

**Projeções de conforto térmico e seus efeitos na saúde humana para o século XXI**

Thalyta Soares dos Santos<sup>1</sup>, Allan Rodrigues Silva<sup>2</sup>, Aline Anderson de Castro<sup>3</sup>, Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim<sup>4</sup>, George do Nascimento Araújo Júnior<sup>5</sup>, Thieres George Freire da Silva<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada. E-mail: tthalyssoares@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada. E-mail: allansilva.r@gmail.com

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. E-mail: acaline@gmail.com

<sup>4</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada. E-mail: alexandremrfj@gmail.com

<sup>5</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada. E-mail: georgejunior\_91@hotmail.com

<sup>6</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada. E-mail: thiageoprofissional@hotmail.com

**Resumo:** As mudanças climáticas globais têm ganhado destaque a cada dia nas pesquisas científicas. As projeções observadas pelos modelos climáticos globais indicam que as mudanças do clima afetam vários segmentos da sociedade, dentre eles a saúde. Nesse contexto, é necessário que o setor de saúde se prepare para as consequências dessas mudanças, que são desproporcionais, visto que uma grande parcela da população são mais vulneráveis e não possuem estrutura para se proteger. Assim, o objetivo do trabalho é avaliar as projeções de conforto e suas consequências a saúde humana em um cenário pessimista do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas no período de 2010 a 2100 em toda a América do Sul. Para tanto, utilizou-se projeção do modelo CNRM-CM5 disponível no quinto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). As projeções de conforto térmico para o século XXI foram avaliadas por dois índices para ambientes abertos: índice de temperatura e umidade e o índice de calor. Notou-se que o aumento de temperatura do ar e diminuição da umidade relativa do ar projetado para o século XXI tem graves efeitos para a população humana. Esses efeitos são mais proeminentes no período do verão, em que se observa que a maior parte da América do Sul é classificada como extremamente desconfortável pelo índice de temperatura e umidade e como cautela extrema (indicando a possibilidade de câimbras, esgotamento e insolação para exposições prolongadas) pelo índice de calor. No período do inverno estes índices são atenuados espacialmente, devido a amplitude térmica do período, e ainda indicam necessidade de cuidado, e classificam-se na maior parte da área de estudo como confortável e cautela (fadiga por exposição prolongada) para os índices de temperatura e umidade e para o de calor, respectivamente. Nessa perspectiva, nota-se que a associação clima e saúde é um assunto indubitavelmente importante e deve ser tratada como um ponto estratégico nos estudos futuros, no intuito de articular discussões que favoreçam a população.

**Keywords:** CMIP5, Índice de Calor, Índice de Temperatura e Umidade.

---

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

No decorrer da história da Terra, a sociedade sofreu importantes consequências das variações climáticas, que ora favoreceu a instalação de civilizações sobre determinados espaços, ora determinando o sofrimento e aflição, que forçou processos de adaptação ou mitigação de civilizações inteiras (Mendonça, 2000). As mudanças no clima podem prejudicar diversos domínios da sociedade, por exemplo, a saúde humana.

Diversos índices biometeorológicos e índices de conforto térmico estudam a análise do conforto térmico humano, e têm sido avaliados em muitos estudos (Frota e Schiffer, 2001; Nedel, 2008; Nóbrega et al., 2011) para estimar a influência de variáveis meteorológicas nos estímulos fisiológicos do corpo humano. Esses índices são avaliados por equações empíricas, as quais consideram parâmetros meteorológicos pode ser calculado ou analisado por meio de ferramentas que quantificam ou qualificam o conforto térmico.

Nesse contexto, o estudo de índices que apontam o conforto térmico é cada vez mais importante visto que, as projeções do Quinto Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) apontam que a Terra sofrerá um aumento da temperatura média das superfícies de 0,9 a 1,7 °C nos cenários mais otimista, e, de 2,6 a 4,8 °C no cenário mais pessimista (até o ano 2100) (IPCC 2013). Costa et al (2010) afirmam que o corpo humano pode reagir diferentemente às variações de temperatura.

Com este panorama, processos de adaptação e mitigação às mudanças climáticas tem ganhado relevância no cenário atual, pois o desempenho das atividades dos seres humanos é otimizado em um ambiente confortável. Nessa perspectiva, o principal objetivo deste estudo é avaliar as projeções de conforto e suas consequências à saúde humana em um cenário pessimista do IPCC no período de 2010 a 2100.

## Material e Métodos

O estudo foi realizado para toda a América do Sul (AS) que possui algumas regiões bastante vulneráveis às mudanças climáticas projetadas para o século XXI. Destaca-se o Brasil que se mostra vulnerável às mudanças do clima atual e principalmente futuras. Segundo Marengo (2006), as áreas mais vulneráveis compreendem a Amazônia e o Nordeste do Brasil, como mostrado em diversos estudos. Para tanto, utilizou-se dados de projeções de temperatura e umidade relativa do ar provenientes do modelo CNRM-CM5 integrante do CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*) utilizado no quinto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*). O IPCC é o principal órgão científico internacional para as avaliações das alterações climáticas, e foi criado pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUA) e pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) em 1988, para fornecer visões científicas claras sobre o estado atual das informações das mudanças climáticas e seus possíveis impactos sócio-econômicos e ambientais (IPCC, 2013).

Os dados do CMIP5 são fornecidos pelo *Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison* (PCMDI) e disponibilizado pelo *Earth System Grid data portal*, e podem ser encontrados no sítio do PCMDI (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>). As informações provenientes do modelo utilizado são disponibilizadas para uma base de dados global com resolução espacial de 1,4° de latitude e longitude (aproximadamente 156 km) e resolução temporal mensal. As variáveis utilizadas são médias mensais projetadas para o clima do século XXI, no período de 2010 a 2100. O modelo utilizado é melhor descrito por Voldoire et al., (2013).

Neste trabalho foram utilizadas projeções do RCP 8.5. Os novos cenários conhecidos como RCPs (*Representative Concentration Pathways*) representam diferentes trajetórias de concentração dos gases de efeito estufa no clima futuro (Van Vuuren et al., 2011). Os RCPs formam um conjunto de concentrações de gases com efeito de estufa e vias de emissões concebidas para apoiar as investigações sobre os impactos e potenciais respostas políticas às alterações climáticas (Moss et al., 2010; Van Vuuren et al., 2011). Segundo Riahi et al., (2011) as emissões e concentrações de gases do efeito estufa neste cenário aumentam consideravelmente ao longo do tempo, levando a um forçamento radiativo de 8,5 W m<sup>-2</sup> no final do século.

As projeções de conforto térmico para o século XXI foram avaliadas pelos índices de temperatura e umidade (ITU) e o índice de calor (IC). Esses índices são apontados por Barbirato et al., (2007) como eficientes para estudos em ambientes abertos. Segundo os mesmos autores esses índices são comumente utilizados nos trópicos pela sua praticidade, porém não inviabiliza sua aplicabilidade em latitudes mais elevadas. O índice de temperatura e umidade é definido por:

$$ITU = 0,8 * T_{ar} \frac{UR * T_a}{500}$$

Em que  $T_{ar}$  é a temperatura dada em ( $^{\circ}\text{C}$ );  $UR$  é a umidade relativa do ar dada (%) e  $ITU$  é o índice de temperatura e umidade, classificado conforme a Tabela 1.

| Nível de Conforto           | ITU ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|-----------------------------|----------------------------|
| Confortável                 | $21 < ITU < 24$            |
| Levemente Desconfortável    | $24 < ITU < 26$            |
| Extremamente Desconfortável | $ITU > 26$                 |

Fonte: Nóbrega e Lemos (2011).

O Índice de Calor é um índice que combina a temperatura e a umidade relativa do ar para determinar uma temperatura aparente, que representa o quanto quente realmente o homem sente. Nóbrega e Lemos (2011) afirmam que o corpo humano geralmente resfria-se pela transpiração, na qual a água do suor evapora e retira calor do corpo. Contudo, quando a umidade relativa do ar é alta, a taxa de evaporação da água é reduzida. Nesse contexto, o calor é removido do corpo a uma taxa menor, sustentando mais calor no corpo do que numa situação de ar seco (Steadman, 1979). O IC foi elaborado e classificado (Tabela 2) a partir da metodologia proposta por Steadman (1979) em que as medidas relativas ao calor sentido para determinada temperatura e umidade do ar, considerando temperaturas elevadas e a pessoa à sombra em condições de vento fraco.

$$IC = -42,379 + 2,04901523 \cdot T + 10,14333127 \cdot UR - 0,22475541 \cdot T \cdot UR - 6,83783 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 - 5,481717 \cdot 10^{-2} \cdot UR^2 + 1,22874 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \cdot UR + 8,5282 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot UR^2 - 1,99 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 \cdot UR^2$$

Em que  $IC$  é o índice de calor ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{F}$ ) e  $UR$  é a umidade relativa do ar (%).

| Índice de Calor ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Nível de Alerta | Sintomas do Calor  |
|--|-----------------|--|
| $IC < 27$                              | Não há alerta   | Ausência de Alerta   |
| $27,1 < IC < 32$                       | Cautela         | Possível fadiga em casos de exposição prolongada e atividade física  |
| $32,1 < IC < 41$                       | Cautela extrema | Possibilidade de câimbras, esgotamento e insolação para exposições prolongadas e atividade física                                    |
| $41,1 < IC < 54$                       | Perigo          | Câimbras, insolação e provável esgotamento. Possibilidade de dano cerebral (AVC) para exposições prolongadas com atividades físicas. |
| $IC > 54$                              | Perigo extremo  | Insolação ou ação e risco de Acidente Vascular Cerebral (AVC) iminente.  |

Fonte: Fonte: National Weather Service Weather Forecast Office, NOAA. Adaptado por Nóbrega e Lemos (2011).

### Resultados e Discussão

A projeção do índice de temperatura e umidade para a América do Sul no período do verão e do inverno entre 2010 a 2100 é observada na Figura 1. É possível notar que os meses de dezembro a fevereiro (verão austral) a maior parte da AS apresenta-se como região considerada extremamente desconfortável ( $ITU > 26^{\circ}\text{C}$ ) e, apenas no sul da AS será confortável para a população. No período de junho e agosto (inverno) os países localizados à Noroeste de AS e a região Norte e Centro-Oeste do Brasil mantêm a condição extremamente desconfortável, enquanto o Chile, Argentina, Uruguai, Paraguai e a região Sul e litoral Brasileiro passam a confortável. Esses resultados são ancorados pelos altos valores de temperatura do ar projetados pelos modelos do IPCC para o século XXI, diminuição da precipitação e conseqüente redução da umidade do ar. O IPCC (2013) aponta que o aquecimento projetado para América do Sul varia de  $1^{\circ}$  a  $2^{\circ}\text{C}$  para o cenário mais otimista e de  $2^{\circ}$  a  $5^{\circ}\text{C}$  para o cenário pessimista. Em resumo, um clima substancialmente mais quente para qualquer dos cenários e modelos climáticos tomados

Ademais, este panorama projetado afetará o bioma existente atualmente e influenciará no conforto térmico da população, visto que a elevação da temperatura do ar e a redução da umidade relativa do ar estimula uma maior taxa de evapotranspiração (somatório da eliminação da água do solo por evaporação e eliminação da água da planta por transpiração), reduzindo dessa maneira, o total de água no solo. Marengo et al., (2006) estudando as mudanças climáticas globais e os efeitos na biodiversidade apontaram que a média das projeções para a América do Sul Tropical, indicam um aumento da área de savanas (com o cerrado invadindo a Amazônia) e um substituição de área de caatinga por semideserto no núcleo mais árido do Nordeste do Brasil, corroborando com Atlas da Desertificação elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (2007).

Na Figura 2 mostra-se a projeção do índice de calor para a América do Sul no período do verão e do inverno entre 2010 a 2100. Observa-se que no período do verão quase toda totalidade do Brasil, Paraguai, Bolívia, Peru, Equador, norte da Argentina e sul da Venezuela apresentam um alerta de cautela extrema, indicando a possibilidade de câimbras, esgotamento e insolação para exposições prolongadas. Esta mesma característica é notada no norte e extremo sul da América do Sul no período do inverno, enquanto no restante do continente ocorre um indicativo de cautela (fadiga por exposição prolongada) ou não existe alerta. Este fato estar associado as altas temperaturas projetadas pelos modelos do IPCC para o período do verão na AS. Marengo et al., (2011) aponta que o aquecimento para o século XXI tende a ser maior no verão quando comparado com o inverno. O mesmo padrão de cautela extrema é percebido sobre a região Amazônia Legal, que mesmo projetando uma menor taxa de aquecimento, a umidade relativa do ar (principalmente devido à parte da vegetação) sobre a região faz com que o vapor de água presente na atmosfera retenha calor. OPAN (2009) indica que as mudanças do clima podem produzir impactos sobre a saúde humana de forma direta, como no caso das ondas de calor, ou mortes causadas por outros eventos extremos, como o furacão Catarina que atingiu o Estado de Santa Catarina em 2004.

Ademais, o aumento de temperatura projetado para o século XXI aumenta a possibilidade de redução dos recursos hídricos disponíveis para a população, visto que, aumentará a evaporação de barragens, lagos e açudes, agravando as atividades relacionadas à agricultura e pecuária, afetando a qualidade de vida da população. Nesse contexto, a vulnerabilidade da população e dos ecossistemas em decorrência ao possível aumento de temperatura entre 2010 a 2100. O IPCC define vulnerabilidade como o grau de suscetibilidade de indivíduos ou sistemas ou de incapacidade de resposta aos efeitos adversos da mudança climática, incluindo-se a variabilidade climática e os eventos extremos (Mccarthy et al., 2001).

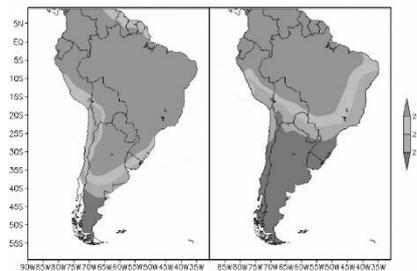


Figura 1- Projeção do índice de temperatura e umidade para a América do Sul, no período de 2010 a 2100. Na coluna da esquerda o período do verão e à direita período do inverno.

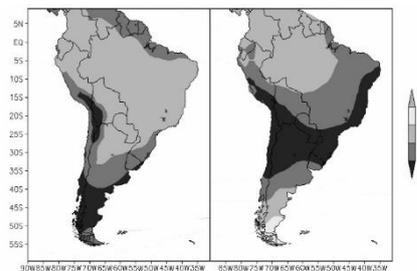


Figura 2- Projeção do índice de calor para a América do Sul, no período de 2010 a 2100. Na coluna da esquerda o período do verão e à direita período do inverno.

### Conclusões

A defesa civil e órgãos responsáveis pela saúde pública devem levar em consideração que desastres relacionados a desconforto térmico e doenças poderão se tornar mais sucessivos no futuro, se o aquecimento projetado ocorrer. As projeções de aumento de temperatura para a América do Sul indicam que poderá ocorrer um possível aumento no número de acidente vascular cerebral, que podem levar até a morte.

Sugere-se em trabalhos futuros identificar as áreas mais vulneráveis às alterações extremas de temperatura ou umidade projetadas para o século XXI, no intuito de promover ações de resiliência e criar estratégias de mitigação e adaptação para a população.

### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da FACEPE/CNPQ através do projeto de pesquisa APQ-0324-1.07/16-DCR, e ao GAS (Grupo de Agrometeorologia do Semiárido) pelo apoio.

### Referências

Barbirato GM, Souza LCL, Torres SC (2007) *Clima e Cidade: a Abordagem Climática como Subsídios*. Maceió: EDUFAL, 154.

Costa ER, Sartoni MGB, Fantini V (2010) Análise do conforto térmico do Parque Itaimbé-Santa Maria/RS sob condições atmosféricas de domínio da massa Polar velha em situação sazonal de primavera. *Geografia: Ensino & Pesquisa*, 14(2):16-26.

Frota AB, Schiffer SR (2001) *Manual de Conforto Térmico*. Studio Nobel, São Paulo.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2013) Summary for Policymakers. In: *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Stocker TF, D Qin, GK Plattner, M Tignor, SK Allen, J Boschung, A Nauels, Y Xia, V Bex, P M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.

Marengo JA (2006) Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. MMA, Ministério do Meio Ambiente.

Marengo JA, Alves LM, Beserra EA, Lacerda FF. (2011). Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Medeiros SS, Gheyi HR, Galvão CO, Paz VPS, organizadores. *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 384-422.

McCarthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White KS (Eds) (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, United Kingdom, 1000p.

Mendonça F (2000) Aspectos da interação clima-ambiente-saúde humana: da relação sociedade-natureza à (in) sustentabilidade ambiental. *RA'E GA—O espaço geográfico em análise*, 4(4):85-100.

Ministério do Meio Ambiente (2007) *Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil / MMA, Secretaria de Recursos Hídricos, Universidade Federal da Paraíba; Marcos Oliveira Santana, organizador*. Brasília: MMA, 134p.

Moss RH, Edmonds, JA, Hibbard, KA, Manning, MR, Rose, SK, Van Vuuren, DP, Carter, TR, Emori, S, Kainuma, M, Kram, T, Meehl, GA, Mitchell, JFB, Nakicenovic, N, Riahi, K, Smith, SJ, Stouffer, RJ, Thomson, AM, Weyant, JP, Willbanks, TJ (2010) The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*. doi:10.1038/nature08823

Nedel AS (2008) Condições meteorológicas favoráveis à ocorrência de doenças respiratórias em crianças na cidade de São Paulo. Tese, Universidade de São Paulo.

Nóbrega RS, Lemos TVS (2011). O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife. *Revista de Geografia*, 28(1):93-109.

Organização Pan-Americana da Saúde (OPAN) (2009) *Mudança Climática e Saúde: um perfil do Brasil*. Brasília: OPAN/MS.

Riahi, K, Rao, S, Krey, V, Cho, C, Chirkov, V, Fischer, G, Kindermann, G, Nakicenovic, N, Rafaj, P (2011) RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*. doi:10.1038/nature08823

Steadman RG (1979) The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science, R. G. Steadman, *Journal of Applied Meteorology*, doi:10.1175/1520-0450(1979)018<0861:TAOSPI>2.0.CO;2).

Van Vuuren, DP, Edmonds, J, Kainuma, M, Riahi, K, Thomson, A, Hibbard, K, Hurtt, GC, Kram, T, Krey, V, Lamarque, JF, Masui, T, Meinshausen, M, Nakicenovic, N, Smith, SJ, Rose, SK (2011) The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*. Doi:10.1007/s10584-011-0148-z

Voldoire, A, Sanchez-Gomez, E, y Méliá, DS, Decharme, B, Cassou, C, Sénési, S, Valcke, S, Beau, I, Alias, A, Chevallier, M, Déqué, M, Deshayes, J, Douville, H, Fernandez, E, Madec, G, Maisonnave, E, Moine, MP, Planton, S, Saint-Martin, D, Szopa, S, Tyteca, S, Alkama, R, Belamari, S, Braun, A, Coquart, L, Chauvin, F (2013) The CNRM-CM5. 1 global climate model: description and basic evaluation. *Climate Dynamics*. doi:10.1007/s00382-011-1259-y