NORMAL CLIMATOLÓGICA DO CONFORTO TÉRMICO DAS CIDADES QUE JÁ SEDIARAM O ENCAC/ELACAC

João Batista Ferreira Neto (1); Gabriel Pereira (2); João Paulo Assis Gobo (3)
(1) Mestre, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia, joao.neto@furg.br, PUC-Minas.
(2) PhD, Professor do Departamento de Geografia, pereira@ufsj.edu.br, Universidade Federal de São João del-Rei/ UFSJ.
(3) PhD, Professor do Departamento de Geografia, joao.gobo@unir.br, Universidade Federal de Rondônia/UNIR

RESUMO
A existência humana, juntamente com a de outros organismos, depende da energia emitida pelo sol que ao chegar na Terra, é transferida de um lugar para outro e de uma forma para outra, criando assim uma ampla gama de ambientes, dos desertos gélidos as zonas tropicais. O desafio para cada pessoa está justamente em conseguir interagir com sucesso com seus locais em que vivem. O corpo humano responde às variáveis ambientais de forma dinâmica. Interação que pode levar à morte se a resposta for inadequada ou se os níveis de energia forem além dos limites fisiológicos de sobrevivência, e determina a tensão no corpo à medida que usa seus recursos para se manter em um estado perfeito de funcionamento. No caso do ambiente térmico isso irá determinar se uma pessoa está muito quente, muito fria ou confortável termicamente. Este resumo apresenta as categorias de estresses térmico encontradas ao analisar 42 anos de dados do UTCI (Universal Thermal Climate Index) para as cidades que já sediaram o ENCAC e ELACAC.

Palavras-chave: Conforto Térmico, Índice Bioclimático, Zoneamento Bioclimático

ABSTRACT
Human existence, along with that of other organisms, depends on the energy contained by the sun which, upon arriving on Earth, is flourishing from one place to another and from one form to another, thus creating a wide range of environments, from glaciers deserts to tropical zones. The challenge for each person is precisely to successfully interact with the places where they live. The human body responds dynamically to environmental variables. Interaction that can lead to death if the response is victory or if energy levels go beyond the physiological limits of survival, and sets the strain on the body as it uses its resources to maintain itself in a perfect state of functioning. In the case of the thermal environment, this will determine whether a person is too hot, too cold or thermally comfortable. This present study shows the thermal stress categories found when analyzing 42 years of UTCI (Universal Thermal Climate Index) datas for cities that have hosted ENCAC and ELACAC.

Keywords: Thermal Comfort, Bioclimatic Index, Bioclimatic Zoning

1. INTRODUÇÃO

Para Höppe (1993), o clima é a componente de maior influência para as atividades do homem no planeta, seja na terra, mar ou no ar. Este exerce influência no modo geral de se viver e experimentar os meios. A Bioclimatologia é uma área da ciência, que existe desde 1930, e busca entender como o tempo e o clima vão influenciar no dia a dia do ser humano.

Olgyay (1998) relaciona que, em dias de calor demasiado, existe uma redução nas atividades humanas devido a estafa, e em dias de frio rigoroso temos letargia quanto a realização de tarefas. Assim, os efeitos do tempo irão influenciar diretamente na energia e disposição que o ser humano realiza suas tarefas.

O risco de mortalidade aumenta consideravelmente em ambientes nos quais a faixa de conforto térmico apresenta índices elevados de desconforto por calor ou frio extremo (CHANGNON et al. 2000). De acordo com Golden et al. (2008), temperaturas extremas tem impacto maior na saúde humana do que qualquer outra condição meteorológica, especialmete em idosos.

Em 2009, foi criado e definido o Índice Termo Climático Universal (UTCI, do inglês Universal Thermal Climate Index), como um parâmetro multivariado que descreve as trocas de calor sinérgicas entre o ambiente e o corpo humano, nomeadamente o seu balanço energético, fisiologia e vestuário, e que consegue classificar faixas de conforto e sensação térmica de forma universal (JENDRITZKY et al. 2012).

No Brasil, O Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído (ENCAC) é um evento realizado bienalmente desde 1990, cada ano em uma cidade, e que apresenta discussões acerca do conforto térmico, objetificando contribuir para a disseminação do conhecimento, desenvolvimento e documentação na área Bioclimática envolvendo uma ampla área de pesquisadores (Geógrafos, arquitetos, engenheiros) que poderão usar do conhecimento para melhorias em diversas áreas do ambiente Construído.

2. OBJETIVO

O objetivo deste resumo é apresentar os valores médios das categorias de estresse térmico para todas as cidades que já sediaram o ENCAC/ELACAC e apresentar as que possuem maior e menor desconforto térmico de acordo com o indicie bioclimático UTCI.

3. MÉTODO

As cidades analisadas nos estudos são as que já sediaram o ENCAC, conforme mostrado no mapa da figura 1, podemos observar com mais detalhes as suas espacializações dentro do território brasileiro e na tabela 2, maiores detalhes de quando ocorreram os eventos.

Tabela 1 - Linha do tempo com as cidades que sediaram o ENCAC

Ano	Evento	Cidade	Estado	Latitude	Altitude	Região
1990	I ENCAC	Gramado	RS	-29.368	843m	Sul
1993	II ENCAC	Florianópolis	SC	-27.596	15m	Sul
1995	III ENCAC e I ELACAC	Gramado	RS	-29.368	843m	Sul
1997	IV ENCAC	Salvador	BA	-12.970	12m	Nordeste
1999	V ENCAC e II ELACAC	Fortaleza	CE	-3.718	14m	Nordeste
2001	VI ENCAC e III ELACAC	São Pedro	SP	-23.751	501m	Sudeste
2003	VII ENCAC e III COTEDI	Curitiba	PR	-25.428	945m	Sul
2005	VIII ENCAC e VI ELACAC	Maceió	AL	-9.666	4m	Nordeste
2007	IX ENCAC e V ELACAC	Ouro Preto	MG	-20.385	1.153m	Sudeste
2009	X ENCAC e VI ELACAC	Natal	RN	-5.794	38m	Nordeste
2011	XI ENCAC e VII ELACAC	Búzios	RJ	-22.756	5m	Sudeste
2013	XII ENCAC e VIII ELACAC	Brasília	DF	-15.780	1.130m	Centro-oeste
2015	XIII ENCAC e IX ELACAC	Campinas	SP	-22.906	677m	Sudeste
2017	XIV ENCAC e X ELACAC	Balneário Camboriú	SC	-26.991	6m	Sul
2019	XV ENCAC e XI ELACAC	João Pessoa	PB	-7.115	43m	Nordeste
2021	XVI ENCAC e XII ELACAC	Palmas	TO	-10.244	280m	Norte

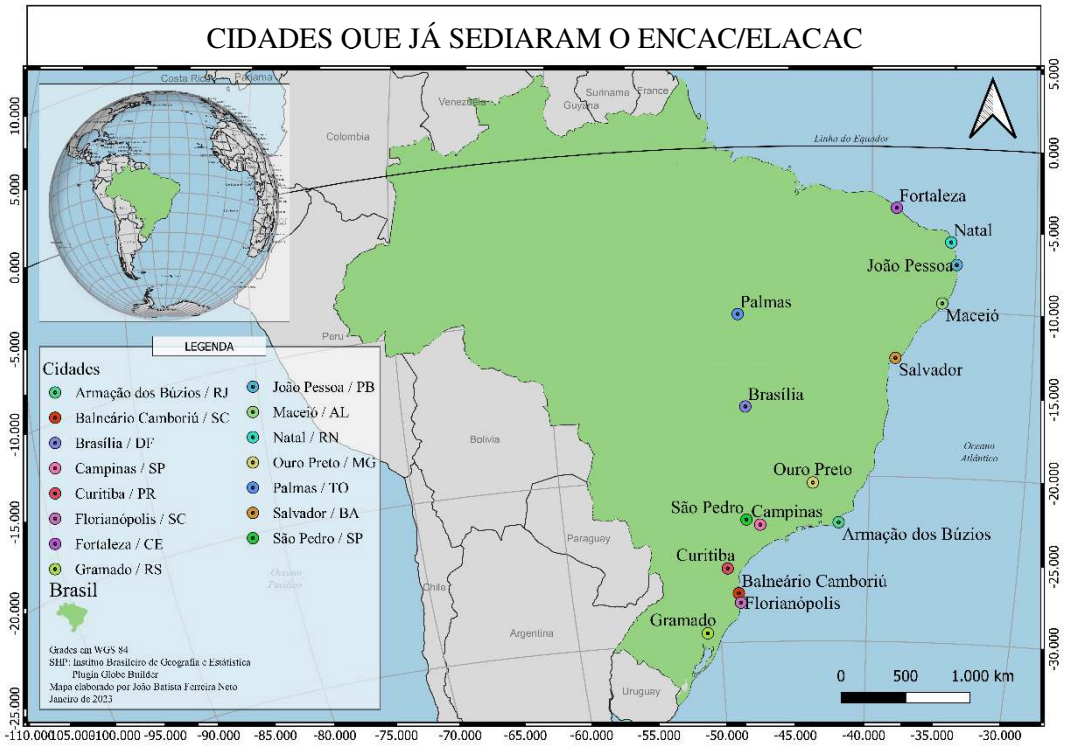

Figura 1 – Distribuição espacial das cidades que já sediaram os eventos ENCAC e ou ELACAC.

Os dados para a aplicação na equação do UTCI desse trabalho são provenientes das reanálises do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) ERA5. Os dados estão dispostos em uma resolução de 0,25º x 0,25º, resolução vertical a nível do solo e resolução temporal de 1 hora; Formato NetCDF cobrindo em extensão global (90N-60S, 180W-180E). Para a pesquisa utilizou-se da escala temporal de 01:00 – 02/01/1979 às 23:00 do dia 31/12/2022 (44 anos e 9 dias com um total de 385678 horas processadas) a fim de entender a média do conforto térmico para as localidades estudadas.

Como recomendado pela ISB (International Society of Biometeorology), o índice desse trabalho levou em consideração uma pessoa de estatura mediana, que possui uma área de superfície de 1,85m², peso corporal de 73,4 kg e teor de gordura de 14%. Os dados fisiológicos gerais do humanoide computadorizado replicam um adulto reclinado com uma base metabólica de corpo inteiro de 87,1 W, taxa de evaporação basal da pele de 18 W, débito cardíaco de 4,9 L min^{-1}, fluxo sanguíneo dérmico de 0,4 L/min e umectação dérmica de 6%.

No modelo, após estabelecer os valores termo fisiológicos e de vestimentas, são computadas as variáveis externas meteorológicas, cujos parâmetros devem respeitar os seguintes limites:

Temperatura do ar: -50 °C ≤ Ta ≤ +50 °C;

- Temperatura radiante média: -30 °C ≤ Tr – Ta ≤ +70 °C;
- Velocidade do vento (10 m acima do nível do solo);
- Umidade do ar (mínimo 5 e máx. 100%) ou pressão de vapor (min. 5Kpa).

Para qualquer combinação de temperatura do ar (ta), velocidade do vento (va), temperatura radiante média (tr) e umidade relativa (rh) ou pressão de vapor d'água (pa), o UTCI pode ser simplificado conforme a equação abaixo (Equação 1), onde a temperatura do ar de determinada condição de referência irá expressar no corpo humano a mesma resposta que a condição real de sensação (JENDITZKY et al.2012).

$$UTCI=(ta,tr,va,pa)=ta+Offset(ta,tr,va,pa) \quad \text{Equação 1}$$

Para executar comparações, a resposta do modelo dinâmico multivariado é condessada em uma representação unidimensional, que pode ser denominada como índice de resposta, para isso, o modelo executa 3 etapas finais:

1. Calcula o valor do índice de resposta como combinação linear das 7 variáveis de saída (temperatura do ar, velocidade do vento, temperatura média radiante, pressão de vapor d'agua ou umidade relativa, tempo de exposição, resistência ao calor das roupas usadas, modelo fisiológico);
2. Através de uma busca binária (bissecção) utilizando o algoritmo de Sedgewick (1992), encontra o valor índice de resposta correspondente;
3. Armazena UTCI como a temperatura do ar.

O valor gerado pela equação do UTCI é dado em 10 categorias de estresse térmico. Cada categoria de estresse é definida por uma faixa específica de valores e corresponde a um conjunto específico de respostas fisiológicas humanas ao ambiente térmico (BŁAŻEJCZYK et al. 2013).

Os valores da escala universal do UTCI apresentam uma variabilidade que vai desde -40ºC até +46ºC. Caso fosse usado essa escala sem a calibração, o Brasil inteiro estaria condicionado a somente uma categoria de estresse térmico. Por isso, dentro do conjunto de dados referente a todo o território brasileiro, foram capturados os valores mínimos e máximos registrado e assim recalibrando a escala UTCI para poder utilizar nas cidades brasileiras. A tabela 1, logo abaixo, apresenta os intervalos de valores e suas respectivas categorias de estresse térmico definidos para esse estudo.

Tabela 2 - Categorias de Stress Térmico para o Brasil

Categorias	Início °C	Fim °C
Extremo estresse para o frio	-	14,0
Muito forte estresse para o frio	14,0	15,9
Forte estresse para o frio	15,9	17,7
Moderado estresse para o frio	17,7	19,5
Sem estresse térmico	19,5	21,3
Conforto térmico	21,3	23,1
Moderado estresse para o calor	23,1	24,9
Forte estresse para o calor	24,9	26,8
Muito forte estresse para o calor	26,8	28,6
Extremo estresse para o calor	28,6	-

O software utilizado para processar e gerar os resultados do UTCI foi o Grid Analysis and Display System (GrADS), versão 2.2.1.oga, enquanto a produção cartográfica foi realizada no software Qgis, versão 3.17.

4. RESULTADOS

O Brasil é um país continental com uma área que apresenta das mais variadas fisionomias da paisagem, e isso irá refletir na diferença dos valores de conforto térmico registrado. A característica que mais chama atenção nos resultados, é que quanto maiores as latitudes e altitudes menores foram sendo registrado os valores do UTCI, indicando um aumento para a neutralidade e o desconforto para o frio.

Quanto maiores os valores de latitude, menores foram os valores registrados do UTCI. A energia não é distribuída de forma homogênea sobre o planeta. A curvatura da terra, com seu eixo inclinado, transparência da atmosfera e duração dos dias e noites são os fatores de influência, que somados ao ângulo de incidência solar faz com que o aquecimento sobre diversas áreas do planeta seja desigual em relação a latitude. Por isso, sempre temos a região da linha do Equador como local mais quente (maiores temperaturas do ar e temperatura média radiante) e essa temperatura tende a diminuir à medida que se aproxima dos polos. de baixa para alta latitude com temperaturas maiores para menores.

A topografia é um outro fator que leva a variações climáticas. A temperatura do ar tende a decrescer com a elevação da altitude numa proporção de, aproximadamente, 1ºC/100m (gradiente adiabático existente quando o ar é seco), (Dury, 1972). Tais diferenças causam alterações na fitofisionomia, similares àquelas observadas ao longo de gradientes latitudinais, padrão conhecido como Regra de Humboldt. Locais de mesmas latitudes tem respostas muito significativas a diferenças de UTCI quando existe um grande desnível topográfico. Por exemplo, o topo do Monte Roraima (2739m), na Venezuela, registra o valor médio do UTCI de 19,32ºC (moderado estresse para o frio). A 100km, na cidade mais próxima do lado brasileiro, e mesma latitude, a cidade de Presidente Medici (185m), possui um UTCI registrado de 28,85ºC (muito forte estresse para o calor)1.

Assim, temos na Tabela 3, as categorias de estresse térmico para as cidades estudadas. A cidade que apresentou a média para o maior desconforto térmico por calor foi Palmas no Tocantins atingindo o máximo de desconforto na escala UTCI, enquanto que Curitiba, no Paraná é a cidade que possui o maior desconforto por frio. Nenhuma cidade estudada apresentou extremo desconforto por frio. As categorias de estresse térmico

[1] Dados Próprios

por calor são maiores nas regiões norte e nordeste, um predomínio de neutralidade nos sudestes e a região sul responsável pelos maiores desconforto por frio.

Tabela 3- Normal Climatológica Do Conforto Térmico Das Cidades Que Já Sediaram O Encac

CIDADE	ESTADO	REGIÃO	VALOR UTCI Cº	CATEGORIA DE ESTRESSE TÉRMICO
Balneário Camboriú	SC	Sul	20,64	Sem estresse térmico
Brasília	DF	Centro-oeste	21,57	Conforto térmico
Armação de Búzios	RJ	Sudeste	23,35	Moderado estresse para o calor
Campinas	SP	Sudeste	19,66	Sem estresse térmico
Curitiba	PR	Sul	16,29	Forte o estresse para o frio
Florianópolis	SC	Sul	19,85	Sem estresse térmico
Fortaleza	CE	Nordeste	27,60	Muito forte o estresse para o calor
Gramado	RS	Sul	16,34	Forte o estresse para o frio
João Pessoa	PB	Nordeste	26,61	Forte o estresse para o calor
Maceió	AL	Nordeste	26,19	Forte a estresse para a calor
Natal	RN	Nordeste	25,79	Forte a estresse para a calor
Ouro Preto	MG	Sudeste	18,65	Moderado estresse para o frio
Palmas	TO	Norte	29,00	Extremo estresse para o calor
Salvador	BA	Nordeste	24,92	Forte o estresse para o calor
São Pedro	SP	Sudeste	21,98	Conforto térmico

5. CONCLUSÕES

Abordar conforto e sensação térmica é um campo bastante complexo e delicado, pois, além da necessidade em se compreender as variáveis físicas ambientais, o comportamento fisiológico e o psicológico dos indivíduos é de grande peso. É uma complexa interação que vai desde o histórico, aclimatação, percepções sociológicas e culturais, que estão em processo de adaptação e evolução em um planeta que naturalmente não é estável, e ainda apresenta mudanças climáticas de forma acelerada, devido às ações antrópicas.

O presente trabalho aplicou o índice bioclimático UTCI para entender a normal climatológica do conforto térmico das cidades que já sediaram o Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído desde sua primeira edição.

Os resultados mostraram como o Brasil é um país de diversidade nas categorias de estresse térmico podendo apresentar diferentes níveis desde que vão ao forte estresse para o frio até o extremo estresse por calor. O índice utilizou o mesmo parâmetro fisiológico e de vestuário para todos, alterando assim somente as características ambientais de velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar e temperatura média radiante, assim, podemos concluir que cada cidade tem suas características ambientais únicas e essas são responsáveis pelas respostas de sensação térmica diferente entre os indivíduos.

Como cada cidade está localizada em determinada parte do Brasil e cada localidade possui determinados fenômenos atmosféricos mais atuantes, é de interesse para os trabalhos futuros que após registrar o valor do índice bioclimático, seja explicado como são as condições climática dos locais, uso de outros parâmetros fisiológicos assim como analisar a evolução dos valores dos índices a fim de verificar se está havendo mudanças nas categorias de estresse térmico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLAZEJCZYK, KRZYSZTOF & JENDRITZKY, GERD & BRÖDE, PETER & BARANOWSKI, JAROSŁAW & FIALA, DUSAN & BULLET, GEORGE & HAVENITH. An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). Geographia Polonica. 86. 5-10. 10.7163/GPol.2013.1. 2013

CHANGNON STANLEY A; ROGER A. PIELKE JR; DAVID CHANGNON RICHARD T. SYLVES, ROGER PULWARTY. Human Factors Explain The Increased Losses from Weather and Climate Extremes. Bulletin of The American Meteorological Society, V. 8, N. 3, P. 437-442, 2000

DURY, V. High temperature extremes in Austrália. Annals of the Association of American Geographers. 388-400.1972.

GOLDEN, J; HARTZ, D; BRAZEL, A; LUBER, G; & PHELAN, P. A Biometeorology Study of Climate and Heat-related morbidity in Phoenix from 2001 to 2006. International Journal of Biometeorology, (2008). 52(471-480).

HÖPPE, P.R. Heat balance modelling. Experientia 49, 741–746 (1993). https://doi.org/10.1007/BF01923542.

JENDRITZKY, G.; DEAR, R.; HAVENITH, G. UTCI - Why Another Thermal Index? International Journal of Biometeorology, V. 56, N. 3, P. 421-428, 2012.

OLGYAY, V. Arquitectura y Clima: Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.