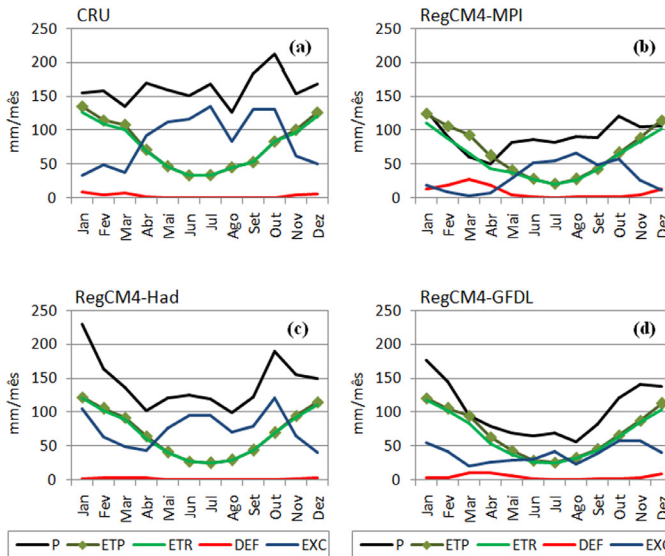
A Figura 2 apresenta os diagramas de dispersão entre o valores das temperaturas médias mensais (climatologia 1975-2004) obtidos da análise do CRU e das simulações do RegCM4. As três simulações apresentam maior/menor desvio da temperatura do ar nas regiões Noroeste/Sudoeste do estado, com erros sistemáticos variando entre -2,91 °C e -1,62 °C. Os processos físicos relacionados com a temperatura do ar, como balanço de energia superficial, resolvidos

pelo RegCM4, têm grande influência sobre esta variável na região, denotada pela grande similaridade entre as simulações. Observa-se uma maior convergência entre os valores simulados e observados durante os meses de verão, como indicado pela proximidade dos pontos em relação à reta 1:1 para as temperaturas mais elevadas. Por exemplo, todas as simulações apresentam desvios inferiores a 0,5 °C durante o trimestre de verão na região Sudoeste do estado (Figura 2b).



**Figura 2.** Diagrama de dispersão entre as temperaturas médias mensais (período 1975-2004) do CRU e das simulações do RegCM4 (governado pelos modelos globais MPI, Had, GFDL) para as regiões: (a) Nordeste, (b) Sudoeste e (c) Sudeste. Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2013.

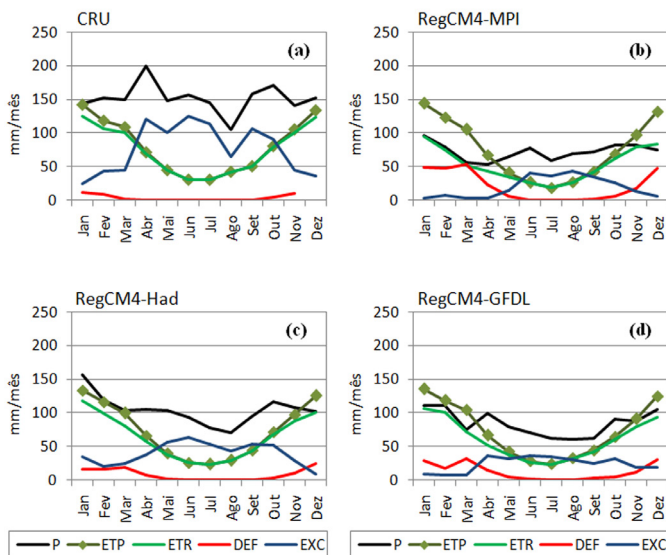
A precipitação pluviométrica no território do Rio Grande do Sul apresenta grande variabilidade espacial e temporal. Climatologicamente, a precipitação pluviométrica média anual normal (período de 1976 a 2005) em todo o estado é da ordem de 1.590 mm, variando espacialmente entre de 1.100 mm a 2.000 mm (WREGGE et al., 2011). De forma geral, todas as três simulações apresentaram valores médios anuais de precipitação inferiores aos observados, erro percentual variando entre -11,6% a -52,4%. A simulação que mais se aproxima dos valores de precipitação total anual é a RegCM4-Had, assim como a única que capturou o padrão de variação espacial médio da precipitação – com maior/menor total anual na região Noroeste/Sudeste do estado. A variabilidade sazonal é melhor



**Figura 3.** Médias mensais das componentes do balanço hídrico (climatologia do período de 1975 a 2004) sobre a região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, obtidas com os campos mensais de precipitação pluviométrica e temperatura do ar do: (a) CRU, (b) simulada pelo RegCM4-MPI, (c) simulada pelo RegCM4-Had e (d) simulada pelo RegCM4-GFDL. Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2013.

representada nas três simulações nas regiões Sudoeste e Sudeste (Figuras 3-5c,d) do estado. Já sobre a região Noroeste do estado as três simulações apresentam uma tendência de amplificação do ciclo sazonal, com valores de precipitação decaindo após os meses de verão.

A evapotranspiração potencial (ETP), que expressa o poder de evaporação da atmosfera (ALLEN et al. 1998), apresenta marcada variação temporal sobre o estado (Figuras 3-5a). Tal variação estacional está diretamente associada com a variação da declinação solar, não sendo claramente modulada pela convecção atmosférica. Espacialmente, observa-se alta similaridade do ciclo sazonal entre

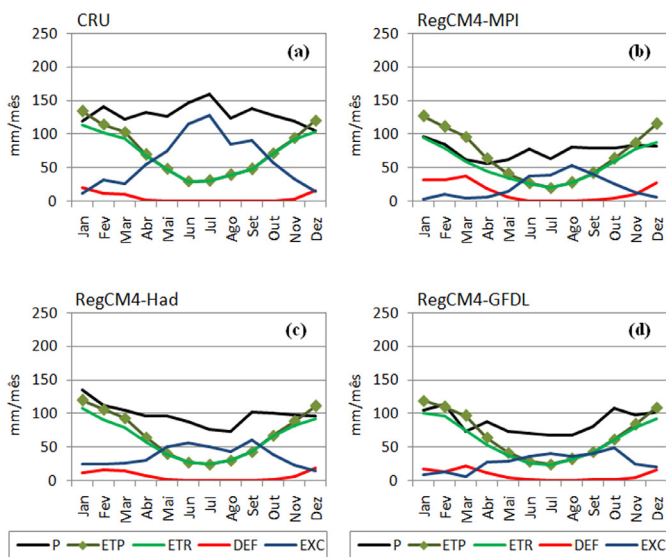


**Figura 4.** Médias mensais das componentes do balanço hídrico (climatologia do período de 1975 a 2004) sobre a região Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, obtidas com os campos mensais de precipitação pluviométrica e temperatura do ar do: (a) CRU, (b) simulada pelo RegCM4-MPI, (c) simulada pelo RegCM4-Had e (d) simulada pelo RegCM4-GFDL. Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2013.



as regiões, sendo o total anual maior/menor na região sudoeste/sudeste do estado. As simulações com o RegCM4 (Figuras 3-5b,c,d) apresentam um ciclo sazonal similar ao observado, porém com inferior magnitude da variação entre os meses. As simulações com o RegCM4-Had e RegCM4-GFDL apresentaram o padrão espacial similar ao observado, isto é, valores superiores/inferiores da ETP na região Sudoeste/Sudeste do estado.

Apesar de o volume da precipitação no estado ser bem distribuído nas quatro estações do ano (aproximadamente verão 25%, outono 24%, inverno 24% e primavera 27%), devido à alta demanda evaporativa da atmosfera no verão, as precipitações são recorrentemente insuficientes para atender à demanda hídrica. Como pode ser



**Figura 5.** Médias mensais das componentes do balanço hídrico (climatologia do período de 1975 a 2004) sobre a região Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul, obtidas com os campos mensais de precipitação pluviométrica e temperatura do ar do: (a) CRU, (b) simulada pelo RegCM4-MPI, (c) simulada pelo RegCM4-Had e (d) simulada pelo RegCM4-GFDL. Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2013.

observado nas Figuras 3-5a, a média da deficiência hídrica é maior que zero em todos os meses de verão nas três regiões, apesar de os valores serem próximos de zero – principalmente no Noroeste do estado. Entretanto é visualmente notório que há o predomínio do excedente hídrico em todas as três regiões ao longo do ano. A única exceção é o mês de janeiro na região Sudeste do estado, onde o valor médio da deficiência é superior ao excedente hídrico (Figura 5a). Nas três regiões há uma marcada sazonalidade do excedente hídrico, definida pela variação estacional da evapotranspiração (já que a precipitação apresenta baixa sazonalidade) – com máximo nos meses de inverno.

Não há um padrão claro dos erros sistemáticos e das habilidades apresentadas pelas simulações em reproduzir tais variações dos valores mensais da deficiência e do excedente hídrico. O valor anual médio do excedente hídrico é melhor representado na simulação do BH com as saídas da simulação RegCM4-Had nas três regiões analisadas, apresentando os menores erros sistemáticos. A referida simulação também mostra maior similaridade em relação à representação da sazonalidade do excedente hídrico. Já a deficiência hídrica é bem simulada tanto na simulação com o RegCM4-Had quanto com o RegCM-GFDL. A simulação com o RegCM4-MPI apresenta, em geral, uma superestimativa da deficiência hídrica, principalmente na região Sudoeste do estado (Figura 4b).

## **Conclusões**

A simulação que mais se aproxima dos valores observados, sobre as três regiões analisadas, é a RegCM-Had, em particular para a região noroeste do estado. Essa região é a principal produtora de grãos do estado, sugerindo que tal simulação pode ser aplicada com sucesso como forçante atmosférica nos modelos de simulação do crescimento e produtividade agrícola. Entretanto, cabe ressaltar que todas as simulações apresentaram desvios negativos significativos do volume

de precipitação pluviométrica. Os erros sistemáticos são maiores/ menores durante o inverno/verão. Tal viés deve ser considerado ao aplicar tais simulações em áreas relacionadas ao balanço hídrico, como em hidrologia e em simulações de crescimento e produtividade agrícola.

## **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. et al. 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.

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.

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

GIORGI, 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.

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/listabl.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.

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-CNPAP, 1986. 33 p. (EMBRAPA-CNPAP. 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-CNPAP, 1988. 59 p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, n. 23).

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**. Versão Digital, 2006. 449 p.

WREGGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER, C. J.; DE ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da Região Sul do Brasil:** Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. 336 p.



---

*Clima Temperado*

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO

