

# VALIDAÇÃO DE SIMULAÇÕES REGIONALIZADAS PARA A ESTIMATIVA DO NÚMERO DE HORAS FRIO EM MARIA DA FÉ, MG

*Gabriel Wilson Lorena Florêncio<sup>1</sup>; Rayan Reis Miranda Leite<sup>2</sup>; Fabrina Bolzan Martins<sup>3</sup>; Michelle Simões Reboita<sup>4</sup>; Roger Rodrigues Torres<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>Mestrando em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), email: gabrielflorencio1797@gmail.com

<sup>2</sup>Mestrando em Meteorologia pela Universidade de São Paulo (USP), email: rayanmirandda@gmail.com

<sup>3,4,5</sup>Docentes do Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), email: fabrinabm@gmail.com; mireboita@gmail.com; torres.fisico@gmail.com

## RESUMO

Esse estudo tem como objetivo avaliar o desempenho dos modelos globais GFDL-ESM2M e MPI-ESM-MR quando regionalizados com um modelo regional, utilizando o *Regional Climate Model Version 4* (RegCM4) e com técnica estatística, utilizando as simulações do *The NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections* (NEX-GDDP), em simular o número de horas frio (NHF) para Maria da Fé (MG), considerando as simulações do período de 1981-2005. O NHF observado foi calculado através da metodologia proposta por Pola e Angelocci (1993), utilizando-se dados diários de temperatura máxima ( $T_{\max}$ , °C) e mínima do ar ( $T_{\min}$ , °C) obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) e para três temperaturas basais ( $T_b$ , 7°C, 9,5°C e 13°C), para o período de 1981 a 2005. Concomitantemente, utilizaram-se dados diários de  $T_{\max}$  e  $T_{\min}$  obtidos com o *downscaling* dinâmico e estatístico da simulação histórica (1981-2005) dos modelos GFDL-ESM2M e MPI-ESM-MR. Os dados do *downscaling* estatístico foram obtidos do NEX-GDDP, enquanto os do dinâmico foram obtidos de simulações com o modelo RegCM4. Calculou-se o BIAS relativo para verificar a tendência dos modelos em simular o NHF. Para avaliar o desempenho dos modelos em simular a variável NHF, aplicou-se a análise de variância (ANOVA), seguido pelo teste de comparação de médias de Scott-Knott ( $\alpha=0,05$ ). Com exceção da simulação do RegCM4 do GFDL-ESM2M para a  $T_b$  de 13,0 °C, houve tendência dos modelos em subestimar o NHF. O RegCM4 foi melhor em simular o NHF para o GFDL-ESM2M, não apresentando diferença significativa do valor observado para a  $T_b$  de 9,5°C. Para o MPI, tanto o NEXGDDP quanto o RegCM4 diferiram do valor observado para todas as  $T_b$ 's. Ambos os modelos apresentaram pior desempenho em simular o NHF para a

Tb de 7 °C. O modelo GFDL-ESM2M utilizando o *downscaling* estatístico do NEX-GDDP foi o melhor em simular o NHF para Maria da Fé (MG), especialmente para a Tb de 9,5°C.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Downscaling*. Desempenho. Simulação.

### ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the performance of the global models GFDL-ESM2M and MPI-ESM-MR when regionalized with a regional model, using the *Regional Climate Model Version 4* (RegCM4) and with statistical technique, using the simulations of the *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections* (NEX-GDDP), in simulating the chilling hours (CH) for Maria da Fé (MG), considering the simulations of the period 1981-2005. The observed CH was calculated using the methodology proposed by Pola and Angelocci (1993), using daily data of maximum temperature (Tmax, °C) and minimum air temperature (Tmin, °C) obtained from the Meteorological Database for Teaching and Research (BDMEP) and for three basal temperatures (Tb, 7°C, 9,5°C e 13°C), for the period 1981 to 2005. At the same time, were used daily data of Tmax and Tmin obtained with the dynamic and statistical downscaling of the historical simulation (1981-2005) of the GFDL-ESM2M and MPI-ESM-MR. Statistical downscaling data were obtained from the NEX-GDDP, while the dynamic data were obtained from simulations with the RegCM4 model. The relative BIAS was calculated to verify the trend of the models in simulating the CH. To evaluate the performance of the models in simulating the NHF variable, it was applied the analysis of variance (ANOVA), followed by the Scott-Knott averages comparison test ( $\alpha = 0.05$ ). With the exception of RegCM4 simulation of GFDL-ESM2M for Tb of 13.0 ° C, there was a tendency of the models to underestimate the CH. RegCM4 was better at simulating CH for GFDL-ESM2M, showing no significant difference in the observed value for Tb of 9.5°C. Both models presented worse performance in simulating the CH for TB of 7°C. The GFDL-ESM2M model using the statistical downscaling of the NEX-GDDP was the best to simulate the CH for Maria da Fé (MG), especially for the Tb of 9,5°C.

**KEY-WORDS:** *Downscaling*. Performance. Simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

Durante o período invernal, as frutíferas de clima temperado (FCT) entram em dormência, ocorrendo a redução do metabolismo e, com isso, nenhum crescimento visível é observado (WREGGE et al., 2016). Para sair da dormência, iniciar um novo ciclo vegetativo e, posteriormente, atingir o florescimento uniforme, as FCT dependem da disponibilidade e acúmulo de frio durante o inverno (SANTOS et al., 2017). Esse acúmulo é dado pelo número de horas frio (NHF) e há exigência distinta entre espécie, variedade e cultivar (SILVA et al., 2017).

O NHF é definido como o número de horas em que a temperatura do ar (medida em estações meteorológicas a 1,5 m do solo) permanece abaixo de uma dada temperatura base ( $T_b$ ). Usualmente, para a  $T_b$ , utilizam-se os limiares de 7°C, 9,5°C e 13°C (SANTOS et al., 2017; SILVA et al., 2017). A insuficiência de frio invernal causa diversas anomalias fisiológicas, como a queda das gemas frutíferas, atraso, irregularidade ou não ocorrência da brotação e floração, afetando negativamente o desenvolvimento e a produtividade das plantas (SANTOS et al., 2017). Diante disso, a quantificação do NHF disponível é importante para estabelecer a aptidão de uma FCT para uma determinada região (SILVA et al., 2017).

Devido à indisponibilidade de observações horárias de temperatura do ar, é comum a utilização de métodos analíticos para a estimativa do NHF (SANTOS et al., 2017). Uma das metodologias mais utilizadas para a estimativa do NHF é a proposta por Pola e Angelocci (1993), que utiliza variáveis de fácil obtenção para o cálculo do NHF (MARRAFON et al., 2017; SANTOS et al., 2017; FLORENCIO et al., 2018). Além disso, na ausência de dados observados podem ser utilizados resultados de modelos climáticos, que são ferramentas para estudos de processos físicos no clima presente e futuro (AMBRIZZI et al., 2019; REBOITA et al., 2018).

Os modelos climáticos podem ser divididos em duas categorias: modelos climáticos globais e modelos climáticos regionais. Tais modelos diferem quanto à resolução horizontal e esquemas de parametrizações físicas, sendo que os modelos regionais possuem uma maior resolução horizontal e parametrizações físicas que permitem representar melhor o clima de um determinado local (LLOPART et al., 2017; AMBRIZZI et al., 2019; REBOITA et al., 2018). Os modelos climáticos regionais são utilizados para regionalizar as informações dos modelos globais, entretanto, também existem técnicas estatísticas para regionalização, e em ambos os casos, o processo é chamado de *downscaling*.

Devido à importância da variável NHF para as FCT, esse estudo tem como objetivo avaliar o desempenho dos modelos globais GFDL-ESM2M e MPI-ESM-MR quando

regionalizados com o *downscaling* dinâmico, utilizando o *Regional Climate Model Version 4* (RegCM4) e com técnica estatística, utilizando as simulações do *The NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections* (NEX-GDDP), em simular o NHF para Maria da Fé (MG), considerando as simulações do período de 1981-2005.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Dados Observados

Foram utilizados dados diários de temperatura máxima ( $T_{\max}$ , °C) e mínima do ar ( $T_{\min}$ , °C) obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o período de 1981 a 2005. Os dados foram coletados para Maria da Fé (MG) (22°18'29" S, 45°22'31" O, 1.276 m de altitude).

### 2.2 Dados Simulados

Utilizaram-se dados diários de  $T_{\max}$  e  $T_{\min}$  obtidos com o *downscaling* dinâmico e estatístico da simulação histórica dos modelos GFDL-ESM2M e MPI-ESM-MR pertencentes ao *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (MOSS et al., 2010), para o período de 1981 a 2005.

Os dados do *downscaling* estatístico foram obtidos do NEX-GDDP (THRASHER et al., 2012), enquanto os do dinâmico foram obtidos de simulações com o modelo RegCM4, como descrito em Reboita et al. (2017).

### 2.3 Metodologia para a estimativa de NHF

Os valores de NHF foram estimados diariamente, para o período entre 15 de maio a 15 de setembro, que compreendem os meses mais frios do ano, em que há ocorrência de frio invernal. Posteriormente, foram acumulados para valores anuais (NHF anual) (SANTOS et al., 2017). É importante salientar que anos com mais de 5% de dados faltantes foram desconsiderados no cálculo do NHF (SANTOS et al., 2017).

Para a estimativa do NHF utilizou-se a metodologia proposta por Pola e Angelocci (1993), que baseia-se na reconstrução da curva diária da temperatura do ar, baseada em funções de resfriamento (equação 1) e aquecimento (equação 2), as quais são calculadas de forma horária, sendo possível detectar os tempos exatos, em que as temperaturas se tornam iguais à  $T_b$  (Santos et al., 2017). Utilizou-se as  $T_b$ 's de 7, 9,5 e 13°C.

$$Tr(t) = TM1 + (T_{\min} - TM1) \cdot \sin \left[ \frac{\pi}{2} \cdot \frac{(t - t_{M1})}{(t_m - t_{M1})} \right] \quad (1)$$

$$Ta(t) = T_{\min} + (TM2 - Tm) \cdot \sin \left[ \frac{\pi}{2} \cdot \frac{(t-t_m)}{(t_{M2}-t_m)} \right] \quad (2)$$

em que:  $Tr(t)$  é a temperatura estimada no tempo  $t$  durante o resfriamento diário aplicada no intervalo de tempo entre a temperatura máxima do ar do dia anterior ( $TM1$ , °C) e a temperatura mínima do ar do dia ( $T_{\min}$  °C);  $t$  é o tempo ( $h$ ) que varia de  $TM1$  a  $T_{\min}$ , isto é,  $0 \leq t \leq 16$ ;  $Ta(t)$  é a temperatura estimada no tempo  $t$  durante o aquecimento diário aplicada no intervalo de tempo da  $T_{\min}$  à temperatura máxima do dia ( $TM2$ , °C) e  $t$  é o tempo ( $h$ ) que varia de  $T_{\min}$  a  $TM2$ , isto é,  $16 \leq t \leq 24$ .

Adotou-se o momento de ocorrência de  $T_{\min}$  como 7 h e o de ocorrência das temperaturas máximas às 15 h. Portanto, na equação 1 têm-se que  $(tm-t_{M1})$  é igual a 16 h e na equação 2  $(t_{M2}-tm)$  é igual a 8 h. Enquanto na escala de tempo adotada,  $TM2 = 0$ , o de  $tm$  16 e o de  $TM1 = 24$  horas.

Para a estimativa diária do NHF foram considerados cinco casos (Tabela 1), em que:  $t_a$ = horário em que a temperatura em decréscimo se iguala à temperatura base ( $T_b$ );  $T_b$ = horário em que a temperatura em elevação se iguala a temperatura base ( $T_b$ ).

**Tabela 1** - Condições para a estimativa do NHF proposto por Pola e Angelocci (1993).

Caso	Condições	Estimativa de NHF
1	$T_{M2} \geq T_b; T_{M1} \geq T_b; T_{\min} \geq T_b$	NHF = 0
2	$T_{M2} < T_b; T_{M1} < T_b$	NHF = (24 horas)
3	$T_{M2} > T_b; T_{M1} > T_b; T_{\min} < T_b$	NHF = ( $T_b - t_a$ )
4	$T_{M1} \leq T_b; T_{M2} > T_b; T_{\min} < T_b$	NHF = ( $T_b - t_{M1}$ )
5	$T_{M1} > T_b; T_{M2} \leq T_b$	NHF = ( $t_{M2} - t_a$ )

Para verificar se há tendências dos modelos na variável NHF, obteve-se o BIAS relativo (equação 3).

## 2.4 Análises

Para verificar se há tendências dos modelos na estimativa do NHF, obteve-se o BIAS relativo (equação 3).

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Ei - Oi)}{\sum Oi} \quad (3)$$

em que:  $O_i$  - valor observado de NHF;  $E_i$  - valor estimado de NHF pelos modelos, utilizando dados de entrada de  $T_{\min}$  e  $T_{\max}$  dos modelos.

Para avaliar o desempenho dos modelos em simular a variável NHF, aplicou-se a análise de variância (ANOVA) em esquema fatorial, considerando três tratamentos, sendo T1 o NHF observado com os dados de  $T_{\min}$  e  $T_{\max}$  provenientes do banco de dados do BDMEP, T2 o NHF simulado com os dados de  $T_{\min}$  e  $T_{\max}$  oriundos dos modelos do NEXGDDP e T3 o NHF simulado com os dados de  $T_{\min}$  e  $T_{\max}$  oriundos dos modelos do RegCM4. Por fim, os valores de NHF foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk ( $\alpha=0,05$ ) e comparação de médias pelo teste Scott-Knott ( $\alpha=0,05$ ), realizados no software SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, o NHF observado e simulado pelos diferentes modelos apresentou variabilidade interanual (Figura 1), o que é esperado (SANTOS et al., 2017). Pode-se perceber que para o GFDL-ESM2M, o NEXGDDP e RegCM4 possuem comportamento semelhante, apresentando as mesmas tendências ao longo do período simulado (1981-2005).

Com exceção da simulação do RegCM4 do GFDL-ESM2M para a  $T_b$  de 13,0 °C, houve uma tendência dos modelos em subestimar o NHF, o que pode ser comprovado pelos valores do teste BIAS (Tabela 3).

**Tabela 3** – BIAS relativo dos modelos do NEXGDDP e do RegCM4.

Modelo	GFDL-ESM2M			MPI-ESM-MR		
	$T_b=7^\circ\text{C}$	$T_b=9,5^\circ\text{C}$	$T_b=13^\circ\text{C}$	$T_b=7^\circ\text{C}$	$T_b=9,5^\circ\text{C}$	$T_b=13^\circ\text{C}$
NEXGDDP	-0,7655	-0,3795	-0,1070	-0,5661	-0,3283	-0,1104
RegCM4	-0,4122	-0,1626	0,1227	-0,6964	-0,3736	-0,1230

Modelos que superestimam o NHF anual são menos recomendados do que aqueles que subestimam, uma vez que a superestimativa do NHF pode gerar uma resposta falso-positiva de ocorrência de horas frio. Na prática, isso significa que para uma determinada região o modelo gera NHF acima do que realmente possui, classificando erroneamente a região como apta à introdução de uma determinada FCT. Isso além de ser uma inverdade, dificulta o planejamento, introdução e estabelecimento dessas culturas (WREGGE et al., 2016).

A ANOVA indicou que houve diferença entre o valor observado de NHF anual e os valores simulados pelo NEXGDDP e RegCM4 para as três  $T_b$ 's ( $\alpha=0,05$ ). Embora os modelos apresentem comportamento semelhante, as simulações do RegCM4 se aproximam

mais do valor observado para o modelo GFDL-ESM2M . Em contrapartida, para o MPI-ESM-MR, as simulações do NEXGDDP são mais próximas do NHF anual observado, o que pode ser corroborado pela comparação de médias (Tabela 2).

**Tabela 2** - Comparação de médias para a variável NHF anual observado, simulado utilizando o NEXGDDP's e o RegCM4's para o GFDL-ESM2M e MPI-ESM-MR. Maria da Fé, (1981-2005).

Tratamento	GFDL-ESM2M			MPI-ESM-MR		
	Tb=7°C	Tb=9,5°C	Tb=13°C	Tb=7°C	Tb=9,5°C	Tb=13°C
Observado	376 A	761 A	1499 B	376 A	761 A	1499 A
RegCM4	221 B	637 A	1683 A	114 C	477 B	1314 B
NEXGDDP	88 C	472 B	1338 C	163 B	511 B	1333 B

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (tratamento) não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os dados da tabela referem-se aos dados originais. Porém, foi necessária a transformação (Ln(NHF)), devido a não pressuposição da normalidade para a variável.

Analisando separadamente, verifica-se que para o modelo GFDL-ESM2M, as simulações do NEXGDDP foram mais satisfatórias, não apresentando diferença significativa do valor observado para a Tb de 9,5°C. Em contrapartida, para o modelo MPI-ESM-MR as simulações do NEXGDDP e do RegCM4 apresentaram diferença significativa do valor observado para todas as Tb's, de maneira mais específica, o NEXGDDP foi melhor em simular o NHF para a Tb de 7 °C e os modelos não diferiram significativamente para as Tb's de 9,5 e 13°C.

Ainda, é possível perceber que os modelos apresentaram pior desempenho em simular o NHF para a Tb de 7 °C, diferente do observado por Leite (2018) em que os modelos simularam melhor para os menores valores de Tb.

De maneira geral, o modelo GFDL-ESM2M utilizando o *downscaling* estatístico do NEX-GDDP foi o melhor em simular o NHF para Maria da Fé (MG), especialmente para a Tb de 9,5°C.

Informações dessa natureza permitem contribuir com atualização dos zoneamentos de aptidão climática para as FCT (WREGE et al., 2016), e são cruciais para a escolha das cultivares mais apropriadas para o local de cultivo (LUEDLING et al., 2012). Além disso, a determinação do desempenho dos modelos em simular o NHF é importante para a realização de estudos que consideram cenários de clima futuro.

#### 4. CONCLUSÃO

Com exceção da simulação do RegCM4 do GFDL-ESM2M para a Tb de 13,0 °C, houve uma tendência dos modelos em subestimar o NHF.

Ambos os modelos apresentaram pior desempenho em simular o NHF para a Tb de 7°C.

O modelo GFDL-ESM2M utilizando o *downscaling* estatístico do NEX-GDDP foi o melhor em simular o NHF para Maria da Fé (MG), especialmente para a Tb de 9,5°C.



## REFERÊNCIAS

- AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; DA ROCHA, R. P.; LLOPART, M. The state-of-the-art and fundamental aspects of Regional Climate Modeling in South America. **Annals of the New York Academy of Sciences, especial edition: Climate Science**, 2019.
- CARDOSO L.S., BERGAMASCHI H, BOSCO L.C. De PAULA V.A., Chill units for apples trees in the region of Vacaria - RS Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, p.289–295, 2015.
- FLORENCIO, G. W. L. et al. Acúmulo De Horas Frio Para Rio Grande (Rs), Considerando Dois Métodos De Estimativa., In: XX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2018, Maceió, AL. **Anais....**, 2018.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE.SUMMARY FOR POLICYMAKERS. In: Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M. (Ed.). Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University,2013. 33p.
- LEITE, R. R. M. Impacto das mudanças climáticas no número de horas de frio para Minas Gerais: comparação entre modelos globais e regional. 2018. 44 f. Trabalho Final de Graduação-Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018.
- LLOPART, M.; DA ROCHA, R. P.; REBOITA, M. S.; CUADRA, S. Sensitivity of simulated South America climate to the land surface schemes in RegCM4. **Climate Dynamics**, v. 49, p. 3975-3987, 2017.
- MARRAFON, V. H. A. et al. Estimativa e validação do número de horas de frio para Poços de Caldas – MG, In: XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2017, Petrolina/Juazeiro. **Anais....** Univasf: Bahia, 2017.
- MOSS, R. H., EDMONDS, J. A., HIBBARD, K. A., MANNING, M. R., ROSE, S. K., VAN VUUREN, D. P., et al. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, 463(7282), 747–756.
- POLA, A.C., ANGELOCCI, L.R. Avaliação de modelos de estimativa do número diário de horas de frio para o estado de Santa Catarina. **Rev Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, p.105-116,1993.
- REBOITA, M. S.; AMARO, T.R.; SOUZA, M.R.de. Winds: intensity and power density simulated by RegCM4 over South America in presente and future climate. **Climate Dynamics**, v. 51, n. 1-2, p. 187-205, 2017.
- REBOITA, M. S.; DIAS, C. G.; DUTRA, L. M. M.; ROCHA, R. P.; LLOPART, M. Previsão Climática Sazonal para o Brasil Obtida Através de Modelos Climáticos Globais e Regionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 2, p. 207-224, 2018.

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

SILVA, V. E. et al. Disponibilidade de horas de frio e suas relações com temperatura para três localidades de Minas Gerais. **Cultura Agrônômica**, v.26, p. 560-572, 2017.

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

WREGGE, M. S. et al. Regiões com similaridade de horas de frio no outono-inverno no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 18, p. 108-118, 2016.

## ANEXO: FIGURAS

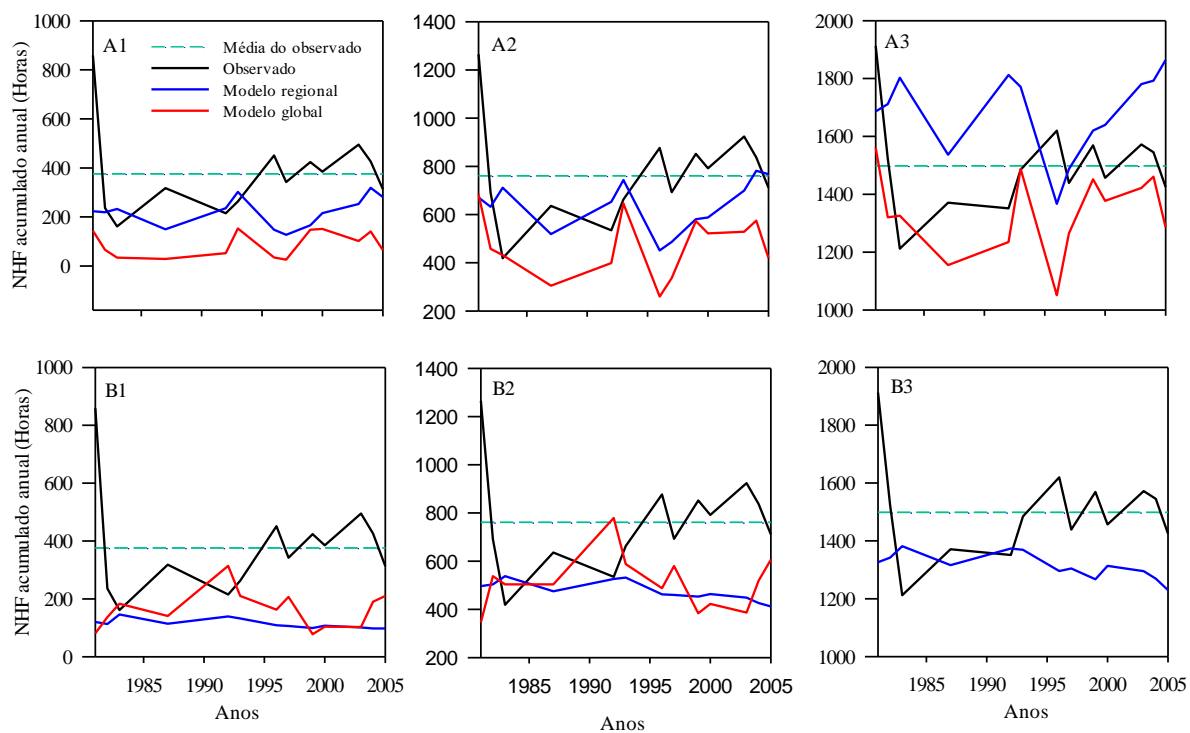


Figura 1- Número de horas frio estimado pelos modelos GFDL-ESM2M (A) e MPI-ESM-MR (B) para as temperaturas base de 7°C (1), 9,5 °C (2) e 13 °C (3).