



ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01 de dezembro 2023

A problemática do estresse térmico por calor e seu impacto em níveis de cortisol salivar e catecolaminas urinárias em trabalhadores de indústria de transformação de metal: uma revisão sistemática da literatura

Maressa Fontana Mezoni

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção – UTFPR-PG

Antônio Augusto de Paula Xavier

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção – UTFPR-PG

Ariel Orlei Michaloski

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção – UTFPR-PG

Resumo: O aumento da temperatura corporal a níveis não recomendados pode acarretar sérias consequências à saúde do trabalhador e a seu desempenho laboral. Isso se verifica em casos de estresse térmico por calor em indústrias, onde a necessidade de calor para o processo de transformação do metal expõe trabalhadores a tais situações. Este estudo se propôs, através de uma revisão sistemática da literatura, a realizar um levantamento bibliométrico acerca deste tema a fim de verificar como essa problemática tem sido tratada a nível mundial, com o intuito de contribuir para um melhor entendimento e, por consequência, mitigar os danos à saúde do trabalhador. Como resultados, pode-se observar que os Estados Unidos da América, seguido pela Austrália e Grécia são os países que mais apresentam essa preocupação, e também que o ano de 2008 apresentou maior incidência desses estudos.

Palavras-chave: Estresse térmico por calor, indústria, fatores hormonais

The problem of thermal heat stress and its impact on levels of salivary cortisol and urinary catecholamines in workers in the metal processing industry: a systematic review of the literature

Abstract: An increase in body temperature to non-recommended levels can have serious consequences for the worker's health and work performance. This occurs in cases of thermal heat stress in industries, where the need for heat for the metal transformation process exposes workers to such situations. This study proposed, through a systematic review of the literature, a bibliometric survey on this topic carried out in order to verify how this problem has been addressed at a global level, with the aim of contributing to a better understanding and, consequently, mitigating the damage to worker health. As a result, it can be observed that the United States of America, followed by Australia and Greece are the countries that most present this concern, and also that the year 2008 presented the highest incidence of these studies.

Keywords: Thermal stress due to heat, industry, hormonal factors

1. Introdução

Indivíduos que exercem atividades laborais em ambientes muito quentes estão sujeitos a desafios fisiológicos, que podem afetar o desenvolvimento de suas atividades além de propiciar perdas térmicas e em determinados casos, risco de morte (GRAMBELL, 2002; McLAREN et al., 2005; GIAHI et al., 2016). O aumento da temperatura corporal a níveis considerados críticos pode acarretar na incidência de doenças térmicas, como a exaustão térmica e o EHS (*Exceptional Heat Stroke*), também conhecido como insolação por esforço, ambas as situações caracterizam estresse térmico por calor e, conseqüentemente, perda hídrica acentuada através do suor (GAMBRELL, 2002; COUTINHO, 1998).

O estresse térmico pode acontecer em ambientes frios ou quentes (LAMBERTS e XAVIER, 2016), estando o estresse térmico por calor é um problema recorrente em várias indústrias (BERNARD; CROSS, 1999), visto que os trabalhadores são frequentemente expostos a temperaturas acima dos limites recomendados. Uma das razões para tal exposição é a necessidade de calor para o processo de fabricação, já que alguns produtos e processos exigem temperaturas elevadas para que possam ser produzidos (SOARES, 2014)

Sendo a causa de muitos distúrbios ocupacionais que prejudicam o desempenho do trabalhador e a qualidade do trabalho, o estresse térmico por calor, em casos extremos, pode levar à morte. No contexto industrial, o desconforto térmico é citado como uma das maiores causas de insatisfação nos locais de trabalho quando as pessoas são expostas a ambientes térmicos extremamente quentes ou frios.

1.1 Objetivo Primário

Através de uma revisão sistematizada da literatura, avaliar como está sendo tratada a problemática de estresse térmico por calor em indústrias a nível mundial, considerando alterações hormonais em níveis de cortisol salivar e catecolaminas urinárias.

2. Referencial Teórico

2.1 Temperatura humana e mecanismos de termorregulação

O mecanismo termorregulador do organismo tem como objetivo a manutenção da temperatura corporal, mantendo-a constante. Assim sendo, a teoria assume que um organismo exposto por longo tempo a um ambiente térmico constante, moderado, tenderá a um equilíbrio térmico de acordo com esse ambiente, isto é, a produção de calor pelo organismo através de seu metabolismo, será igual à perda de calor do mesmo para o ambiente, através das diversas formas de transferência de calor (LAMBERTS; XAVIER, 2016).

Quando há um equilíbrio entre a troca de calor do corpo humano e o meio onde ele está inserido, é obtido o chamado “estado estacionário” (neutralidade térmica), modelo este apresentado na Norma Internacional ISO 7730, o qual foi desenvolvido por Fanger (1970). Lamberts e Xavier elucidam que o ganho de calor no corpo se dá através de produção de calor pelo metabolismo, e as perdas de calor se sucedem através da respiração e pela pele. As perdas de calor, de maneira sensível e latente pela pele e pela respiração, são expressas em termos de fatores ambientais. As expressões também levam em conta a resistência térmica e a permeabilidade das roupas. Variáveis tanto ambientais tais como a temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e umidade do ar e variáveis pessoais, como a atividade e vestimentas, são incorporadas ao modelo (LAMBERTS; XAVIER, 2016).

2.2 Estresse térmico por calor e alterações em variáveis fisiológicas

O corpo humano responde aos estresse desregulando o eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, o que, por consequência, resulta no aumento do cortisol circulante (Gawel et al., 1979), ressaltando que a exposição à situações de calor excessivo provoca o aumento do estresse no organismo, acarretando em aumento da frequência cardíaca e frequência respiratória, aumento da pressão arterial e, aumento da concentração de cortisol presente na saliva, como elucidada Kovács *et al.*, (2020). O estresse oriundo de fontes de calor excessivo pode influenciar negativamente funções físicas e psicológicas do trabalhador (AWADA, *et al.*, 2023; PORCELLI et al., 2008), além disso, situações onde se verifica casos de estresse térmico agudo, apontam uma variação na aquisição da temperatura central corporal, aumentando os níveis plasmáticos e séricos do cortisol quando comparados a situações em condições térmicas normais (Hoffman *et al.*, 1996; Brenner *et al.*, 1997; Perroni *et al.*, 2009).

A saliva pode ser considerada um meio para detecção precoce de doenças através de biomarcadores, que também são encontrados no sangue e urina (FARINHA, 2015), assim como o cortisol, que é um hormônio esteroide que é liberado do eixo hipotálamo-pituitária-adrenal (HPA) em resposta a estresses agudos (KOH, 2007).

A função das catecolaminas é induzir os leucócitos e o cortisol a realizarem a migração celular para o tecido linfóide. À medida que o esforço físico é contínuo, também aumenta a concentração de cortisol plasmático, causando influxo de neutrófilos da medula óssea, bem como o fluxo de outros tipos de leucócitos (VESIC *et al.*, 2021).

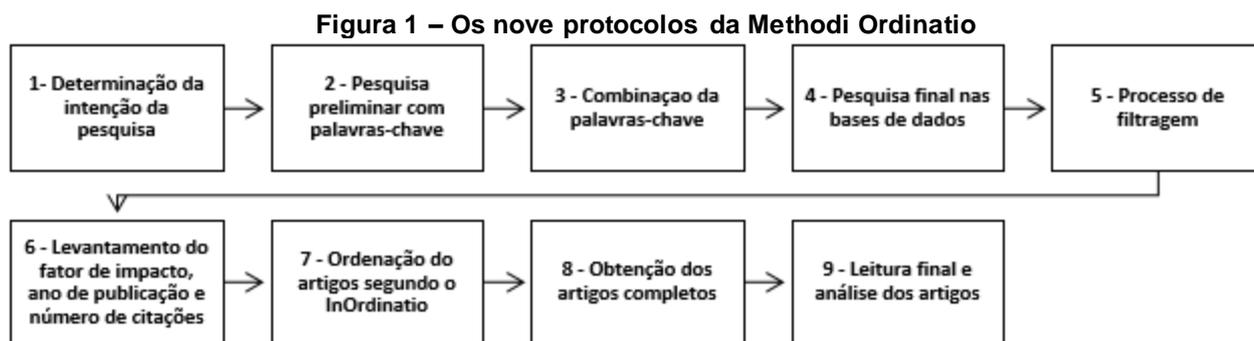
3. Materiais e métodos

Este estudo caracteriza-se como uma revisão sistemática da literatura, sendo os procedimentos bibliográficos adotados divididos nos sub tópicos que se seguem, baseados na construção do portfólio de artigos e na análise de seus conteúdos.

3.1 Construção do portfólio de artigos

Para relacionar os temas envolvendo estresse térmico por calor e variáveis hormonais humanas, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), a qual possibilitou a formação de um portfólio de artigos científicos relevantes relacionados aos temas de pesquisa, através da aplicação do *Methodi Ordinatio*, desenvolvido por Pagani et al. (2015) e adaptado por Pagani et al. (2018). Por se tratar de uma ferramenta de decisão multicritério (ano de publicação, número de citações e fator de impacto), é capaz de ordenar os artigos, classificando-os pela sua relevância científica.

Pagani (2015; 2018) propôs nove protocolos para a aplicação da metodologia *Methodi Ordinatio*, os quais são definidos na Figura 1, já relacionados à pesquisa nas bases de dados *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct*.



Fonte: Autores, 2023.

Gil (2010) cita que revisões bibliográficas são baseadas em material já elaborado, principalmente, em artigos científicos. As bases de dados utilizadas nesta pesquisa que, em sua maioria, são muito utilizadas na grande área das Engenharias III, apresentaram retorno pouco significativo quanto aos eixos de pesquisa utilizados. Portanto, foi necessário a utilização de uma base de dados vinculada à área da saúde (*PubMed*), o que propiciou complementar o retorno de artigos científicos relevantes ao estudo, cujos resultados são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 – Resultados primários das buscas nas bases de dados

Combinações Palavras-chave	Nº de artigos por base de dados			
	Scopus	Web of Science	Science Direct	PubMed
"heat stress" AND "metal industry"	13	1	37	0

human thermal condition AND "metal industry"	7	1	334	2
"heat stress" AND "hormonal change" OR cortisol AND catecholamines	25	461	0	134
acclimatization AND "hormonal status" AND "heat stress"	23	1	21	48
"hormonal status" AND "heat stress" AND thermoregulation	28	2	37	0
"salivary cortisol" AND "heat stress"	460	18	107	0
catecholamines OR "heat stress" AND "metal industry"	14	1	982	0
"thermal biological markers" OR "thermal heat stress" AND industry	2	0	1	3
N° total de artigos por base	572	485	1519	187
Total	2763			

Fonte: Autores, 2023.

É possível observar que a base de dados *ScienceDirect*, de modo geral, retornou maior quantidade de artigos, seguida das bases *Scopus*, *Web of Science* e *PubMed*, somando um total de 2763 artigos, sendo excluídos 28 duplicata e 491 artigos não relacionados à área de pesquisa, totalizando, portanto, 2244 artigos acadêmicos a serem filtrados, os quais foram analisados a partir de seu conteúdo de forma integral e excluídos por não estarem relacionados ao tema da pesquisa restando, portanto, 20 artigos.

4. Resultados Obtidos

No Quadro 1 é possível observar a listagem dos 20 artigos restantes após o processo de filtragem, ordenados através do índice InOrdinatio (InO*), o qual considerou o número de citações, o ano de publicação, e o fator de impacto (FI*) de cada um.

Quadro 1 - Artigos restantes após processo de filtragem

Autor (es)	Artigo	Periódico	País	FI*	Ano	N° de Citações	InO*
------------	--------	-----------	------	-----	-----	----------------	------

Starkie, R.L., Hargreaves, M., Rolland, J. and Febbraio, M.A.	Heat stress, cytokines, and the immune response to exercise	Brain, Behavior, and Immunity	Austrália	17,6	2005	136	223,89
Athanasίου, N., Bogdanis, G.C. and Mastorakos, G.	Endocrine responses of the stress system to different types of exercise	Reviews in Endocrine & Metabolic Disorders	Grécia	10,1	2023	5	151
Van Stegeren, A.H., Wolf, O.T. and Kindt, M.	Salivary alpha amylase and cortisol responses to different stress tasks: Impact of sex	International Journal of Psychophysiology	Países Baixos	5	2008	180	142,76
Mahsan Sadeghi , Richard de Dear, Geoffery Morgan , Mattheos Santamouris,	Development of a heat stress exposure metric – Impact of intensity and duration of exposure to heat on physiological thermal regulation	Building and Environment	Austrália	10,7	2021	11	141,03
Wingenfeld, K., Whooley, M.A., Neylan, T.C., Otte, C. and Cohen, B.E.	Effect of current and lifetime posttraumatic stress disorder on 24-h urinary catecholamines and cortisol: Results from the Mind Your Heart Study	Psychoneuroendocrin ology	Alemanha	8	2015	60	136,14
McMorris, T., Swain, J., Smith, M., Corbett, J., Delves, S., Sale, C., Harris, R.C. and Potter, J.	Heat stress, plasma concentrations of adrenaline, noradrenaline, 5- hydroxytryptamine and cortisol, mood state and cognitive performance	International Journal of Psychophysiology	Reino Unido	5	2006	157	114,85

Pan, X.F., Kaminga, A.C., Wen, S.W. and Liu, A.Z.	Catecholamines in Post-traumatic Stress Disorder: A Systematic Review and Meta-Analysis	Frontiers in Molecular Neuroscience	China	9,3	2018	3	91,42
Porcelli, A.J., Cruz, D., Wenberg, K., Patterson, M.D., Biswal, B.B. and Rypma, B.	The effects of acute stress on human prefrontal working memory systems	Physiology and Behavior	Estados Unidos da América	5,7	2008	84	89,76
Clusiault, D., Avery, T., Stephens, A., Vigna, C., Fischer, S. L.	Scoping review on the state of the integration of human physiological responses to evaluating heat-stress	Applied Ergonomics	Canadá	6,8	2022	2	76,68
Morgado, M., Talaia, M. and Teixeira, L.	A new simplified model for evaluating thermal environment and thermal sensation: An approach to avoid occupational disorders	International Journal of Industrial Ergonomics	Portugal	5,5	2017	15	68,53
Mahsan Sadeghi, Richard de Dear, Geoffery Morgan, Mattheos Santamouris, Bin Jalaludin.	Development of a heat stress exposure metric – Impact of intensity and duration of exposure to heat on physiological thermal regulation	Biochemical and Biophysical Research Communications	Austrália	6,5	2022	0	63,68
Vesic, Z., Jakovljevic, V., Nikolic Turnic, T., Vukasinovic-Vesic, M., Bolevich, S. and Radakovic, S.	The influence of acclimatization on stress hormone concentration in serum during heat stress	Molecular and Cellular Biochemistry	Serbia	5,7	2021	2	61,03

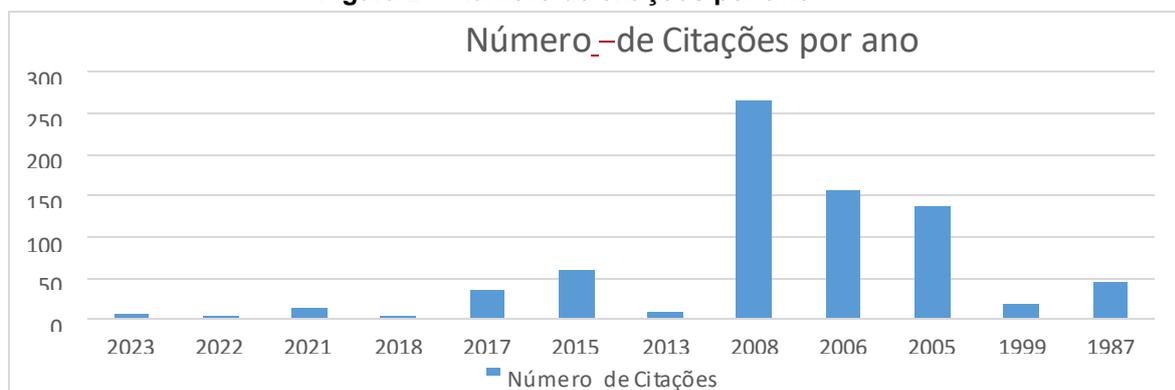
Coehoorn, C.J., Neary, J.P., Krigolson, O.E., Service, T.W. and Stuart-Hill, L.A.	Firefighter salivary cortisol responses following rapid heat stress	Journal of Thermal Biology	Estados Unidos da América	4,6	2022	2	54,68
Aliabadi, M., Motlagh, M.S., Golmohammadi, R., Heidarimoghadam, R. and Farhadian, M.	Analysis of body heat tolerance of workers in a simulated warm environment based on linear mixed model	Plos One	Iran	5,6	2022	0	54,68
Zipursky, R.T., Press, M.C., Srikanthan, P., Gornbein, J., McClelland, R., Watson, K. and Horwich, T.B.	Relation of Stress Hormones (Urinary Catecholamines/Cor tisol) to Coronary Artery Calcium in Men Versus Women (from the Multi- Ethnic Study of Atherosclerosis [MESA])	American Journal of Cardiology	Estados Unidos da América	4,5	2017	12	54,24
Balducci, M., Pruccoli, L. and Tarozzi, A.	Heat stress as a potential risk factor for vitamin D deficiency	Medical Hypotheses	Itália	4,6	2023	0	46
Hubbard, R.W., Matthew, C.B., Durkot, M.J. and Francesconi, R.P.	Novel approaches to the pathophysiology of heatstroke: The energy depletion model	Annals of Emergency Medicine	Estados Unidos da América	7,9	1987	45	43,79
Wolkow, A., Aisbett, B., Jefferies, S. and Main, L.C.	Effect of heat exposure and simulated physical firefighting work on acute inflammatory and cortisol responses	Annals of Work Exposures and Health	Austrália	3,8	2017	8	41,53

McDermott, B.P., Casa, D.J., Lee, E., Yamamoto, L., Beasley, K., Emmanuel, H., Anderson, J., Pescatello, L., Armstrong, L.E. and Maresh, C.	Thermoregulation and stress hormone recovery after exercise dehydration: Comparison of rehydration methods	Journal of Athletic Training	Estados Unidos da América	4,4	2013	9	39,02
Bernard, T.E. and Cross, R.R.	Heat stress management: Case study in an aluminum smelter	International Journal of Industrial Ergonomics	Estados Unidos da América	5,5	1999	18	30,62

Fonte: Autoria própria, 2023.

A partir da análise da revisão bibliográfica sistemática, foi possível verificar que cerca de 80% dos autores (14 estudos) dentre esses os dez primeiros, embora abordem temas correlatos, permeiam acerca da mesma problemática de pesquisa: o que a exposição ao calor pode acarretar nas concentrações de estresse e em demais variáveis fisiológicas humanas, estando o estudo desses autores citados no referencial teórico e na introdução. A Figura 2 apresenta o número de citações por ano a partir dos artigos que compõe o Portfólio Final (PF).

Figura 2 – Número de citações por ano

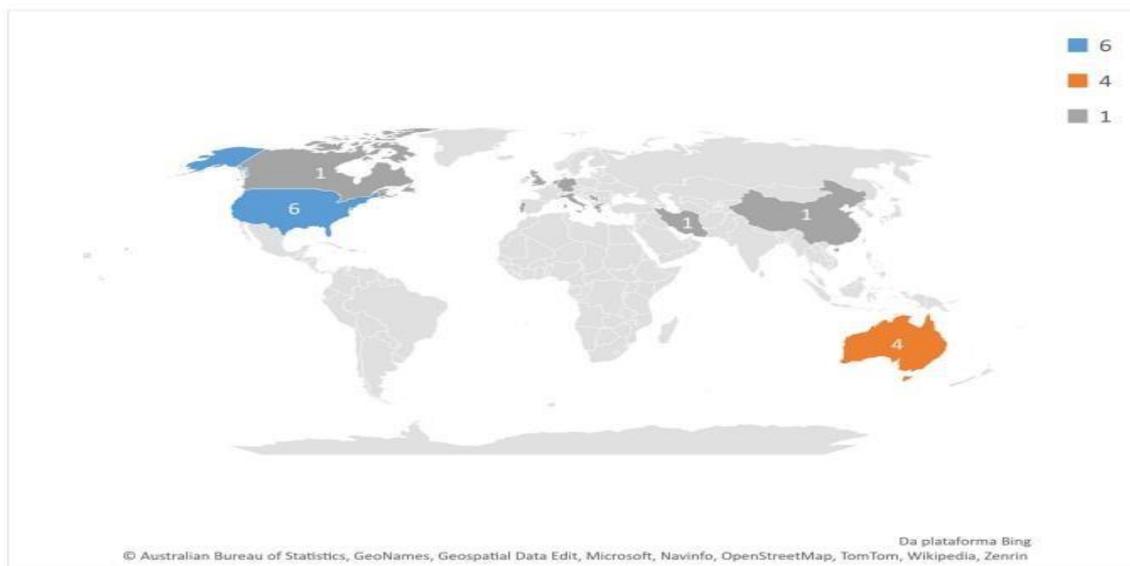


Fonte: Autores, (2023)

De forma geral, é possível observar que houve um maior número de citações em artigos publicados no ano de 2008, a partir do autor *Van Stegeren et al.*, estudo este que trata do cortisol como resposta a diferentes tipos de estresse, com 180 citações, seguido do estudo de *Mc Moris et al.*, (2006), onde os autores trazem um estudo sobre o comportamento do cortisol e de catecolaminas no organismo humano a partir de situações estressoras com 157 citações e, posteriormente, o estudo de *Starkie et al.*, (2005), onde os autores

estudaram a resposta imune que o estresse térmico por calor provoca no organismo humano a partir da realização de atividades físicas, o qual apresenta 136 citações. Já o Gráfico 2 traz a ocorrência de artigos por país de publicação, sendo possível observar que os Estados Unidos da América é o país que mais apresentou publicações envolvendo os temas pesquisados, com sete artigos, seguido da Austrália com quatro artigos, e da Grécia, Países Baixos, Alemanha, Reino Unido, China, Canadá, Portugal, Sérvia, Irã e Itália, estes com uma publicação cada.

Figura 1 – Ocorrência de publicação de artigos por país



Fonte: Autores, 2023.

A figura 1 denota que países como o Brasil, embora com trabalhos de qualidade publicados na área de interesse deste estudo, a partir da análise bibliométrica, não obteve nenhum estudo que trouxesse simultaneamente os temas investigados.

Ainda acerca dos resultados obtidos, observa-se que existe uma preocupação a nível mundial em relação ao estresse térmico por calor e como ele afeta variáveis hormonais como cortisol salivar e catecolaminas da urina, no entanto, ainda há muito o que se investigar acerca dos efeitos que situações de calor excessivo provocam em seres humanos.

5. Conclusões

A partir dos resultados obtidos a partir do levantamento bibliográfico, conclui-se que a exposição ocupacional ao estresse por calor tem sido uma preocupação importante para a saúde humana em vários setores da indústria e localizações geográficas ao redor do mundo. Associações claras entre exposição ao calor e qualidade de saúde foram relatadas

na literatura, de modo que a exposição mais frequente ao calor foi associada a pior saúde e maior sofrimento psicológico (TAWATSUPA et al., 2010).

Espera-se que este estudo traga contribuições positivas à área de pesquisa, de modo a somar ao conhecimento e entendimento já existentes acerca de como o estresse térmico por calor afeta a saúde do trabalhador da indústria.

Este estudo sugere um modelo integrado de determinação de estresse térmico em fatores fisiológicos do organismo humano, além de determinar as condições ambientais do local pesquisado, metodologia esta que poderá ser replicada em ambientes semelhantes, facilitando assim, o entendimento das questões que podem colocar em risco a saúde do trabalhador, haja vista a necessidade de conhecimento para que se possa mitigar danos à saúde dos trabalhadores que, por motivo ou outro, apresentam a necessidade de trabalhar utilizando calor, ressaltando também a periculosidade a que estão expostos.

As implicações práticas deste estudo estão relacionadas à execução de metodologias para se avaliar o estresse térmico do ambiente de trabalho, além de determinar como as variáveis fisiológicas como o cortisol salivar e as catecolaminas da urina são impactadas dentro de um ambiente como excesso de calor, já as implicações teóricas giram em torno do aprimoramento da literatura a partir da publicação deste estudo em periódico científico.

Referências

- AWADA, M. BECERIK-GERBER, B. LIU, R. Y. SEYEDREZAEI, M. LU, Z. XANAKIS, M. LUCAS, G. ROLL, S. C. NARAYANAN, S. Ten questions concerning the impact of environmental stress on office workers. **Building and Environment**. 2023.
- BERNARD, T. E.; CROSS, R. Case Study Heat stress management: Case study in an aluminum smelter. **International Journal of Industrial Ergonomics**. Vol. 23, p. 609-620, mar. 1999.
- BRENNER, I. SHEK, P. N. ZAMECNIK, J. SHEPHARD, R. J. Stress hormones and the immunological responses to heat and exercise. **International Journal of Sports Medicine** , Vol. 19, p. 130-143. 1998.
- COUTINHO, A.S. **Conforto e insalubridade térmica em ambientes de trabalho**. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 1998.
- GAMBRELL, R. C. **Doenças térmicas e exercício**. In: LILLEGARD, W. A.; BUTCHER, J. D.; RUCKER, K. S. (Orgs.). Manual de Medicina Desportiva: Uma Abordagem Orientada aos Sistemas. São Paulo: Manole, p. 457-464, 2002.

GIAHI, O. DARVICH, E. ALIABADI, M. KHOUBI, L. The efficacy of radiant heat controls on workers' heat stress around the blast furnace of a steel industry. **Work-A Journal of Prevention Assessment e Rehabilitation**. 2016. 293-298.

WORK-A JOURNAL OF PREVENTION ASSESSMENT & REHABILITATION

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo:Atlas, 2010.

KOH, D.S-Q; KOH, G.C-H. O uso de biomarcadores salivares em medicina ocupacional e ambiental . **Occup Environ Med**. 2007 ; 64 (3): 202 -210 . doi: 10.1136 / oem.2006.026567

LAMBERTS, R. XAVIER, A. A.P. **Conforto e Stress Térmico**. Apostila. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Departamento de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. Disponível em: . Acesso em: 20 de julho de 2023.

MCMORIS, T; SWAIN, J; SMITH, M. *et al*. Estresse térmico, concentrações plasmáticas de adrenalina, noradrenalina, 5-hidroxitriptamina e cortisol, estado de humor e desempenho cognitivo . **Int J Psychophysiol**. 2006.

PAGANI, R.N, KOVALESKI, J.L, & RESENDE, L.M. Methodi Ordinatio: uma metodologia proposta para selecionar e classificar artigos científicos relevantes abrangendo o fator de impacto, número de citações e ano de publicação, **Scientometrics**, v. 105, n. 3, pág. 2109-2135, 2015.

PAGANI, R.N, KOVALESKI, J.L, & RESENDE, L.M. Tics na composição da ordenação do método: construção de portfólio bibliográfico sobre modelos de transferência de tecnologia. **Ciência da Informação**, v. 46. 2017.

PORCELLI, A. J. The effects of acute stress on human prefrontal working memory systems. **Physiology and Behavior**. 2008.

STARKIE, R.L. HARGREAVES, M. ROLLANDO, J. FEBBRAIO, M. A. Heat stress, cytokines, and the immune response to exercise **Brain, Behavior, and Immunity** , Vol. 19, No. 5 p. 404-412. 2005.

VAN STEGEREN. ANDA, H. WOLF, O. T. KINDT, M. Salivary alpha amylase and cortisol responses to different stress tasks: Impact of sex. **International Journal of Psychophysiology** , Vol. 69, No. 1 p. 33-40. 2008.

VESIC, Z. JAKOVLJEVIC, V. NIKOLIC, T. T. VUKASINOVIC-VESIC, M. BOLEVICH, S. RADAKOVIC, S. The influence of acclimatization on stress hormone concentration in serum during heat stress. **Molecular and Cellular Biochemistry** , Vol. 476. 2021.