

# INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE AS CONDIÇÕES DE TRABALHO NO FINAL DO SÉCULO XXI<sup>1</sup>

PLÍNIO MARCOS BERNARDO DE SOUZA<sup>2</sup>

MARCELO DE PAULA CORRÊA<sup>3</sup>

ROGER RODRIGUES TORRES<sup>4</sup>

LUIZ FELIPE SILVA<sup>5</sup>

## Introdução

Desde os primórdios, a sobrevivência e sustento do ser humano estão relacionados às atividades ao ar livre. Com o desenvolvimento da tecnologia, o homem deixou de trabalhar apenas no campo e passou, também, a atuar em ambientes fechados, tais como indústrias e escritórios. Dessa forma, a busca pelo aumento da produtividade, tanto no ambiente externo quanto no interno, fez com que trabalhadores fossem, por vezes, submetidos a um processo acelerado e desumano de produção e, então, passaram a se deparar com novos problemas de saúde relacionados às atividades laborais. Esses problemas estão diretamente relacionados aos fatores ambientais de risco no ambiente de trabalho, tais como temperaturas extremas, vibração e ruído (CHENG et al., 2012).

As temperaturas extremas estão entre os fatores ambientais que mais prejudicam o trabalhador que desempenha sua atividade ao ar livre. Atuando com outras variáveis, tais como a umidade e a radiação solar, podem causar redução da fertilidade masculina, exaustão, câimbras, fadiga, dor de cabeça, diminuição do grau de concentração, da produtividade, da capacidade de trabalho, e até morte (BATIZ et al., 2009; DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010). Outros impactos decorrentes do estresse térmico ainda podem ser considerados, tais como elevação do ritmo cardíaco, aumento da sudorese,

1. Agradecimentos: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001; da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (Fapemig) – Projeto: CRA-APQ-00307-14 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Projeto: 304701/2016-5.

2. Eng. Ambiental e Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Itajubá (Unifei). E-mail: pliniobsouza@yahoo.com.br

3. Meteorologista, Mestre e Doutor em Ciências pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Associado da Universidade Federal de Itajubá (Unifei). E-mail: mpcorrea@unifei.edu.br – ORCID: 0000-0002-4821-3828

4. Físico, Mestre e Doutor em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Professor Adjunto da Universidade Federal de Itajubá (Unifei). E-mail: roger.torres@unifei.edu.br – ORCID: 0000-0002-5684-3125

5. Engenheiro, Mestre e Doutor em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Associado da Universidade Federal de Itajubá (Unifei). E-mail: lfelipe@unifei.edu.br - ORCID: 0000-0002-3174-9984.

desidratação, convulsão, tontura, aumento do tempo de reação e insolação (WILSON; CRANDALL, 2011; BITENCOURT; RUAS; MAIA, 2012).

No início do século XIX, os pesquisadores começaram a estudar a exposição a condições térmicas adversas em ambientes de trabalho e o que estas implicavam para a saúde humana, visando melhorar as condições de trabalho nas indústrias metalúrgicas e têxteis, em vista dos frequentes acidentes e enfermidades devido à influência do calor (JUNIOR et al., 2012). Um dos principais parâmetros para se avaliar ambientes e processos de trabalho associados a esta exposição e seus riscos sobre a saúde humana foi denominado de estresse térmico, que se define como o quadro psicofisiológico decorrente de exposições ambientais extremas, sejam associadas ao frio ou ao calor (LAMBERTS, 2011).

Uma das maneiras de estimar o estresse térmico é por meio do uso de índices matemáticos (PALLOTTA; HERDIES; GONÇALVES, 2015). Tal ferramenta depende de variáveis ambientais e fisiológicas, sendo que os índices mais simples são aqueles que consideram apenas as variáveis ambientais em seu cálculo, já que podem ser observadas por estações meteorológicas (MORAN et al., 2001). As principais delas são a temperatura do ar, a umidade relativa, a radiação solar e a velocidade do vento (DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010; LAMBERTS, 2011). Tais variáveis são importantes na determinação da sensação térmica, pois influenciam os mecanismos de troca térmica entre o corpo humano e o ambiente (LAMBERTS, 2011). O equilíbrio ou desequilíbrio da troca térmica é que causa a sensação de conforto ou desconforto, podendo culminar em estresse térmico.

Adicionalmente, um grande número de estudos tem identificado mudanças significativas no clima da Terra nas últimas décadas (IPCC, 2013). No Brasil, mudanças climáticas já vêm sendo observadas, tais como aumento de temperatura, mudanças no regime de precipitação, e mudanças em eventos climáticos extremos como aumento nos dias secos consecutivos, dias e noites quentes e aumento na frequência, duração e intensidade de ondas de calor (MARENGO et al., 2010; DONAT et al., 2013; PBMC, 2014; CECCHERINI et al., 2016; SALVIANO et al. 2016; BITENCOURT et al.; 2016; GEIRINHAS et al. 2017). Tais mudanças favorecem uma maior ocorrência de condições de estresse térmico, gerando um risco à saúde e diminuindo a produtividade dos trabalhadores a céu aberto (BITENCOURT; MAIA; ROSCANI, 2019; BITENCOURT, 2019).

Para estimar as mudanças climáticas futuras e verificar os possíveis impactos na sociedade, projeções têm sido conduzidas pela comunidade científica baseadas nas tendências futuras de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Para produzir as projeções, cenários de emissões são usados como entrada em modelos numéricos do sistema climático, de modo a fornecer inferências sobre as condições climáticas no futuro (VAN VUUREN et al., 2011).

No quinto e último relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) – IPCC AR5, foram estabelecidos quatro cenários futuros de forçantes radiativas<sup>6</sup> climáticas, os chamados *Representative Concentration Pathways* (RCPs). Os RCPs são, de maneira simples, a medida de influência que um ou mais fatores têm de alterar o balanço

6. Forçante radiativa é definida como a diferença em irradiância líquida na tropopausa, em unidades de  $Wm^{-2}$ , entre um estado perturbado, provocado por um agente forçante, e um estado de referência (PBMC, 2014).

de energia do sistema climático (VAN VUUREN et al., 2011). Cada RCP pode resultar de futuras combinações econômicas, tecnológicas, demográficas, políticas, institucionais (IPCC, 2014b). De acordo com Moss et al. (2010), os quatro RCPs são:

- RCP 2.6: cenário de mitigação, onde o forçamento radiativo ficará em torno de  $3,0 \text{ W m}^{-2}$  e a concentração de  $\text{CO}_2$  equivalente atingirá um pico de cerca de 490 ppm antes de 2100 e então declinará. Representa um cenário que tem como objetivo manter o aumento global da temperatura abaixo dos  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  em comparação com temperaturas da era pré-industrial. De todos os RCPs, este é o menos pessimista. Seu comportamento é de aumento, seguido por grande declínio das emissões de GEE;

- RCP 4.5: cenário intermediário, onde o forçamento radiativo será aproximadamente de  $4,5 \text{ W m}^{-2}$  e a concentração de  $\text{CO}_2$  equivalente ficará em torno de 650 ppm em 2100. Essa projeção é consistente com a estabilização da demanda energética mundial, programas de reflorestamento fortes e políticas climáticas rigorosas;

- RCP 6.0: cenário intermediário, onde o forçamento radiativo será de cerca de  $6,0 \text{ W m}^{-2}$  e a concentração de  $\text{CO}_2$  equivalente em torno de 650 ppm em 2100. Juntamente com o RCP 8.5 são cenários que não incluem esforços adicionais na contenção de emissões de GEE. Seu comportamento é de estabilização até o final do século, não ultrapassando os valores mencionados de forçante radiativa e  $\text{CO}_2$  equivalente; e,

- RCP 8.5: cenário pessimista, onde o forçamento radiativo e a concentração de  $\text{CO}_2$  equivalente, em 2100, são maiores que  $8,0 \text{ W m}^{-2}$  e 1.370 ppm, respectivamente. Seu comportamento é de elevação acentuada das emissões de  $\text{CO}_2$  durante o século XXI em virtude do crescimento contínuo da população associada a um desenvolvimento tecnológico lento. Este cenário é considerado o mais pessimista em termos de emissões de GEE, sendo consistente com a carência de políticas para reduzir as emissões e forte dependência de combustíveis fósseis.

Assim, todos os fatores anteriormente mencionados podem contribuir para que o estresse térmico ocorra em trabalhadores expostos ao ar livre, trazendo inúmeros impactos à saúde e ao desempenho desses trabalhadores. Um desses impactos é a perda da capacidade de trabalho. Segundo Kjellstrom (2000), ela pode ser definida como o percentual de execução efetiva da atividade a cada hora de trabalho. Se não for necessário tempo de repouso, a capacidade de trabalho é de 100 % em uma hora de trabalho. Se houver a necessidade de 25 % de tempo de descanso, ela é de 75 % (KJELLSTROM; HOLMER; LEMKE, 2009). A estimativa do estresse térmico é importante pois por meio dela é possível calcular a capacidade de trabalho.

Kjellstrom, Holmer e Lemke (2009) relatam estudos mostrando que trabalhadores expostos ao calor intenso podem sofrer estresse térmico, diminuição da capacidade de trabalho e de tarefa mental e aumento do risco de acidentes. Batiz et al. (2009) citam que manifestações fisiológicas como dor de cabeça, fadiga, alteração sensorial, depressão intelectual, sono, perda de memória e descoordenação motora têm surgido com frequência em pessoas afetadas pelo aumento da temperatura. Lida (2005) mostra que quando o ser humano está exposto a altas temperaturas, a velocidade do trabalho, o grau de concen-

tração e o rendimento diminuem, as pausas se tornam mais frequentes, e a frequência de erros tende a aumentar significativamente a partir de 30 °C. Sterner (2015) afirma que as mudanças climáticas certamente irão causar aumento de absenteísmos no trabalho.

Óbitos relacionados ao trabalho ao ar livre têm sido relatados em diversos locais do mundo. Nos EUA um estudo identificou 423 mortes de trabalhadores rurais, relacionadas ao excesso de calor, entre 1992 e 2006 (KJELLSTROM; HOLMER; LEMKE, 2009). Na França, muitas mortes no local de trabalho causadas por hipertermia foram identificadas durante a onda de calor de 2003 (LÉTARD; FLANDRE; LEPELTIER, 2004). Na Índia, onde as pessoas são mais regularmente submetidas a estresse térmico por altas temperaturas e umidade, a onda de calor causou 3.000 mortes em 2003 (DUNNE; STOUFFER; JOHN, 2013).

Leaman e Bordass (2001) mostram uma diferença pronunciada na produtividade entre trabalhadores que relataram seu ambiente de trabalho como sendo confortável termicamente e aqueles que disseram ser desconfortável. Os trabalhadores que relataram estar em um ambiente desconfortável tiveram produtividade 8,8 % abaixo do normal e aqueles presentes em um ambiente confortável aumentaram sua produtividade em 4 %.

Um estudo realizado na Austrália durante 2013 e 2014 revelou que 77 % dos trabalhadores entrevistados ficaram em casa ou tiveram seu desempenho no trabalho prejudicado, por pelo menos um dia, devido a altas temperaturas (ZANDER et al., 2015). Esses pesquisadores chegaram à conclusão de que toda a força de trabalho da Austrália afetada pelas altas temperaturas gerou uma perda econômica de, em média, US\$ 6,2 bilhões, o que correspondeu a 0,33 - 0,47 % do PIB do país no ano de 2014.

Assim, as mudanças climáticas deverão impactar principalmente os trabalhadores que desempenham suas atividades ao ar livre, como agricultores, mineradores, pecuaristas, garis, carteiros, trabalhadores de transmissão e distribuição de energia elétrica, trabalhadores da construção civil, feirantes, entre outros, já que tais mudanças deverão alterar a magnitude das variáveis ambientais utilizadas para determinação do estresse térmico, ocasionando uma diminuição da capacidade de trabalho dessa classe de profissionais. Em virtude dessas alterações, provavelmente esses trabalhadores poderão ter efeitos à saúde agravados, uma vez que medidas de proteção como ventilação e resfriamento não são aplicáveis em trabalhos desempenhados ao ar livre (VILELA et al., 2015).

Portanto, conhecer como tais mudanças do clima podem influenciar as condições de trabalho e a saúde dos trabalhadores ao ar livre é de fundamental importância socioeconômica, uma vez que esse grupo de trabalhadores tem grande importância no cenário econômico. Avanços nessa área do conhecimento podem oferecer uma contribuição importante para o entendimento da influência das mudanças climáticas sobre esse grupo de trabalhadores e, assim, fornecer subsídios para implantar medidas que visem diminuir este impacto ou adaptar-se a eles.

Desta forma, o objetivo deste estudo é avaliar a possível influência das mudanças climáticas sobre as condições de trabalho ao ar livre para o final do século XXI, por meio da comparação entre a sua capacidade de trabalho no clima presente (1979 – 2005) e no clima futuro (2071 – 2100) projetado por diversos modelos do sistema terrestre.

## Materiais e Métodos

A influência das mudanças climáticas até o final do século XXI sobre a capacidade de trabalho foi avaliada por meio da comparação entre as condições no clima presente (simulação para o período de 1979 a 2005) e no clima futuro (projeção para o período de 2071 a 2100). As simulações e projeções foram baseadas no índice de estresse térmico *Environmental Stress Index* (ESI), também conhecido no Brasil como Índice de Estresse Ambiental (IEA), e baseadas nos dados provenientes de oito modelos climáticos do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5), sendo eles: CSIRO-Mk3.6.0, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-LR, IPSL-CM5A-MR, MIROC5, MIROC-ESM-CHEM e MRI-CGCM3. Tais modelos possuem resoluções horizontais diversas, que vão de 1º a 3º de latitude/longitude, e por motivos de intercomparação foram interpolados para uma grade regular de 1º x 1º de latitude/longitude via interpolação bilinear.

Os modelos climáticos do CMIP5 formam a base de avaliações de mudanças climáticas presentes no IPCC AR5 publicado em 2014 (IPCC 2014b). Tal conjunto de modelos contém dados das variáveis ambientais que foram necessárias para o cálculo do ESI e, portanto, para a estimativa da capacidade de trabalho. As projeções realizadas para o clima futuro foram baseadas nos cenários climáticos RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5.

Para testar a destreza dos modelos climáticos utilizados, calculou-se o ESI no clima presente com variáveis simuladas (*historical*), procedentes do CMIP5, e variáveis de reanálise provenientes da base de dados *WATCH-Forcing-Data-ERA-Interim* (WFDEI), com resolução horizontal de 0,5º x 0,5º de latitude/longitude e temporal de 3 h, os quais consideraremos como dados de referência. Tais dados foram transformados em médias diárias, e interpolados bilinearmente para a resolução horizontal de 1º x 1º de latitude/longitude para serem comparáveis aos dados dos modelos climáticos. Dados de reanálise são amplamente utilizados na literatura para suprir a deficiente cobertura espacial e temporal de dados observados, mas também apresentam erros intrínsecos à metodologia empregada (WEEDON et al., 2014).

As variáveis ambientais utilizadas foram aquelas necessárias para o cálculo do ESI, ou seja, temperatura do ar próximo à superfície, umidade relativa e radiação solar. Todas estas variáveis, para ambos os bancos de dados, são médias anuais a partir de dados diários, obtidas para cada um dos modelos e, conseqüentemente, utilizadas para cada uma das simulações e projeções realizadas. Estas foram calculadas para cada ponto de grade que cobre a América do Sul, com resolução horizontal de 1º x 1º de latitude/longitude.

Para estimar a capacidade de trabalho foi necessário calcular o estresse térmico experimentado pelo trabalhador e identificar o tipo de atividade, se é considerada leve, moderada ou pesada.

Segundo a Norma Regulamentadora Brasileira nº 15 – NR 15: Atividades e Operações Insalubres (BRASIL, 1978), o estresse térmico deve ser calculado por meio do Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo (IBUTG), conhecido na literatura como *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT). Este índice considera em seu cálculo as variáveis temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e temperatura de globo. Como estas duas últimas variáveis não estão disponíveis na base de dados escolhida, utilizou-se

o *Environmental Stress Index* (Equação 1) já que possui uma alta correlação ( $R^2 \geq 0,920$ ) com o IBUTG, podendo-o substituir (MORAN et al., 2005). Moran et al. (2001) destacam que o ESI possui a vantagem de envolver variáveis facilmente encontradas em estações meteorológicas. Brandão, Silva e Assireu (2013) dizem que sua aplicação, associada a ferramentas de informações geográficas, demonstra ser de grande utilidade para a avaliação dos riscos à saúde de trabalhadores, principalmente para aqueles que desempenham suas atividades ao ar livre. O ESI é calculado pela equação (1) (MORAN et al., 2001):

$$ESI = 0,63 TA - 0,03 UR + 0,002 RS + 0,0054 (TA \cdot UR) - 0,073 (0,1 + RS)^{-1} \quad (1)$$

em que:

- TA é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );
- UR é a umidade relativa (%); e
- RS é a radiação solar incidente ( $\text{W m}^{-2}$ ).

Primeiramente, o ESI foi calculado para cada dia do ano dos períodos analisados (1979 a 2005 e 2071 a 2100). Em seguida, ele foi categorizado em cinco grupos estabelecidos por Zhao et al. (2015): estresse térmico ausente, leve, moderado, forte e extremo (Tabela 1). Tal procedimento foi feito com o objetivo de conhecer o comportamento de cada categoria, de modo a avaliar se o estresse térmico está aumentando, diminuindo ou se mantendo constante com o passar dos anos.

**Tabela 1 - Categorias do índice de estresse térmico ESI utilizadas nesse estudo**

Categorização do ESI				
CAT0	CAT1	CAT2	CAT3	CAT4
Estresse térmico ausente	Estresse térmico leve	Estresse térmico moderado	Estresse térmico forte	Estresse térmico extremo
< 28 unidades	28 a 32 unidades	32 a 35 unidades	35 a 40 unidades	> 40 unidades

Fonte: Zhao et al. (2015).

Com o índice categorizado, a média anual dos dados diários foi calculada a fim de obter a categorização deles por ano analisado. Desse modo, foi possível calcular a média temporal do número de ocorrências das categorias de estresse térmico nos períodos estudados. Como esses dados foram calculados para cada um dos oito modelos avaliados, realizou-se a média desses modelos a fim de se obter dados que representassem todos eles (SOUZA, 2017).

O tipo de atividade desempenhada pelo trabalhador (leve, moderada ou pesada) é classificada em função da taxa metabólica do grupo de trabalhadores avaliado. Para

tanto, utilizou-se a Norma de Higiene Ocupacional nº 06 (NHO06) da Fundação Jorge Duprat Figueiredo – Fundacentro (FUNDACENTRO, 2002). Em seguida, confrontou-se o valor da taxa metabólica com a NR 15 para determinar o tipo de atividade do grupo de trabalhadores escolhidos. Na análise também foram empregadas as diretrizes estabelecidas pela *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH, 2017) entidade de reconhecimento internacional na área de higiene industrial, que serve de referência técnica às duas normas brasileiras na área citada.

Com o valor do estresse térmico e o conhecimento do tipo de atividade desempenhada por esse grupo de trabalhadores, fez-se uso da Tabela 2 para estimar a capacidade de trabalho dos trabalhadores escolhidos.

**Tabela 2 - Capacidade de trabalho de um trabalhador de acordo com o tipo de atividade que desempenha e o estresse térmico a que está exposto**

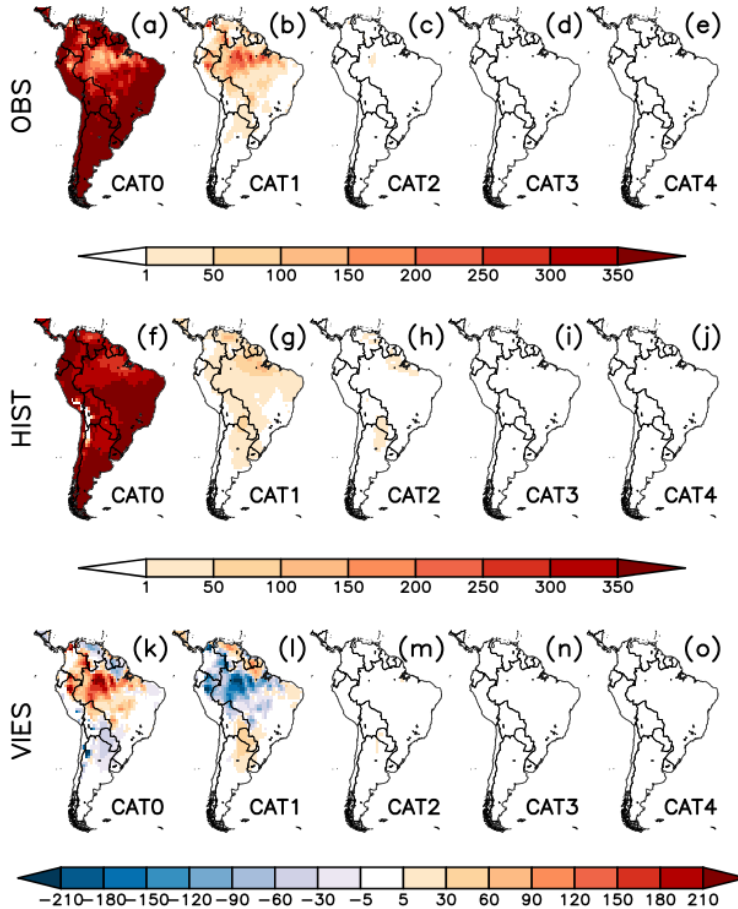
Regime de trabalho intermitente com descanso no próprio local de trabalho (por hora)	Capacidade de Trabalho (%)	Valores do ESI (unidades)		
		Atividade		
		Leve	Moderada	Pesada
Trabalho contínuo	100	Até 30,0	Até 26,7	Até 25,0
45 minutos trabalho 15 minutos descanso	75	30,1 a 30,5	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos trabalho 30 minutos descanso	50	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos trabalho 45 minutos descanso	25	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido o trabalho, sem a adoção de medidas adequadas de controle	0	Acima de 32,2	Acima de 31,1	Acima de 30,0

Fonte: Adaptado da Norma Regulamentadora Brasileira nº 15 (BRASIL, 1978).

## Resultados e Discussões

A Figura 1 apresenta as simulações do ESI para o clima presente. Os dados apresentados referem-se à média das ocorrências das categorias de estresse em número de dias por ano, para os dados observados e simulados, bem como o viés associado (simulação menos observação) ao se comparar as duas fontes de dados.

Figura 1 - Média anual de ocorrência (número de dias por ano) das cinco categorias do ESI, para os dados observados (OBS) e simulados (HIST), e viés associado (HIST-OBS), ambos para o período de 1979 a 2005



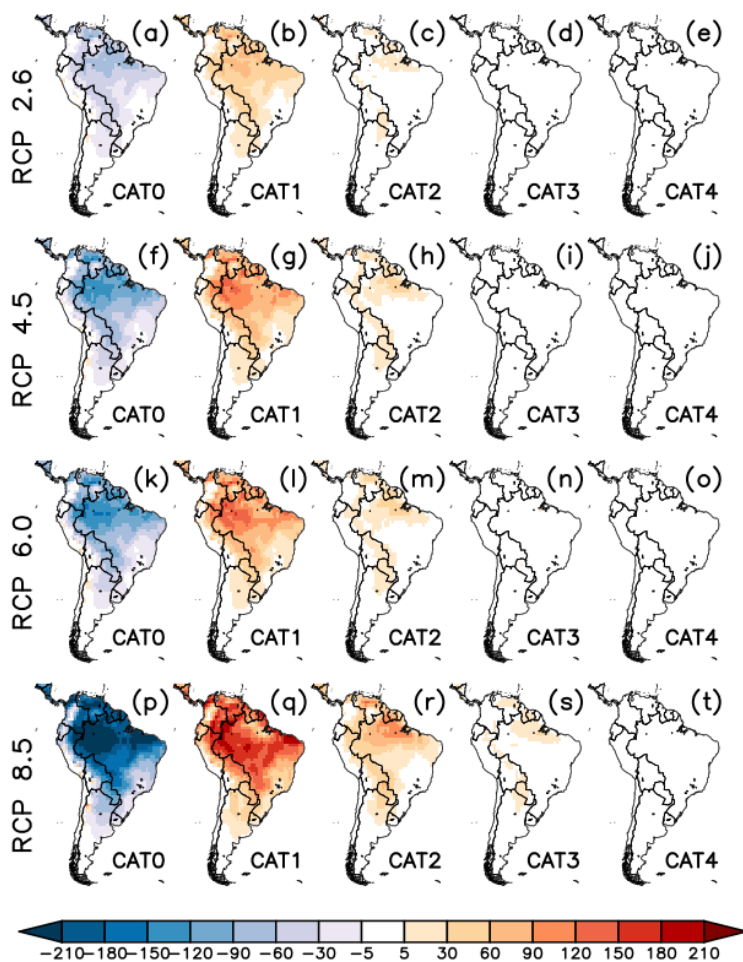
Fonte: Elaborada pelos autores.

Para o clima presente, as categorias 0 e 1, que respectivamente indicam ausência e baixo estresse térmico, apresentam maior ocorrência. Na comparação com dados observados, os modelos acertaram ao simular o estresse térmico nas regiões onde os vieses são baixos, considerados neste estudo como os valores entre -30 a +30 dias no ano. Tal característica ocorreu para a maior parte da América do Sul, principalmente para as regiões Sul, Sudeste, Leste e o extremo Oeste (Figura 1 k-l). Por outro lado, há maior viés, para as categorias 0 e 1, na região Amazônica, Paraguai e Norte da Venezuela, Colômbia, Peru e Bolívia. Porém para a CAT0 há predomínio de superestimativas dos modelos climáticos (em até +240 dias ano<sup>-1</sup>) e para a CAT1 de subestimativas (em até -240 dias ano<sup>-1</sup>). Por essa razão, projeções realizadas para estas regiões devem ser avaliadas com maior cautela.



As projeções do ESI para o clima futuro são apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Projeções de mudança de ocorrência (2071 – 2100), em números de dias por ano, das categorias do ESI, para todos os cenários RCPs. Os valores de mudança foram calculados com referência às simulações (*historical*) no período climatológico base de 1979 – 2005



Fonte: Elaborada pelos autores.

De acordo com a Figura 2, as projeções para o clima futuro indicam diminuição no número de dias sem estresse térmico (conforto térmico) e aumento de dias com estresse leve e moderado. Esses resultados são mais frequentes e abrangentes quanto maior a forçante radiativa, isto é, quanto mais pessimista for o cenário. Para as categorias 0 e 1 a abrangência é semelhante, prevalecendo, na primeira, a diminuição de sua ocorrência e na segunda o aumento, que pode chegar a mais de 70 dias no ano, para a maior parte da

América do Sul. Para a categoria 2 (estresse térmico moderado), há projeção de aumento da frequência na região Amazônica, no Paraguai e no Norte da Venezuela, Colômbia, Peru e Bolívia. Condições de estresse térmico forte e extremo, CAT3 e CAT4, praticamente não foram verificadas.

Em resumo, tanto os valores simulados quanto os observados, mostram predominância de condições de conforto térmico – CAT0 ( $ESI < 28$  unidades) no clima presente (Figuras 1a e 1-f). Porém, as projeções para o final do século XXI indicam que os trabalhadores ao ar livre podem passar a experimentar condições de estresse térmico leve – CAT1 ( $28,0 \leq ESI < 32,0$  unidades) e estresse térmico moderado – CAT2 ( $32,0 \leq ESI < 35,0$  unidades) em grande parte do continente.

A partir dessas simulações e projeções, estimou-se o impacto sobre a capacidade de trabalho ao ar livre em ambos os períodos analisados. Para esta análise foi considerada a CAT1, pois a CAT2 apresentou menor ocorrência, além de estar presente nas regiões onde a simulação do clima observado não é satisfatória. Como visto, a capacidade de trabalho e sua relação com o clima depende da exigência física (Tabela 1), e é classificada como atividade leve, moderada ou pesada. O grupo de trabalhadores que realizam trabalhos pesados, caracterizados por movimentos vigorosos com o braço e esforços ao carregar peso, típicos de trabalhadores rurais, cortadores de cana-de-açúcar, trabalhadores da construção civil, dentre outros, são os mais afetados.

Segundo NHO06, esse grupo de trabalhadores apresenta um dispêndio metabólico entre 400 W a 526 W durante sua atividade de trabalho, cujos limites de exposição, para esta faixa de dispêndio, estariam entre 25,4 e 26,1 unidades (FUNDACENTRO, 2017). Além disso, segundo a NR15, para que um trabalhador nessas condições possa trabalhar de maneira contínua, sem descanso, o valor máximo de ESI a que ele pode estar sujeito é de até 25 unidades. Em referência ao critério estabelecido para trabalhadores não aclimatizados pela ACGIH (2017), considerando um dispêndio metabólico da ordem de 415 W para trabalho pesado, o valor de ESI, para as condições estabelecidas, não deveria ultrapassar 30,5 unidades, salientando que o limite da atividade (trabalho pesado) deve obedecer a um ciclo trabalho/pausa, em que o primeiro não ultrapasse 25% da jornada, não sendo permitido o trabalho contínuo (ACGIH, 2017).

De acordo com as simulações realizadas para o clima presente (Figura 1), tais trabalhadores ao ar livre experimentam ESI menores que 28 unidades. Estes resultados são corroborados por Brandão, Silva e Assireu (2013), que mostraram que esse grupo de trabalhadores pode estar sujeito a valores do ESI entre 26 a 27,9 unidades. Nessas condições, de acordo com as recomendações da NR 15 (Tabela 1), a cada hora trabalhada, indivíduos em atividades pesadas devem permanecer 30 minutos em atividade, seguidos de 30 minutos de pausa em sombra. Por outro lado, valores de ESI dessa ordem não impactam trabalhos leves, mas impõem pausas de um quarto de hora por hora de atividade moderada. Em relação à NHO06 (FUNDACENTRO, 2017), para estes valores referidos, o dispêndio metabólico compatível, ponderado no regime trabalho/pausa, seria de 467 a 306 W, Conforme a ACGIH (2017) trabalhos pesados, que ocupem de 75 a 100% do tempo efetivo de trabalho, não devem ser executados, sendo que no valor de 27,5 unidades, recomenda-se que o trabalho efetivamente conduzido ocupe de 50 a 75% do tempo.

No entanto, a realidade é distinta, sobretudo, no trabalho rural e na colheita manual de cana, na qual prevalece um modo de organização do trabalho do século XIX, em que o trabalhador se exaure, pois o pagamento é por produção em condições importantes de risco à saúde (ALVES, 2006).

Em situações de ESI entre 28 e 30 unidades, conforme indicado nas projeções (CAT1 - Figura 2), a NR 15 recomenda pausas de 45 minutos em sombra, a cada 15 minutos de atividade laboral pesada. Para a NHO06, os dispêndios metabólicos na execução da atividade deveriam ser reduzidos, se localizando entre 306 e 209 W. Para o critério definido pela ACGIH (2017), nesta faixa não seria permitido o trabalho pesado. Deveria haver a implantação de um regime de trabalho/pausa de modo a reduzir a taxa metabólica, a saber: 28 unidades deveriam corresponder a 300 W e 30 unidades, 200 W.

Já em situações onde o ESI é maior que 30 unidades (valores também presentes na CAT1), os trabalhadores, de acordo com a NR15, não podem exercer atividades sem a adoção de medidas adequadas de controle, tais como o resfriamento e a ventilação, que não são aplicáveis em atividades ao ar livre. Nesses casos, até atividades leves devem ser intermediadas por pausas de, pelo menos, 15 minutos a cada hora. Para a NHO06, os dispêndios metabólicos deveriam ser reduzidos para valores inferiores a 209 W; enquanto que para a ACGIH (2016), somente seriam permitidas atividades cujo ciclo trabalho/pausa implique em um dispêndio metabólico ponderado de 100 a 200 W, faixa que corresponde desde a posição de repouso até à sentada com uso de somente um braço.

Usando a definição de capacidade de trabalho de Kjellstrom (2000), a NR 15 pode ser usada para estimá-la em trabalhadores expostos ao calor para cada hora do dia. Assim, considerando-se os dados médios diários levados em conta nas simulações, estima-se que a capacidade de trabalho pesado, que já é de 50 % no clima presente ( $ESI < 28,0$ ), caia para 25 % na melhor das hipóteses ( $28,0 \leq ESI \leq 30,0$ ), e para 0 % no pior cenário ( $ESI > 30,0$  unidades). Nessas condições, mesmo atividades de desempenho metabólico menor, podem ser afetadas. Importante ressaltar que esses resultados não indicam impossibilidade da atividade laboral ao final deste século, mas sim a necessidade de alternativas às atuais condições de trabalho, tais como mudanças de horários de trabalho e uso de novas tecnologias para reduzir o esforço e melhorar a proteção.

Quanto maior a forçante radiativa dos cenários, maior é a perda de capacidade de trabalho, já que aumentaria a abrangência de áreas de estresse térmico na América do Sul e também a frequência de episódios no ano. Assim, quaisquer que sejam os cenários futuros, há indícios de importante perda da capacidade de trabalho até o final deste século.

Ressalta-se que os resultados das projeções levam em consideração as médias diárias das variáveis ambientais considerando todos os períodos do ano. Ou seja, valores extremos das variáveis ambientais a que os trabalhadores podem estar sujeitos durante o dia e nos meses mais quentes em que eles trabalham são suavizados pela média. Desta forma, pode-se dizer que os resultados aqui apresentados podem ser ainda mais graves nos períodos mais quentes do dia e do ano. Isso reforça a tese de que trabalhadores expostos ao ar livre deverão ter sua capacidade de trabalho diminuída no final do século XXI, principalmente no verão.

No entanto, é importante ressaltar algumas incertezas associadas às simulações e projeções das categorias dos índices de estresse térmico. Por um lado, existem incertezas com relação às projeções, incluindo sensibilidade climática, incertezas relacionadas aos modelos numéricos do sistema climático, emissões futuras de CO<sub>2</sub>, distribuições populacionais futuras e mudanças tecnológicas e sociais (DUNNE; STOUFFER; JOHN, 2013). Além disso, há dificuldade dos modelos em gerar dados confiáveis para regiões com condições climáticas mais complexas e, portanto, difíceis de se representar, como a Amazônia e a Cordilheira dos Andes. Tais regiões apresentam os maiores vieses para os modelos do CMIP5 (TORRES; MARENGO, 2014). Isto pode ocorrer, entre outros fatores, devido a resolução espacial ainda grosseira dos modelos (TORRES, 2014).

## Considerações Finais

O estudo avaliou a possível influência das mudanças climáticas sobre as condições de trabalho ao ar livre na América do Sul, por meio da comparação entre a capacidade de trabalho no clima presente (1979 – 2005) e no clima futuro (2071 – 2100).

Levando em consideração as temperaturas médias diárias, os resultados encontrados apontam que a capacidade laboral de trabalhadores que realizam serviço pesado ao ar livre, que já é de 50 % no clima presente, deva cair para 25 %, na melhor das hipóteses, e para 0 %, na pior delas. Nessas condições, a atividade laboral pesada ao ar livre deve ser reduzida, no mínimo, para ciclos de 15 minutos, com pausa de 45 minutos em sombra, segundo a NR 15. Nessas condições, atividades moderadas e leves também podem ser afetadas e requerer tempos mínimos de pausa durante a atividade laboral. No que concerne à recomendação da ACGIH, diante destas circunstâncias, o ciclo trabalho/pausa deve ser organizado de modo a atingir um dispêndio metabólico ponderado de 200 W, que corresponde a um trabalho sentado com uso de somente um braço. Na pior das hipóteses, em horários atualmente comuns para a atividade laboral, não haverá condições ambientais e físicas para trabalhos dessa natureza, o que implica em um grave problema socioeconômico no final do século XXI.

Os resultados obtidos nesse trabalho mostram que as mudanças climáticas poderão causar severos impactos à saúde e capacidade de trabalho dos trabalhadores expostos ao ar livre, trazendo grandes prejuízos para a economia (EPSTEIN; MORAN, 2006). As projeções indicam condições preocupantes para esses trabalhadores, uma vez que situações de estresse térmico podem gerar impactos para a saúde e queda de rendimento. Por essa razão, é fundamental que avaliações mais detalhadas sobre a redução das condições de trabalho ao ar livre quando houver menos de oito horas de condições favoráveis de trabalho sejam avaliadas. Isto é, por se tratar de um tema de relevância socioeconômica, propõe-se que estudos mais aprofundados, que levem em consideração, as diferentes horas do dia, o uso de equipamentos adequados e estratégias de planejamento e otimização da produtividade laboral, sejam avaliadas em trabalhos futuros.

Para que esses impactos sejam minimizados são necessárias ações que visem sua mitigação e, principalmente, adaptação a eles. Uma das alternativas para a mitigação é reduzir o consumo de combustíveis fósseis (IPCC, 2014a), porém esforços internacionais,

como o Acordo de Paris, têm se demonstrado pouco eficazes até o momento. Por essa razão, a adaptação é a principal ação a ser implementada. Segundo Kjellstrom, Lemke e Hyat (2011), a ação mais efetiva a ser adotada para este fim é a redução da produção de calor pelo corpo humano, por meio de períodos de descanso maiores e mais prolongados durante a jornada de trabalho. Entretanto, este regime faria a produtividade de cada trabalhador diminuir, sendo necessário empregar mais trabalhadores para manter a produtividade geral.

A adaptação às mudanças climáticas deve ser baseada em medidas preventivas, como o planejamento urbano, organizações de trabalho racionais dotadas de adequações do local e na jornada de trabalho (por exemplo, jornadas noturnas de trabalho ou limitadas ao início da manhã e no final da tarde), mudança da vestimenta utilizada pelo trabalhador para facilitar as trocas térmicas entre seu corpo e o ambiente, e alterações nas legislações vigentes, de forma a preservar a integridade física e mental desses trabalhadores (DUNNE; STOUFFER; JOHN, 2013).

Essas ações talvez possam amenizar os efeitos das mudanças climáticas no ambiente de trabalho e, assim, promover a saúde e a produtividade dos trabalhadores expostos (KJELLSTROM; HOLMER; LEMKE, 2009). Para tanto, é necessário que os tomadores de decisão, como o governo e os empresários, implantem ações visando promover a saúde e o bem-estar do trabalhador.

## Referências

ALVES, F. Por que morrem os cortadores de cana? **Saúde e Sociedade**, v. 15, n. 3, p. 90-98, 2006. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/sausoc/article/view/7496>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH). **Heat Stress and Strain: TLV® Physical Agents 7th Edition Documentation (2017). TLVs and BEIs with 7th Edition Documentation**, CD-ROM. Cincinnati, OH, 2017.

BATIZ, E. C.; GOEDERT, J.; MORSCH, J. J.; JUNIOR, P. K.; VENSKE, R. Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. **Revista Produção Online**, v. 19, n. 3, p. 477-488, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/prod/v19n3/06.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2016.

BITENCOURT, D. P.; FUENTES, M. V.; MAIA, P. A.; AMORIM, F. T. Frequência, duração, abrangência espacial e intensidade das ondas de calor no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, 2016.

BITENCOURT, D. P.; RUAS, A. C.; MAIA, P. A. Análise da contribuição das variáveis meteorológicas no estresse térmico associada à morte de cortadores de cana-de-açúcar. **Caderno de Saúde Pública**, v. 28, n. 1, p. 65-74, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-311X2012000100007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2012000100007)>. Acesso em: 27 mar. 2017.

BITENCOURT, D. P.; MAIA, P.A.; CAUDURO, R.R. The heat exposure risk to outdoor workers in Brazil. **Archives of environmental & occupational health**, p. 1-8, 2019.

BITENCOURT, D. P. Maximum wet-bulb globe temperature mapping in central-south Brazil: a numerical study. **Meteorological Applications**, v. 26, n. 3, p. 385-395, 2019.

BRANDÃO, L. V.; SILVA, L. P.; ASSIREU, A. T. Uso do índice de stress ambiental (IEA) para mapear regiões críticas quanto a exposição ao calor no estado de São Paulo: estudo de caso relacionado aos cortadores de cana-de-açúcar. **Hygeia**, v. 9, n. 16, p. 67-73, 2013. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/view/20961/12453>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. **Norma Regulamentadora NR 15: atividades e operações insalubres**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 6 jun. 1978. Disponível em: <[https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos\\_SST/SST\\_NR/NR-15-Anexo-03.pdf](https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-15-Anexo-03.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2019.

CECCHERINI, G.; RUSSO, S.; AMEZTOY, I.; ROMERO, C. P.; CARMONA-MORENO, C. Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 16, n. 3, 821-831, 2016.

CHENG, V.; NG, E.; CHAN, C.; GIVONI, B. Outdoor thermal comfort study in a subtropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 1, p. 43-56, 2012. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00484-010-0396-z>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. Thermal comfort: A review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 3, p. 2626-2640, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110002200>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

DONAT, M. G.; ALEXANDER, L. V.; YANG, H.; DURRE, I.; VOSE, R.; DUNN, R. J. H.; WILLETT, K. M.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; CAESAR, J.; HEWITSON, B.; JACK, C.; KLEIN TANK, A. M. G.; KRUGER, A. C.; MARENGO, J.; PETERSON, T. C.; RENOM, M.; ORIA ROJAS, C.; RUSTICUCCI, M.; SALINGER, J.; ELRAYAH, A. S.; SEKELE, S. S.; SRIVASTAVA, A. K.; TREWIN, B.; VILLARROEL, C.; VINCENT, L. A.; ZHAI, P.; ZHANG, X.; KITCHING, S. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, p. 2098-2118, 2013.

DUNNE, J. P.; STOUFFER, R. J.; JOHN, J. G. Reductions in labour capacity from heat stress under climate warming. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 6, p. 563-566, 2013. Disponível em: <<http://www.nature.com/nclimate/journal/v3/n6/full/nclimate1827.html>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

EPSTEIN, Y.; MORAN, D. S. Thermal comfort and the heat stress indices. **Industrial Health**, v. 44, p. 388-398, 2006. Disponível em: <[https://www.jstage.jst.go.jp/article/indhealth/44/3/44\\_3\\_388/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/indhealth/44/3/44_3_388/_pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2016.

FUNDACENTRO – Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. **NHO 06: avaliação da exposição ocupacional ao calor** [GIAMPAOLI, E.; SAAD, I. F. S. D.; CUNHA, I. A. (eds.)]. São Paulo, 46 pp., 2002. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/normas-de-higiene-ocupacional/publicacao/detalhe/2013/3/nho-06-avaliacao-da-exposicao-ocupacional-ao-calor>>. Acesso em: 28 mar. 2017.

GEIRINHAS, J. L.; TRIGO, R. M.; LIBONATI, R.; COELHO, C. A.; PALMEIRA, A. C. Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 4, 1760-1776. 2018.

IPCC - Intergovernmental Panel in Climate Change. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Summary for policymakers. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [FIELD, C. B.; BARROS, V. R.; DOKKEN, D. J.; MACH, K. J.; MASTRANDREA, M. D.; BILIR, T. E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K. L.; ESTRADA, Y. O.; GENOVA, R. C.; GIRMA, B.; KISSEL, E. S.; LEVY, A. N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P. R.; WHITE, L. L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom e New York, NY, USA, 32 pp., 2014a. Disponível em: <[https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WG2AR5\\_SPM\\_FINAL.pdf](https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WG2AR5_SPM_FINAL.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2016.

IPCC - Intergovernmental Panel in Climate Change. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp

IPCC - Intergovernmental Panel in Climate Change. **Scenario process for AR5: Representative Concentration Pathways (RCPs)**. 2014b. Disponível em: <[http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5\\_scenario\\_process/RCPs.html](http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html)>. Acesso em: 21 jan. 2016.

JUNIOR, L. C. S. C.; RAMOS, E. M. C.; TOLEDO, A. C.; CECCATO, A. D. F.; MACCHIONE, M.; BRAGA, A. L. F.; RAMOS, D. Avaliação da qualidade de vida relacionada à saúde de cortadores de cana-de-açúcar nos períodos de entressafra e safra. **Revista de Saúde Pública**, v. 46, n. 6, p. 1058-1065, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-89102012000600016&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-89102012000600016&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 12 jun. 2016.

KJELLSTROM, T. Climate change, heat exposure and labour productivity. **Epidemiology**, v. 11, n. 4, p. S144, 2000. Disponível em: <[http://journals.lww.com/epidem/Full-text/2000/07000/Climate\\_change\\_heat\\_exposure\\_and\\_labour.380.aspx](http://journals.lww.com/epidem/Full-text/2000/07000/Climate_change_heat_exposure_and_labour.380.aspx)>. Acesso em: 26 mar. 2017.

KJELLSTROM, T.; LEMKE, B.; HYAT, O. Increased workplace heat exposure due to climate change: a potential threat to occupational health, worker productivity and local economic development. **Asian-Pacific Newsletter on Occupational Health and Safety**, v. 18, n. 1, p. 5-11, 2011.

KJELLSTROM, T.; HOLMER, I.; LEMKE, B. Workplace heat stress, health and productivity - an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change. **Global Health Action**, v. 2, 2009. Disponível em: <<http://www.globalhealthaction.net/index.php/gha/article/view/2047>>. Acesso em: 02 set. 2015.

LAMBERTS, R. **Conforto e Stress Térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – Departamento de Engenharia Civil. 2011. Disponível em: <[http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200\\_apostila%202011.pdf\\_2.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2015.

LEAMAN, A.; BORDASS, B. Assessing building performance in use 4: the Probe occupant surveys and their implications. **Building Research and Information**, v. 29, n. 1, p. 129–143, 2001. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613210010008045>>. Acesso em: 27 jan. 2016.

LÉTARD, V.; FLANDRE, H.; LEPELTIER, S. (Comp.). **La France et les Français face à la canicule: les leçons d'une crise**: Rapport d'information n° 195 (2003-2004) fait au nom de la mission commune d'information, déposé le 3 février 2004. Paris: Le Sénat de La République Française, 2004. 391 p. Disponível em: <<http://www.senat.fr/rap/r03-195/r03-195.html>>. Acesso em: 27 jan. 2016.

LIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. cap. 16, p. 491-522.

MARENCO J. A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. **Climatic Change**, v. 98, p. 509-529, 2010.

MORAN, D. S.; PANDOLF, K. B.; EPSTEIN, Y.; HELED, Y.; SHAPIRO, Y.; GONZALEZ, R. R. Validation of the environmental stress index (ESI) for physiological variables. **Elsevier Ergonomics Book Series**, v. 3, p. 495-501, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1572347X05800771>>. Acesso em: 05 fev. 2016.

MORAN, D. S.; PANDOLF, K. B.; SHAPIRO, Y.; HELED, Y.; SHANI, Y.; MATHEW, W. T.; GONZALEZ, R. R. An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT). **Journal of Thermal Biology**, v. 26, n. 4-5, p. 427-431, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306456501000559>>. Acesso em: 05 fev. 2016.

MOSS, R. H.; EDMONDS, J. A.; HIBBARD, K. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S. K.; VAN VUUREN, D. P.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEHL, G. A.; MITCHELL, J. F. B.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S. J.; STOUFFER, R. J.; THOMSON, A. M.; WEYANT, J. P.; WILBANKS, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 11, p. 747-756, 2010. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/41422439\\_The\\_Next\\_Generation\\_of\\_Scenarios\\_for\\_Climate\\_Change\\_Research\\_and\\_Assessment](https://www.researchgate.net/publication/41422439_The_Next_Generation_of_Scenarios_for_Climate_Change_Research_and_Assessment)>. Acesso em: 21 jan. 2016.



PALLOTTA, M.; HERDIES, D. L.; GONÇALVES, L. G. G. Estudo das condições de tempo e conforto térmico no desempenho esportivo aplicado à maratona na cidade do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 223-240, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v30n2/0102-7786-rbmet-30-02-00223.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2016.

PBMC, 2014: Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 pp

SALVIANO, M. F.; GROPPPO, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.

SOUZA, PM.B. Estresse térmico em trabalhadores expostos ao ar livre: Perspectivas para o século XXI. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em meio ambiente e recursos hídricos. 2017. 91 p.

STERNER, T. Higher costs of climate change. **Nature**, v. 527, n. 7577, p. 177-178, 2015. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v527/n7577/full/nature15643.html>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

TORRES, R. R. **Análise de incertezas em projeções de mudanças climáticas na América do Sul**. 2014. 239 p. Dissertação de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3FHR358>>. Acesso em: 02 ago. 2016.

TORRES, R. R.; MARENGO, J. A. Climate change hotspots over South America: from CMIP3 to CMIP5 multimodel datasets. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 117, p. 579-87, 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-013-1030-x>>. Acesso em: 04 dez. 2017.

VAN VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; HURTT, G. C.; KRAM, T.; KREY, V.; LAMARQUE, J-F.; MASUI, T.; MEINSHAUSEN, M.; NAKICENOVIC, N.; SMITH, S. J.; ROSE, S. K. The representative concentration pathways: an overview. **Climatic Change**, v. 109, n. 1, p. 5-31, 2011. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-011-0148-z#/page-1>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

VILELA, R. A. G.; LAAT, E. F.; LUZ, V. G.; SILVA, A. J. N.; TAKAHASHI, M. A. C. Pressão por produção e produção de riscos: a “maratona” perigosa do corte manual da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 40, n. 131, p. 30-48, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbso/v40n131/0303-7657-rbso-40-131-30.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

WEEDON, G.P.; BALSAMO, G.; BELLOUIN, N.; GOMES, S.; BEST, M.J.; VITERBO, P. The WFDEI meteorological forcing data set: WATCH Forcing Data methodology applied

to ERA-Interim reanalysis data. **Water Resources Research**, v. 50, n. 9, p. 7505-7514, 2014. doi:10.1002/2014WR015638.

WILSON, T. E.; CRANDALL, C. G. Effect of Thermal Stress on Cardiac Function. **Exercise and sport sciences reviews**, v. 39, n. 1, p. 12-17, 2011. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21088607>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

ZANDER, K. K.; BOTZEN, W. J. W.; OPPERMAN, E.; KJELLSTROM, T.; GARNETT, S. T. Heat stress causes substantial labour productivity loss in Australia. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 7, p. 647-651, 2015. Disponível em: <<http://www.nature.com/nclimate/journal/v5/n7/full/nclimate2623.html>>. Acesso em: 21 mar. 2017.

ZHAO, Y.; DUCHARNE, A.; SULTAN, B.; BRACONNOT, P.; VAUTARD, R. Estimating heat stress from climate-based indicators: present-day biases and future spreads in the CMIP5 global climate model ensemble. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 8, p. 1-12, 2015. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/8/084013>>. Acesso em: 13 abr. 2016.

Submetido em: 21/04/2018

Aceito em: 20/11/2019

<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20180011r3vu2020L1AO2020;23:e00113>

Artigo Original

# INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE AS CONDIÇÕES DE TRABALHO NO FINAL DO SÉCULO XXI

---

PLÍNIO MARCOS BERNARDO DE SOUZA  
MARCELO DE PAULA CORRÊA  
ROGER RODRIGUES TORRES  
LUIZ FELIPE SILVA

## INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE AS CONDIÇÕES DE TRABALHO NO FINAL DO SÉCULO XXI

**Resumo:** Os efeitos adversos das mudanças climáticas devem atingir o trabalho ao ar livre. Por esse motivo, o objetivo deste estudo é avaliar esses efeitos comparando-se a capacidade de trabalho na América do Sul entre clima presente (1979 a 2005) e o futuro (2071 – 2100). O estresse térmico foi estimado por meio do *Environmental Stress Index* (ESI), com base em variáveis atmosféricas provenientes das projeções climáticas do IPCC. Os resultados indicam que, mesmo em cenários climáticos favoráveis, a capacidade de trabalho pesado deve ser reduzida entre 25 a 50% no final do século XXI em praticamente toda a América do Sul, principalmente na região Amazônica, partes do norte e nordeste brasileiros, além de extensas regiões do Paraguai ao Suriname. Assim, cenários pessimistas, com intensificação do efeito estufa, podem implicar em falta de condições ambientais e físicas para trabalhos dessa natureza em horários atualmente comuns para a atividade laboral.

**Palavras-chave:** Estresse Térmico, Capacidade de Trabalho, Mudanças Climáticas, Trabalho ao Ar Livre.

## INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON WORKING CONDITIONS IN THE LATE 21<sup>ST</sup> CENTURY

**Abstract:** The adverse effects of climate change may affect work conducted outdoors. For this reason, this study seeks to evaluate these effects by comparing South American work capacity under climate conditions between 1979 and 2005, as well as expected future climate scenarios from 2071 to 2100. Thermal stress was estimated using the *Environmental Stress Index* (ESI), based on atmospheric variables for climate projections

from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The results indicate that, even in favorable climate scenarios, outdoor manual labor capacity will be reduced by 25 to 50% by the end of the 21st century in basically all of South America, especially in the Amazonian regions, parts of the north and northeast of Brazil, and in vast regions from Paraguay to Suriname. There is an overall pessimistic outlook with respect to outdoor working conditions during common labor hours due to increases in the greenhouse effect.

**Keywords:** Thermal Stress, Work Capacity, Climate Change, Outdoor Work.

## INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS CONDICIONES LABORALES A FINES DEL SIGLO XXI

**Resumen:** Los efectos adversos del cambio climático deberían afectar el trabajo al aire libre. Por esta razón, el propósito de este estudio es evaluar estos efectos comparando la capacidad de trabajo en América del Sur entre el clima actual (1979 a 2005) y el futuro (2071 - 2100). El estrés térmico se estimó utilizando el Índice de Estrés Ambiental (ESI), basado en variables atmosféricas de las proyecciones climáticas del IPCC. Los resultados indican que, incluso en escenarios climáticos favorables, la capacidad de servicio pesado deberá reducirse entre un 25 y un 50% para fines del siglo XXI en prácticamente toda Sudamérica, especialmente en la región amazónica, partes del norte y noreste de Brasil, y desde extensas regiones desde Paraguay hasta el Surinam. Por lo tanto, los escenarios pesimistas, con la intensificación del efecto invernadero, pueden implicar una falta de condiciones ambientales y físicas para el trabajo de esta naturaleza en las horas de trabajo habituales actualmente.

**Palabras clave:** estrés térmico, capacidad de trabajo, cambio climático, trabajo al aire libre.

---