

Cenários futuros de mudanças climáticas aplicados ao índice de conforto térmico para o nordeste do Brasil

Rafaela Lisboa Costa¹, Gustavo Macedo de Mello Baptista², Fabrício Daniel dos Santos Silva³

¹Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. E-mail: rafaelalisboac@gmail.com

²Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. E-mail: gmbaptista@unb.br

³Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas. E-mail: fabricio.santos@icat.ufal.br

Resumo: Foi analisado um índice de conforto térmico para dois cenários de mudanças climáticas, A1B e A2, a partir das séries de temperaturas e precipitação obtidas para a região Nordeste, por meio de regionalização obtida por downscaling estatístico, de quatro modelos climáticos globais. Trabalhou-se com a média dos modelos para cálculo do índice que foi validado por meio do cálculo a partir de observações no período de referência de 1961 a 1990. O índice foi analisado para três regiões homogêneas do Nordeste, e os resultados apontam para um aumento de dias com desconforto pelo calor entre 2021 e 2080. A principal tendência de aumento se dá na segunda metade desse período, entre 2051 e 2080. Na porção norte do Nordeste deve predominar dias com desconforto pelo calor já entre 2021 e 2050. Na porção leste a prevalência de dias com desconforto pelo calor se dá no período de 2051 a 2080, e na parte centro-oeste da região, que no período de referência, registrou menos de 1% dos dias com desconforto pelo calor, deve entre 2021 a 2050 ter 7% dos seus dias nessa classificação, atingindo 48% dos dias desconfortáveis pelo calor entre 2051 e 2080.

Palavras-chave: downscaling estatístico, Índice de Desconforto de Kawamura, desconforto térmico.

Os autores deste trabalho são os únicos responsáveis por seu conteúdo e são os detentores dos direitos autorais e de reprodução. Este trabalho não reflete necessariamente o posicionamento oficial da Sociedade Brasileira de Biometeorologia (SBBiomet).

The authors of this paper are solely responsible for its content and are the owners of its copyright. This paper does not necessarily reflect the official position of the Brazilian Society of Biometeorology (SBBiomet).

Introdução

Apesar do clima possuir uma variabilidade natural (Molion e Lucio, 2013), constatou-se que a atividade antrópica vem, ao longo das últimas décadas, adicionando quantidades consideráveis de gases de efeito estufa na atmosfera, consistindo em uma importante forçante climática. Segundo o quinto relatório do IPCC (2013), as populações que sofrerão mais serão as das grandes cidades dos países em desenvolvimento, especialmente dos países tropicais, como nas regiões norte e nordeste do Brasil. Os chamados eventos extremos são preocupantes, já que há uma tendência de aumento na sua incidência, associados a prejuízos materiais e mortes devido, também, a ondas de calor (HUNT, 2007).

As ondas de calor causam prejuízos à vida humana, agricultura, vegetação em geral e ao abastecimento de água, estimulando estudos em diversas partes do mundo que procuram explicar suas características climatológicas, tempos de recorrência e, especialmente, se são um sinal de mudança climática induzida pelo efeito estufa. Trigo et al. (2005) afirmam que o verão extremamente quente da Europa em 2003 ultrapassou em magnitude a qualquer outro nos últimos 500 anos, e Schär et al. (2004) afirmaram que esse evento foi estatisticamente muito improvável, embora consistente com resultados de simulações de mudanças climáticas. Stott et al. (2004) estimaram que as influências antropogênicas duplicaram a probabilidade de ocorrência da onda de calor na Europa. Ondas de calor mais intensas e frequentes são também previstas por Meehl e Tebaldi (2004) e Beniston (2004), com base em simulações de mudanças climáticas.

Uma maneira de estudar indiretamente as ondas de calor é por meio do uso de índices de conforto térmico. Assim, o objetivo deste trabalho é analisar o grau de conforto térmico na região Nordeste do Brasil por meio do Índice de Desconforto proposto por Kawamura (ONO e KAWAMURA, 1991), o ID_K , para um clima presente de referência, 1961-1990, e para dois cenários futuros de mudanças climáticas, A1B e A2, para 2021-2080, por meio da técnica de *Downscaling* Estatístico (DE) para a média de quatro MCGs.

Material e Métodos

Foram usados dados diários de precipitação, temperaturas máximas e mínimas de 96 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia localizadas na região Nordeste do Brasil, de 1961 a 2000 (Figura 1a), dados de reanálises do projeto ERA40 (Uppala et al., 2005) e do NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996), e dados em grande escala para diferentes níveis atmosféricos, de quatro MCGs: ECHAM5-OM (Alemanha); o HadGEM2-ES (Reino Unido); o BCM versão 2 (Noruega); e o CNRM-CM3 (França), disponíveis em uma grade comum de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, para dois cenários futuros de emissões de gases de efeito estufa: A1B e A2, para 2021 a 2080. O cenário A1B é considerado o mais realista, ainda com uso intensivo de combustíveis fósseis, mas com uma busca pelo equilíbrio com fontes limpas de energia. O cenário A2 é considerado pessimista, com um mundo não sustentável, altos índices populacionais e uso intensivo de combustíveis fósseis (SRES, 2010).

O DE conecta a baixa resolução dos cenários fornecidos pelos MCGs para a escala local das estações meteorológicas de superfície por meio de funções de transferência (Brands et al., 2011a; Brands et al., 2011b; Gutzler e Robbins, 2011), usando uma relação preditor/preditando, para um período representativo de, ao menos, 30 anos. Um MDE proveniente dessa relação, pode então ser aplicado aos dados de superfície (Wilby e Dawson, 2013). Para precipitação foram usados como preditores as componentes zonal e meridional da velocidade média do vento no nível de 850hPa, a umidade específica no nível de 850hPa, o geopotencial em 500hPa, a temperatura no nível de 850hPa e a pressão ao nível médio do mar. Para as temperaturas máximas e mínimas, foram selecionadas as mesmas variáveis preditoras da precipitação com exceção das componentes do vento. O MDE usado foi o dos análogos, que utiliza funções ortogonais empíricas para relacionar as condições de superfície as de grade escala dos MCGs (Zorita e Storch, 1999). A validação do MDE consiste na análise de sua habilidade em replicar a condição histórica (observações), e na significância estatística das correlações obtidas entre as simulações e observações no período de referência 1961-1990.

O ID_K , foi calculado para os sub-períodos 2021-2050 e 2051-2080 e comparados ao período de referência climatológica 1961-1990, para as três regiões homogêneas da região Nordeste obtidas por meio da análise hierárquica de agrupamento descrita na Figura 1a, b e c (Hervada-Sala e Jarauta-Bragulat, 2004).

O ID_K foi calculado para as médias diárias da temperatura do ar (T) e do ponto de orvalho, ambas em $^\circ\text{C}$, que por sua vez está relacionada à umidade relativa (UR). O ID_K é calculado de acordo com a equação 1: $ID_K = 0,99T + 0,36Td + 41,5$ (1)

A T_d é calculada empiricamente para dados diários de uma estação convencional relacionando T e UR, segundo a equação 2:

$$Td = T - (14,55 + 0,114T)(1 - (0,01UR)) - ((2,5 + 0,007T)(1 - (0,01UR)))^3 - (15,9 + 0,117T)(1 - (0,01UR))^{14} \quad (2)$$

Por meio desse índice, é possível estabelecer condições de conforto, desconforto ou estresse, devido ao frio ou calor sentido pela população: estresse pelo calor ($ID_K > 80$), desconforto pelo calor $75 < ID_K < 80$, conforto ($60 < ID_K < 75$), desconforto pelo frio ($55 < ID_K < 60$) e estresse pelo frio ($ID_K < 55$).

Resultados e Discussão

A Figura 1a mostra as 3 áreas climaticamente homogêneas da região Nordeste, onde cada área teve suas séries de dados confeccionada na média de todas as estações que as compõem. As climatologias mensais da precipitação e temperaturas do período 1961-1990 obtida da média dos modelos apresentou correlações altas e estatisticamente significantes ao nível de 95% em relação a observada. A UR necessária ao cálculo da Td foi obtida por equações de regressão linear múltipla estimadas no período de referencia a partir das temperaturas e precipitação, sendo utilizadas para os cenários futuros

A Figura 3a, b e c, mostra a comparação de histogramas do ID_K relativo aos dados diários 1961-1990 obtido das observações e da média dos modelos, para as três áreas homogêneas da região Nordeste. Não foram identificados casos de estresse e desconforto devido ao frio, nem de estresse devido ao calor. Os modelos tiveram desempenho muito satisfatório para os casos observados de desconforto devido ao calor (coluna em amarelo dos histogramas) e para a faixa confortável (coluna em cinza dos histogramas), com um percentual pequeno de superestimativas e subestimativas em relação as observações.

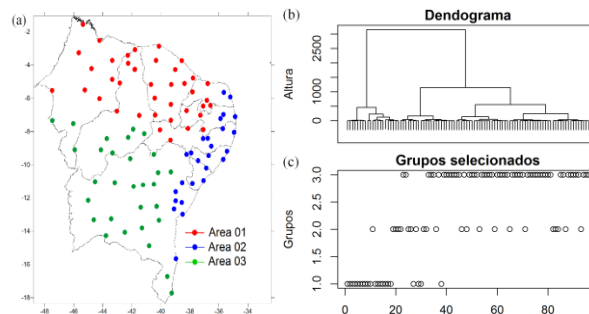


Figura 1: Análise de agrupamento para três áreas: (a) Distribuição espacial das estações, Área 01 com estações destacadas em vermelho, Área 02 com estações destacadas em verde e Área 03 com estações destacadas em azul; (b) dendograma dos grupos e (c) grupos selecionados em três diferentes níveis.

A Figura 4 mostra para a Área 01, cenários de redução significativa dos dias classificados como confortáveis. No cenário A1B para 2021 a 2050 (Figura 4a) 7,3% dos dias serão considerados confortáveis e 92,7% desconfortáveis (Figura 4b). No cenário A2, em 91,8% dos dias haverá desconforto pelo calor com 8,2% dos dias confortáveis. Em 2051-2080, o cenário A1B aponta para 98,6% dos dias desconfortáveis pelo calor (Figura 4c) e 1,4% dos dias confortáveis, no cenário A2 (Figura 4d), 97,9% dos dias serão considerados desconfortáveis pelo calor e 2,1% confortáveis. Para a Área 02 e cenário A1B, 56,1% dos dias serão confortáveis contra 43,9% desconfortáveis pelo calor, no cenário A2, em 55,4% dos dias haverá conforto e em 44,6% desconforto pelo calor (Figuras 5a e 5b). No período 2051-2080 a situação se inverte, com predomínio de dias com desconforto pelo calor para os dois cenários: 68,5% dos dias no cenário A1B e 68,9% no cenário A2 (Figuras 5c e 5d). A Figura 6 mostra para a Área 03 um aumento no percentual de dias com desconforto pelo calor no período 2021-2050, da ordem de 7,7% para o cenário A1B e 6,9% para o cenário A2 (Figuras 6a e 6b). Esses percentuais aumentam significativamente para o período 2051-2080, atingindo 48,1% dos dias com desconforto pelo calor para o cenário A1B e 47,2% para o cenário A2. Há de se considerar que no período 1961-1990, a quantidade de dias nas observações com desconforto pelo calor não ultrapassava 1% (Figura 6c e 6d), e que os modelos sequer simularam dias com desconforto pelo calor.

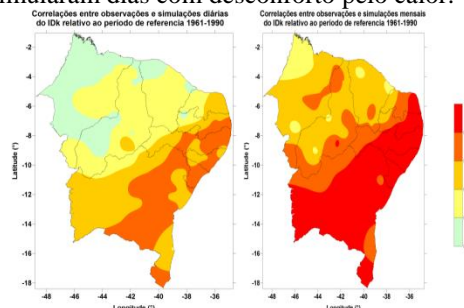


Figura 2: Espacialização das correlações diárias e mensais entre observações e simulações a partir da média dos modelos do ID_K para o período 1961-1990.

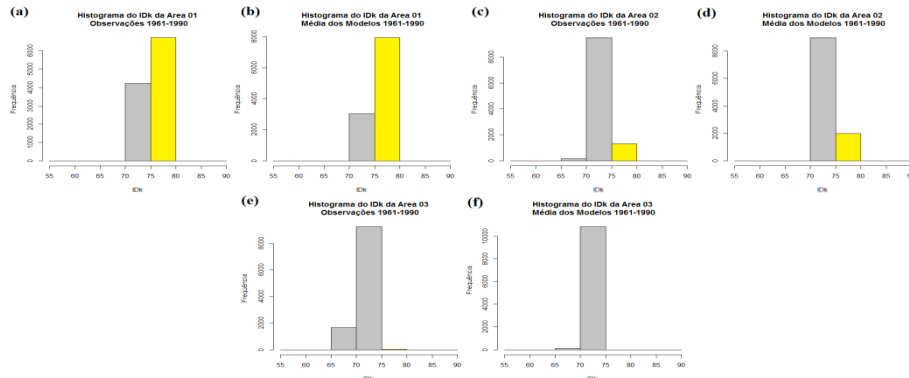


Figura 3: Histogramas do ID_K a partir das observações e simulações para o período 1961-1990 para a Área 01 (a) e (b), Área 02 (c) e (d), Área 03 (e) e (f). Em cinza classes confortáveis, em amarelo desconforto pelo calor.

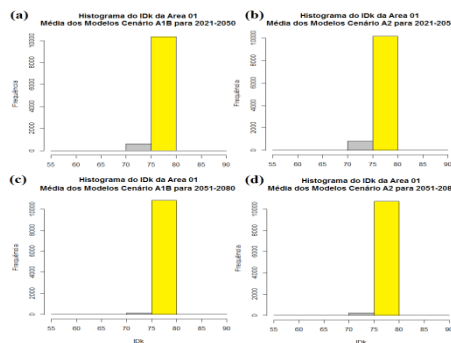


Figura 4: Histogramas dos cenários futuros da classificação do ID_K diário para os períodos de 2021-2050 dos cenários A1B (a) e A2 (b) e 2051-2080 para os cenários A1B (c) e A2(d), a partir dos resultados dos modelos para a Área 01. Em cinza classes confortáveis, em amarelo desconforto pelo calor.

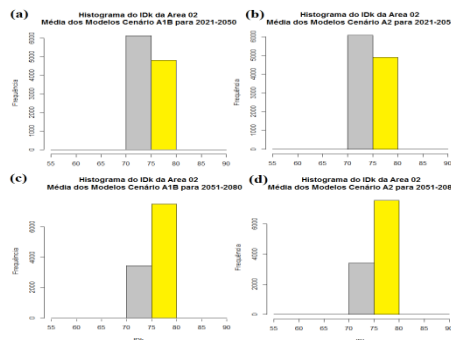


Figura 5: Histogramas dos cenários futuros da classificação do ID_K diário para os períodos de 2021-2050 dos cenários A1B (a) e A2 (b) e 2051-2080 para os cenários A1B (c) e A2(d), a partir dos resultados dos modelos para a Área 02. Em cinza classes confortáveis, em amarelo desconforto pelo calor.

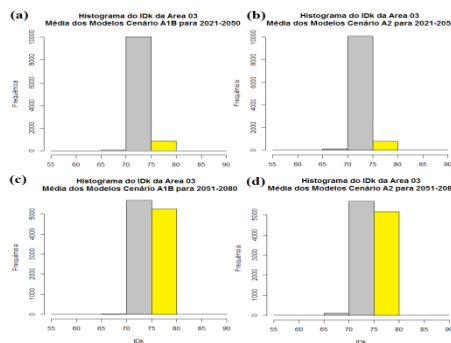


Figura 6: Histogramas dos cenários futuros da classificação do ID_K diário para os períodos de 2021-2050 dos cenários A1B (a) e A2 (b) e 2051-2080 para os cenários A1B (c) e A2 (d), a partir dos resultados dos modelos para a Área 03. Em cinza classes confortáveis, em amarelo desconforto pelo calor.

Conclusões

Neste estudo, cenários futuros de mudanças climáticas foram empregados para avaliar a tendência futura de um índice que mede o grau de conforto/desconforto térmico humano em relação ao seu meio ambiente, utilizando em seu cálculo dados de temperatura média e temperatura do ponto de orvalho, o ID_K.

Como resposta a um panorama de redução das precipitações no longo prazo, entre 2021 e 2080, e de aumento das temperaturas, três áreas da região Nordeste foram analisadas, a Área 01, mais ao norte da região, a Área 02 no setor leste e a Área 03, no centro-oeste do Nordeste. Os modelos simularam bem os valores de ID_K para o período de referência 1961-1990, a partir do sucesso ao se empregar regressão linear múltipla para obtenção da umidade relativa e consequente temperatura do ponto de orvalho, indispensáveis ao cálculo do índice.

No cenário A1B, o percentual de dias confortáveis cai de 7,3% em 2021-2050 para 1,4% em 2051-2080 para a Área 01. Para a Área 02 este percentual decai de 56,1% para 31,5% de 2021-2050 para 2051-2080. Na Área 03, o percentual de 92,3% dos dias confortáveis em 2021-2050 decai para 51,9% em 2051-2080.

No cenário A2, o percentual de dias confortáveis cai de 8,2% em 2021-2050 para 2,1% em 2051-2080 para a Área 01. Para a Área 02 este percentual decai de 55,4% para 31,1% de 2021-2050 para 2051-2080. Na Área 03, o percentual de 93,1% dos dias confortáveis em 2021-2050 decai para 52,8% em 2051-2080.

Referencias

- Beniston M (2004) The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letters*, v. 31, L02202, 2004. doi:10.1029/2003GL018857.
- Brands S, Herrera S, San-Martin D, Gutierrez J M (2011) Validation of the ensembles global climate models over southwestern Europe using probability density functions, from a downscaling perspective. *Climate Research*, v. 48, p. 145-161.
- Brands S, Taboada JJ, Cofino AS, Sauter T, Schneider C (2011) Statistical downscaling of daily temperatures in the Iberian Peninsula from global climate models: validation and future scenarios. *Climate Research*, v.48, p. 163-176.
- Gutiérrez JM, San-Martin D, Brands S, Manzanos R, Herrera S (2013) Reassessing statistical downscaling techniques for their robust application under climate change conditions. *Journal of Climate*. v. 26, p. 171-188.
- Gutzler DS, Robbins TO (2011) Climate variability and projected change in the western United States: regional downscaling and drought statistics. *Climate Dynamics*, v. 37, p. 835-849.
- Hervada-Sala C, Jarauta-Bragulata TE (2004) A program to perform Ward's clustering method on several regionalized variables. *Computers and Geosciences* 30: 881-886.
- Hunt BG (2007) A Climatology of Heat Waves from a Multimillennial Simulation. *Journal of Climate*, v. 20, p. 3802-3821.
- IPCC (2013) Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
- Kalnay E, and coauthors (1996) The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.77(3), p.437-471.
- Meehl GA, Tebaldi C (2004) More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, v. 305, 994-997.
- Molion LCB, Lucio PS (2013) A Note on Pacific Decadal Oscillation, El Niño Southern Oscillation, Atlantic Multidecadal Oscillation and the Intertropical Front in Sahel, Africa. *Atmospheric and Climate Science (Print)*, v. 03, p. 269-274.
- Ono HSP, Kawamura T, Sensible climates in monsoon Asia. *International Journal of Biometeorology*, v.35, p. 39-47, 1991.
- Schär C, Vidale PL, Lüthi D, Frei C, Häberli C, Liniger MA, Appenzeller C (2004) The role of increasing temperature variability in European summer heat waves. *Nature*, v. 427, 332-336.
- Stott PA, Stone DA, Allen MR (2004) Human contribution to the European heat wave of 2003. *Nature*, v. 432, 610-614.
- Trigo RM, Garcia-Herrera R, Diaz J, Trigo IF, Valente MA (2005) How exceptional was the early August 2003 heat wave in France. *Geophysical Research Letters*, 32, L10701, doi: 10.1029/2005GL022410.
- Uppala S (2005) The era-40 re-analysis. *Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society*, v. 131 (612, PartB), p. 2961-3012.

- Wilby RL, Dawson CW (2013) The Statistical DownScaling Model (SDSM): Insights from one decade of application. *International Journal of Climatology*, v. 33, p. 1707-1719.
- Zorita E, Von Storch H (1999) The analog method as a simple statistical downscaling technique: Comparison with more complicated methods. *Journal of Climate*, v. 12(n. 8, Part 2), p. 2474-2489.