



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

KETY VASCONCELOS PETALAS

**ESTUDO DA SENSAÇÃO TÉRMICA E DEFINIÇÃO DE LIMITES DE CONFORTO
PARA ESPAÇOS ABERTOS NA CIDADE DE FORTALEZA, CE.**

FORTALEZA, CE

2015

KETY VASCONCELOS PETALAS

ESTUDO DA SENSAÇÃO TÉRMICA E DEFINIÇÃO DE LIMITES DE CONFORTO
PARA ESPAÇOS ABERTOS NA CIDADE DE FORTALEZA, CE.

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia, do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota

FORTALEZA, CE

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

-
- P573e Petalas, Kety Vasconcelos.
Estudo da sensação térmica e definição de limites de conforto para espaços abertos na cidade de Fortaleza, CE / Kety Vasconcelos Petalas. – 2015.
272 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2015.
Área de Concentração: Saneamento Ambiental.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota.
1. Saneamento. 2. Conforto ambiental. 3. Conforto térmico - Índices. 4. Bioclimatologia. 5. Planejamento urbano. I. Título.

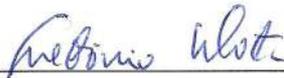
KETY VASCONCELOS PETALAS

ESTUDO DA SENSÇÃO TÉRMICA E DEFINIÇÃO DE LIMITES DE CONFORTO
PARA ESPAÇOS ABERTOS NA CIDADE DE FORTALEZA, CE.

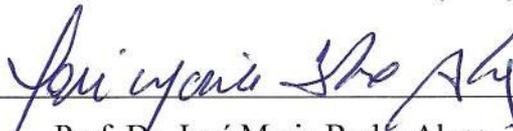
Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia, do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Aprovada em: 24 / 02 / 2015.

BANCA EXAMINADORA

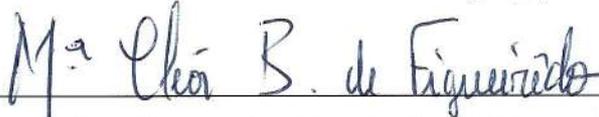


Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

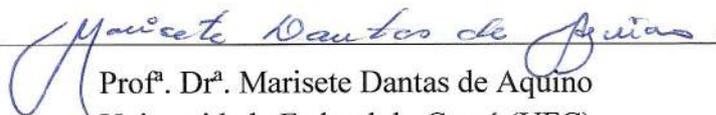


Prof. Dr. José Maria Brabo Alves
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Profª. Drª. Maria Elisa Zanella
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Drª. Maria Cléa Brito de Figueirêdo
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)



Profª. Drª. Marisete Dantas de Aquino
Universidade Federal do Ceará (UFC)

“Considero próprio investigar a razão de ser de todas as coisas – como são – e rejeitar todas as opiniões sem explicação”.

“A sabedoria começa na reflexão e o poder se torna mais forte quando ninguém pensa”.

(Sócrates)

Dedico esse trabalho a Deus, aos meus queridos pais por tudo que representam em minha vida e a todos meus professores.

AGRADECIMENTOS

A Deus, criador de todas as coisas, fonte de toda ciência e conhecimento humano.

À minha família pelo incentivo e apoio oferecidos ao longo de toda a minha vida e durante as pesquisas de campo.

Ao meu Orientador Professor Doutor Francisco Suetônio Bastos Mota pela orientação, incentivo, paciência e dedicação em todas as etapas desse trabalho.

Ao Laboratório de Estatística e Matemática Aplicada da Universidade Federal do Ceará, na pessoa da Professora Doutora Sílvia Maria de Freitas, pela colaboração no tratamento estatístico dos dados e todos seus colaboradores.

Ao coordenador, professores, secretária e funcionários do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará pela dedicação, incentivo e atenção com que sempre se dispuseram a me ajudar.

À Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa (FUNCAP) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro oferecido.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola, Estação Agroclimatológica da Universidade Federal do Ceará, na pessoa do professor Raimundo Crisóstomo Júnior.

Ao Detran-CE, na pessoa de Paulo Ernesto Saraiva Serpa e Rita de Cássia Moreira Freire; à Secretaria Executiva Regional do Centro, na pessoa de Ana Lúcia Oliveira Viana; à Secretaria Executiva Regional II, na pessoa de Mércia Maria Albuquerque Gomes; e à Universidade Estadual do Ceará (UECE), na pessoa do Vice-Reitor, Professor Antonio de Oliveira Gomes Neto por permitirem a realização da pesquisa de campo nos seus respectivos espaços de atuação.

À *Aristotle University of Thessaloniki* (AUTH), Grécia, na pessoa dos professores Margaritis Vafeiadis, Konstantinos Katsifarakis e Eleni Vassiliou pelo apoio recebido na primeira fase da pesquisa.

A todos os colegas que me ajudaram ao longo desse processo e a todos que direta ou indiretamente, contribuíram na pesquisa de campo, essencial à realização desse estudo.

RESUMO

As reações termofisiológicas humanas às condições climáticas são comumente avaliadas a partir da aplicação de índices de conforto térmico. Os resultados são interpretados por meio de escalas de apreciação definidas em função do relacionamento entre o valor calculado e a sensação térmica relatada por pessoas adaptadas ao clima temperado. Entretanto, diversos estudos têm identificado um distanciamento entre estas respostas e apontado para a necessidade de ajustes. Fortaleza é uma cidade litorânea de clima tropical quente e úmido, naturalmente estressante devido ao calor. Por um lado, tem apresentando significativas alterações climáticas e, por outro, poucos estudos avaliam o impacto dessas alterações na sensação térmica da população. Dessa forma, este estudo visa verificar a aplicabilidade de alguns índices térmicos e definir novos limites de conforto que possam ser aplicados em análises bioclimáticas de espaços abertos públicos da cidade. Inicialmente, com o objetivo de identificar a percepção e preferência térmicas da população e coletar as informações necessárias ao cálculo dos índices, foram aplicados questionários e realizadas medições em campo em dias representativos das quatro estações do ano, entre 2011 e 2012, das 09:00 às 16:00h. A amostragem foi feita por conveniência e considerou a população adulta, saudável e aclimatada às condições climáticas locais. Os índices térmicos foram calculados individualmente e todas as informações foram tratadas estatisticamente a partir do teste qui-quadrado, da análise de variância e da análise de regressão *probit*. Os resultados mostram limites de conforto mais elevados e uma redução na amplitude das faixas, identificando uma maior tolerância ao calor em função da abordagem adaptativa. Também revelam a percepção do clima como levemente aquecido a quente, a preferência da população por um ambiente térmico mais fresco e indicam a necessidade de se preservar o sombreamento e a ventilação proporcionados, respectivamente, pela arborização e pelas brisas marítimas e vento regional. Analisando o período de 1980 a 2010, observa-se que apesar da maioria dos dados situarem-se entre os novos limites de conforto, há indícios de uma sensação térmica mais aquecida. A definição de novas faixas de conforto fornece subsídios aos planejadores urbanos no processo de tomada de decisão, permitindo uma avaliação mais adequada dos espaços abertos, a comparação de diferentes soluções e intervenções urbanas mais coerentes com o clima local.

Palavras-chave: Índices de conforto térmicos. Conforto ambiental. Biometeorologia. Planejamento urbano.

ABSTRACT

Human thermal and physiological reactions to climatic conditions are commonly assessed by the application of thermal comfort indices. The results are interpreted by means of assessment scales defined by the relationship between the calculated value and the thermal sensation reported by people adapted to the temperate climate. However, several studies have identified a gap between these responses and pointed to the need for adjustments. Fortaleza is a coastal city with hot and humid tropical climate naturally stressful due to the heat. On the one hand, it has shown significant climate change and, on the other, few studies have evaluated the impact of these changes in the thermal sensation of the population. This study aims to verify the applicability of some thermal indices and set new limits of comfort that can be applied in bioclimatic analysis of public area in the city. Initially, in order to identify the perception and thermal preference of the population and collect information necessary for the calculation of the indices, measurements and questionnaires were conducted in field on representative days of the four seasons between 2011 and 2012, 09:00 at 16: 00h. The sample was selected by convenience and considered the adult population, healthy and acclimated to the local climate. The thermal indices were calculated individually and all information was treated statistically from the chi-square test, analysis of variance and probit regression analysis. The results show higher comfort limits, a reduction in the amplitude of comfort ranges and increased tolerance to heat due to the adaptive approach. They also reveal the perception of climate as slightly warm to hot, the preference of the population for a cooler thermal environment and indicate the need to preserve the shading and ventilation provided, respectively, from the afforestation and by sea breezes and regional wind. By evaluating the period 1980-2010, despite most data being situated between the new limits of comfort, there is evidence of a warmer wind chill. The definition of new comfort ranges provides subsidies to urban planners in the decision making process, allowing a better assessment of open spaces, the comparison of different solutions and urban interventions more consistent with the local climate.

Keywords: Thermal comfort indices. Environmental comfort. Biometeorology. Urban planning.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ανθρώπινες θερμοφυσιολογικές αντιδράσεις στις κλιματικές συνθήκες αξιολογούνται συνήθως με την εφαρμογή των δεικτών θερμικής άνεσης. Τα αποτελέσματα ερμηνεύονται με την βοήθεια κλιμάκων αξιολόγησης που ορίζονται από τη σχέση μεταξύ της υπολογισμένης αξίας και της θερμικής αίσθησης που αναφέρθηκαν από ανθρώπους προσαρμοσμένους στο εύκρατο κλίμα. Ωστόσο, αρκετές μελέτες έχουν εντοπίσει ένα κενό μεταξύ των αποτελεσμάτων αυτών το οποίο τόνισε την ανάγκη για ρυθμίσεις. Η Φορταλέζα είναι μια παραθαλάσσια πόλη με ζεστό και υγρό τροπικό κλίμα, το οποίο προκαλεί εξάντληση λόγω της υψηλής θερμοκρασίας. Αφενός, παρουσιάζει σημαντική αλλαγή του κλίματος και, αφετέρου, λίγες μελέτες έχουν αξιολογήσει την επίδραση αυτών των αλλαγών στη θερμική αίσθηση του πληθυσμού. Έτσι, η μελέτη αυτή έχει ως στόχο να ελέγξει την εφαρμογή ορισμένων θερμικών δεικτών και θέτουν νέα όρια της άνεσης που μπορεί να εφαρμοστεί στη βιοκλιματική ανάλυση των δημόσιων ανοιχτών χώρων της πόλης. Αρχικά, προκειμένου να προσδιοριστούν η αντίληψη και η θερμική προτίμηση του πληθυσμού και η συλλογή απαραίτητων πληροφοριών για τον υπολογισμό των δεικτών, οι μετρήσεις και τα ερωτηματολόγια διεξήχθησαν σε υπαίθριους χώρους σε διαφορετικές μέρες εκπροσωπώντας τις τέσσερις εποχές του χρόνου στο διάστημα από 2011 και 2012, μεταξύ 9:00π.μ. και 4:00μ.μ. Η δειγματοληψία επιλέχθηκε με ευκολία και θεωρήθηκε ο πληθυσμός των ενηλίκων, υγιής και εγκλιματισμένο στο τοπικό εξεταζόμενο κλίμα. Οι θερμικές δείκτες υπολογίστηκαν ξεχωριστά και όλες οι πληροφορίες που υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία από το chi-square test, ανάλυση διακύμανσης και ανάλυση probit παλινδρόμησης. Τα αποτελέσματα δείχνουν μία μείωση των πλάτων των σειρών άνεσης και αυξημένη ανοχή σε θερμότητα λόγω της προσαρμοστικής προσέγγισης. Επίσης αποκαλύπτουν την προτίμηση του πληθυσμού για ένα πιο δροσερό θερμικό περιβάλλον και υποδεικνύουν την ανάγκη να διατηρούνται η σκίαση και ο αερισμός που παρέχονται αντίστοιχα, από την αναδάσωση και το θαλασσινό αεράκι και τον περιφεριακό άνεμο. Εξετάζοντας την περίοδο από 1980 έως και 2010, παρατηρείται ότι, αν και τα περισσότερα από τα δεδομένα, που βρίσκονται μεταξύ των νέων ορίων της άνεσης, δεν υπάρχουν ενδείξεις για θερμότερο θερμική αίσθηση. Ο ορισμός των νέων δεικτών άνεσης παρέχει πληροφορίες προς τους πολεοδόμους στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, επιτρέποντας την καλύτερη εκτίμηση των ανοιχτών χώρων, τη σύγκριση των διαφόρων αστικών λύσεων και πιο συνεπής παρεμβάσεις στο τοπικό κλίμα.

Λέξεις-κλειδιά: Δείκτες θερμικής άνεσης. Περιβαλλοντική άνεση. Βιομετεωρολογία. Πολεοδομικός Σχεδιασμός.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da temperatura do núcleo do corpo em função da temperatura ambiente.....	31
Figura 2 - Diagrama de blocos do sistema térmico do corpo humano.....	33
Figura 3 - Fluxos de calor estabelecidos entre o ser humano e seu meio térmico...	36
Figura 4 - Perda de calor de uma pessoa sentada em um ambiente isotérmico.....	38
Figura 5 - Escala de sensação térmica	41
Figura 6 - Controle psicológico de termorregulação	43
Figura 7 - Diagrama do método empregado no desenvolvimento do modelo dinâmico de sensação térmica	49
Figura 8 - Estruturação da metodologia aplicada.....	77
Figura 9 - Localização do Município de Fortaleza, CE.....	78
Figura 10 - Esquema representativo da Lei de Lambert.....	80
Figura 11 - Determinação da reta e percentagem de cada estratégia na Carta Bioclimática Brasileira.....	85
Figura 12 - Carta Bioclimática Brasileira	85
Figura 13 - Comportamento horário da temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) em Fortaleza, CE, entre os anos de 1991 a 2010.....	86
Figura 14 - Normais climatológicas mensais da cidade de Fortaleza, CE no período de 1980 a 2010.....	87
Figura 15 - Localização espacial dos pontos de medição.....	89
Figura 16 - Fotos olho-de-peixe e cartas solares nos oito pontos de coleta.....	90
Figura 17 - Fluxograma da metodologia da ANOVA.....	109
Figura 18 - Interpretação dos votos de sensação térmica relatados.....	111
Figura 19 - Regime pluviométrico médio (mm) e nível de umidade relativa (%) mensal da cidade de Fortaleza, CE, durante o período de 1980 a 2010..	115
Figura 20 - Frequência relativa e acumulada da ocorrência horária de precipitação e da quantidade total de chuva em Fortaleza, CE durante o período de 1980 a 2010.....	115
Figura 21 - Comportamento médio horário da Nebulosidade (0/8) e Umidade Relativa (%) em Fortaleza, CE no período de 1991 a 2010.....	116

Figura 22 - Comportamento médio mensal da Nebulosidade (0/10), da Insolação (horas) e da Radiação Solar Global (cal/cm ² dia) em Fortaleza, CE no período de 1980 a 2010.....	117
Figura 23 - Curso anual da declinação do Sol (δ) e do cosseno do ângulo zenital ($\text{Cos}(Z)$) para a latitude de Fortaleza, CE.....	118
Figura 24 - Variação da Radiação Solar Extraterrestre - I_z (W/m ²) para Fortaleza, CE.....	118
Figura 25 - Carta Solar da cidade de Fortaleza, CE.....	119
Figura 26 - Curso diário dos valores médios horários da temperatura do ar e da irradiância solar extraterrestre em Fortaleza, CE no período de 1991 a 2010.....	121
Figura 27 - Curso anual dos valores médios mensais da temperatura do ar e da radiação solar global em Fortaleza, CE no período de 1980 a 2.....	121
Figura 28 - Direção predominante dos ventos em Fortaleza, CE durante o ano no período de 1991 a 2010.....	123
Figura 29 - Direção predominante dos ventos em Fortaleza, CE durante o dia no período de 1991 a 2010.....	123
Figura 30 - Curso diário da velocidade do vento em Fortaleza, CE, a 10 e 2m de altura, e ocorrência de calmaria durante o período de 1991 a 2010.....	124
Figura 31 - Curso anual da velocidade do vento em Fortaleza, CE, a 10 e 2m de altura, e ocorrência de calmaria durante o período de 1991 a 2010.....	125
Figura 32 - Percentagem de hora correspondente a cada estratégia indicada na carta bioclimática, considerando-se o dia médio de cada mês em Fortaleza, CE, durante o período de 1991 a 2010.....	127
Figura 33 - Comparação da percentagem de horas do comportamento mensal do índice <i>UTCI</i> para a cidade de Fortaleza, CE, no período de 1991 a 2010, definida pela escala original e pelas faixas adaptadas às condições de Curitiba, PR.....	129
Figura 34 - Comportamento horário da média dos valores de temperatura, umidade, velocidade do ar e nebulosidade coletados durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período entre 2011 e 2012	134

Figura 35 - Correlação entre os métodos de cálculo da temperatura média radiante.....	136
Figura 36 - Faixa etária dos entrevistados em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.....	138
Figura 37 - Índice de Massa Corpórea (IMC) dos respondentes da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, durante o período de 2011 a 2012.....	139
Figura 38 - Disposição física dos entrevistados na pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, durante o período de 2011 a 2012.....	140
Figura 39 - Tempo de exposição no local da entrevista em Fortaleza, CE, durante o período de 2011 a 2012.....	140
Figura 40 - Nível de atividade metabólica (W/m^2) dos entrevistados na pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, durante o período de 2011 a 2012.....	141
Figura 41 - Percentuais da sensação térmica percebida pelos entrevistados durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.....	143
Figura 42 - Sensação térmica desejada pelas pessoas entrevistadas durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.....	144
Figura 43 - Avaliação subjetiva da perspiração sensível pelas pessoas entrevistadas durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.....	145
Figura 44 - Percentual do nível de conforto relatado pelas pessoas entrevistadas durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.....	145
Figura 45 - Elementos climáticos considerados mais agradáveis no clima de Fortaleza, CE com relação ao total entrevistado entre os anos de 2011 a 2012.....	146
Figura 46 - Histograma de frequência dos valores observados para a sensação térmica atual e os índices térmicos durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.....	150

Figura 47 - Relacionamento entre o percentual de insatisfeitos e a sensação térmica atual dos entrevistados em Fortaleza, CE, durante o período de 2011 a 2012.....	160
Figura 48 - Relacionamento entre o percentual de insatisfeitos devido ao calor (I_c) e a sensação térmica atual dos entrevistados na pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.....	160
Figura 49 - Relacionamento entre o percentual de insatisfeitos devido à ausência de frio (I_{auf}) e a sensação térmica atual dos entrevistados na pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.....	161
Figura 50 - Curvas limites de conforto térmico em função das variáveis analisadas em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.....	162
Figura 51 - Curva limite de conforto e desconforto para a variável velocidade do vento em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.....	165
Figura 52 - Comparação entre as faixas de conforto definidas para Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012 e outros limites definidos para algumas cidades brasileiras.....	167
Figura 53 - Comportamento mensal do índice $UTCI$ e da temperatura do ar para a cidade de Fortaleza, CE, no período de 1991 a 2010.....	169
Figura 54 - Comportamento horário do índice $UTCI$ ($^{\circ}C$) e da temperatura do ar ($^{\circ}C$) para a cidade de Fortaleza, CE, no período de 1991 a 2010.....	170
Figura 55 - Distribuição do índice $UTCI$ entre o período de 1980 a 2010 na cidade de Fortaleza, CE.....	171

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Reações fisiológicas predominantes de um organismo.....	33
Quadro 2 -	Escala de perspiração sensível.....	41
Quadro 3 -	Relações assumidas em pesquisas tradicionais de conforto térmico.....	42
Quadro 4 -	Parâmetros relevantes na troca de calor.....	52
Quadro 5 -	Relação entre os fatores ambientais e seus efeitos nas respostas fisiológica e sensorial em um meio quente.....	57
Quadro 6 -	Índices bioclimáticos em ordem cronológica.....	58
Quadro 7 -	Aplicações de índices bioclimáticos no meio urbano.....	61
Quadro 8 -	Escala de Beaufort com as faixas e observação visual da velocidade do ar.....	83
Quadro 9a -	Critério preliminar de conforto relacionado ao vento, considerando-se como unidade: a escala de Beaufort e temperaturas superiores a 10°C*.....	84
Quadro 9b -	Relação entre a escala de Beaufort e a velocidade do ar (m/s).....	84
Quadro 10 -	Localização dos pontos de medição da pesquisa de campo realizada na cidade de Fortaleza, CE no período de 2011 a 2012.....	90
Quadro 11 -	Limites de sensações térmicas e alerta usados em vários índices bioclimáticos	93
Quadro 12 -	Taxa metabólica de atividades típicas.....	95
Quadro 13 -	Isolamento térmico para peças individuais de roupas (Clo).....	96
Quadro 14 -	Escala de percepção térmica (Sensação Térmica Atual – STA)	97
Quadro 15 -	Escala de preferência térmica (Sensação Térmica Desejada – STD)	97
Quadro 16 -	Escala de avaliação do nível de conforto térmico	98
Quadro 17 -	Instrumentos de medição.....	99
Quadro 18 -	Aferição do termo-higrômetro e do anemômetro com os dados da Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC.....	100
Quadro 19 -	Altura de medição para as variáveis ambientais	101
Quadro 20 -	Programação pesquisa de campo.....	104
Quadro 21 -	Critérios adotados no agrupamento de classes de variáveis individuais.....	105

Quadro 22 - Critérios adotados na classificação da cobertura de nuvens / condição do céu.....	105
Quadro 23 - Critério de conforto para pedestres.....	126
Quadro 24 - Comportamento horário e mensal do índice <i>UTCI</i> para a cidade de Fortaleza, CE, no período de 1991 a 2010.....	128
Quadro 25 - Índice de Estresse Térmico (<i>HSI</i>).....	212
Quadro 26 - Valores de referência, em função da atividade desempenhada, supondo-se um indivíduo com isolamento da roupa de 0,6 clo.....	213
Quadro 27 - Escala de apreciação do nível de desconforto elaborada com base nos valores do índice <i>DI</i> em °C.....	215
Quadro 28 - Limites de conforto definidos para o índice <i>THI</i>	215
Quadro 29 - Níveis de classificação do <i>Humidex</i>	217
Quadro 30 - Classificação do <i>RSI</i>	218
Quadro 31 - Percentagem de Pessoas Insatisfeitas (<i>PPD</i>), Voto Médio Predito (<i>PMV</i>), sensação térmica e níveis de estresse.....	222
Quadro 32 - Níveis de Temperatura Efetiva Padrão (<i>SET*</i>) e sensação térmica.....	227
Quadro 33 - Comparação entre os índices <i>PMV</i> , <i>SET*</i> e <i>PET</i>	228
Quadro 34 - Escala de apreciação da Temperatura Aparente.....	230
Quadro 35 - Sensação térmica e nível de estresse fisiológico do <i>PMV</i> segundo o modelo <i>KMM</i>	231
Quadro 36 - Classificação da sobrecarga térmica do ser humano com relação aos valores do <i>PMV</i> segundo o modelo <i>KMM</i>	232
Quadro 37 - Interpretação dos valores dos índices <i>STEBIDEX</i> e <i>HEBIDEX</i> em termos de categorias de sensação térmica.....	234
Quadro 38 - Sensação térmica segundo o método <i>Comfa</i>	235
Quadro 39 - Grau de percepção térmica e estresse fisiológico humano correspondente aos valores do índice <i>PET</i>	238
Quadro 40 - Escala de apreciação do índice <i>HL</i> (adimensional).....	242
Quadro 41 - Temperatura Percebida e estresse térmico.....	243
Quadro 42 - Escala de apreciação do índice <i>Summer Simmer Index</i> , <i>SSI</i>	245
Quadro 43 - Escala de avaliação do índice <i>NET</i>	245
Quadro 44 - Temperatura equivalente do <i>UTCI</i> categorizada em termos de estresse térmico.....	251

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média mensal do comportamento horário da radiação solar global incidente e aceitável, altura solar e do índice Carga Térmica (<i>HL</i>) para a cidade de Fortaleza, CE, entre 05:00 e 19:00h, calculada através do programa <i>Urbanus Canyon_2010</i>	120
Tabela 2 - Frequência absoluta do total de pessoas abordadas e medições realizadas durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, entre 2011 e 2012.....	130
Tabela 3 - Descritiva das variáveis climáticas coletadas no primeiro período (Julho/2011) da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE.....	131
Tabela 4 - Descritiva das variáveis climáticas coletadas no segundo período (Ago - Set/2011) da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE.....	131
Tabela 5 - Descritiva das variáveis climáticas coletadas no terceiro período (Jan/2012) da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE.....	132
Tabela 6 - Descritiva das variáveis climáticas coletadas no quarto período (Mar – Abr/2012) da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE.....	132
Tabela 7 - Descritiva das variáveis climáticas coletadas em todo o conjunto da pesquisa de campo realizada em Fortaleza no período de 2011 a 2012.....	133
Tabela 8 - Normais climatológicas no período de 1980 a 2010 na cidade de Fortaleza, CE.....	133
Tabela 9 - Correlação de Pearson das temperaturas média radiantes calculadas pelo <i>RayMan</i> e pelas equações de Belding e da ISO 7726.....	136
Tabela 10 - Local de residência dos respondentes durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza no período de 2011 a 2012.....	137
Tabela 11 - Naturalidade ou nacionalidade dos entrevistados durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza no período de 2011 a 2012.....	137
Tabela 12 - Tempo que reside em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.....	138
Tabela 13 - Descritivas da idade, do peso (kg), altura (m) e IMC dos respondentes da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, durante o período de 2011 a 2012.....	139

Tabela 14 -	Descritivas da taxa metabólica (W/m^2) e isolamento térmico do vestuário (clo) das pessoas entrevistadas durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.....	141
Tabela 15 -	Sensação térmica atual (STA) e desejada (STD) dos entrevistados na pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, durante o período de 2011 a 2012.....	142
Tabela 16 -	Resultado dos testes de associação (teste chi-quadrado).....	147
Tabela 17 -	Estatística descritiva dos índices térmicos utilizados durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.....	149
Tabela 18 -	Comparação entre os valores dos limites inferiores e superiores das escalas de apreciação dos índices e os definidos a partir da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, entre 2011 e 2012.....	151
Tabela 19 -	Coeficientes de determinação (R^2) entre os índices térmicos e a sensação térmica atual.....	153
Tabela 20 -	Teste de igualdade das variâncias (Levene) entre os índices térmicos e a STA.....	154
Tabela 21 -	Teste de efeitos entre os índices térmicos e a STA (ANOVA)**.....	155
Tabela 22 -	Teste de comparação de médias para o índice <i>HI</i>	155
Tabela 23 -	Teste de comparação de médias para o índice <i>UTCI</i>	155
Tabela 24 -	Teste de comparação de médias para o índice <i>NET</i>	156
Tabela 25 -	Teste de comparação de médias para o índice <i>PMV</i>	156
Tabela 26 -	Teste de efeitos entre os índices térmicos e a STA (Kruskal-Wallis).....	157
Tabela 27 -	Valores da significância assintótica do teste de diferenças entre grupos (categorias) independentes (Wilcoxon e Man-Whitney).....	157
Tabela 28 -	Níveis das variáveis ambientais que indicam um percentual de 31%, 70% e 50%.....	166
Tabela 29 -	Limites inferiores e superiores de conforto térmico e de desconforto para o calor de estudos anteriores.....	166

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C., antes de Cristo

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANOVA, Análise de Variância

ASHRAE, *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

ASV, Voto Real de Sensação (*Actual Sensation Vote*)

AT, Temperatura Aparente (*Apparent Temperature*)

BCI, Índice de Contraste Bioclimático (*Bioclimatic Contrast Index*)

CCMs, Complexos Convectivos de Mesoescala

CET*, Temperatura Efetiva Corrigida

Comfa, Fórmula de conforto (*COMfort formula*)

COST, *Cooperation in Science and Technical Development*

DETRAN, Departamento Estadual de Trânsito

DhR, Risco de Desidratação (*Dehydration Risk*)

DI, Índice de Desconforto (*Discomfort Index*)

DWD, Serviço Meteorológico Alemão (*German Meteorological Service*)

EIA, Estudo de Impacto Ambiental

ET*, Nova Temperatura Efetiva (*New Effective Temperature*)

ET, Temperatura Efetiva (*Effective Temperature*)

FAUUSP, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

HEBIDEX, Índice de Armazenamento Térmico (*HEat Budget InDEX*)

HI, Índice de Calor (*Heat Index*)

HL, Carga Térmica (*Heat Load*)

HSI, Índice de Estresse Térmico por Calor (*Heat Stress Index*)

HU, *Humidex*

Iclp, Isolamento Predito (*Insulation Predicted*)

IMC, Índice de Massa Corpórea

IMEMI, *Instationary Munich Energy-balance Model*

INMET, Instituto Nacional de METeorologia

ISO, *International Standard Organization*

ITS, Índice de Estresse Térmico (*Index of Thermal Stress*)

KMM, Modelo Climático de Michel (*Klima-Michel-Model*)

LABAUT, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética

LabEEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LEMA, Laboratório de Estatística e Matemática Aplicada

MEMI, Modelo de Munique para Balanço de Energia para Indivíduos (*Munich Energy-balance Model for Individuals*)

MENEX, *Man ENvironment heat EXchange model*

NET, Temperatura Efetiva Normal (*Normal Effective Temperature*)

N_{med}, número de medição

N_{Quest}, número de questionários

NWCT, Novo Índice de Temperatura e Refriamento pelo Vento

NWS, Serviço Meteorológico Americano (*US National Weather Service*)

OcR, Risco de Congelamento (*Overcooling Risk*)

OhR, Risco de Superaquecimento (*Overheating Risk*)

OUT_SET*, Temperatura Efetiva Padrão Externa (*OUTdoor_Standard Effective Temperature*)

P_{4SR}, Taxa de Suor Prevista para 4 horas (*Predicted 4 Hour Sweat Rate*)

PDPFor, Plano Diretor Participativo de Fortaleza

PET, Temperatura Equivalente Fisiológica (*Physiological Equivalent Temperature*)

PhS, Esforço Fisiológico (*Physiological Strain*)

PMV*, Voto Médio Predito Modificado (*Modified Predicted Mean Vote*)

PMV, Voto Médio Estimado (*Predicted Mean Vote*)

PPD, Percentagem de Pessoas Insatisfeitas (*Predicted Percentage of Dissatisfied*)

PSI, Índice de Capacidade de Armazenamento

PST, Temperatura Subjetiva Fisiológica (*Physiological Subjective Temperature*)

PT, Temperatura Percebida (*Perceived Temperature*)

RSI, Índice de Esforço Relativo (*Relative Strain Index*)

RT, Temperatura Resultante (*Resultant Temperature*)

RT, Temperatura Resultante (*Resultant Temperature*)

RUROS, *Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces*

SET*, Temperatura Efetiva Padrão (*Standard Effective Temperature*)

SSI, Índice de verão (*Summer Simmer Index*)

STA, Sensação Térmica Atual

STD, Sensação Térmica Desejada

STEBIDEX, Índice do Balanço Energético da Temperatura da Pele (*Skin Temperature Energy Balance InDEX*)

STI, Temperatura Subjetiva (*Subjective Temperature*)
SVF, Fator de Céu Visível (*Sky View Factor*)
SW, Perda Hídrica (*Water Loss*)
 S_{wreq} , Taxa de Suor Requerida
TEP, Temperatura Equivalente Percebida
 T_{eq} , Temperatura Equivalente (*Equivalent Temperature*)
THI, Índice de Temperatura e Umidade (*Temperature Humidity Index*)
 T_{NE} , Temperatura Neutra Exterior
 T_{ON} , Temperatura Operativa Neutra
 T_{op} , Temperatura Operativa (*Operative Temperature*)
TS, Índice de Sensação Térmica (*Thermal Sensation*)
UBIKLIM, *Urban Bioclimate Model*
UECE, Universidade Estadual do Ceará
UFC, Universidade Federal do Ceará
UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina
UTCI, Índice Térmico Climático Universal (*Universal Thermal Climate Index*)
VCAS, Vórtices Ciclônicos de Ar Superior
VDI, *German Industry Standard*
WBGT, Bulbo Úmido e Temperatura de Globo (*Wet Bulb Globe Temperature*)
ZCIT, Zona de Convergência InterTropical

LISTA DE SÍMBOLOS

Act: nível de atividade

Cs: constrição

Dl: dilatação

Evap: perda de calor por evaporação

I_{auf}: percentagem de pessoas insatisfeitas devido à ausência de frio

I_c: percentagem de pessoas insatisfeitas devido ao calor

Icl, Vest: vestuário

I_n: energia incidente na superfície normal

I_z: energia incidente em uma superfície inclinada, radiação solar extraterrestre

Metab, M: metabolismo

N: nebulosidade

R: radiação

r: razão de mistura

R_g: radiação solar global

R_o: radiação solar em uma superfície horizontal no topo da atmosfera

SBF: fluxo sanguíneo da pele

Sh: arrepio

Sw: sudação

T_a, T_{ar}, t_a, T_a: temperatura do ar

TBS: temperatura de bulbo seco

T_{core}: temperatura do núcleo do corpo

T_g: temperatura de globo

T_{pele}, t_{sk}: temperatura da pele

T_r, t_{mrt}: temperatura média radiante

T_w: temperatura de bulbo úmido

UR, rh, U: umidade relativa

V_{ar}, V_a, v_a, v_a: velocidade do ar

Z: ângulo zenital

δ: declinação do Sol

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	24
1.1	Objetivos	27
1.2	Metodologia adotada	28
1.3	Estruturação do trabalho	28
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	30
2.1	Produção e regulação do calor pelo organismo humano	30
2.2	Mecanismos de troca térmica entre o corpo humano e o meio	35
2.3	O papel do vestuário no conforto térmico	39
2.4	Definição de conforto térmico	40
2.5	Modelos de sensação e conforto térmico	44
2.6	Variáveis envolvidas na troca de calor e seus efeitos nas respostas sensoriais	52
2.6.1	<i>Temperatura do ar</i>	53
2.6.2	<i>Temperatura média radiante</i>	53
2.6.3	<i>Umidade do ar</i>	54
2.6.4	<i>Velocidade do vento</i>	54
2.6.5	<i>Taxa metabólica</i>	55
2.6.6	<i>Vestuário</i>	55
2.6.7	<i>Efeito das variáveis climáticas nas respostas fisiológica e sensorial</i>	56
2.7	Principais índices térmicos aplicados a meios quentes	56
2.8	Desenvolvimento de trabalhos voltados ao conforto térmico no meio externo	66
2.8.1	<i>Panorama internacional</i>	66
2.8.2	<i>Panorama nacional</i>	68
2.9	A cidade de Fortaleza e o panorama local	70
2.9.1	<i>Evolução urbana da cidade de Fortaleza</i>	70
2.9.2	<i>Estudos desenvolvidos em Fortaleza sobre o conforto térmico</i>	72
3	MATERIAL E MÉTODOS	76
3.1	Etapa preliminar	76
3.1.1	<i>Localização da área de estudo</i>	78
3.1.2	<i>Equações utilizadas no cálculo de elementos climáticos</i>	79

3.1.2.1	<i>Radiação solar</i>	79
3.1.2.2	<i>Umidade</i>	82
3.1.2.3	<i>Velocidade do ar</i>	82
3.1.2.4	<i>Carta Bioclimática da cidade de Fortaleza</i>	84
3.2	Etapa preparatória	86
3.2.1	<i>Definição dos períodos e turnos para a realização da pesquisa de campo</i>	86
3.2.2	<i>Definição dos pontos de medição</i>	88
3.2.3	<i>Definição dos índices aplicados</i>	92
3.2.4	<i>Variáveis coletadas</i>	93
3.2.4.1	<i>Variáveis micro-climáticas</i>	93
3.2.4.2	<i>Variáveis individuais e subjetivas</i>	94
3.2.4.3	<i>Variáveis de controle</i>	96
3.2.5	<i>Elaboração do questionário</i>	96
3.2.6	<i>Instrumentos de medição</i>	98
3.2.7	<i>Definição do tamanho da amostra</i>	98
3.2.8	<i>Equipe de entrevistadores</i>	100
3.2.9	<i>Experimento piloto e teste dos equipamentos</i>	100
3.2.10	<i>Procedimentos de coleta</i>	101
3.3	Coleta de dados	102
3.3.1	<i>Coleta de dados secundários</i>	102
3.3.2	<i>Programação da pesquisa de campo</i>	104
3.4	Tratamento dos dados coletados	104
3.4.1	<i>Cálculo dos índices e variáveis ambientais</i>	106
3.4.2	<i>Tratamento estatístico</i>	107
3.4.2.1	<i>Análise descritiva dos dados</i>	107
3.4.2.2	<i>Análise de regressão probit</i>	109
3.5	Incertezas experimentais	112
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	114
4.1	Caracterização bioclimática da cidade de Fortaleza	114
4.2	Tratamento estatístico dos dados da pesquisa de campo	129
4.2.1	<i>Análise descritiva</i>	129
4.2.1.1	<i>Descritiva das variáveis ambientais</i>	130
4.2.1.2	<i>Aplicação do modelo RayMan</i>	135

4.2.1.3	<i>Caracterização da amostra</i>	137
4.2.1.4	<i>Análise da percepção, avaliação e preferência térmica da população</i>	141
4.2.1.5	<i>Testes de associação</i>	147
4.2.1.6	<i>Descritiva dos Índices Térmicos e análise de sua aplicabilidade</i>	148
4.2.2	<i>Análise de regressão probit</i>	159
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	172
5.1	Recomendação para trabalhos posteriores	175
	REFERÊNCIAS	176
	APÊNDICE A – MODELOS DE TERMORREGULAÇÃO DO CORPO HUMANO	198
	APÊNDICE B – REVISÃO DE ÍNDICES TÉRMICOS	207
	APÊNDICE C – MODELO DO QUESTIONÁRIO APLICADO	252
	APÊNDICE D – PLANILHAS DE MEDIÇÃO	255
	APÊNDICE E – RELAÇÃO DOS BAIRROS QUE COMPÕEM CADA REGIONAL DA PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA, CE	256
	APÊNDICE F – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA CARTA BIOCLIMÁTICA DE FORTALEZA PARA CADA MÊS DO ANO	259
	APÊNDICE G – TABELAS DE CONTINGÊNCIA DAS RELAÇÕES EM QUE FORAM IDENTIFICADAS DEPENDÊNCIA ENTRE VARIÁVEIS	261
	APÊNDICE H – DADOS DAS MEDIÇÕES UTILIZADAS NAS ANÁLISES <i>PROBIT</i>	264

1 INTRODUÇÃO

Muitos pesquisadores têm procurado desenvolver estratégias de desenho urbano para melhorar as condições de vida nas cidades de forma que as estruturas urbanas sejam mais coerentes com o clima da região e valorizem os espaços livres.

Os diversos índices de conforto térmico desenvolvidos nas últimas décadas auxiliam na descrição e quantificação do meio térmico humano e do efeito das complexas condições de troca de calor entre o corpo humano e o meio. São ferramentas capazes de auxiliar na identificação de diretrizes mais adequadas ao clima.

As reações fisiológicas são avaliadas em termos de um único valor e são interpretadas pelo ser humano por meio da sua percepção subjetiva e, exatamente por ser individual, ela varia entre os seres humanos, com a mesma pessoa em diferentes períodos de tempo e com sua capacidade adaptativa. Essa é uma das razões atribuídas às discrepâncias identificadas ultimamente em estudos de conforto térmico, em especial, no meio externo.

Dentro desse contexto, o presente trabalho visa avaliar a aplicabilidade de alguns índices térmicos e definir novos padrões de conforto para o clima da cidade de Fortaleza, Ceará, além de caracterizá-la bioclimaticamente, fornecendo subsídios para que as futuras investigações e intervenções urbanas sejam mais condizentes com a realidade local.

Essa abordagem é importante porque apesar da maioria das soluções na escala urbana depender do poder público, as dificuldades de comunicação entre pesquisadores, a falta de compreensão e uso das informações climáticas, além da deficiente formação interdisciplinar do poder público e tomadores de decisão, acabam se refletindo diretamente no processo de planejamento.

Oke (1984), Eliasson (2000) e Mills (2006) ressaltam que é necessário que os climatologistas conheçam as necessidades dos planejadores urbanos e arquitetos e forneçam a eles ferramentas e argumentos necessários para que possam intervir de maneira mais consciente no meio urbano, da mesma forma que estes devem tornar as informações mais compreensíveis ao poder público.

De Schiller e Evans (1996) apontam para a necessidade urgente de se construir uma ponte entre o clima e o desenho urbano e arquitetônico a fim de que se obtenha um uso mais racional dos recursos energéticos e um melhoramento da qualidade de vida urbana.

As cidades litorâneas de climas mais amenos são as que vêm sendo mais passíveis de alterações climáticas (GONZÁLEZ *et al.*, 2005). Em geral, essas cidades estão associadas a atividades voltadas ao turismo, atividades recreacionais esportivas e de lazer. Umas,

possuem um mercado já consolidado, outras, em desenvolvimento, mas ambas configuram-se como pontos atrativos e estão sujeitas a um elevado fluxo de pessoas, especialmente, durante os períodos de férias.

Fortaleza, também conhecida como Terra da Luz, com grande aptidão voltada ao turismo, é o principal centro urbano do Estado do Ceará. Segundo o Censo de 2010, sua população é superior a 2.400.000 habitantes, com uma projeção estimada para 2014 em 2.571.896 habitantes. No contexto nacional, ela é considerada uma das principais aglomerações urbanas, com taxa de crescimento de 1,5% em 2010 e densidade demográfica de 7.786,44 hab/km² (IBGE, 2013, 2014).

Mas, infelizmente, como grande parte das cidades brasileiras, seu crescimento tem se dado de forma desordenada, superando a capacidade de prover uma adequada infraestrutura, habitação, segurança e qualidade de vida à população. Como consequência, sérios impactos sócio-ambientais vêm sendo causados, dentre eles, ocupação de áreas de risco, alterações climáticas, desmatamentos e problemas relacionados à drenagem urbana.

Dentre as alterações climáticas, são relatados o aumento da temperatura do ar, a redução da umidade e velocidade dos ventos e a formação de ilhas de calor. Entretanto, acredita-se que devido às características climáticas inerentes ao clima de Fortaleza, mesmo que as alterações sejam pequenas, elas podem expor o ser humano a uma condição de estresse térmico, afetando sua saúde, produtividade e bem estar, principalmente, dos que trabalham no meio externo.

Segundo Svensson e Eliasson (2002) e Assis (2006), obrigatoriamente, essa situação força a um aumento no consumo de energia para a climatização artificial, sem, entretanto, solucionar o problema do conforto ambiental como um todo.

Normalmente, o parâmetro climático considerado no processo de planejamento das cidades é a precipitação, em virtude da drenagem urbana. Isso pode ser constatado no atual Plano Diretor Participativo de Fortaleza (PDPFor). Apesar de ter sido elaborado tomando como base o Zoneamento Econômico Ecológico do município, de dar ênfase à questão ambiental, justiça social, acesso à moradia e gestão participativa (SANTOS, 2011), e do volume e qualidade dos estudos que vêm sendo desenvolvidos no clima urbano, o atual PDPFor permanece deixando de lado a questão dos impactos da urbanização no clima local (ZANELLA; MOURA, 2013).

Provavelmente, isso acontece porque as repercussões não são visíveis. Entretanto, a gestão dos recursos de energia tem se tornado um dos principais desafios para a sociedade

moderna. Quanto maior o consumo, maior é a extração de matérias-primas e o lançamento de resíduos, agravando uma crise ambiental já existente (PINHEIRO, 2013).

Os estudos sobre o clima urbano têm mostrado que as alterações climáticas estão associadas à transformação de energia na área urbana. A aplicação da modelagem do balanço energético do meio urbano permite a análise sistemática do mesmo e a simulação das alterações climáticas provocadas pela intervenção urbana (OKE, 1988).

Burt, O'Rourke e Terjung (1982a, 1982b) ampliam esse espectro e incorporam a questão do conforto térmico humano, possibilitando a análise de desempenho e escolha da melhor opção. De acordo com Assis e Frota (1999) e Assis (2006) essa seria a maneira mais adequada de introduzir o clima no planejamento das cidades e avaliar a influência da forma urbana nas alterações climáticas, tendo o ser humano como referencial.

Sob o ponto de vista biometeorológico, Epstein e Moran (2006) verificam que é mais coerente e consistente descrever o meio a partir do efeito associado da temperatura e umidade do ar sobre o ser humano que analisá-las separadamente.

Essa questão associa a estrutura urbana à percepção térmica da mesma pelo ser humano. Essa percepção é avaliada, objetivamente, através da aplicação de índices térmicos, cujos resultados são referenciados a uma escala de interpretação verbal, desenvolvida a partir do relacionamento entre o valor do índice e o voto direto dado por um grupo de pessoas.

Por um lado, os índices são desenvolvidos em cima de uma série de fatores limitantes que determinam a sua aplicabilidade, como a temperatura do ar, a pressão de vapor, a velocidade do vento, a radiação solar, a taxa metabólica, o tipo de vestuário e o efeito fisiológico provocado (GIVONI, 1976; OLGAY, 1992). Por outro, diversos pesquisadores têm observado uma fraca relação entre o valor analítico do índice e o voto térmico direto.

Devido ao processo de aclimação e adaptação térmica, os indivíduos não respondem às variações climáticas de maneira semelhante, o que acaba influenciando a definição dos limites das zonas de conforto apresentados nas escalas de sensação térmica (DE DEAR; BRAGER, 2001; NIKOLOPOULOU; STEEMERS, 2003; KNEZ; THORSSON, 2006). A grande variabilidade de respostas e preferências começa a fazer com que o tema seja tratado dentro de uma abordagem adaptativa e, segundo Cadima (2000 *apud* ANDRADE, 2005) é particularmente importante na avaliação do meio externo.

No presente estudo, têm-se quatro fatores a se considerar: uma população adaptada a condições climáticas quentes, um clima naturalmente estressante, um crescimento urbano acelerado e desordenado com implicações climáticas evidentes e uma crise energética.

Portanto, se faz necessário investigar a real percepção térmica da população para, então, desenvolver estratégias de intervenção que possam ser avaliadas de forma significativa.

Conforme Abreu e Labaki (2010), os estudos comparativos, dentro da realidade brasileira, que analisam o índice de conforto térmico mais adequado em avaliações microclimáticas no meio externo ainda são poucos. Mas, menos ainda são os que verificam a sua aplicabilidade (SOUZA; NERY, 2012).

No entanto, a aplicação de índices de conforto térmico a climas e microclimas de espaços abertos externos, localizados em diferentes latitudes deve estar associada não somente às características ambientais, mas também às populacionais. A sensação térmica experimentada pela população em determinado local constitui-se a base para a definição do intervalo das variáveis ambientais que compõem uma zona de conforto (ABREU; LABAKI, 2010).

Os estudos realizados em Fortaleza, Ce dentro do campo térmico, normalmente avaliam o clima urbano e as alterações climáticas decorrentes da urbanização. Recentemente, alguns estudos começaram a usar alguns índices térmicos mais empíricos. Entretanto, em nenhum caso é avaliada a aplicabilidade dos mesmos ou investigada a percepção térmica da população local, resultando em interpretações que retratam a realidade de uma população que habita uma zona de clima temperado.

Com este trabalho, espera-se fazer com que os índices térmicos analisados possam ser aplicados de forma mais consistente com a realidade local, contribuindo para que os parâmetros bioclimáticos e as consequências de possíveis alterações climáticas resultantes da ocupação urbana no conforto térmico da cidade possam ser considerados no processo de planejamento urbano.

1.1 Objetivos

O objetivo principal deste estudo é identificar o efeito dos parâmetros bioclimáticos na sensação térmica da população no meio urbano da cidade de Fortaleza, CE, definindo-se limites de conforto para espaços abertos.

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- caracterizar a cidade de Fortaleza no contexto bioclimático;
- verificar a possibilidade de utilização do programa *RayMan* no cálculo da temperatura média radiante;
- verificar a percepção, preferência e avaliação térmica da população;

- identificar a relação existente entre a sensação térmica relatada e as variáveis subjetivas e individuais estudadas;
- verificar a aplicabilidade dos índices térmicos; e
- definir limites de conforto para espaços abertos.

1.2 Metodologia adotada

No presente estudo são abordados exclusivamente índices aplicados a condições quentes, dentre eles, o Voto Médio Estimado (*PMV*), o Índice de Desconforto (*DI*), o Humidex (*HU*), a Temperatura Aparente (*AT*), o Índice de Calor (*HI*), o Índice de Verão (*SSI*), o Voto Real de Sensação (*ASV*), a Temperatura Efetiva Normal (*NET*), a Temperatura Equivalente Fisiológica (*PET*) e o Índice Térmico Climático Universal (*UTCI*).

Na caracterização climática, são usados dados horários e mensais da Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins no período de 1991 a 2010 e da Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC entre 1980 a 2010, das variáveis temperatura do ar, umidade relativa, insolação, nebulosidade, precipitação e velocidade e direção do vento.

O levantamento de campo foi feito em oito espaços públicos externos da cidade escolhidos em função do fluxo de pessoas e por serem áreas de convergência de diversos bairros da cidade. Apesar de se estabelecer um número mínimo de pessoas que deveriam ser entrevistadas, a amostragem foi feita por conveniência.

As entrevistas foram realizadas na sombra e aconteceram entre 08:00 e 16:00h. Paralelamente foram feitas medições de temperatura do ar, temperatura de bulbo úmido, temperatura de globo, umidade relativa e velocidade do vento. Os dados foram coletados na sombra, a cada quinze minutos, na altura da cabeça e do tórax de uma pessoa em pé e foram tratados por meio da aplicação de técnicas estatísticas.

1.3 Estruturação do trabalho

Esse estudo está estruturado em cinco capítulos, além das referências bibliográficas e apêndices. No primeiro capítulo é feita uma breve introdução sobre o tema, apresentando a sua importância e os objetivos da pesquisa.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica e a fundamentação teórica do estudo. Inicialmente, são tratadas questões inerentes à produção e regulação do calor pelo organismo, os mecanismos de troca com o meio e as respostas sensoriais. Em um segundo momento, são abordados os modelos de sensação e conforto térmico, bem como as variáveis

envolvidas e os índices térmicos aplicados a meios quentes. Finalmente, são apresentadas algumas aplicações voltadas ao conforto térmico no meio externo em nível internacional, nacional e local.

O terceiro capítulo consta do detalhamento da metodologia utilizada na condução do estudo. Aborda as quatro etapas em que o trabalho foi realizado: a preliminar, preparatória, pesquisa de campo e tratamento estatístico, todas fundamentadas na revisão da literatura e na análise de estudos anteriores.

No quarto capítulo são analisados os dados coletados, apresentados e discutidos os resultados referentes aos objetivos da pesquisa. Também é estabelecida uma comparação entre os resultados atuais e os obtidos em estudos precedentes dentro do território nacional.

No quinto e último capítulo são sintetizados os principais achados na forma de conclusão. Os resultados obtidos são discutidos com base nos objetivos e na metodologia empregada, apontando-se as limitações encontradas e sugerindo-se trabalhos futuros. Também é destacada a importância da vegetação para o conforto térmico em espaços abertos no meio urbano de cidades de clima tropical.

Finalizando, são apresentados oito apêndices complementares aos capítulos expostos. O primeiro deles apresenta as equações dos dois principais modelos de predição de conforto térmico. No segundo, são descritos diversos índices de conforto térmico aplicados ao meio quente, destacando sua origem, forma de cálculo, variáveis necessárias, escalas de apreciação e algumas vantagens e desvantagens.

O terceiro apêndice traz o modelo do questionário utilizado na pesquisa de campo e o quarto, da planilha onde são coletadas as variáveis climáticas. No quinto apêndice é apresentada a relação dos bairros que compõem cada Secretaria Regional do município de Fortaleza e o número de pessoas entrevistadas oriundas de cada bairro.

No sexto apêndice, pode-se identificar as estratégias necessárias à restauração da condição de conforto na Carta Bioclimática de Fortaleza a partir da relação estabelecida entre os valores mínimos, médios e máximos de temperatura e umidade do ar representativos para cada mês. O sétimo é formado pelas tabelas de contingência elaboradas para os testes de associação feitos na análise dos dados e, no último apêndice, são apresentadas as tabelas utilizadas na análise de regressão *probit*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O meio físico é constituído por diversos elementos que se encontram inter-relacionados e agem diretamente sobre o corpo humano. Do ponto de vista termofisiológico, as reações físicas e psicológicas são resultantes do esforço efetuado pelo organismo humano para manter-se em equilíbrio biológico (OLGYAY, 1992).

Por outro lado, a significância térmica das condições ambientais experimentadas pelo ser humano no meio externo depende da influência e do efeito compensatório do movimento do ar, da temperatura, do balanço de radiação, da umidade, do nível de atividade, do vestuário e da postura do indivíduo, dentre outros fatores (DE FREITAS, 1985).

Neste capítulo procura-se descrever os processos de produção e perda de energia pelo organismo humano, os mecanismos envolvidos na troca de calor entre o corpo humano e o meio, as respostas dadas pelo ser humano às alterações ambientais, bem como os modelos utilizados para esse fim. Em seguida, são apresentados alguns índices derivados desses modelos com exemplos de aplicações no meio externo. Por fim, são apresentadas algumas considerações básicas referentes à área de estudo e aos estudos desenvolvidos no campo térmico a nível internacional, nacional e local.

2.1 Produção e regulação do calor pelo organismo humano

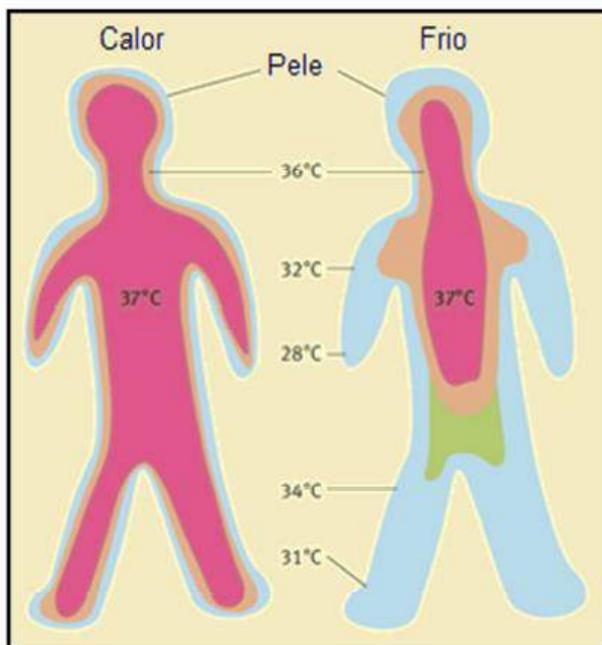
O ser humano é endotérmico e homotérmico. Isto significa dizer que ele produz energia, mas, paralelamente, precisa liberá-la para que a sua temperatura corporal se mantenha constante a, aproximadamente, 37°C, independentemente da intensidade de variação térmica do meio (FROTA; SCHIFFER, 2001). Admite-se que esse valor pode sofrer uma pequena oscilação de $\pm 0,6^\circ\text{C}$ ao longo do dia (FIALA; LOMAS; STOHRER, 2001; BLAZEJCZYK, 2011; ROSSI, 2012).

Segundo Carvalhais (2011), dependendo do nível de atividade física desenvolvida, a temperatura do núcleo do corpo pode elevar-se a 39,5°C, mas não deve ser nem superior a esse valor nem inferior a 35,5°C.

Valores superiores a 42°C são extremamente perigosos e acima de 43,3°C tornam-se letais, da mesma forma que aos 33°C iniciam-se distúrbios de ordem cardíaca e aos 29°C, o sistema de regulação térmica deixa de funcionar, sendo considerado como limite de sobrevivência, os valores fixados entre 24 e 25°C (GUYTON; HALL, 2006; CARVALHAIS, 2011).

Portanto, a manutenção da temperatura do núcleo do corpo é uma condição necessária para que o organismo funcione adequadamente. Sabe-se que a temperatura não se distribui uniformemente ao longo do corpo, sendo mais perceptível em ambientes frios, conforme é representado na Figura 1.

Figura 1 - Representação da temperatura do núcleo do corpo em função da temperatura ambiente.



Fonte: Carvalhais (2011).

Diferentemente da temperatura interna do corpo, a da pele suporta maiores variações. Em média, situa-se em torno de 34,4°C, mas, por limitados períodos de tempo, pode atingir valores entre 15 e 42°C sem maiores danos (GIVONI, 1976). Assim como a temperatura interna, ela também não é uniformemente distribuída ao longo do corpo. Na condição de conforto, o seu valor deve ser de 30°C nas extremidades e 34 a 35°C no tronco e cabeça (EPSTEIN; MORAN, 2006).

Em geral, a estimativa da temperatura média da pele leva em consideração a temperatura de diversos pontos do corpo, como cabeça, pescoço, braços, antebraços, mãos, tronco, coxas, pernas e pés (MARTINS, 2013). Segundo simulações realizadas por Oshiro (2010), as variações também são mais perceptíveis em ambientes frios que quentes, podendo-se encontrar diferenças na ordem de 6,9°C entre cabeça e pé com temperatura do ar de 25°C e 1,1°C com temperatura do ar de 35°C.

A produção de energia pelo corpo humano se dá a partir da ingestão de alimentos. Os processos envolvidos na conversão dos alimentos em formas úteis de energia recebem a denominação de metabolismo. Da energia total produzida, somente cerca de 20% é transformada em trabalho mecânico, o restante, deve ser dissipado para o meio. Quando o corpo humano encontra-se em repouso, o calor produzido é mínimo e involuntário, recebendo a denominação de metabolismo basal (FROTA; SCHIFFER, 2001; BARBIERO, 2004).

Durante a execução de uma atividade física, há uma produção adicional de calor em decorrência do trabalho muscular. Nesse processo, a corrente sanguínea é o veículo condutor tanto do oxigênio necessário aos músculos para a execução da tarefa quanto do calor produzido em função do desempenho da atividade. Assim, à medida que se eleva a taxa metabólica, simultaneamente, ocorre um aumento no fluxo sanguíneo e uma maior produção de calor (ANDRADE, 2003a; LAMBERTS *et al.*, 2011).

Os controles da produção e transferência interna de calor e das trocas térmicas entre a periferia do corpo e o meio são realizados por mecanismos fisiológicos de termorregulação e consistem, basicamente, no controle da circulação sanguínea, no aumento da atividade muscular e na sudação (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Associados aos mecanismos fisiológicos de termorregulação encontram-se os comportamentais e psicológicos. Os ajustes comportamentais são respostas voluntárias e quase automáticas, onde o indivíduo visa reduzir seu desconforto através de atitudes (AULICIEMS; KALMA, 1981). Nesse contexto inclui-se a mudança de posição, o deslocamento para o sol ou sombra, a ingestão de alimentos ou bebidas e a alteração do nível de atividade física e vestuário (ANDRADE, 2003a; HIRASHIMA, 2010).

Segundo Auliciems (1982), a termorregulação comportamental se manifesta somente quando os mecanismos fisiológicos não são suficientes para estabelecerem um equilíbrio térmico e, necessariamente, passa por um ajuste psicológico.

A regulação térmica é regida na base central do cérebro, no hipotálamo, e as informações necessárias ao controle da temperatura são fornecidas pelos termorreceptores dispersos na superfície da pele e em outras partes do corpo como músculos e medula espinhal (PARSONS, 2006).

Assim, quando as temperaturas do núcleo do corpo e da pele começam a se alterar, os termorreceptores transmitem impulsos nervosos ao hipotálamo que, em resposta, ativa as reações fisiológicas necessárias à manutenção da temperatura interna do núcleo do corpo, conforme apresentadas no Quadro 1. O funcionamento do sistema termorregulador e as principais influências que atuam sobre ele podem ser visualizados no diagrama da Figura 2.

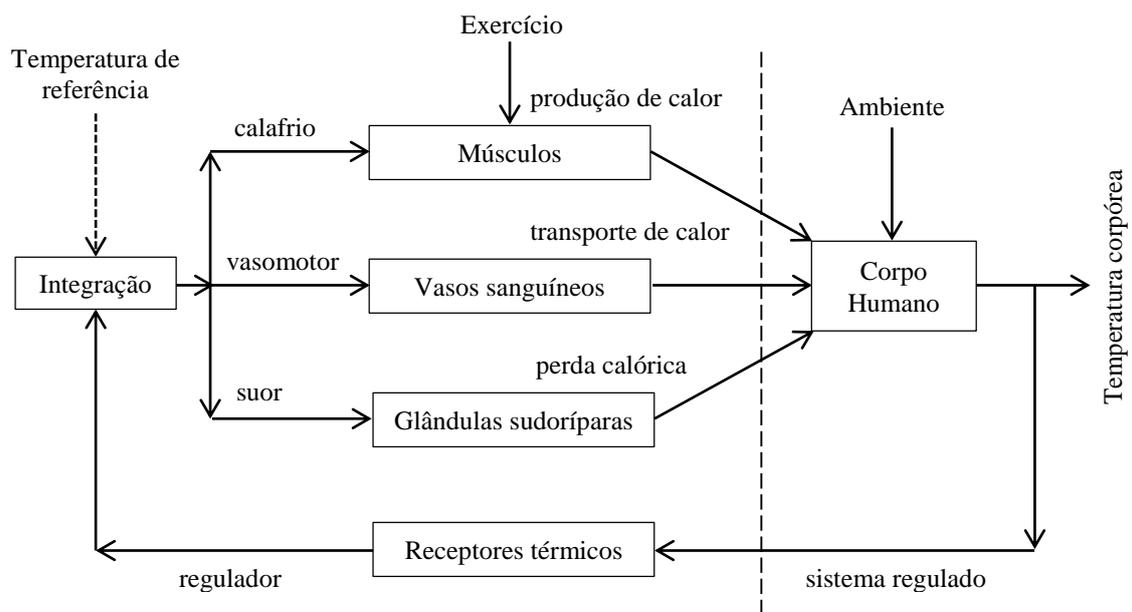
Nele, observa-se que os mecanismos de controle de temperatura agem diretamente no organismo de forma a facilitar ou dificultar a troca de calor com o meio.

Quadro 1 - Reações fisiológicas predominantes de um organismo.

Frio Extremo	Frio	Moderado	Calor	Calor Extremo
↓ Temperatura do núcleo do corpo ↓ Temperatura da pele ↑ Tremores	↓ Temperatura da pele ↑ Tremores	↑ Fluxo sanguíneo ↑ Temperatura da pele	↑ Fluxo sanguíneo ↑ Débito cardíaco ↑ Temperatura da pele ↑ Taxa de transpiração ↑ Umidade da pele ↑ Temperatura do núcleo do corpo	↑ Temperatura do núcleo do corpo ↑ Taxa de transpiração

Fonte: Blazejczyk (2011).

Figura 2 - Diagrama de blocos do sistema térmico do corpo humano.



Fonte: Stolwijk (1971 *apud* OSHIRO, 2010).

A primeira reação do corpo humano ao frio consiste em evitar a perda de calor do núcleo do corpo para o meio. Para tanto, é necessário que o sangue quente seja mantido afastado da superfície da pele. Em resposta a esta condição, ocorre uma redução no fluxo sanguíneo e o estreitamento dos vasos através da vasoconstrição. Este mecanismo aumenta a resistência térmica da pele, reduz a sua temperatura e, conseqüentemente, as trocas de calor, mas, por outro lado, reduz a irrigação e oxigenação do corpo, principalmente nas

extremidades (pés e mãos), podendo tornar-se perigoso em níveis muito elevados (GIVONI, 1976; ANDRADE, 2003a; GUYTON; HALL, 2006).

Com a permanência no meio frio, caso a vasoconstrição não seja suficiente para manter constante a temperatura interna do núcleo do corpo, paralelamente, pode ocorrer um aumento da tonicidade muscular, promovendo a produção interna de calor, sem que seja executado trabalho externo. Isso ocorre através de movimentos musculares involuntários como arrepios, tremores e calafrios (GUYTON; HALL, 2006; ROSSI, 2012).

Em um meio quente, as condições se invertem e as perdas de calor são inferiores às necessárias para manter a temperatura interna do corpo constante. Assim, o sistema nervoso estimula o funcionamento do coração proporcionando um maior bombeamento de sangue. Isso provoca a dilatação dos vasos capilares e uma maior transferência de calor do núcleo do corpo para a pele. Esse mecanismo é chamado de vasodilatação e tem, como consequência, a elevação da temperatura da pele e o incremento da troca de calor entre o organismo e o meio (GIVONI, 1976; FIALA; LOMAS; STOHRER, 2001; ANDRADE, 2003a; KUSCH *et al.*, 2004; CARVALHAIS, 2011).

Quando a produção interna de calor passa a ser superior à troca estabelecida entre a pele e o meio, as glândulas sudoríparas são ativadas e o suor é secretado a fim de evitar a elevação excessiva da temperatura do corpo. Esse mecanismo é considerado o mais eficiente no arrefecimento do corpo humano (GIVONI, 1976; DE FREITAS, 1985). Segundo Parsons (2006), em um ambiente não úmido, a sudação pode aumentar até 2 litros por hora o que corresponde à evaporação de 1.350W de calor por hora.

Em geral, a sudação é indicada pela perda de peso, podendo ser usada como um critério para avaliação do efeito combinado de calor e trabalho em pessoas aclimatadas e bem hidratadas. Mas, de acordo com Givoni e Sohar (1968), ela só pode agir como um índice de carga térmica quando o calor ganho é dissipado pela sudação, pois enquanto a temperatura interna não se estabiliza em um novo nível, o calor continua a ser armazenado.

Em repouso, podem ser evaporados do corpo humano, aproximadamente, 40g de água por hora. A produção máxima de suor é de 1,5 litros por hora para indivíduos não habituados ao calor, podendo atingir 4 l/h em indivíduos aclimatados (GUYTON, 1977 *apud* ANDRADE, 2003a).

Sob a condição de estresse moderado, Givoni (1976) sugere que a perda de peso não seja superior a 1.000g/h para exposições de curta duração (aproximadamente 2h) nem a 800g/h para longa duração. Em condições mais severas, a elevação da taxa de transpiração

além de ser pequena, é insuficiente para manter o equilíbrio térmico, aumentando a temperatura do corpo e o ritmo cardíaco a níveis perigosos.

O autor ainda relata que durante o trabalho em condições quentes extremas, dois fatores podem ocasionar danos ao organismo. O primeiro deles diz respeito ao incremento na frequência cardíaca em decorrência do aumento do fluxo sanguíneo e o segundo, à sudação intensa, removendo uma grande quantidade de água do corpo, o que poderá causar desidratação, redução do volume de sangue, vertigens, fadiga das glândulas sudoríparas, perda de sais e câimbras (PARSONS, 2006).

Portanto, dependendo da relação estabelecida entre a regulação da produção de calor pelo organismo humano, a troca de calor com o meio e a duração e severidade da exposição a condições ambientais estressantes, limita-se o esforço fisiológico em decorrência dos danos causados ao funcionamento do organismo (GIVONI, 1964; JENDRITZKY, 1991; LEITE, 2002; HAVENITH, 2005; MARKHAM; MARKHAM, 2005; GUYTON; HALL, 2006; HUANG, 2007; CAMARGO; FURLAN, 2011; CARVALHAIS, 2011).

Diversos estudos têm apresentado problemas decorrentes da exposição a condições estressantes. Além da queda na produtividade e acidentes, são relatadas enfermidades ou mesmo a morte da porção mais frágil da população (idosos – acima de 65 anos e crianças – entre 0 e 14 anos), principalmente, por problemas cardíacos e respiratórios (KALKSTEIN; GREENE, 1997; LASCHEWSKI; JENDRITZKY, 2002; MAIA; GONÇALVES, 2002; MCGREGOR *et al.*, 2002; SPILLERE; FURTADO, 2007; TAN *et al.*, 2007; AZEVEDO, 2010; PINHEIRO, 2010; CARVALHAIS, 2011; PANTAVOU; LYKLOUDIS, 2011; MARTINS, 2013; VASCONCELOS, 2013).

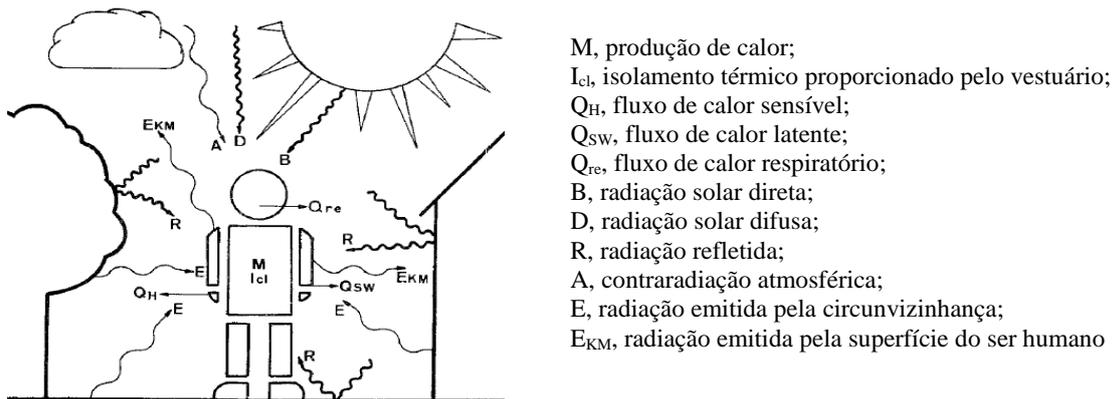
Como descrito acima, os mecanismos fisiológicos de termorregulação habilitam o corpo a regular a taxa de produção e perda de calor, mas, a seguir observa-se que as trocas térmicas são regidas por princípios puramente físicos e que as respostas comportamentais podem facilitar ou não os processos de troca de calor estabelecidos durante a regulação térmica.

2.2 Mecanismos de troca térmica entre o corpo humano e o meio

O calor perdido pelo ser humano depende das condições térmicas do meio que o circunda. Em geral, a temperatura do corpo é diferente da temperatura do meio, fazendo com que se estabeleçam fluxos de calor entre o corpo e o meio. A Figura 3 traz uma representação dessa relação.

A dissipação do calor é realizada através da pele e da respiração. Segundo Andrade (2003a), os fluxos respiratórios adquirem pouca importância em condições de calor e elevada umidade. Em geral, o ar expirado tem uma temperatura inferior à do núcleo do corpo e depende da quantidade de ar inalado e da atividade física (RUAS, 2001).

Figura 3 - Fluxos de calor estabelecidos entre o ser humano e seu meio térmico.



Fonte: Jendritzky (1991).

Nas transferências de calor, as trocas secas são realizadas por condução, convecção e radiação e o calor perdido ou ganho é denominado de calor sensível. O calor perdido para o meio através das trocas úmidas é chamado de calor latente de vaporização e consiste no calor consumido durante a evaporação (LAMBERTS *et al.*, 2011).

Nos processos de troca térmica, a pele situa-se na interface corpo-atmosfera e, por isso, a sua temperatura e umidade são as propriedades básicas que governam a transferência de calor (GONZALEZ; NISHI; GAGGE, 1974). Por esse motivo, De Freitas (1985) a considera um bom indicador do estado térmico meio-corpo humano.

A condução é realizada através do contato com uma superfície sólida de diferente temperatura. Em geral, em ambientes externos costuma-se desconsiderar a perda de calor por condução visto que em um corpo vestido e calçado, a sua contribuição é relativamente pequena (ANDRADE, 1998, 2003a; ROSSI, 2012). Para um corpo nu e em repouso, Guyton e Hall (2006) consideram uma perda de calor de somente 3%.

A troca de calor por convecção ocorre entre o corpo e um fluido. Depende, basicamente, da diferença de temperatura entre o ar e a pele e da velocidade do vento. Em ambientes mais frios que a temperatura da pele, a convecção proporciona uma perda de calor de 15%, considerando-se que o corpo está em repouso e a velocidade do ar é baixa (GUYTON; HALL, 2006).

A transferência por radiação ocorre quando uma superfície quente irradia calor para uma mais fria por meio de ondas eletromagnéticas. Acontece quando o corpo está exposto à incidência direta de fluxos de radiação quer sejam as radiações solar direta, difusa, refletida, emitida pelas superfícies terrestres e circunvizinhas ou mesmo a contraradiação atmosférica.

A radiação é considerada a principal forma de perda ou ganho de calor (60%), por isso, a temperatura média radiante é tida por diversos autores, como o parâmetro meteorológico que mais afeta o equilíbrio térmico humano durante condições ensolaradas (GIVONI, 1976; OLGYAY, 1992; BLAZEJCZYK; NILSSON; HOLMÉR, 1993; OSHIRO, 2010; ROSSI, 2012). Segundo Epstein e Moran (2006), o calor ganho ou perdido do meio é aproximadamente 17,5W por alteração de 1°C na temperatura do ar, acima ou abaixo de 36°C.

Teoricamente, em condições quentes, o principal mecanismo de ajustamento térmico é o resfriamento proporcionado pelo processo evaporativo do suor e da água nos pulmões e na pele (GIVONI, 1976). De acordo com Andrade (2003a) e Rossi (2012), com 50% de umidade relativa do ar, a evaporação é responsável por cerca de 80% da perda total de calor durante a atividade física quando a temperatura do ar atinge 34°C. Em repouso, essa perda cai para 20% quando a temperatura do ar é de 20°C.

A perda de água da pele e dos pulmões é chamada de perspiração insensível, não é controlada fisiologicamente, é uma perda passiva que acontece por difusão. Nela, a água é perdida ainda nos poros da pele e, basicamente, é a diferença entre a pressão de vapor da pele e do ar que determina a velocidade e o local da evaporação (TERJUNG, 1966; RUAS, 2001; ANDRADE, 2003a). Segundo Guyton e Hall (2006), quando a água evapora da superfície do corpo, o mesmo perde 0,58kcal por cada grama de água evaporada. Para os autores é natural que uma pessoa perca por perspiração insensível de 600 a 700ml/dia o que resulta em uma perda contínua de calor de 16 a 19kcal/h.

Devido aos mecanismos de termorregulação, a pressão de vapor de água da pele depende das condições do meio e do nível de atividade. Conforme Givoni (1976), ela pode variar de 37mmHg, sob condições confortáveis ($T_{pele} = 33^{\circ}\text{C}$) a 42mmHg em calor moderado ($T_{pele} = 35^{\circ}\text{C}$) e 47mmHg em calor intenso ($T_{pele} = 37^{\circ}\text{C}$). Em condição de calor moderado, são consumidos 18,6W na alteração de 1mmHg na pressão de vapor de água do meio (EPSTEIN; MORAN, 2006).

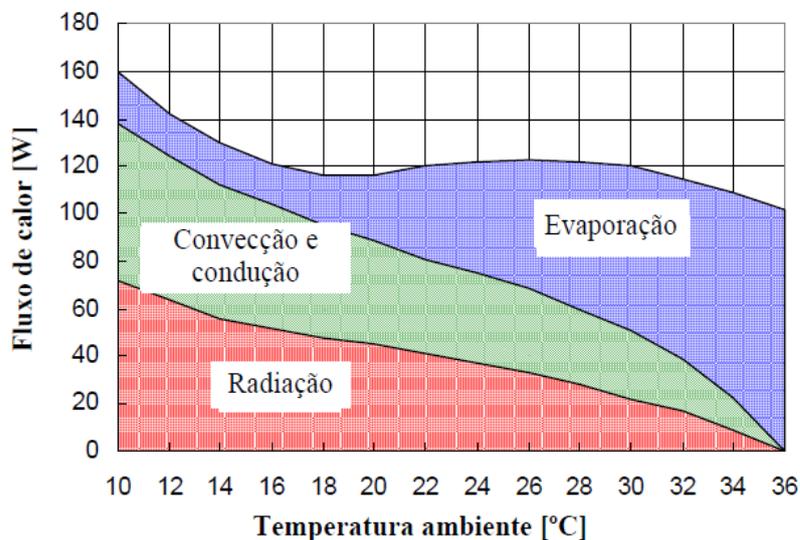
A transpiração ativa ou sudorese inicia-se quando a produção de calor é maior que a sua perda por convecção, radiação e perspiração insensível. Sua eficiência está diretamente relacionada com a capacidade evaporativa do ar. Quando se formam gotas de suor na

superfície da pele, essa fina camada cria uma resistência ao fluxo de calor do corpo, fazendo com que o calor consumido no processo de evaporação passe a ser retirado do ar e não do corpo, reduzindo, assim, a eficiência do resfriamento do corpo pelo processo de evaporação. Caso essa situação se prolongue, a acumulação de sal na pele também contribui com essa redução (ANDRADE, 2003a; OSHIRO, 2010).

Associando-se os mecanismos de troca de calor com as perdas e ganhos pelo corpo humano, conclui-se que o calor produzido pelo processo digestivo, atividade e tensão muscular bem como a energia absorvida a partir da incidência direta ou difusa dos raios solares, da reflexão, da radiação emitida pelas superfícies e o calor conduzido pelo ar e pelo contato com objetos mais quentes representam as parcelas de ganho de calor.

Simultaneamente, a radiação emitida pelo corpo humano para o céu e superfícies mais frias, a condução para o ar e objetos com temperaturas inferiores à da pele e a evaporação pela via respiratória e pele são formas de perda de calor. A Figura 4 representa as parcelas proporcionais dos mecanismos de troca em função da temperatura do ar, considerando-se uma pessoa em repouso.

Figura 4 - Perda de calor de uma pessoa sentada em um ambiente isotérmico.



Fonte: Almeida e Silva (2010).

Os fluxos de calor entre o corpo e a atmosfera podem ser consideravelmente alterados pelo vestuário (ANDRADE, 1998). As roupas formam uma barreira à troca de calor e interferem no processo de evaporação do suor. Também reduzem a sensibilidade do corpo às variações na temperatura e velocidade do ar e aumentam a umidade sobre a pele. Por esse motivo, antes que se prossiga à descrição das sensações manifestas pelos seres humanos

diante das condições ambientais, é importante abordar um pouco sobre o papel do vestuário como fator de conforto térmico.

2.3 O papel do vestuário no conforto térmico

As roupas isolam o corpo, fazendo com que o fluxo direto de calor entre a pele e a atmosfera seja substituído por um fluxo através do vestuário. Em um corpo vestido, as trocas de calor acontecem em três níveis: nas partes do corpo expostas ao meio, como descrito anteriormente, entre o corpo e a roupa e entre a roupa e o meio (GIVONI, 1976; VOELKER *et al.*, 2009; MOURA, 2012).

Os processos de troca são influenciados pela resistência da roupa à transferência de calor, dependendo, portanto, da condutividade térmica e permeabilidade dos tecidos, da área coberta e do gradiente de temperatura (ANDRADE, 2003a; CAMARGO, 2007; VOELKER *et al.*, 2009; MOURA, 2012).

Na relação estabelecida entre as roupas e o meio, em exposições à radiação solar, elas diminuem o ganho de calor radiante pelo corpo, pois interceptam os raios solares a certa distância da pele, fazendo com que parte do calor seja dissipada para o meio antes que alcance a pele, mas também reduzem a sensibilidade do corpo às variações na temperatura e velocidade do ar (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Na camada que se forma entre a superfície da pele e a roupa, o ar encontra-se quase parado, fazendo com que o vestuário aja como um isolante térmico. Nesse caso, o calor gerado pelo corpo e dissipado pela pele só alcança o ambiente depois de atravessar a barreira imposta pelo tecido, conseqüentemente, a taxa de transferência de calor é reduzida (GIVONI, 1976; CAMARGO, 2007).

Assim, em condições frias, as roupas auxiliam na manutenção da temperatura interna do corpo. Já em climas quentes, apesar de diminuírem o ganho de calor do meio, reduzem a perda de calor seco do corpo e aumentam a umidade sobre a pele. Para um clima seco, isso é importante porque evita a desidratação, mas em clima úmido, não, pois quando a quantidade de suor é superior a sua evaporação, a roupa começa a ficar encharcada. Nessa situação, é mais fácil o fluxo de calor usado na evaporação advir do ar que da superfície da pele, reduzindo consideravelmente a eficiência de resfriamento obtido pela evaporação do suor.

Uma vez que o vestuário interfere nas trocas térmicas, ele acaba interferindo também na eficiência dos mecanismos termorreguladores do ser humano. Portanto, considerando-se que o objetivo final dessa relação é a manutenção do equilíbrio térmico entre

o corpo e o meio, e que este é uma das condições necessárias para que se alcance o conforto térmico, pode-se dizer que o vestuário desempenha um importante papel. A seguir, define-se o significado de conforto térmico é a maneira como ele pode ser avaliado pela população.

2.4 Definição de conforto térmico

Segundo Höppe (2002), o conforto térmico pode ser compreendido dentro de três abordagens distintas, mas interdependentes. A primeira delas revela o seu caráter subjetivo. Nela, o conforto térmico é considerado “[...] uma condição de pensamento que expressa satisfação com o meio térmico” (ASHRAE, 2004).

De acordo com essa definição, para que um meio seja considerado termicamente aceitável é necessário que uma percentagem específica de ocupantes o considere como aceitável (SINGH; MAHAPATRA; ATREYA, 2007). Segundo ASHRAE (2004), pelo menos, 80% das pessoas não devem expressar insatisfação.

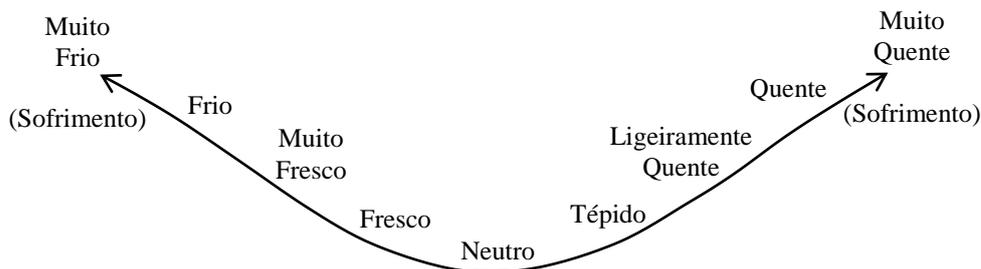
A segunda abordagem adota uma visão termofisiológica do conforto e baseia-se no comportamento dos termorreceptores presentes na pele e no hipotálamo. Nesse sentido, o conforto é definido como a taxa mínima de sinais nervosos. Intimamente relacionado a esta, o autor identifica um terceiro ponto de vista, onde para que haja conforto térmico é necessário que o corpo humano esteja em equilíbrio com o meio. Nesse caso, o conforto é alcançado quando não há nem acúmulo nem perda excessiva de calor (FANGER, 1970 *apud* EPSTEIN; MORAN, 2006).

Esse equilíbrio significa que o organismo está em neutralidade térmica com o meio; entretanto, Lamberts *et al.* (2011) afirmam que apesar de ser uma condição necessária ao estado de conforto, sozinha, a neutralidade térmica não é suficiente para dizer se uma pessoa está realmente em conforto térmico.

Parsons (2006) associa o estado de conforto à neutralidade da sensação térmica e, dessa forma, incorpora às respostas fisiológicas involuntárias o caráter subjetivo do conforto térmico, a sensação térmica. Esta, por sua vez, revela, verbalmente, a maneira como as reações fisiológicas são interpretadas pelo ser humano.

Como apresentado na Figura 5, a resposta verbal é graduada de acordo com a sensação de frio ou calor, tendo ao centro uma condição neutra. As extremidades representam situações de sofrimento que são atingidas quando a temperatura da pele é inferior a 15°C ou superior a 45°C (GIVONI, 1976; ANDRADE, 2003a; ASHRAE, 2004) e próximo à neutralidade térmica, as distinções entre os termos sensação, desconforto e descontentamento são mínimas (AULICIEMS, 1981).

Figura 5 - Escala de sensação térmica.



Fonte: Parsons (2006).

Por ser uma avaliação individual, as respostas fisiológicas e sensoriais variam com cada ser humano, mas também podem variar com a própria pessoa em diferentes períodos de tempo (HUMPHREYS; HANCOCK, 2007).

Givoni (1976) define conforto térmico como o estado de ausência de irritação e desconforto devido ao calor ou frio, não devendo ser confundido com balanço térmico visto que este pode ser atingido mesmo sob condições de desconforto através da ativação dos mecanismos termorreguladores. O autor identifica, além da sensação térmica, uma segunda resposta sensorial, a perspiração sensível. É aplicável somente a condições quentes e está associada à área úmida da pele. A escala de avaliação usada em vários estudos psicológicos é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 - Escala de perspiração sensível.

Nível	Caracterização do nível de umidade
0	Testa e corpo seco
1	Pele pegajosa, mas a umidade é invisível
2	Umidade visível
3	Testa e corpo úmidos (suor cobrindo a superfície e formação de gotas)
4	Roupas parcialmente molhadas
5	Roupas quase completamente molhadas
6	Roupas encharcadas e suor pingando

Fonte: Givoni (1976).

Para Frota e Schiffer (2001), o organismo humano experimenta a sensação de conforto térmico quando, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, a perda para o ambiente do calor produzido pelo metabolismo é compatível com a atividade desenvolvida pelo ser humano.

Spagnolo e De Dear (2003) definem conforto como algo sutil, onde os detalhes de percepção são delicadamente graduados. Assim, conceitualmente, eles referem-se ao meio

térmico humano como um conjunto de zonas concêntricas com a preferência térmica ao centro, a qual é defendida por uma ampla banda de condições termicamente confortáveis, divididas em diferentes níveis de condições térmicas (aceitável, desconfortável, moderadamente estressante, estressante e meio térmico perigoso).

Segundo Auliciems (1981), até recentemente, as condições de conforto têm sido referenciadas como “[...] aquelas sob as quais uma pessoa pode manter um balanço normal entre produção e perda de calor a uma temperatura do corpo normal e sem transpiração”. Essa definição assume um relacionamento entre aquecimento ambiental, resposta termorreguladora, sensação térmica e nível de conforto assumido, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Relações assumidas em pesquisas tradicionais de conforto térmico.

Aquecimento ambiental	Resposta termorreguladora	Sensação térmica	Nível de conforto assumido
Mais quente que neutro	Transpiração	Quente – Calor	Inaceitável
Aproximadamente neutro	Vaso-dilatação	Levemente quente	Aceitável
Neutro	Mínimo	Nenhum	Máximo
Aproximadamente neutro	Vaso-contricção	Levemente frio	Aceitável
Mais frio que neutro	Termogênese	Fresco - Frio	Inaceitável

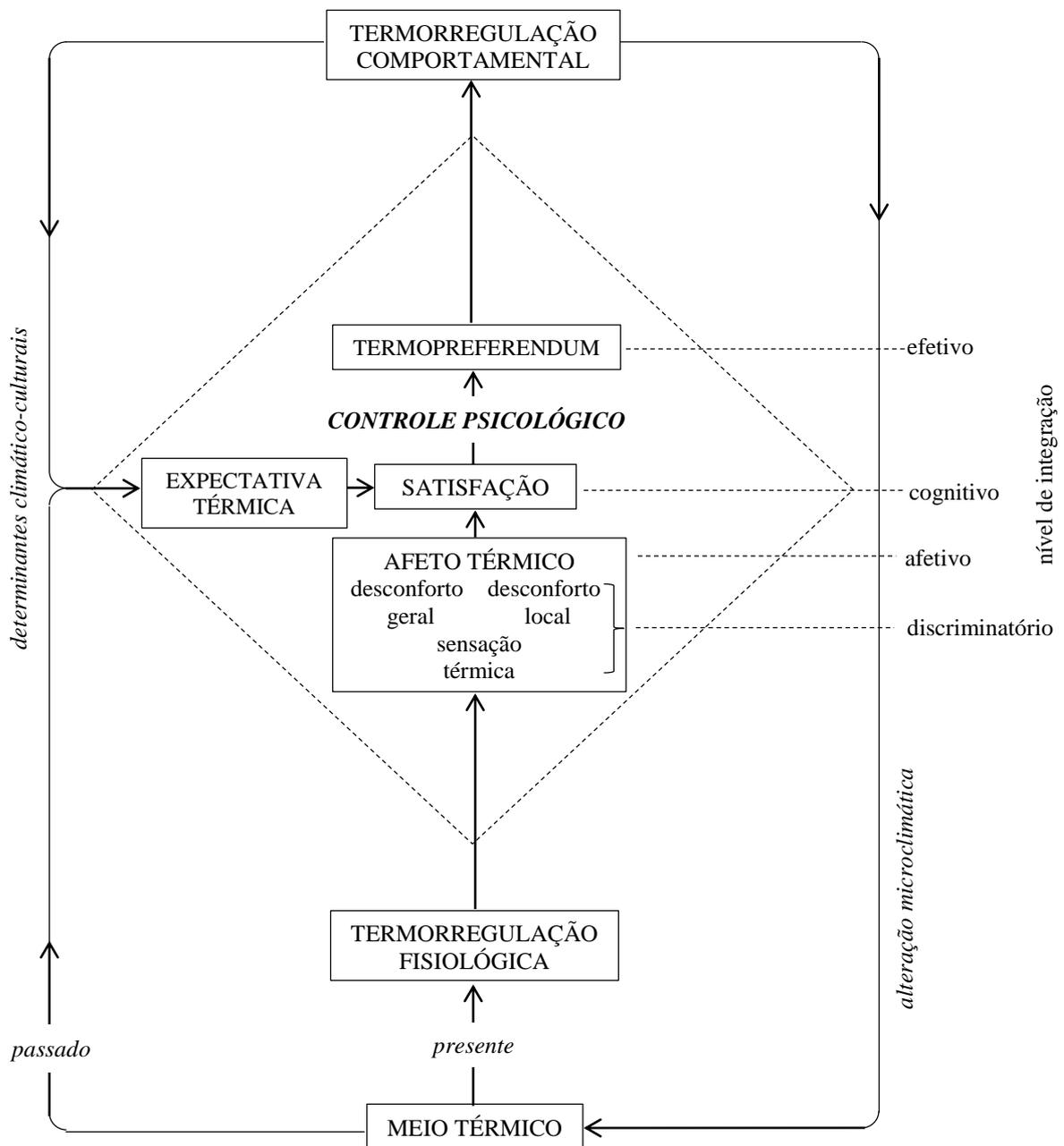
Fonte: Auliciems (1981).

Mas, de acordo com o autor, existe uma discrepância prática entre os modelos fisiológicos disponíveis para explicar a transmissão de estímulos térmicos e suas verbalizações subjetivas e as respostas comportamentais, pois a interpretação subjetiva de um estímulo físico está baseada em experiências e circunstâncias pessoais que não estão presentes nos modelos físico-fisiológicos sob os quais o conforto térmico é normalmente baseado.

Diante do exposto é possível ver que a questão não é tão simples e que existem diversos fatores interagindo entre si. Segundo Auliciems (1982), as informações sensoriais são processadas mentalmente e passam por um ajuste psicológico, o qual não se refere à adaptação genética identificada por Roberts (1982), mas, busca a satisfação térmica e incorpora, na sua definição, parâmetros humanos. Em conjunto, representam uma oportunidade adaptativa, onde a própria pessoa procura se ajustar ao meio ou alterar o ambiente às suas necessidades (AULICIEMS, 1982; NIKOLOPOULOU; BAKER; STEEMERS, 2001; HUMPHREYS; NICOL, 2002; NIKOLOPOULOU; STEEMERS, 2003; KNEZ; THORSSON, 2006; NIKOLOPOULOU; LYKOUDIS, 2006; LAMBERTS *et al.*, 2011).

Na Figura 6, por meio do esquema de como os mecanismos de termorregulação fisiológicos e psicológicos se interligam, Auliciems (1982) mostra a necessidade de incorporar os diversos processos de controle psicológico. Diferentemente do que acontece na maioria dos estudos laboratoriais, a avaliação é baseada em um afeto térmico e não somente na sensação térmica. Da mesma forma, a descrição do conforto vai além das respostas fisiológicas, pois se considera também a percepção ambiental para que se expresse o nível de satisfação com o meio.

Figura 6 - Controle psicológico da termorregulação.



Nesse processo, uma vez que a cognição é introduzida, as experiências passadas e expectativas também devem ser consideradas como referência, pois influenciam o nível de satisfação. Tais experiências estão relacionadas tanto com o meio climático natural quanto com o meio tecno-cultural e são chamadas de determinantes climático-culturais.

O controle psicológico é estabelecido com base no voto efetivo para o meio térmico selecionado, denominado *thermopreferendum* o que resultará na implementação de respostas comportamentais específicas.

Dessa forma, as repostas fisiológicas e sensoriais refletem o esforço imposto ao corpo para mantê-lo em equilíbrio com o meio, determinando também as condições de conforto. Na próxima seção, por meio da experiência relatada por diversos autores em estudos laboratoriais e de campo, procura-se descrever dois dos principais modelos de sensação térmica.

2.5 Modelos de sensação e conforto térmico

O significado térmico das condições ambientais experimentadas pelos seres humanos é um dos objetivos da biometeorologia e vem sendo investigado desde Hipócrates, há 400 a.C. (HÖPPE, 1997).

Os primeiros modelos são de formulação simples, têm sua origem na climatologia das edificações e assumem condições térmicas estacionárias. Os estudos são experimentais, realizados em câmaras climatizadas, onde o pesquisador controla as variáveis climáticas e as manipula a fim de encontrar uma combinação que resulte em uma situação confortável. Em geral, ignoram o papel da fisiologia humana, atividade, vestuário e outros dados pessoais (HÖPPE, 1997; GIVONI, 1998; LAMBERTS *et al.*, 2011).

As informações meteorológicas primárias começam a se tornar biologicamente mais relevantes no início do século XX, quando o progresso da estatística, da física e da fisiologia favorecem o desenvolvimento de métodos quantitativos. Neste período, destaca-se o trabalho desenvolvido por Büttner, em 1938, no qual afirma que para explicar a relação entre o clima e o corpo humano é necessário determinar não só o efeito de uma única variável, mas de todas elas (MATZARAKIS, 1995; HÖPPE, 1997).

Os modelos de interação entre o corpo humano e o meio começam a ser desenvolvidos a partir da década de 60. Nas análises, são introduzidos dados meteorológicos como a radiação e, em paralelo, começa-se a parametrizar o processo fisiológico do transporte de calor do núcleo do corpo para a superfície da pele e conseqüente transpiração. No tocante ao meio externo, em geral, acabam sendo um ajuste dos modelos concebidos para o meio

interno a fim de se incluir os fluxos de radiação, mas ainda não consideram os mecanismos de troca de calor (HÖPPE, 1997).

A partir dos anos 70, com o desenvolvimento de modelos do balanço energético do corpo humano, os resultados adquirem uma maior objetividade e relevância fisiológica, podendo ser utilizados em todos os climas, regiões, estações e escalas (JENDRITZKY *et al.*, 2002; ALI-TOUDERT; MAYER, 2006).

Desse período, destaca-se o modelo de Fanger (1967). Nele, a temperatura média da pele e a secreção do suor, determinadas em função do nível de atividade do indivíduo, são associadas ao conhecimento físico e fisiológico. O resultado final consiste no desenvolvimento de uma equação que revela o nível de conforto para o maior número possível de pessoas. A Equação de Conforto é determinada a partir da combinação das variáveis: temperatura do ar, umidade, temperatura média radiante, velocidade do ar, nível de atividade e isolamento térmico do vestuário, e considera exposições superiores a uma ou duas horas (FANGER, 1967; CHARLES, 2003).

Na Equação de Conforto, a troca de calor com o meio é governada pela primeira lei da termodinâmica. Em termos gerais, a quantidade de calor a ser trocada está em função do calor metabólico produzido, do calor ganho, ou perdido, do meio e da evaporação do suor (FANGER, 1967).

$$H - D - S_w - R_w - R_d = K - R + C \quad (1)$$

onde:

H é a produção interna de calor

D é a perda de calor por difusão do vapor d'água através da pele

S_w é a perda de calor pela evaporação do suor na superfície da pele

R_w é a perda de calor latente pela respiração

R_d é a perda de calor sensível pela respiração

K é a transferência de calor da pele para a superfície externa do corpo vestido (condução através da roupa)

R é a perda de calor por radiação

C é a perda de calor por convecção

O desdobramento dos termos da Equação de Conforto de Fanger é apresentado no Apêndice A1, por meio das Equações A1 a A18, onde o valor da temperatura da superfície externa do vestuário é definido por interação até que se encontre a neutralidade térmica.

Segundo o autor, a Equação de Conforto cobre níveis de atividade até aproximadamente 150 kcal/m²h o que corresponde a uma pessoa caminhando moderadamente em uma superfície plana. Além desse limite a equação pode não ser aplicável. Para que se verifique uma situação de conforto térmico é necessário que o vestuário se encontre em equilíbrio com a produção metabólica de calor e com as condições atmosféricas, da mesma forma que a produção de calor deve igualar-se às perdas, não existindo nenhum armazenamento térmico dentro do corpo.

Até o final do século XX, a maioria dos modelos desenvolvidos usa valores iniciais para constantes e variáveis fisiológicas e a partir de então vão estabelecendo repetições dentro de um período de tempo específico. A cada repetição, são enviados sinais ao cérebro, determinando novas respostas fisiológicas, fluxos de calor, temperaturas do núcleo do corpo e da pele, que resultam na emissão de novos sinais (FOUNTAIN; HUIZENGA, 1995).

Apesar de considerarem o comportamento térmico humano dentro de um estado estático e o indivíduo como um receptor passivo do ambiente térmico, a presença dessas repetições dão os primeiros passos para respostas a condições transientes como o de Gagge, Stolwijk e Hardy (1967), Gagge, Stolwijk e Saltin (1969), Gagge, Fobelets e Berglund (1986) e Gonzalez, Nishi e Gagge (1974).

Em geral, as respostas dadas pelos modelos diferem substancialmente e diversas críticas têm sido feitas. Por exemplo, segundo Doherty e Arens (1988), o modelo de dois-nós de J. B. Pierce utilizado por Gagge, Fobelets e Berglund (1986) tende a subestimar a transpiração da pele e a temperatura do núcleo do corpo e a superestimar a temperatura da pele, enquanto a Equação de Conforto de Fanger apresenta discrepâncias entre os resultados analíticos e o voto direto das pessoas na ordem de 1,3 na unidade de escala de sensação térmica.

Apesar das limitações, a Equação de Balanço Térmico do Corpo Humano impulsiona o desenvolvimento de diversos modelos aplicáveis ao meio externo, dentre eles:

- a) o *HUMAN* desenvolvido por Burt, O'Rourke e Terjung (1982a, 1982b) no qual os fluxos de energia no meio externo e a perda de calor por evaporação são aprimorados. É aplicado em conjunto com o modelo *URBAN 3* que descreve os fluxos de energia dentro de um *canyon* urbano e o *CANOPY*, capaz de calcular o campo térmico e radiante em uma cobertura vegetal;
- b) o *STEBIDEX* (*Skin Temperature Energy Balance Index*) e *HEBIDEX* (*Heat Budget Index*) desenvolvidos por De Freitas (1985) com o objetivo de avaliar a

- relação entre a componente térmica do clima e as respostas fisiológicas e sensoriais dos seres humanos;
- c) o *KMM (Klima-Michel-Model)* desenvolvido por Jendritzky, Sönning e Swantes (1979 *apud* HÖPPE, 1997), no qual são parametrizados os complexos fluxos de radiação do meio externo. Além de ser utilizado como dado de entrada no Modelo Bioclimático Urbano (*Urban Bioclimate Model – UBIKLIM*) de cidades alemãs, também faz parte dos dados de previsão do tempo (JENDRITZKY *et al.*, 2000; JENDRITZKY *et al.*, 2003; KUSCH *et al.*, 2004);
 - d) o *MEMI (Munich Energy-balance Model for Individuals)*, desenvolvido por Höppe (1984 *apud* MAYER; HÖPPE, 1987; HIRASHIMA, 2010) baseia-se na equação do balanço energético do corpo humano e em alguns dos parâmetros do modelo de Gagge, Fobelets e Berglund (1986). Posteriormente, é aperfeiçoado para avaliar alterações climáticas instantâneas ou atividades que modificam rapidamente a temperatura do corpo, passando a se chamar *IMEMI (Instationary Munich Energy-balance Model)* (HÖPPE, 1997, 1999); e
 - e) o *MENEX (Man Environment Heat Exchange Model)* desenvolvido por Blazejczyk, em 1994, para aplicações bioclimáticas, termofisiológicas e urbanísticas (BLAZEJCZYK, 2006).

Com o avanço das pesquisas, muitos estudos também foram realizados em campo. A partir de análises em situações reais, Humphreys (1979 *apud* LAMBERTS *et al.*, 2011) propõe um modelo adaptativo. Segundo ele, as pessoas se adaptam diferentemente ao lugar onde estão e essas ações adaptativas são uma forma de ajuste do corpo ao meio térmico. Por esse motivo, somente a termorregulação fisiológica não é suficiente para exprimir a sensação térmica.

Estudos realizados por Nikolopoulou, Baker e Steemers (2001), Höppe (2002), Givoni *et al.* (2003), Nikolopoulou e Steemers (2003), Spagnolo e De Dear (2003), Nikolopoulou (2004), Knez e Thorsson (2006), Andrade, Oliveira e Alcoforado (2006) e Nikolopoulou e Lykoudis (2006) no meio urbano, revelam discrepâncias entre as respostas analíticas e o voto térmico direto e, na comparação entre os resultados do meio interno com o externo, notam que as discrepâncias neste último são bem maiores. Provavelmente, isso ocorra devido ao fato dos estímulos térmicos sentidos pelo indivíduo serem maiores, assim como sua capacidade termorreguladora de se adaptar ao meio (AULICIEMS; KALMA, 1981; BECKER; POTCHTER; YAAKOV, 2003; LAMBERTS *et al.*, 2011).

Nikolopoulou e Steemers (2003) sugerem que sejam considerados parâmetros de adaptação psicológica como fatores que influenciam a avaliação do estado de conforto térmico. Dentre eles, os autores destacam: o tempo de exposição, experiência passada, naturalidade, expectativa e necessidade de um estímulo ambiental, mas ressaltam que, apesar da sua importância, a quantificação da relação determinística estabelecida entre eles ainda é limitada.

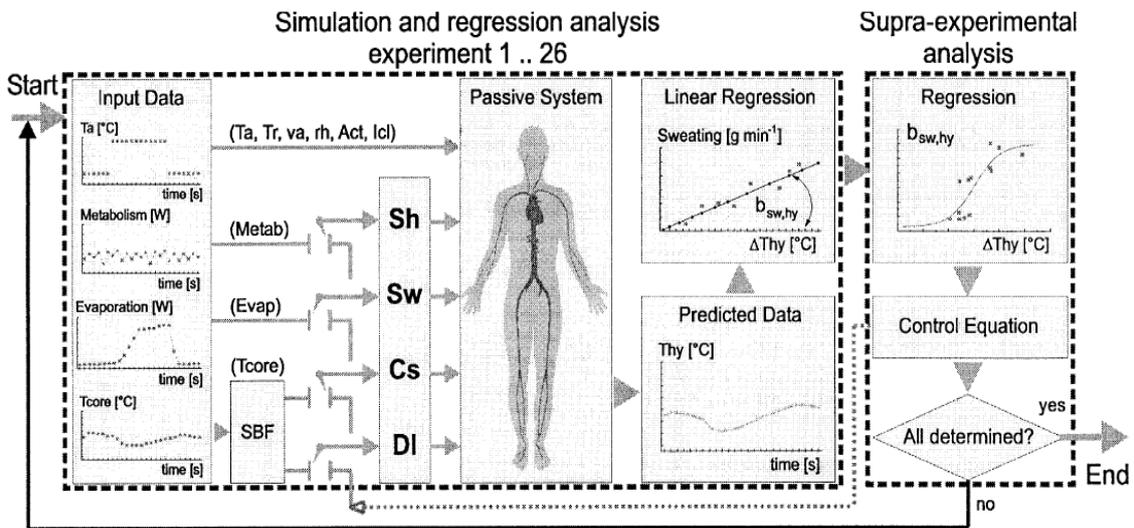
Dessa forma, os modelos tradicionais de conforto começam a ser substituídos por uma abordagem adaptativa (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997; BRAGER; DE DEAR, 2001; HUMPHREYS; NICOL, 2002). A maneira identificada por Fiala e Lomas (2001) para incorporar o efeito das ações adaptativas do ser humano na sua busca pelo conforto, é o desenvolvimento de um modelo que responda de imediato tanto às reações termofisiológicas quanto comportamentais frente a alterações nas condições ambientais ou decorrentes do estresse térmico gerado por um exercício físico.

Com esse propósito, Fiala, Lomas e Stohrer (2001) desenvolvem um modelo multi-segmental de conforto térmico dinâmico, conforme esquema da Figura 7. Do ponto de vista matemático, o organismo humano é dividido em dois sistemas de termorregulação que interagem entre si, o sistema ativo de controle e o passivo controlado. As respostas humanas às condições ambientais só podem ser avaliadas com a utilização conjunta dos dois sistemas (FIALA; LOMAS; STOHRER, 1999).

Assim, cada experimento é simulado pela exposição do sistema passivo às condições limites experimentais (temperatura do ar (T_a), temperatura média da circunvizinhança ou temperatura média radiante (T_r), velocidade do ar (v_a), umidade relativa ou conteúdo de vapor d'água do ar (rh), nível de atividade (Act) e vestuário (I_{cl})), observando-se, a cada momento do período de exposição, as respostas regulatórias a partir da medição das variáveis fisiológicas (metabolismo ($Metab$), perda de calor por evaporação ($Evap$), temperatura do núcleo do corpo (T_{core}) e fluxo sanguíneo da pele (SBF)) (FIALA; LOMAS; STOHRER, 2001).

O modelo representa uma pessoa adulta em neutralidade térmica com um ambiente de 30°C de temperatura, pesando 73,5kg, com conteúdo de gordura de 14% weight, área de superfície corporal de 1,9m², metabolismo basal de 87,1W, evaporação basal da pele de 18W e saída cardíaca basal de 4,9 l/min. Cobre ambientes com temperaturas entre 5 e 50°C, estados estáticos e transientes e taxas metabólicas de 46 a 600W/m², permitindo a sua aplicação em diversos estudos como, por exemplo, na avaliação das condições do tempo no meio externo.

Figura 7 - Diagrama do método empregado no desenvolvimento do modelo dinâmico de sensação térmica.



Fonte: Fiala, Lomas e Stohrer (2001).

Nas condições descritas acima, a pele apresenta um fluxo sanguíneo basal de 0,4 l/min, uma umidade basal de 6%, uma temperatura média de 34,4°C e o corpo, uma temperatura interna de 37,0°C no núcleo da cabeça (hipotálamo) e 36,9°C no núcleo do abdômen (reto).

O sistema passivo modela a troca térmica levando em consideração o local do corpo onde ela ocorre e a presença de um vestuário não uniforme. Assim, simula a produção de calor dentro do corpo, a sua distribuição através da circulação sanguínea para diversas regiões, a condução para a superfície externa da roupa e a sua dissipação para o meio por convecção, radiação e evaporação (FIALA; LOMAS; STOHRER, 1999, 2001).

Para simular o transporte e dissipação de calor, é necessário modelar as características anatômicas e geométricas do corpo humano. Dessa forma, ele é dividido em diversos segmentos (cabeça, rosto, pescoço, ombros, braços, mãos, tórax, abdômen, pernas e pés). Cada segmento é composto por múltiplas camadas de tecido (cérebro, pulmão, osso, músculo, vísceras, gordura e pele) e fracionado em setores espaciais (anterior, posterior, inferior, frente, palma, peito e sola do pé), a fim de permitir a análise de situações de assimetria.

As camadas de tecido de cada setor são divididas em nós arranjados, aleatoriamente na direção radial, mas, à medida que se aproximam da região externa, a distância entre eles vai sendo reduzida (FIALA; LOMAS, 2001).

A pele é modelada como duas camadas, uma interna, onde o calor metabólico é gerado e o sangue é transportado, e a outra, externa. A camada externa não possui nenhum vaso sanguíneo termicamente significativo, mas tem um importante papel na perda de calor por evaporação. Ela contém as glândulas sudoríparas e simula a difusão de umidade através da pele.

O transporte de calor dentro do tecido é descrito pela Equação 2, chamada de Equação de Biocalor (*Bioheat Equation*) de Pennes (1948 *apud* FIALA; LOMAS; STOHRER, 1999). Ela descreve a dissipação de calor em um volume homogêneo e infinito, é aplicada a cada tecido e responde fisiologicamente ao sistema ativo. De acordo com ela, o fluxo de calor conduzido das regiões mais quentes do tecido para as mais frias, adicionado ao metabolismo e à perfusão sanguínea, é balanceado com o armazenamento de calor dentro do tecido.

$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\omega}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + q_m + \rho_{bl} w_{bl} c_{bl} (T_{bl,a} - T) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

onde:

k é a condutividade do tecido ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)

T é a temperatura do tecido ($^{\circ}\text{C}$)

r é o raio (m)

ω é um fator geométrico adimensional, igual a 1, para coordenadas polares (elementos cilíndricos) e 2, para coordenadas esféricas (cabeça)

q_m é o metabolismo (W/m^3)

ρ_{bl} é a densidade do sangue (kg/m^3)

w_{bl} é a taxa de perfusão do sangue (s^{-1})

c_{bl} é a capacitância térmica do sangue ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$)

t é o tempo (s)

Para melhores esclarecimentos, cada termo da Equação de Biocalor é detalhado no Apêndice A2, envolvendo as Equações A19 a A33. Devido à sua complexidade, a Equação de Biocalor é submetida a um processo de discretização a partir do método de diferença finita. A formulação numérica resultante é igualmente aplicada a todas as partes cilíndricas e esférica do corpo. Dessa forma, o corpo humano é descrito como um sistema estruturado em matriz, contendo submatrizes independentes do tempo, que descrevem a geometria e as propriedades termofísicas dos tecidos, e submatrizes sanguíneas determinadas a cada período de tempo e

para cada fase do processo de interação com a simulação do sistema ativo (FIALA; LOMAS; STOHRER, 1999).

O sistema ativo descrito em Fiala, Lomas e Stohrer (2001), é desenvolvido a partir do passivo e simula as respostas termorregulatórias do sistema nervoso central de indivíduos não aclimatados. Dessa forma, são modelados: o movimento vascular periférico – constrição (Cs) e dilatação (Dl) (Wm^{-1}) - do fluxo sanguíneo da pele (SBF) (l/s), a sudação (Sw) (g/min) e o arrepio (Sh) (W).

A simulação de cada experimento provê uma sequência de variáveis termofisiológicas preditas, as quais são consideradas como um estímulo regulatório gerando sinais. Assim, além da determinação da temperatura do núcleo do corpo e da pele, ainda é possível analisar o esforço térmico imposto ao corpo através da variação entre o estado térmico atual e o correspondente ponto de referência térmica. Uma variação positiva dos sinais representa termorreceptores aquecidos e uma variação negativa implica em uma perturbação no estado de neutralidade térmica devido ao resfriamento dos mesmos.

O estímulo provocado pela diferença entre os sinais é integrado ao centro regulatório que envia os comandos apropriados ao sistema em vigor. Dessa forma, a variação de sinais é traduzida em ações regulatórias distribuídas ponderadamente sobre o corpo. Estas respostas (Sh, Sw, Cs e Dl) são, então, submetidas a uma análise de regressão a fim de identificar e quantificar as responsabilidades do estímulo predito pelo modelo. Cada experimento é analisado separadamente e o resultado das exposições é submetido a uma nova análise, chamada de supra-experimental, a fim de explorar a consistência do resultado da regressão e formular um sistema ativo para uma ampla série de condições limites.

Quando a equação de controle de uma resposta é estabelecida, ela é introduzida no modelo e o conjunto de experimentos é simulado novamente para determinar equações de controle adicionais. A fim de obter resultados precisos, os procedimentos descritos acima também são repetidos quando se deseja determinar componentes individuais de uma resposta.

Na metodologia de análise do conforto térmico, o fato da estimativa dos níveis de conforto ter como referência escalas de sensação baseadas em respostas verbais pode contribuir com diferenças existentes entre respostas analíticas e votos médios relatados em estudos de campo. Segundo Auliciems (1981) e Humphreys e Hancock (2007), em geral, tais escalas têm sido elaboradas através do voto de indivíduos dentro de um estado térmico específico o que não implica que outra pessoa venha a experimentar a mesma sensação térmica ou que deseje uma sensação neutra.

Spagnolo e De Dear (2003) complementam o raciocínio dizendo que, mesmo satisfazendo a todos os requisitos físicos e fisiológicos, os modelos elaborados devem requerer algum ajuste para que possam ser aplicados em diferentes estações e zonas climáticas e, nesse caso, sugerem que a calibração seja conduzida a partir de dados subjetivos locais.

Como visto anteriormente, alguns parâmetros adotados em estudos voltados ao conforto térmico dizem respeito à própria fisiologia humana, outros são variáveis ambientais, cujos limites são definidos a partir de experimentos realizados em câmaras climatizadas e em pesquisas de campo (LAMBERTS *et al.*, 2011). Na próxima seção, são descritas as variáveis envolvidas na avaliação do conforto térmico e como elas podem interferir na avaliação da sensação térmica.

2.6 Variáveis envolvidas na troca de calor e seus efeitos nas respostas sensoriais

De acordo com Fanger (1967), a equação do balanço energético do ser humano é representada pela interação estabelecida entre o corpo humano e o clima que o circunda. Nesse processo, as reações humanas são governadas pelo seu sistema termorregulador, mas as características individuais podem interferir nessa relação, intensificando ou não a carga térmica imposta pelo meio.

Nessa complexa relação, pode-se dizer que os mecanismos de troca de calor entre o ser humano e o meio dependem de fatores ambientais externos, como a temperatura do ar, a temperatura radiante, a umidade e a velocidade do vento; e de parâmetros individuais, como o metabolismo e as características do vestuário. O Quadro 4 apresenta onde essas variáveis interferem nos elementos do balanço térmico, afetando as respostas térmicas dos indivíduos.

Quadro 4 - Parâmetros relevantes na troca de calor.

Elementos do balanço térmico	Variáveis							
	Temp. do ar	Temp. rad.	Vel. do ar	Umid. do ar	Isolam. vest.	Resist. evapor.	Taxa metab.	Trab. mecân.
Produção de calor							X	X
Transferência por radiação		X			X			
Transferência por convecção	X		X		X			
Evaporação pela pele			X	X		X		
Evaporação pela respiração				X			X	

Fonte: Carvalhais (2011).

Givoni (1976), Havenith (2005) e Giralt (2006) acrescentam aos parâmetros individuais, a capacidade de transpiração, a idade, o gênero, a capacidade aeróbia, a aclimatização, a adiposidade, o estado de saúde, a *performance* física, a alimentação, a hidratação e a etnia como elementos que influenciam a tolerância térmica.

Segundo Carvalhais (2011), a importância da influência exercida pela idade apresenta algumas controvérsias. No que se refere ao processo de envelhecimento, alguns estudos mostram que a variação da tolerância ao calor com a idade é menos expressiva quando não há doenças crônicas, adiposidade e *performance* física reduzida. Outros, admitem que as crianças e os idosos são mais susceptíveis a alterações patológicas quando expostos a ambientes extremamente quentes ou frios. Com relação às crianças, isso é mais evidente em exposições ao frio.

2.6.1 Temperatura do ar

Segundo Epstein e Moran (2006), dos seis agentes que causam estresse térmico, a temperatura do ar é, notadamente, o mais importante. Ela influencia as trocas de calor por convecção, condução e radiação. Quanto menor, maior é a perda de calor do corpo, mas quando se eleva acima da temperatura da pele, o corpo passa a ganhar calor do meio ao invés de perdê-lo (HAVENITH, 2005; SPILLERE; FURTADO, 2007).

A temperatura do ar também influencia o metabolismo e seu efeito se manifesta tanto no frio quanto no calor. Em um ambiente a 10°C, o tremor muscular pode duplicar o metabolismo de pessoas em repouso. No meio quente, considerando uma mesma atividade desenvolvida, um incremento na temperatura do ar de 29 para 38°C pode levar uma variação de 12% no metabolismo (LEITE, 2002).

Höppe (2002) observa que quando uma pessoa se desloca de um meio termicamente confortável para um meio externo quente a adaptação acontece a curto prazo porque a vasodilatação é mais rápida que a vasoconstrição e o esforço psicológico do indivíduo em adaptar-se ao calor é menor que ao frio.

2.6.2 Temperatura média radiante

No meio externo, a temperatura média da pele é altamente correlacionada com a temperatura do ar e a radiação solar em conjunto, explicando cerca de 68% de sua variação (BLAZEJCZYK; NILSSON; HOLMÉR, 1993). Hodder e Parsons (2007) constatam que um incremento de 200W/m² na intensidade da radiação solar direta é responsável por um aumento

superior a 2°C na temperatura média da pele e, de uma unidade na escala de sensação térmica. Estas alterações são inicializadas logo nos primeiros minutos de exposição, estabilizando-se após 10 a 12 minutos.

As respostas à elevação da temperatura média radiante e à exposição à incidência da radiação solar são mais pronunciadas durante o dia e quando a temperatura do ar é elevada. Considera-se que a quantidade perdida ou ganha depende do vestuário, da postura e posição do corpo em relação à fonte de radiação, e da radiação solar refletida e emitida pelo solo (Givoni, 1976; BLAZEJCZYK; NILSSON; HOLMÉR, 1993; KUBAHA *et al.*, 2004; OSHIRO, 2010).

2.6.3 Umidade do ar

A umidade do ar atua diretamente no potencial evaporativo do corpo. Em geral, a concentração de umidade na pele é maior que no meio, tornando possível a perda de calor da pele por evaporação (RIVERO, 1986; HAVENITH, 2005; SPILLERE; FURTADO, 2007).

Assim, quando a capacidade evaporativa do ar é elevada, o processo de evaporação acontece na superfície da pele ou dentro dos seus poros, fazendo com que a pele permaneça seca. Nessas circunstâncias, as variações na umidade do ar não afetam o corpo humano como um todo.

Mas, quando a umidade excede os 60%, a perspiração não evapora tão facilmente e a pessoa começa a ganhar calor com o aumento da temperatura (BARBIERO, 2004; CAMARGO, 2007). Isso leva a condições extremamente estressantes e suportáveis somente por curtos períodos de tempo (HAVENITH, 2005). Por esse motivo, as exigências do organismo em climas quentes e úmidos são maiores que em climas quentes e secos (CARVALHAIS, 2011). Segundo a ISO 7730 (1994), o limite superior de umidade para o conforto pode alcançar o valor de 70%.

2.6.4 Velocidade do vento

O movimento do ar renova a camada de ar próxima à pele, favorecendo tanto o processo de perda de calor por evaporação quanto por convecção. Dessa forma, proporciona uma sensação de resfriamento do corpo (RIVERO, 1986; OLGAYAY, 1992; CAMARGO, 2007; SPILLERE; FURTADO, 2007).

Até certo ponto, um aumento na velocidade do ar resulta em uma ampliação do limite superior da zona de conforto na proporção de 1°C para cada 0,2m/s (HAVENITH,

2005). Segundo Rivero (1986), um movimento de ar da ordem de 1,5m/s produz o mesmo efeito térmico sobre uma pessoa que a diminuição de 3°C na temperatura do meio. Entretanto, a sua eficiência depende da temperatura do ar, se esta for superior a da pele, ao invés de perder calor, o corpo passa a se aquecer e se for inferior, o corpo começa a se resfriar (HAVENITH, 2005).

Outro efeito proporcionado pelo vento diz respeito à capacidade evaporativa do ar. Em geral, a cada 0,45m/s de vento, há um decréscimo de 1mmHg do vapor d'água contido na atmosfera (OLGYAY, 1992). Isso implica em um aumento do potencial evaporativo do corpo, principalmente, quando a umidade não é tão alta, elevando, assim, a eficiência do resfriamento por transpiração. Segundo Givoni (1976), enquanto a sensação térmica é mais influenciada pela temperatura, a perspiração sensível é mais afetada pela umidade e velocidade do vento, pois é diretamente proporcional à capacidade evaporativa do ar.

A velocidade do vento também produz um efeito no vestuário. A sua elevação juntamente com o movimento de locomoção do corpo reduz o isolamento térmico da roupa e a sua resistência à passagem do vapor d'água, e aumenta o seu índice de permeabilidade à umidade (HUANG, 2007; SANTOS, 2009).

2.6.5 Taxa metabólica

O metabolismo varia de acordo com a atividade executada podendo elevar-se até vinte vezes à taxa de repouso, dependendo da exigência de trabalho muscular. Assim, quanto maior for a carga de atividade executada, maior é a produção do calor gerado pelo corpo que deve ser dissipado para o meio (RUAS, 2001; CAMARGO, 2007).

O nível de atividade também influencia o isolamento térmico requerido para o vestuário, pois quanto maior é a produção de calor metabólico, menor é o isolamento térmico necessário (HUANG, 2007).

2.6.6 Vestuário

Em climas quentes, as roupas impedem a incidência direta da radiação solar, reduzindo a porção absorvida pelo corpo. Segundo Blazejczyk, Nilsson e Holmér (1993), a transmitância da radiação solar através do vestuário é 13 a 58% e depende do tipo, cor e isolamento térmico do material. No caso do clima ser seco, a vestimenta mantém a umidade advinda da transpiração e evita que o corpo se desidrate, mas se for úmido ela deve permitir

que o ar quente retido entre a pele e o tecido seja removido pela ação do vento (CAMARGO, 2007; CARVALHAIS, 2011).

No caso de atividades leves, adicionando-se 0,1clo ao vestuário, o limite inferior da temperatura da zona de conforto desloca-se para baixo em 0,6°C, aumentando a tolerância para temperaturas mais baixas (CAMARGO, 2007; HAVENITH, 2005).

2.6.7 Efeito das variáveis climáticas nas respostas fisiológica e sensorial

O resultado final da interação entre os fatores ambientais e as características individuais é manifestado pelas respostas fisiológicas e sensoriais dadas por cada indivíduo. Considerando-se as mesmas variáveis individuais, o Quadro 5 descreve a relação existente entre os fatores ambientais e seus efeitos nas respostas fisiológica e sensorial.

A relação estabelecida entre esses parâmetros e os seus efeitos termofisiológicos são expressos por meio de índices térmicos. Ao longo do tempo, eles vêm sendo desenvolvidos tanto como medida de sensação térmica (resposta subjetiva de conforto ou desconforto) quanto como medida de impacto térmico (resposta fisiológica objetiva). A seguir são brevemente descritos alguns dos índices mais utilizados na avaliação de condições quentes e que vêm sendo aplicados em diferentes estudos e trabalhos nos últimos anos.

2.7 Principais índices térmicos aplicados a meios quentes

Os índices térmicos possibilitam a verificação de como o corpo humano está se relacionando com as condições climáticas atuais, indicando a correção natural necessária para recuperar o estado de conforto. Normalmente, são aplicados em estudos voltados à avaliação e minimização de riscos, e ao planejamento e ordenamento territorial.

De acordo com seu desenvolvimento, Epstein e Moran (2006) classificam os índices como empíricos, quando extraídos diretamente do monitoramento das variáveis ambientais, ou racionais, quando calculados a partir da equação do balanço energético. Ainda podem ser classificados como índices destinados a avaliar condições quentes ou frias.

Os índices racionais aplicam as teorias de transferência de calor como ponto de partida para descreverem os efeitos dos fluxos de calor sensível e latente no aparelho termorregulador do organismo humano, enquanto os empíricos ignoram esse papel (ASHRAE, 2004; JENDRITZKY; HAVENITH, 2005).

Quadro 5 - Relação entre os fatores ambientais e seus efeitos nas respostas fisiológica e sensorial em um meio quente.

Fator ambiental	Mecanismo de troca de calor	Relações entre os fatores ambientais	Respostas subjetivas		
			Sensorial	Fisiológica	
t_a , t_{mrt}	Convecção Radiação	$\uparrow t_a$ $\uparrow t_{mrt}$	$\downarrow v_a$	sensação de calor	Dilatação dos vasos sanguíneos, elevação da temperatura da pele e da taxa de transpiração. A pulsação é pouco afetada pela elevação da temperatura sob condições de baixo estresse, mas pode ser muito afetada quando o balanço térmico encontra-se no seu limite.
			$\uparrow UR$	sentimento de pele úmida	
			$\uparrow v_a$	sensação de calor	
UR	Evaporação	$\downarrow UR$ $\uparrow t_a$ $\uparrow UR$	$\downarrow UR$	sentimento de pele seca	Elevação da taxa de transpiração, pulsação e temperatura do reto. Quando a temperatura do ar está entre 20 – 25°C, o nível de umidade influencia as respostas subjetivas somente se o ar estiver quase saturado. Acima de 25°C, o efeito da umidade torna-se mais aparente.
			$\uparrow v_a$	sensação de frescor	
			$\uparrow UR$	sentimento de pele seca	
			$\uparrow t_a$	sensação de calor	
			$\uparrow t_a$	sentimento de pele úmida	
v_a	Convecção	$\uparrow v_a$	$\uparrow UR$	redução do sentimento de pele úmida	A velocidade do vento influencia a capacidade evaporativa do ar e a troca de calor convectivo. Em elevadas temperaturas, a velocidade do vento apresenta um nível ótimo. Abaixo dele verifica-se desconforto e aquecimento devido à redução da eficiência de resfriamento por transpiração. Acima dele, ela provoca um aquecimento por convecção.
			$t_a < t_{sk}$	sensação de frescor	
			$t_a > t_{sk}$	sentimento de pele seca	
			$t_a > t_{sk}$	sensação de calor	
					sentimento de pele seca

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Atualmente, existe uma infinidade de índices térmicos. O Quadro 6 sumariza os que normalmente são aplicados em climas quentes, indicando a autoria, os elementos necessários a sua identificação e o meio no qual podem ser usados. No Apêndice B, alguns desses índices são detalhados. Na revisão são apresentadas a origem e significado dos índices, as condições limites de aplicação, as equações envolvidas no cálculo, a maneira como são calculados e interpretados, bem como algumas vantagens e desvantagens.

Quadro 6 - Índices bioclimáticos em ordem cronológica.

Índice	Autor	Elementos incluídos							*Meio aplicação
		T _{ar}	U	V _{ar}	R	Vest	M	Outro	
<i>Effective Temperature (ET)</i>	Yaglou <i>et al.</i> (1923, 1925)	X	X	X		X			1
<i>Equivalent Temperature (T_{eq})</i>	Dufton (1929)	X	X					X	1
<i>Operative Temperature (T_{op})</i>	Winslow <i>et al.</i> (1937)	X		X	X			X	3
<i>Predicted 4 Hour Sweat Rate (P₄SRI)</i>	McArdle (1947)	X	X	X					1
<i>Resultant Temperature (RT)</i>	Missenard (1948)	X	X			X			1
<i>Heat Stress Index (HSI)</i>	Belding & Hatch (1955)	X	X	X	X		X	X	1
<i>Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)</i>	Yaglou e Minard (1957)	X	X		X				1
<i>Discomfort Index (DI)</i>	Thom (1957)	X	X						3
<i>Temperature Humidity Index (THI)</i>	Thom (1958)	X	X						3
<i>Equatorial Comfort Index</i>	Webb (1960)	X	X	X					3
<i>Humidex (HU)</i>	Thomas (1965)	X	X						2
<i>Relative Strain Index (RSI)</i>	Lee e Henschel (1966)	X	X	X	X		X		3
<i>Index of Thermal Stress (ITS)</i>	Givoni (1969)	X	X	X	X	X	X	X	1
<i>Predicted Mean Vote (PMV)</i>	Fanger (1970)	X	X	X	X	X	X	X	3
<i>New Effective Temperature (ET*)</i>	Gagge <i>et al.</i> (1971)	X	X	X				X	2
<i>Predicted Mean Vote* (PMV*)</i>	Gagge <i>et al.</i> (1971)	X	X	X	X	X	X	X	3
<i>Standard Effective Temperature (SET*)</i>	Gagge <i>et al.</i> (1974)	X	X	X		X	X	X	3
<i>Apparent Temperature (AT)</i>	Steadman (1979; 1984; 1994)	X	X	X	X			X	1
<i>Modified Predicted Mean Vote (PMV) / Klima-Michel-Model (KMM)</i>	Jendritzky <i>et al.</i> (1979; 1990)	X	X	X	X	X	X	X	1
<i>Skin Temperature Energy Balance Index (STEBIDEX) e Heat Budget Index (HEBIDEX)</i>	De Freitas (1985)	X	X	X	X	X	X	X	2
<i>Método Comfa</i>	Brown e Gillespie (1986)	X	X	X	X		X	X	2

*Meio de aplicação: 1 – geral; 2 – meio externo; 3 – meio interno.

(continua)

Quadro 6 - Índices bioclimáticos em ordem cronológica (*continuação*).

Índice	Autor	Elementos incluídos							*Meio aplicação
		T _{ar}	U	V _{ar}	R	Vest	M	Outro	
<i>Physiological Equivalent Temperature (PET) / Munich Energy Balance Model for Individuals (MEMI)</i>	Höppe e Mayer (1987); Höppe (1999)	X	X	X	X	X	X	X	1
<i>Heat Index (HI)</i>	Rothfusz (1990)	X	X						2
<i>HL, STI, PhS, PST, SW, DhR, OhR, OcR / Man-Environment heat Exchange Model (MENEX)</i>	Blazejczyk (1994)	X	X	X	X	X	X	X	1
<i>Perceived Temperature (PT)</i>	Staiger <i>et al.</i> (1997)	X	X	X	X	X	X	X	2
<i>Summer Simmer Index (SSI)</i>	Pepi (2000)	X	X						2
<i>Normal Effective Temperature (NET)</i>	Li e Chan (2000)	X	X	X					2
<i>Outdoor Standard Effective Temperature (OUT_SET*)</i>	Pickup e De Dear (2000)	X	X	X	X	X	X	X	1
<i>Thermal Sensation (TS)</i>	Noguchi e Givoni (2003)	X	X	X	X			X	2
<i>Actual Sensation Vote (ASV)</i>	Nikolopoulou <i>et al.</i> (2004)	X	X	X	X				2
<i>Universal Thermal Climate Index (UTCI)</i>	ISB, Commission 6 (2009)	X	X	X	X	X	X	X	1

*Meio de aplicação: 1 – geral; 2 – meio externo; 3 – meio interno.

(conclusão)

Fonte: Steadman, 1979a; 1979b; 1984; Givoni, 1976; De Freitas, 1985; Gagge, Fobelets e Berglund, 1986; Taesler, 1987; Matzarakis, 1995; Höppe, 1999; Jendritzky *et al.*, 2000, 2002; Pepi, 2000; Pickup e De Dear, 2000; Givoni *et al.*, 2003; Mochida e Sakoi, 2003; Nikolopoulou, 2004; Blazejczyk, 2006; Latini, Grifoni e Tascini, 2010; Blazejczyk *et al.*, 2013.

A partir da revisão de alguns dos principais índices térmicos, observa-se que existe um esforço constante para se determinar um valor único que represente a combinação de diversas variáveis. No início, são consideradas somente as variáveis ambientais e, posteriormente, são incluídos os mecanismos de termorregulação, mediados pela taxa metabólica e vestuário. Nesse sentido, a formulação da Equação do Balanço Energético do Corpo Humano de Fanger dá um grande impulso ao tema em questão.

Mas, apesar das limitações dos índices empíricos, dependendo do objetivo das aplicações, eles têm apresentado resultados válidos. Além disso, devido à simplicidade no cálculo e ao número de variáveis necessárias a sua aplicação, são de grande importância em

estudos onde é limitada a disponibilidade de dados mais específicos. Entretanto, McGregor (1993) e Jauregui (1997) ressaltam que suas aplicações devem se restringir a investigações preliminares das características bioclimáticas espaciais e temporais.

A maioria dos índices térmicos representa a média de uma população, aplicando-se a estudos comparativos, não individuais, e evolutivos. Também prevalecem os modelos de estado estático. Esses modelos partem da suposição de que uma pessoa exposta a um meio necessita de um período de tempo para que seu organismo alcance o equilíbrio térmico, não levando em consideração os aspectos dinâmicos do processo de adaptação térmica humana (CHEN; NG, 2012).

Dentro desse contexto, dois dos índices mais utilizados são o *PMV/PPD*, apesar de ter sido, originalmente, desenvolvido para o meio interno; e o *PET* que, além de ser sutil a avaliações do conforto térmico no meio externo, é dimensionado em graus Celsius (°C), sendo fácil compreensão para profissionais de diversas áreas.

Por outro lado, observa-se um empenho para o desenvolvimento de índices que respondam a um estado dinâmico e sejam sensíveis aos estímulos ambientais. Entretanto, os indicadores usados para esse fim, como a temperatura da pele, são de difícil monitoramento no meio externo, restringindo os estudos ao meio interno; e requerem um conhecimento mais aprofundado de biometeorologia e fisiologia, trazendo implicações de ordem prática.

Geralmente, os modelos são elaborados tomando como referência indivíduos saudáveis de aproximadamente 35 anos, estatura de 1,75m e peso de 75kg, em atividade física leve e vestuário de acordo com as condições climáticas predominantes. Também costumam utilizar o conceito de temperatura de um meio de referência no qual as mesmas condições de troca de calor devem ocorrer. Quase sempre, os resultados são interpretados por meio do estabelecimento de faixas de sensação térmica, definidas em cima das respostas subjetivas dadas por indivíduos investigados em climas de média latitude.

As limitações impostas aos índices faz com que exista certo grau de imprecisão. Por esse motivo, além de observar os critérios de aplicabilidade dos índices, no ato de sua escolha também deve-se ter em mente o objetivo do estudo. O Quadro 7 mostra algumas aplicações no meio urbano em nível nacional e internacional.

Quadro 7 - Aplicações de índices bioclimáticos no meio urbano.

Índice utilizado	Objetivo	Localização	Autor
<i>ET, WBGT, DI</i>	Avaliar o meio térmico inter e intra-urbano, considerando superfícies pavimentadas e gramadas e o efeito produzido nas trocas térmicas entre o corpo humano e o meio.	Cincinnati, Ohio, Estados Unidos da América (39°07'N; 84°32'O)	Clarck e Bach, 1971
<i>ET</i> (calculado como <i>DI</i>)	Caracterizar as diferentes condições bioclimáticas humanas nos trópicos, comparando diversas localizações e tipos climáticos tropicais, bem como seus comportamentos horário e mensal.	(23°27'N – 23°27'S)	Jauregui, 1991
<i>ET</i> (calculado como <i>DI</i>), <i>RT</i> e <i>PMV</i>	Estimar as correlações entre <i>ET</i> e <i>PMV</i> e entre <i>RT</i> e <i>PMV</i> ; avaliar a espacialização física e temporal do efeito da ilha de calor; e delimitar zonas bioclimáticas originadas do incremento da urbanização.	Cidade do México, México (19°26'N; 99°07'O)	Jauregui, Cervante e Tejeda, 1997
<i>PET</i>	Estudar a frequência de situações de desconforto devido ao calor e sua relação com outros aspectos do estado da atmosfera.	Portela, Lisboa, Portugal (38°43'N; 09°08'O)	Andrade, 1998
<i>THI</i> (calculado como <i>DI</i>)	Estudar as condições de conforto bioclimático e as alterações decorrentes do processo de urbanização na cidade de Pune entre os anos de 1971 e 1990.	Pune, Índia (18°31'N; 73°51'E)	Deosthali, 1999
<i>PET</i>	Verificar a aplicabilidade do índice na avaliação da ilha de calor urbana em cidades de clima temperado e de clima quente com elevada altitude, em uma área de floresta, em cidade de clima mediterrâneo e na construção de mapas bioclimáticos.	Munique e Freiburg, Alemanha; Albuquerque, Novo México; Atenas, Grécia (35°06'N - 48°09'N) (23°43'E - 106°37'O)	Matzarakis, Mayer e Iziomon, 1999
<i>OUT_SET*</i>	Avaliar, prever e gerenciar o conforto e o estresse térmico no meio externo para os Jogos Olímpicos de Sydney.	Sydney, Austrália (33°51'S; 151°12'E)	De Dear e Pickup, 2000
<i>OUT_SET*</i>	Classificar o clima da Austrália com base no conforto térmico, visando o gerenciamento de atividades como o turismo e a recreação.	Sydney, Austrália (33°51'S; 151°12'E)	Skinner e De Dear, 2001
<i>PMV</i>	Verificar o efeito do microclima e do conforto térmico no uso de espaços públicos externos.	Cambridge, Reino Unido (52°12'N; 00°07'E)	Nikolopoulou, 2002
<i>PMV, SET*</i> e <i>PET</i>	Investigar a maneira como a forma urbana vem influenciando as alterações no clima da cidade e correlacioná-la com a sensação térmica do usuário do ambiente externo.	Natal, RN, Brasil (05°45'S; 35°12'O)	Costa, 2003
<i>ET</i> (calculado como <i>DI</i>)	Analisar a interferência do processo de arborização na geração do conforto térmico no espaço público urbano.	Presidente Prudente, SP, Brasil (22°07'S; 51°23'O)	Gomes e Amorim, 2003
<i>PMV</i> e <i>PET</i>	Desenvolver uma metodologia para o mapeamento do conforto bioclimático no meio urbano.	Kassel, Alemanha (51°18'N; 09°28'E)	Katzschner, Bosch e Röttgen, 2003

(continua)

Quadro 7 - Aplicações no meio urbano (*continuação*).

Índice utilizado	Objetivo	Localização	Autor
<i>SET*</i> , <i>ET*</i> , <i>T_{op}</i> , <i>OUT_SET*</i> , <i>PET</i> , <i>PT</i>	Quantificar o conforto térmico no meio externo em Sydney, Austrália, bem como testar o efeito da sazonalidade no mesmo e verificar se modelos desenvolvidos para o meio interno podem ser aplicados diretamente no meio externo.	Sydney, Austrália (33°51'S; 151°12'E)	Spagnolo e De Dear, 2003
<i>SET*</i>	Avaliar o conforto térmico ao nível do pedestre e simular os efeitos de alterações na área visando o melhoramento das condições de conforto no meio externo.	Shenzhen, China (22°32'N; 114°03'E)	Chen <i>et al.</i> , 2004
<i>PMV*</i>	Verificar as condições térmicas existentes no meio externo e simular condições futuras, examinando novos materiais, sugestões de sombreamento e técnicas de aquecimento e resfriamento passivos.	Arizona, Tucson, Estados Unidos da América (32°13'N; 110°55'O)	Anaokar e Chalfoun, 2005
<i>THI</i> e <i>RSI</i>	Analisar a tendência histórica no conforto térmico na cidade de Sri Lanka e correlacioná-lo com as alterações na cobertura do solo, durante o período de 1969 a 1999.	Colombo, Sri Lanka (06°56'N; 79°51'E)	Emmanuel, 2005
<i>PET</i>	Verificar a influência do desenho das ruas com relação à razão altura/amplitude e orientação solar, no desenvolvimento de microclimas confortáveis ao nível do pedestre.	Ghardaia, Argélia Saara (30°51'N; 03°03'E)	Ali-Toudert e Mayer, 2006
<i>PMV</i> , <i>PET</i> , <i>HU</i> , <i>T_{NE}</i> e <i>TS</i>	Avaliar o conforto térmico de espaços públicos abertos em áreas urbanas com diferentes configurações morfológicas.	Torres, RS, Brasil (29°20'S; 49°43'O)	Giralt, 2006
<i>PET</i>	Verificar a influência da morfologia urbana no conforto térmico externo na cidade de Colombo, Sri Lanka, durante a estação quente.	Colombo, Sri Lanka (06°56'N; 79°51'E)	Johansson e Emmanuel, 2006
<i>ET*</i> , <i>CET*</i> , <i>HU</i> , <i>OT</i> , <i>HSI</i> , <i>WBGT</i> , <i>SET*</i> , <i>PMV</i> , <i>PET</i> , <i>Sw_{req}</i> , <i>PSI</i> , <i>TS</i> , <i>ASV</i> , <i>NWCT</i> etc	Verificar a aplicabilidade de modelos preditivos empíricos e racionais de conforto térmico no meio externo.	São Paulo, SP, Brasil (23°33'S; 46°39'O)	Monteiro e Alucci, 2006
<i>ET</i> (calculado como <i>THI</i>)	Estimar, para a estação do inverno de 2005, a sensação térmica no meio interno, na cidade de São Paulo.	São Paulo, SP, Brasil (23°33'S; 46°39'O)	Nedel, Gonçalves e Cardoso, 2006
<i>PET</i>	Estudar as condições bioclimáticas em Salvador.	Salvador, BA, Brasil (12°57'S; 38°29'O)	Nery, Andrade e Moura, 2006
<i>ASV</i>	Analisar o conforto térmico em espaços urbanos externos em diversos países da Europa.	Alemanha, Grécia, Itália e Reino Unido (37°59'N – 53°22'N) (01°28'O – 23°43'E)	Nikolopoulou e Lykoudis, 2006

(continua)

Quadro 7 - Aplicações no meio urbano (*continuação*).

Índice utilizado	Objetivo	Localização	Autor
<i>PMV</i>	Avaliar a influência dos diferentes usos do solo, o efeito climático e a sensação de conforto térmico no ambiente urbano.	Campinas, SP, Brasil (22°54'S; 47°03'O)	Pezzuto, 2007
<i>PET</i>	Avaliar as condições de conforto humano em diferentes espaços abertos externos, definindo limites e analisando a relação entre a percepção do conforto climático.	Lisboa, Portugal (38°43'N; 09°08'O)	Oliveira e Andrade, 2007
<i>PMV, PET e SET*</i>	Diagnosticar a maneira como as transformações ocasionadas pela urbanização influenciam o microclima.	São Luis, MA, Brasil (02°32'S; 44°16'O)	Trinta, 2007
<i>SET*</i>	Simular e prever o conforto térmico resultante da interação de um conjunto de edificações e seu entorno.	Shanghai, China (31°14'N; 121°29'E)	Zhu <i>et al.</i> , 2007
<i>PT</i>	Analisar as condições termo-fisiológicas na restauração do entorno do rio urbanizado Cheonggye como estudo de caso para o EIA no meio térmico.	Cheonggye, Seul, Coreia do Sul (37°34'N; 126°58'E)	Kim <i>et al.</i> , 2008
<i>PET</i>	Analisar a partir da série histórica de 1961 a 1990 como as alterações no meio térmico afetaram o bem-estar dos seres humanos e como poderão afetar com base nos cenários propostos pelo IPCC para o período de 2071 a 2100.	Escala global	Matzarakis e Amelung, 2008
<i>ET*</i> , <i>CET*</i> , <i>HU</i> , <i>OT</i> , <i>HSI</i> , <i>WBGT</i> , <i>SET*</i> , <i>PMV</i> , <i>PET</i> , <i>Sw_{req}</i> , <i>PSI</i> , <i>TS</i> , <i>ASV</i> , <i>NWCT</i> etc	Propor um método para quantificar as correlações entre as variáveis microclimáticas urbanas e as subjetivas, possibilitando a adequação térmica de espaços abertos em São Paulo.	São Paulo, SP, Brasil (23°33'S; 46°39'O)	Monteiro, 2008
<i>T_{NE}</i> e <i>ET*</i>	Verificar as condições de conforto térmico nos espaços abertos do Novo Centro de Pesquisas da Petrobras, no Rio de Janeiro.	Rio de Janeiro, RJ, Brasil (22°54'S; 43°11'O)	Monteiro <i>et al.</i> , 2008a
<i>T_{NE}</i> e <i>ET*</i>	Avaliar o conforto térmico em espaços abertos do projeto de reurbanização de Austin, em Nova Iguaçu, RJ, utilizando os resultados encontrados para a realização de diretrizes e recomendações projetuais.	Rio de Janeiro, RJ, Brasil (22°54'S; 43°11'O)	Monteiro, Gonçalves e Alucci, 2008b
<i>PT</i>	Produzir mapas que permitam uma comparação direta das diferenças da vulnerabilidade das populações com relação ao estresse térmico, analisando o período de 1971 a 1980 e simulando o bioclima futuro de 2041 a 2050.	Escala global	Jendritzky e Tinz, 2009

(continua)

Quadro 7 - Aplicações no meio urbano (*continuação*).

Índice utilizado	Objetivo	Localização	Autor
<i>SET*</i>	Identificar as condições de conforto térmico ao longo do ano e examinar as preferências da população a fim de verificar o efeito da adaptação térmica no nível de conforto.	Taiwan, China (23°45'N; 120°58'E)	Lin <i>et al.</i> , 2009
<i>ET*</i> , <i>PMV</i> , <i>T_{NE}</i> e <i>T_{ON}</i>	Identificar o modelo preditivo que apresenta os melhores resultados para avaliação do conforto térmico em espaços semi-confinados na cidade de São Paulo e calibrar seu índice.	São Paulo, SP, Brasil (23°33'S; 46°39'O)	Monteiro e Alucci, 2009a
<i>TEP</i>	Propor um índice de conforto térmico, o TEP, de modo que permita a verificação de espaços urbanos em clima subtropical.	São Paulo, SP, Brasil (23°33'S; 46°39'O)	Monteiro e Alucci, 2009b
<i>PMV</i> e <i>PET</i>	Comparar os resultados de índices de conforto térmico em ambientes externos na avaliação do comportamento de três diferentes espécies arbóreas no microclima urbano: ipê-amarelo, jambolão e mangueira.	Campinas, SP, Brasil (22°54'S; 47°04'O)	Abreu e Labaki, 2010
<i>PMV</i>	Comparar o conforto térmico de uma área real no bairro da Consolação, SP com a simulação da mesma área, contando com a redução da altura das edificações em quatro vezes.	São Paulo, SP, Brasil (23°33'S; 46°39'O)	Carfan, Galvani e Nery, 2010
<i>PET</i>	Calibrar o índice de conforto térmico temperatura fisiológica equivalente para os espaços abertos do município de Belo Horizonte.	Belo Horizonte, MG, Brasil (19°55'S; 43°56'O)	Hirashima, 2010
<i>PMV</i>	Avaliar a influência do ambiente térmico urbano no comportamento do pedestre.	Bauru, SP, Brasil (22°19'S; 49°04'O)	Nakata, 2010
<i>PET</i> e <i>HL</i>	Desenvolver e aplicar o software "urbanus.canyon 2010", para a avaliação do meio urbano em cidades brasileiras.	Diversas cidades brasileiras	Alucci, 2011
<i>ET</i> (calculado como <i>DI</i>)	Verificar as temperaturas da superfície intra-urbana por meio de imagens térmicas do satélite Landsat 7 em cidade de médio porte e avaliar o conforto térmico no interior de moradias com diferentes padrões construtivos.	Presidente Prudente, SP, Brasil (22°07'S; 51°23'O)	Amorim, 2011
<i>UTCI</i>	Analisar o conforto térmico ao nível do pedestre em Curitiba, Brasil.	Curitiba, PR, Brasil (25°31'S; 49°11'O)	Bröde <i>et al.</i> , 2012
<i>PMV</i> (adapt. p/ meio externo)	Analisar o clima urbano e o conforto térmico em duas áreas urbanas e uma suburbana no município de Ourinhos, SP.	Ourinhos, SP, Brasil (22°58'S; 49°52'O)	Carfan, 2011
<i>PST</i> , <i>HL</i> (<i>MENEX</i>), <i>UTCI</i>	Investigar as inter-relações entre a percepção térmica atual e o resultado analítico de índices de conforto térmico.	Sandanski, Sofia e Koprivshitsa, Bulgária (42°42' – 41°34'N) (23°16' – 24°21'E)	Mateeva, 2011
<i>PMV</i> e <i>PET</i>	Analisar o efeito diurno do Fator do Céu Visível no microclima e nos níveis de conforto térmico em ruas de pedestre em Curitiba.	Curitiba, PR, Brasil (25°31'S; 49°11'O)	Minella, Rossi e Krüger, 2011

(continua)

Quadro 7 - Aplicações no meio urbano (*continuação*).

Índice utilizado	Objetivo	Localização	Autor
<i>PET</i>	Analisar as diferenças de conforto térmico entre padrões de ocupação urbana representados por uma ocupação espontânea e outra planejada.	Salvador, BA, Brasil (12°57'S; 38°29'O)	Morais, 2011
<i>HL, PhS</i>	Examinar a influência do tempo com doenças relacionadas com o calor, exaustão térmica, sob condições atmosféricas normais bem como investigar a utilidade de índices biometeorológicos e termofisiológicos em estimar o esforço térmico atual.	Atenas, Grécia (38°02'N; 23°42'E)	Pantavou e Lykoudis, 2011
<i>DI</i> (calculado como <i>THI</i>)	Analisar os efeitos dos diferentes tipos de cobertura de solo nas condições do campo térmico do Campus I da Universidade Federal da Paraíba.	João Pessoa, PB, Brasil (07°14'S; 34°58'O)	Santos <i>et al.</i> , 2011
<i>PET</i>	Apresentar a avaliação do desempenho térmico nos microclimas de dois espaços abertos urbanos na cidade de Salvador/BA, através da calibração do índice PET.	Salvador, BA, Brasil (12°57'S; 38°29'O)	Souza <i>et al.</i> , 2011
<i>PET e ASV</i>	Caracterizar os espaços públicos de passagem, calibrar os níveis de conforto e verificar como os aspectos físicos locais interferem no microclima e no conforto térmico de pedestres.	Campinas, Bauru e Presidente Prudente (22°07' – 22°54'S ; 47°03' – 49°04'O)	Labaki <i>et al.</i> , 2012
<i>PMV e PET</i>	Analisar a sensação térmica de moradores de Glasgow, Reino Unido, localizada em região temperada, comparando respostas obtidas por meio de entrevistas estruturadas a índices utilizados pela meteorologia e em estudos de conforto.	Glasgow, Reino Unido (55°51'N; 04°12'O)	Krüger <i>et al.</i> , 2012a
<i>UTCI</i>	Analisar a sensação térmica externa a partir da comparação de dois conjuntos de banco de dados referentes a um climasubtropical e um clima temperado.	Curitiba, PR, Brasil (25°31'S; 49°11'O) Glasgow, Reino Unido (55°52'N; 04°15'O)	Krüger <i>et al.</i> , 2012b
<i>PMV, PET e UTCI</i>	Analisar a sensação térmica da população de Curitiba e propor um modelo de predição de sensação térmica adequado às condições climáticas locais.	Curitiba, PR, Brasil (25°31'S; 49°11'O)	Rossi, 2012
<i>UTCI</i>	Definir faixas de conforto e desconforto térmico para Curitiba.	Curitiba, PR, Brasil (25°31'S; 49°11'O)	Rossi, Krüger e Bröde, 2012
<i>DI</i> (calculado como <i>THI</i>)	Analisar o campo térmico urbano e a sua relação com as diversas formas de uso e cobertura do solo em cidade tropical úmida, especificamente a cidade de Joao Pessoa, PB, no período de 1963 a 2011.	João Pessoa, PB, Brasil (07°14'S; 34°58'O)	Santos <i>et al.</i> , 2012
<i>DI</i> (calculado como <i>THI</i>)	Identificar ilhas de calor e determinar o nível de desconforto térmico do município de Petrolina-PE, localizado no semiárido brasileiro.	Petrolina, PE, Brasil (09°23'N; 40°31'O)	Bezerra, Leitão e Azevedo, 2013
<i>ET, THI e RSI</i>	Verificar o bioclima ao longo de 59 anos (1951 – 2009) e produzir mapas a partir dos dados coletados em 18 estações meteorológicas.	Nigéria, África (09°05'N – 07°27'E)	Eludoyin e Adekan, 2013

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Com base nesses estudos, observa-se que já existe uma preocupação em avaliar a aplicabilidade dos índices, principalmente, em nível nacional. Também existe uma grande quantidade de trabalhos que tem usado no meio externo, índices desenvolvidos para avaliações internas sem nenhum ajuste em sua escala de apreciação. Outro aspecto a observar é a frequente divergência entre respostas analíticas e o voto de sensação térmica, revelando a existência de fatores intervenientes cada vez mais evidentes. Esses são alguns dos motivos que fazem com que, atualmente, se questione a aplicação de modelos puramente fisiológicos e de escalas de apreciação sem que sejam feitos ajustes para a população investigada.

A seguir é feita uma síntese da aplicação de índices térmicos em diversos trabalhos realizados no meio externo no Brasil e em Fortaleza, Ce.

2.8 Desenvolvimento de trabalhos voltados ao conforto térmico no meio externo

2.8.1 Panorama internacional

Em nível internacional, cada vez mais tem sido reconhecida a importância atribuída ao clima, tanto no sentido de práticas turísticas e recreacionais, como no planejamento e desenho urbanos e prevenção de eventos climáticos extremos. Partindo do princípio de que a sensação térmica das pessoas é fortemente influenciada pelas condições climáticas, muitos projetos de pesquisa têm visado a sua avaliação no meio externo em diferentes regiões e o seu monitoramento através de mapas bioclimáticos.

Segundo Chen e Ng (2012), alguns trabalhos focam o desenvolvimento de métodos de avaliação e modelagem dentro de uma perspectiva termofisiológica, outros, investigam o efeito dos parâmetros climáticos no nível de conforto térmico humano. Ainda destacam os que são aplicados no planejamento urbano a fim de compreender como a sensação térmica das pessoas influencia seus comportamentos e usos no meio externo e de que maneira podem torná-lo mais atrativo.

Spagnolo e De Dear (2003) questionam a aplicabilidade de índices elaborados para aplicações no meio interno, em ambientes externos e comparam a neutralidade térmica dos meios interno e externo usando os índices *SET** e *OUT_SET**, respectivamente. Constatam que existem diferenças e que os limites de conforto interno não são diretamente transferíveis para o meio externo; entretanto, observam que no verão, tais diferenças não são tão significativas.

Ainda deve-se destacar os estudos destinados a simulações dos impactos das mudanças climáticas globais no conforto térmico humano, tomando como base, a

vulnerabilidade da população ao estresse térmico (MATZARAKIS; AMELUNG, 2008; JENDRITZKY; TINZ, 2009).

Talvez a mais importante descoberta seja a necessidade de inclusão do conceito de adaptação térmica, sugerida desde a década de 80 por Auliciems (1981). Para o autor, assim como para diversos outros, os modelos fisiológicos não consideram adequadamente os parâmetros psicológicos na determinação do nível de satisfação do indivíduo. As experiências e expectativas térmicas são funções dos meios climático-natural e tecno-cultural e, assim sendo, “[...] pessoas em diferentes partes do mundo podem acostumar-se e expressarem satisfação com temperaturas diferentes daquelas consideradas confortáveis em outras regiões”.

Isso não é observado só no meio interno (DE DEAR; BRAGER, 2001), mas, principalmente, nas condições dos espaços externos. O comportamento das pessoas nos espaços abertos é influenciado pelas expectativas individuais e pelos estímulos climáticos. Quatro aspectos confirmam esse fato:

- a) as discrepâncias observadas entre os votos de sensação térmica e as respostas analíticas (NIKOLOPOULOU, 2004);
- b) o tempo de estadia no meio externo é maior quando a percepção das condições térmicas estão dentro da zona de conforto (NIKOLOPOULOU; BAKER; STEEMERS, 2001);
- c) as pessoas não necessariamente preferem uma condição neutra, mas em climas temperados têm uma tendência a preferirem uma sensação mais aquecida, pois a sensação térmica desejada depende de certa forma da atual (HUMPHREYS; HANCOCK, 2007); e
- d) no clima subtropical quente e úmido, a série de aceitação térmica é significativamente maior que no clima temperado, entretanto, dá-se preferência a temperaturas mais frescas e baixa radiação solar (LIN, 2009 *apud* CHEN; NG, 2012).

Observa-se com isso que existe um deslocamento da zona de conforto, indicando a necessidade de um ajuste adaptativo dos modelos existentes. Höpfe (2002) e Spagnolo e De Dear (2003) ressaltam que mesmo que um índice atenda a todos os requisitos físicos e psicológicos, provavelmente é necessário que seja ajustado a diferentes estações e zonas climáticas. Para os autores, esses ajustes devem ser feitos a partir de dados de conforto subjetivo do local.

Também observa-se nos estudos que se referem a pesquisas no meio externo, que a morfologia urbana e as alterações decorrentes do processo de urbanização influenciam as condições microclimáticas locais, afetando a sensação térmica e a avaliação de conforto da população.

Dentro desse contexto, dois aspectos se sobressaem, um dinâmico no sentido de que a adaptação ao meio térmico é progressiva e o outro, subjetivo, visto que a avaliação do conforto térmico nem sempre é consistente com as condições biometeorológicas (CHEN; NG, 2012).

2.8.2 Panorama nacional

Considerando os trabalhos desenvolvidos no Brasil, observa-se que os estudos sobre clima urbano têm crescido consideravelmente, mas, segundo Assis (2006), dentro de uma abordagem descritiva, o que para Monteiro e Alucci (2007) é muito importante porque estabelece uma base empírica mais significativa.

De acordo com o levantamento de Assis (2006), entre os anos de 1995 a 2005, as variáveis mais estudadas são a temperatura do ar e a umidade, seguidas pela radiação solar e vento, medidos em campo ou através de estações meteorológicas, juntamente com a aplicação de questionários aos usuários do espaço. Do total das pesquisas, 13% se referem especificamente ao conforto térmico humano.

Os estudos também denotam um interesse cada vez maior sobre os efeitos da vegetação em áreas urbanas, em especial, os associados à melhoria das condições de conforto térmico e à preservação das principais correntes de vento (ASSIS, 2006). Dentre eles, pode-se citar os trabalhos desenvolvidos por Bueno-Bartholomei (2003) e Abreu e Labaki (2010) na identificação de espécies arbóreas que proporcionem um melhor conforto térmico; e os de Gomes e Amorim (2003) e Souza *et al.* (2011) na avaliação do efeito do microclima na sensação térmica em praças.

Monteiro e Alucci (2007) observam que a maioria dos trabalhos realizados foca as relações entre microclima e meio urbano. Os que se concentram na relação entre o microclima e o usuário do espaço aberto ainda são poucos, mas vêm crescendo progressivamente. Com esse propósito de aprofundar essa relação, os autores iniciam uma sequência de estudos comparativos de diferentes modelos preditivos com proposta de calibração dos mesmos a fim de torná-los mais adequados à realidade climática brasileira (MONTEIRO; ALUCCI, 2006, 2007, 2009a; MONTEIRO, 2008).

Em 2009, os referidos autores começam a desenvolver uma modelagem própria para a avaliação efetiva do ambiente térmico sob a perspectiva do usuário, atribuindo-a a denominação de Temperatura Equivalente Percebida (TEP) (MONTEIRO; ALUCCI, 2009b; 2010). Em 2011, Alucci apresenta o *software* “urbanus.canyon 2010” como ferramenta de auxílio à avaliação do estresse térmico em espaços abertos de cidades brasileira, nele, são incorporados os índices *PET* e *HL*. Rossi (2012), na tentativa de calibração dos índices *PMV*, *PET* e *UTCI*, desenvolve um modelo preditivo de sensação térmica em espaços abertos para Curitiba (ROSSI; KRÜGER; GUIMARÃES, 2013).

Souza e Nery (2012) verificam que dentre as metodologias de conforto térmico adotadas na climatologia geográfica brasileira, os índices empíricos e os diagramas de conforto são os mais utilizados. Tais índices avaliam, principalmente, o efeito da umidade e da temperatura do ar na sensação térmica. Estas variáveis são consideradas essenciais pelos autores, uma vez que se pode “[...] escapar da intensa radiação solar buscando sombras e gerar brisa por meio de ventilação” (WINTERLING, 1979 *apud* CAMARGO *et al.*, 2000). Entretanto, constata-se que os valores de referência dos mesmos não expressam a realidade tropical.

Alguns trabalhos de pesquisa se limitam à aplicação de índices a partir de dados oriundos de estações meteorológicas ou pesquisas de campo, e à verificação anual e horária do seu comportamento (CAMARGO *et al.*, 2000; CARDOSO; LIMA; ASSIS, 2004; NERY; ANDRADE; MOURA, 2006; MONTEIRO *et al.*, 2008a; MONTEIRO; GONÇALVES; ALUCCI, 2008b; SANTOS *et al.*, 2011, 2012). Outros vão mais adiante e propõem calibrações a fim de satisfazer os processos de adaptação e aclimação, atribuindo novas apreciações para modelos pré-existentes (MONTEIRO; ALUCCI, 2006; MONTEIRO, 2008; HIRASHIMA, 2010; SOUZA *et al.*, 2011).

Também são desenvolvidas pesquisas que procuram analisar a aplicabilidade e validade de modelos no que se refere a sua capacidade preditiva (GONÇALVES; VALLE; GARCIA, 2001; COSTA, 2003; GIRALT, 2006; LABAKI *et al.*, 2012; ROSSI, 2012) e simular variáveis meteorológicas e índices de conforto térmico por meio de modelos tridimensionais, tomando por base a configuração da cidade (PEZZUTO, 2007; TRINTA, 2007; CARFAN; GALVANI; NERY, 2010; NAKATA, 2010; CARFAN, 2011).

Nesse conjunto, não se deve deixar de mencionar os trabalhos de Araújo e Caram (2006) e Silva *et al.* (2012), que apesar de não aplicarem índices térmicos, avaliam as condições de conforto qualitativamente.

Normalmente, no levantamento de campo, são coletados dados de temperatura do ar, umidade, velocidade e direção do vento e temperatura de globo, à sombra e ao sol, entre 10:00 e 18:00h em dias representativos do verão e do inverno. O índice mais utilizado é o *PMV* modificado, seguido pelo *PET* e *DI*. De uma maneira aproximada, o volume de aplicações é mais significativo em cidades e capitais da região Sudeste seguida pela Nordeste.

Dentre os principais achados, observa-se: a influência da vegetação no melhoramento das condições de conforto térmico dentro e fora das edificações com a identificação de espécies arbóreas, o desenvolvimento de metodologias de calibração dos índices e de novos padrões de conforto, a influência da urbanização e conformação do tecido urbano na sensação térmica da população e o início da proposição de modelos preditivos e ferramentas de avaliação do espaço aberto público externo no nível do pedestre, mostrando uma preocupação cada vez maior com a otimização dos espaços e a eficiência energética.

No próximo item são abordados alguns aspectos relacionados ao clima da cidade de Fortaleza, sua evolução urbana e estudos desenvolvidos que envolvem a temática do conforto térmico.

2.9 A cidade de Fortaleza e o panorama local

2.9.1 Evolução urbana da cidade de Fortaleza

Indubitavelmente, o clima desempenha um papel fundamental na composição da paisagem, pois além de influenciar a distribuição e a disponibilidade dos recursos hídricos, também controla a ação dos processos exógenos (SOUZA *et al.*, 2009). Mas, por outro lado, ele é condicionado por fatores estáticos globais e locais.

Segundo Magalhães e Zanella (2011), a altitude do relevo e a latitude são os principais fatores estáticos que condicionam o clima da Região Metropolitana de Fortaleza. A sazonalidade é decorrente da atuação de diferentes sistemas atmosféricos e da baixa altimetria que favorece a entrada destes sistemas pelo oceano. O principal deles é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), mas também estão presentes os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS), os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), as Linhas de Instabilidade, as Frentes de Brisas e as Ondas de Leste. Os três últimos interferem na espacialização das chuvas, onde se observa valores mais altos no litoral.

Outra característica a se observar é a variabilidade inter-anual, pois a quantidade de precipitação também é influenciada pela atuação dos fenômenos *El Niño* e *La Niña*, assim como pela temperatura da superfície do mar do oceano Atlântico Tropical Norte e Sul

(Dipolos do Atlântico Tropical) (SOUZA; ALVES; XAVIER, 1998; XAVIER, 1998 *apud* MALVEIRA, 2003; FERREIRA; MELLO, 2005). Marengo (2006) e Magalhães e Zanella (2011) observam um incremento no volume de chuvas, mas isso não significa a não ocorrência de secas, pois podem ocorrer anos de chuvas excessivas, anos com chuvas escassas ou meses extremamente chuvosos como o ocorrido na quadra chuvosa de 2005.

Para Repelli *et al.* (1997), a precipitação é um elemento tão determinante que, na região Norte do Nordeste Brasileiro, é ela que define as estações do ano e não a temperatura. Em média, a temperatura do ar situa-se em torno de 26,7°C, alcançando os valores mais elevados entre os meses de Novembro a Janeiro e, mais baixos, de Junho a Agosto. Ao longo do ano, a maior amplitude é alcançada em Agosto, correspondendo a um valor de 7,7°C e a menor (6,3°C), em Março (PETALAS, 2000).

Comparadas às de latitudes mais elevadas, a amplitude térmica mensal e anual de Fortaleza pode ser considerada pequena. Talvez esse seja um dos motivos que faz com que somente as condições hídricas sejam consideradas nos planos diretores. Isso é um fato constatado que se reflete na evolução da cidade. Zanella e Moura (2013) observam que apesar do volume dos estudos realizados no campo térmico, no atual PDPFor, o clima continua a ser definido de modo bastante genérico.

O processo de ocupação da cidade de Fortaleza, propriamente dito, inicia-se em meados do século XVII, às margens do Riacho Pajeú, mas a sua firmação como principal núcleo administrativo acontece somente no início do século XIX. Nesse período, é elaborado pelo engenheiro Silva Paulet, o primeiro Plano Diretor de Fortaleza, originando sua atual estrutura urbana composta por um traçado em xadrez que atua em conjunto com o sistema rádio-concêntrico formado pelas estradas de acesso ao interior (PETALAS, 2000).

As frequentes secas registradas no Estado do Ceará impulsionam o crescimento urbano desordenado devido ao êxodo rural, pois a cidade é vista como esperança de melhores condições de vida e de trabalho, mas, sem uma política habitacional, não consegue absorver todo o contingente de migrantes. Segundo Marengo (2006), entre 1872 e 1998 são registrados 31 anos de seca na região do Nordeste Brasileiro.

A população praticamente duplica entre as décadas de 40 e 70, levando à formação das primeiras ocupações irregulares concentradas em áreas próximas às ferrovias, indústrias, zonas de praia e às margens dos rios (PAIVA, 2010; SOUSA FILHO; SALES, 2010; SANTOS, 2011).

Apesar da tentativa de elaboração e implantação de novos Planos Diretores, a cidade segue crescendo desordenadamente. Na década de 60, observa-se que as reservas

paisagísticas e os recursos hídricos não são preservados, as novas praças são raras e as que já existem, dividem seu espaço com edifícios públicos, não existe harmonia entre os espaços abertos e construídos e a arborização é escassa (PETALAS, 2000).

Na década de 70, a malha urbana começa a penetrar nos municípios vizinhos, a sobreposição dos anéis viários às principais vias de acesso modifica os fluxos de circulação e requalifica os espaços localizados em sua área de influência, provocando uma descentralização das funções urbanas e a emergência de novos centros. Nesse período, a ação imobiliária começa a mudar a paisagem com a verticalização e a instituição da Região Metropolitana de Fortaleza acelera ainda mais o crescimento populacional.

Paralelamente, o governo do Estado atrai a instalação de indústrias e de empreendimentos voltados ao turismo, que, apesar das benfeitorias, agravam os contrastes sociais e incrementam a especulação imobiliária.

Segundo Sousa Filho e Sales (2010), os primeiros problemas relacionados às áreas de risco, principalmente nas margens dos principais rios que banham a cidade, datam desse período. Petalas e Luna (2011) verificam que o maior crescimento da mancha urbana é registrado entre as décadas de 80 e 90, com o acréscimo de 23,5% da área construída e redução de 35,8% da cobertura vegetal.

No processo de urbanização da cidade observa-se uma constante falta de continuidade e revisão dos Planos Diretores, fazendo com que eles funcionem mais como um instrumento corretivo que diretivo. Mas, se por um lado, o potencial hídrico e o relevo de Fortaleza favorecem a sua ocupação, por outro, como ressaltado por Souza *et al.* (2009), a cidade detém um complexo mosaico de sistemas ambientais sujeito a alterações provocadas pelas atividades socioeconômicas.

A expansão urbana de Fortaleza vem acompanhada por alterações no balanço de radiação decorrentes do uso e ocupação do solo, nível de impermeabilização, verticalização, características físico-químicas dos materiais de construção, morfologia urbana, desmatamento, assoreamento dos recursos hídricos, dentre outros, que se refletem diretamente no clima da cidade com a identificação de ilhas de calor (MOURA, 2008; SANTOS; GOMES; AZEVEDO, 2013) e alterações climáticas (XAVIER; XAVIER, 1996; PETALAS, 2000; MALVEIRA, 2003; SOUSA FILHO; SALES, 2010).

2.9.1 Estudos desenvolvidos em Fortaleza sobre o conforto térmico

A maioria dos estudos desenvolvidos em Fortaleza, Ce tem sido elaborada por geógrafos, focando sempre as alterações no clima urbano e as variáveis urbanas que as

impulsionam com o objetivo de auxiliar no planejamento urbano. Dessa forma, concentram-se mais no campo termodinâmico do clima urbano. Entretanto, no que diz respeito à quantificação do nível de conforto térmico, ainda são muito poucos os que chegam a avaliá-lo quantitativamente.

Repelli *et al.* (1997) investigam o motivo da sensação de desconforto da população, manifestada principalmente nos períodos que antecedem os meses chuvosos, através da aplicação do índice de Temperatura Aparente (calculado como Índice de Calor – *HI*). Na avaliação das flutuações diárias e sazonais, utilizam os dados diários de temperatura máxima do ar e umidade relativa às 15:00h da estação meteorológica da FUNCEME, no período de janeiro a dezembro de 1996. Os autores observaram que a umidade é um dos principais parâmetros utilizados para medir o nível de conforto ambiental, podendo ser um bom regulador da sensação térmica.

Goulart, Lamberts e Firmino (1998), visando integrar os dados climáticos em todos os níveis do projeto arquitetônico, tomam como base a metodologia adotada por ASHRAE na determinação de um dia típico de projeto. Para cada dia típico, são listados os valores horários de temperatura do ar, umidade relativa, nebulosidade (ou radiação solar), direção e velocidade do vento. Para essa finalidade, usam dados de 1961 a 1970 da Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins, dentro de um perfil de 24h.

Moura e Sales (2005) buscando definir as condições de conforto térmico na Lagoa da Sapiranga e no bairro Centro, através da análise de variáveis climáticas, realizam medições de temperatura, umidade, nebulosidade e velocidade e direção dos ventos no perfil de 24h durante as estações chuvosa e seca. Através da aplicação do índice de Temperatura Efetiva (calculado como Índice de Desconforto - *DI*) observam que as condições de estresse devido ao calor são predominantes entre 07:00 e 19:00h. Em 2008, Moura dá continuidade a esse estudo e amplia a análise a fim de caracterizar o clima produzido pela cidade de Fortaleza e seu efeito no nível de conforto térmico.

Paiva (2010) analisa os contrastes microclimáticos de um conjunto habitacional e a influência do uso e ocupação do solo nesses parâmetros climáticos e no nível de conforto. Para tanto realiza medições de dados de temperatura e umidade do ar, velocidade e direção dos ventos e nebulosidade às 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 e 21:00h durante os períodos chuvoso e seco e aplica os índices de Temperatura Efetiva (calculada como *DI*) e o Diagrama do Conforto Humano do INMET, constatando que os pontos de maior densidade de construções são os mais desfavoráveis ao conforto térmico.

Maciel, Nascimento e Zanella (2012) analisam o conforto térmico nos terminais de ônibus do Conjunto Ceará, Parangaba e Messejana através do índice de Temperatura Aparente (calculada como Índice de Calor – *HI*), não constatando nenhum nível de periculosidade. Paiva e Zanella (2012) comparam a aplicabilidade do Diagrama do Conforto Térmico do INMET e do Índice de Temperatura Aparente (calculado como *HI*) e verificam que nenhum dos índices é adequado ao clima de Fortaleza. O primeiro devido à sua deficiência na incorporação da componente velocidade dos ventos e o segundo, por superestimar o efeito da umidade.

No mesmo ano, Moura e Zanella (2012) propõem a identificação de anos-padrão que melhor representem os eventos de conforto e desconforto térmico a partir da utilização do índice de Temperatura Efetiva (calculada com *DI*). Toma como base os dados horários de temperatura de bulbo seco e úmido da Estação Meteorológica do Campus do Pici-UFC entre os anos de 1974 a 2009. Os autores identificam o ano de 1974 como o Ano Extremo do Conforto e o de 1998 como o Extremo de Desconforto e consideram o de 2006 como o ano Habitual.

Paiva e Zanella (2013) analisam a influência do uso e ocupação do solo no conforto térmico humano na região central do bairro Messejana através da aplicação dos índices de Temperatura Efetiva Corrigida e Temperatura Aparente (calculada como *HI*).

Petalas e Mota (2013) verificam o comportamento térmico horário e mensal da sensação térmica da população a partir da aplicação do índice *PMV*, usando os dados horários e mensais da Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins entre 1991 e 2010. Também avaliam a preferência térmica da população por meio de entrevistas.

Os autores observam que no início da manhã, a sensação térmica é de levemente aquecido, passando a muito quente entre 10:00 e 15:00h. Começa a diminuir a partir das 13:00h e se estabiliza após 18:00h como levemente aquecido. Também verificam que a sensação térmica é mais agradável nos meses de Junho e Julho, passando de quente para levemente aquecido e que o desconforto começa a aumentar em Agosto e alcança o seu valor máximo em Outubro, corroborando com as respostas dadas pela população.

Além dos trabalhos citados acima, não se pode deixar de mencionar os de Santana (1997) e o de Costa Filho (2010) por verificarem de forma qualitativa o efeito da morfologia urbana e dos usos do solo no conforto térmico humano; o de Branco, Zanella e Sales (2012) pela importância atribuída às áreas verdes na redução da carga térmica imposta aos seres humanos; e os de Hissa (2000) e Lopes, Fontenelle e Araújo (2011) que apesar de avaliarem o conforto térmico dentro da habitação ressaltam a importância do meio externo na

determinação dessa variável e apontam para a necessidade de se considerar o entorno, principalmente no que diz respeito ao comportamento da insolação e ventilação.

Também deve ser mencionado o estudo realizado por Pereira e Assis (2009), no qual são abordados os modelos adaptativos de conforto para o meio interno. Com o propósito de identificar qual modelo é o mais adequado às condições climáticas brasileiras, os autores avaliam as condições de conforto em três cidades de diferentes condições climáticas, dentre elas, Fortaleza, Ce; entretanto, tomam como parâmetros os limites de conforto definidos por Araújo (1996 *apud* PEREIRA; ASSIS, 2009) para a cidade de Natal, RN.

Observando a ordem cronológica, verifica-se um crescimento no interesse de avaliar as componentes termodinâmicas do clima não só com relação à sua transformação e produção, mas também no que diz respeito à percepção humana. Uma vez que esse é o nível fundamental de resolução climática e o ponto para onde convergem e se associam todas as outras componentes, os trabalhos realizados são referenciais básicos para que se aja no meio urbano, conforme sugerido por Monteiro e Mendonça (2011).

A maioria das aplicações é feita com índices empíricos e algumas pesquisas revelam a sua não adequação às características climáticas locais. O capítulo que se segue descreve a metodologia utilizada nesse estudo para a caracterização bioclimática de Fortaleza, a identificação de índices mais adequados à realidade local, a verificação da necessidade de ajustes e a investigação das características térmicas da população.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente capítulo trata dos procedimentos utilizados no desenvolvimento da pesquisa. O método utilizado no estudo é o indutivo experimental, onde se busca testar as seguintes hipóteses:

H1: Os limites de conforto definidos para as zonas climáticas mais frias não podem ser diretamente aplicados no meio externo de uma região de clima tropical quente e úmido sem que sejam ajustados.

H2: Existe uma discrepância entre o voto de sensação térmica atual da população da cidade de Fortaleza, Ce e o correspondente valor analítico.

H3: Existe um deslocamento para a esquerda na escala de ASHRAE no que diz respeito à preferência térmica da população de Fortaleza, Ce.

H4: A sensação térmica desejada está relacionada com a sensação térmica atual.

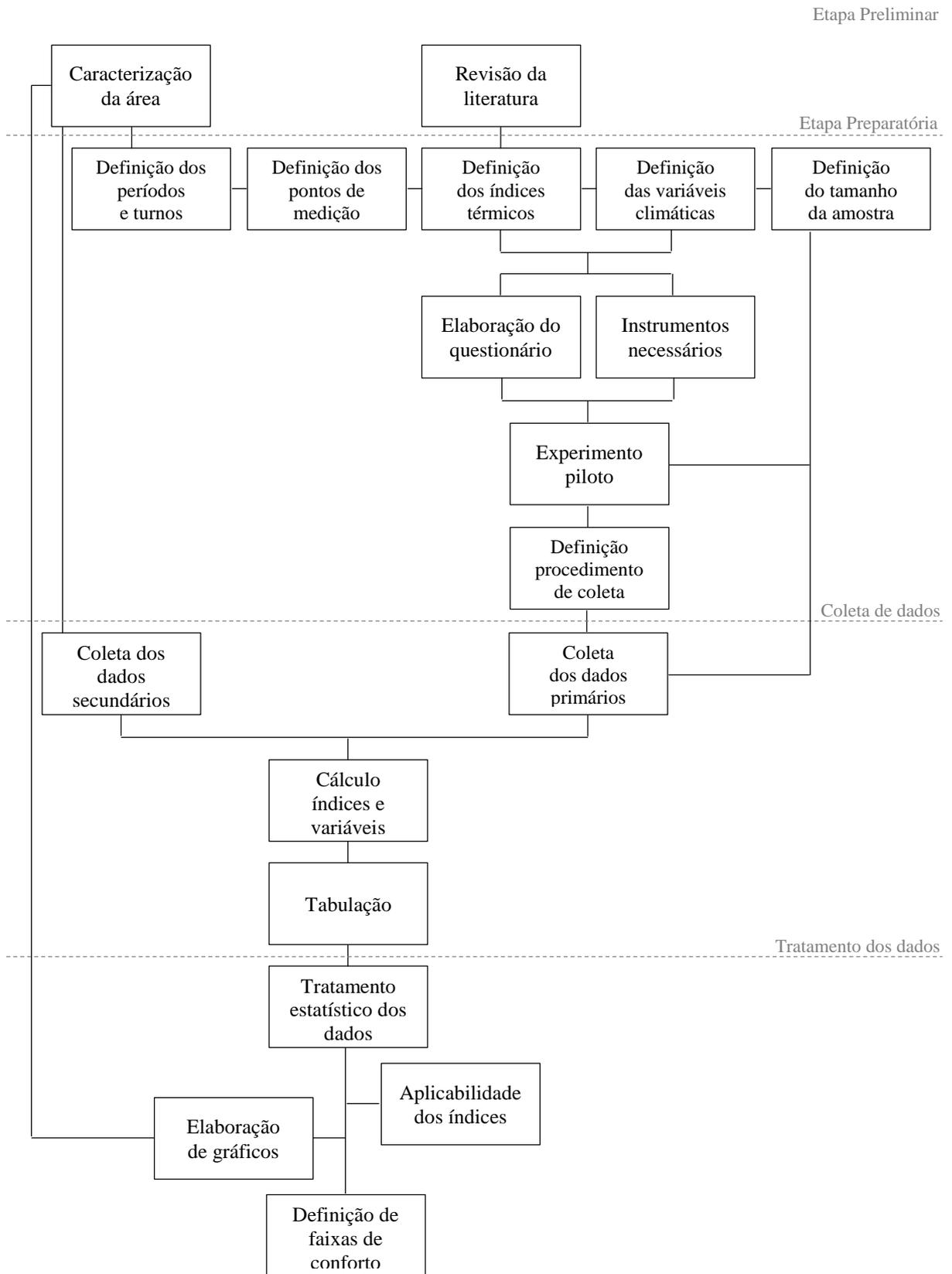
A fim de alcançar os objetivos propostos no início do trabalho, a pesquisa é subdividida em quatro etapas: preliminar, preparatória, coleta de dados e tratamento estatístico, conforme o diagrama apresentado na Figura 8. Todas as etapas são fundamentadas na revisão bibliográfica e na análise de estudos anteriores.

A caracterização bioclimática do município de Fortaleza antecede a pesquisa de campo, pois fornece, como resultado, informações importantes para a escolha dos períodos e horários de medição. Alguns dados não são coletados diretamente, sendo necessário estimá-los por meio de equações. Na próxima seção, segue a descrição de cada etapa.

3.1 Etapa preliminar

Levando-se em consideração a esfericidade da Terra e a distribuição geográfica dos oceanos e continentes, observa-se que o aquecimento desigual gera centros de alta e baixa pressão que se deslocam com as estações do ano, determinando o comportamento climático de determinado local. Nessa etapa são levantadas as informações necessárias à caracterização bioclimática da área de estudo.

Figura 8 – Estruturação da metodologia aplicada.

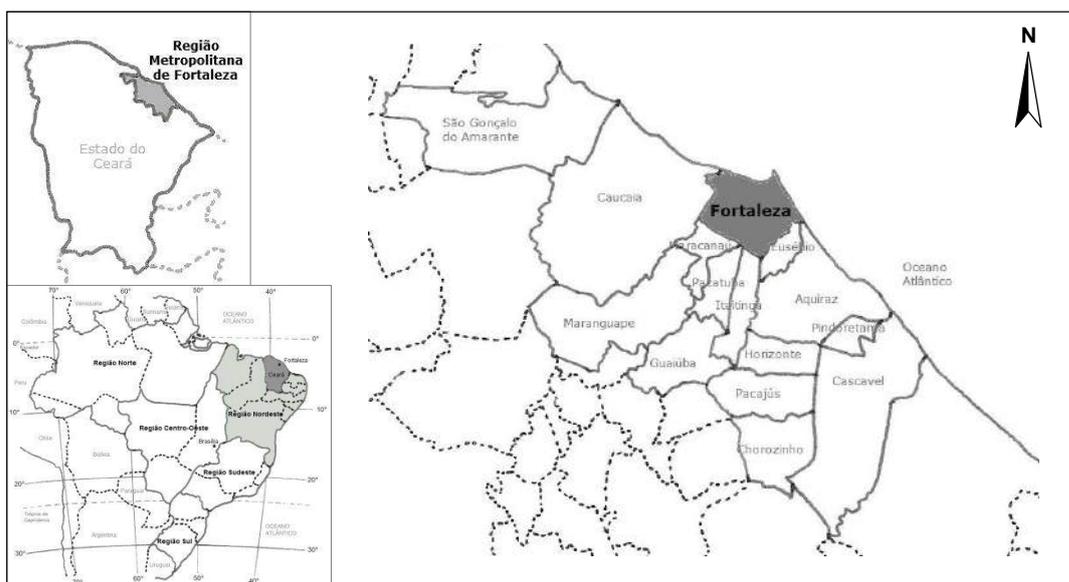


3.1.1 Localização da área de estudo

A cidade de Fortaleza localiza-se no litoral norte do Estado do Ceará, a 3°46' de latitude Sul e 38°33' de longitude Oeste, ocupando uma área de aproximadamente 314km² (Figura 9).

Limita-se ao norte com o oceano Atlântico, ao sul com os Municípios de Maracanaú, Itaitinga e Pacatuba, a leste com Eusébio e Aquiraz e a oeste com o Município de Caucaia. Em decorrência de sua proximidade com a Linha do Equador, Fortaleza apresenta elevadas temperaturas, baixa amplitude térmica mensal e anual e, praticamente, só duas estações do ano definidas a partir da precipitação, uma chuvosa e a outra seca.

Figura 9 - Localização do Município de Fortaleza, CE.



Fonte: Elaborada pela autora (2015) a partir do site <<http://www.ibge.gov.br>>.

Como ressaltado anteriormente, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é o principal sistema atmosférico atuando sobre o município de Fortaleza, influenciando não só a precipitação, mas também a velocidade e direção do vento. É caracterizada como de baixa pressão à superfície e alta nas vizinhanças da Tropopausa. Próximo à superfície, os ventos são fracos e as calmarias frequentes (SILVA, 2006). Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a ZCIT se desloca durante o ano. Normalmente, em Março, localiza-se mais ao Sul e em Setembro, mais ao Norte.

Os ventos alísios de sudeste são mais fortes de Agosto a Outubro e têm sua intensidade reduzida progressivamente até alcançar seus valores mínimos anuais durante os meses de Março e Abril quando a precipitação é mais intensa (REBELLO, 2009).

A cidade de Fortaleza também sofre a influência das brisas que se formam na orla marítima. Durante o dia, o continente se aquece mais rapidamente que o oceano, o ar quente se eleva e o ar menos aquecido sobre o oceano se desloca em direção ao continente, durante a noite o sentido se inverte. As correntes de ar são geradas a partir da diferença de pressão estabelecida entre o mar e a terra, por isso quanto maior for a diferença, maior é a velocidade com que o ar se movimenta. As brisas proporcionam um alívio durante as horas mais quentes do dia (SILVA, 2006).

Segundo a classificação de Köppen, a cidade possui um clima do tipo tropical chuvoso, quente e úmido (FORTALEZA, 1991). Dentro do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, situa-se na Zona Bioclimática número oito, caracterizada por um clima estressante devido ao calor, requerendo, como estratégias, o sombreamento e a ventilação (ABNT, 2003).

A seguir, são apresentadas algumas equações utilizadas no cálculo de dados que, normalmente, não são coletados por estações meteorológicas, mas que é possível estimá-los a partir de dados como a temperatura, umidade, velocidade do vento, insolação, precipitação e nebulosidade.

3.1.2 Equações utilizadas no cálculo de elementos climáticos

3.1.2.1 Radiação solar

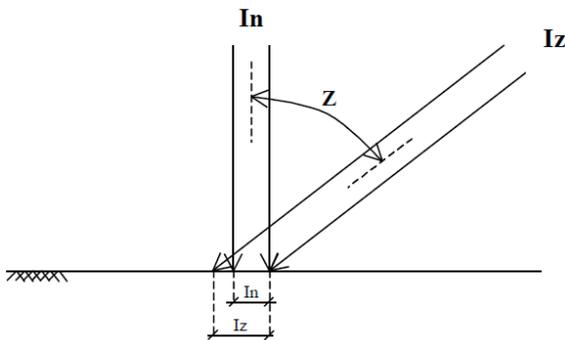
Até atingir a superfície da terra, a radiação solar sofre variações temporais e espaciais em função das condições atmosféricas e da espessura da camada de ar a ser atravessada. Neste percurso, ela sofre os fenômenos de reflexão, difusão e absorção. A radiação que efetivamente atinge a superfície é denominada de radiação solar global (R_g) (TUBELIS; NASCIMENTO, 1987; FROTA, 2004).

Quando se observa a sua distribuição na superfície terrestre, percebe-se que ela varia de acordo com o ângulo de incidência dos raios solares e com a distância Terra-Sol (Declinação – δ). Portanto, a radiação solar no topo da atmosfera varia continuamente ao longo do dia, do ano e com a latitude, obedecendo à Lei do Inverso do Quadrado da Distância e à Lei do Cosseno de Lambert (SILVA, 2006; AZEVEDO *et al.*, 2011).

Pela Lei do Inverso do Quadrado da Distância, a energia recebida em uma superfície é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre a fonte emissora e a superfície receptora. Isso significa dizer que à medida que a Terra se distancia do Sol, a irradiância solar é reduzida e, por isso, caso haja variação da distância Terra-Sol a irradiância solar também irá variar.

A Lei do Cosseno de Lambert diz que a quantidade de energia incidente (I_z) em uma superfície inclinada é igual à mesma quantidade de energia incidente na superfície normal a esta energia (I_n) multiplicada pelo cosseno do ângulo de inclinação (ângulo zenital, Z) que I_z faz com I_n , conforme apresentado na Figura 10. Assim, a intensidade dos raios solares também varia com a latitude e a estação do ano, sendo maior quando os raios atingem o Zênite local.

Figura 10 – Esquema representativo da Lei de Lambert.



Fonte: Dantas, Carvalho e Castro Neto (20--).

Dessa forma, a radiação incidente (irradiância) aumenta na medida em que a Terra se aproxima do Sol e diminui o ângulo formado entre o Zênite local e os raios solares (ângulo zenital – Z). Aplicando as equações do triângulo astronômico e a Lei do Cosseno de Lambert descritas por Tubelis e Nascimento (1987) e Azevedo *et al.* (2011), é possível identificar a radiação para um dado instante (I_z). Também é possível identificar o número possível de horas de brilho do Sol e, conseqüentemente, a hora em que o Sol nasce e se põe.

$$I_z = I_n * dr * \cos(Z) \quad (3)$$

$$dr = 1 + 0,033 * \cos\left(\left(\frac{2\pi}{365}\right)J\right) \quad (4)$$

$$\cos(Z) = (\text{sen}(\varphi) * \text{sen}(\delta)) + (\cos(\varphi) * \cos(\delta) * \cos(h)) \quad (5)$$

$$\delta = 0,4093 * \text{sen}\left(\left(\left(\frac{2\pi}{365}\right)J\right) - 1,405\right) \quad (6)$$

$$h = (\text{Hora} - 12) \left(\frac{\pi}{12}\right) \quad (7)$$

$$H = \arccos(-\tan(\varphi)\tan(\delta)) \quad (8)$$

$$N = \left(\frac{24}{\pi}\right) H \quad (9)$$

$$\text{Hora do nascer do Sol} = 12 - \left(\frac{N}{2}\right) \quad (10)$$

$$\text{Hora do pôr do Sol} = 12 + \left(\frac{N}{2}\right) \quad (11)$$

onde:

I_z é a radiação solar instantânea no topo da atmosfera (W/m²)

I_n é a constante solar (1.367 W/m²)

dr é o inverso da distância relativa da Terra ao Sol (adimensional)

Z é o ângulo zenital (radianos)

J é o dia juliano

φ é a latitude (radianos)

δ é a declinação solar (radianos)

H é o ângulo horário do pôr ou nascer do Sol (radianos)

N é a duração máxima do brilho solar (horas)

Além da altura do Sol em um dado momento e da duração do dia, o triângulo astronômico ainda permite identificar o azimute dos raios solares. Todas essas informações são mais facilmente visualizadas na carta solar. Ela representa a trajetória do Sol na abóbada celeste como se estivesse projetado sobre um plano horizontal, possibilitando determinar a sua posição para qualquer horário do ano (BROWN; DEKAY, 2004). Na sua identificação através do programa *Analysis Sol-Ar 6.2* é preciso selecionar a cidade e inserir as informações desejadas para análise.

A radiação solar global (R_g) é calculada a partir da radiação solar em uma superfície horizontal no topo da atmosfera (R_o). Ela representa a densidade média diária do fluxo de radiação e o seu cálculo pode ser feito a partir da insolação diária, através da equação de Angström (TUBELIS; NASCIMENTO, 1987; AZEVEDO *et al.*, 2011).

$$R_o = \left(\frac{24 \times 60}{\pi}\right) \times 0,082 \times dr \times \left((H \sin(\varphi) \sin(\delta)) + (\cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(H)) \right) \quad (12)$$

$$R_g = R_o \left(\left(0,29 \cos(\varphi) \right) + \left(0,52 \left(\frac{n}{N} \right) \right) \right) \quad (13)$$

onde:

R_o é a radiação solar no topo da atmosfera (MJ/m²dia)

R_g é a radiação solar global (MJ/m²dia)

3.1.2.2 Umidade

O conteúdo de vapor d'água presente no ar pode ser quantificado de diversas formas. A mais comum é usando a umidade relativa, que relaciona a concentração máxima do vapor d'água com a existente no ar. Na Carta Psicrométrica, sobre a qual está representada a Carta Bioclimática, o vapor d'água no ar é quantificado pela razão de mistura (r). A razão de mistura consiste no quociente entre a massa de vapor de água e massa de ar seco na qual o vapor está contido ($\text{g}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$) (SILVA, 2006). Seu cálculo segue as especificações abaixo.

$$e_{su} = 6,1078 \times 10^{\left[\frac{7,5 \times t_w}{(237,3 + t_w)}\right]} \quad (14)$$

$$e = e_s - AP_{atm}(t_a - t_w) \quad (15)$$

$$P_{atm} = 1013,25 \left(1 - \frac{0,0065 \times Z}{288}\right)^{5,2568} \quad (16)$$

$$r = 0,622 \times 1000 \left(\frac{e}{(P_{atm} - e)}\right) \quad (17)$$

onde:

e_{su} é a pressão de saturação do vapor d'água na temperatura do bulbo úmido (hPa)

e é a pressão parcial exercida pela quantidade de vapor d'água presente na atmosfera (hPa)

A é a constante psicrométrica, igual a $0,00080^\circ\text{C}^{-1}$

t_a é a temperatura do ar, dada pelo termômetro de bulbo seco ($^\circ\text{C}$)

t_w é a temperatura no termômetro de bulbo úmido ($^\circ\text{C}$)

P_{atm} é a pressão atmosférica do local (hPa)

Z é a altitude do local (m)

r é a razão de mistura ($\text{g}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$)

3.1.2.3 Velocidade do ar

Silva (2008) define o vento como sendo um deslocamento de ar em uma determinada direção relativo a uma dada superfície. À medida que se aproxima do solo, a rugosidade da superfície reduz a sua velocidade em função da resistência provocada pelo atrito. Como resultado da fricção, a sua velocidade é menor próxima à superfície e maior nas partes mais altas da atmosfera. Quanto maior a rugosidade do terreno, maior é o fluxo turbulento gerado (TUBELIS; NASCIMENTO, 1987; BROWN; DEKAY, 2004; MARIN; ASSAD; PILAU, 2008).

Em geral, a velocidade do vento é medida a 10m de altura nas estações meteorológicas podendo ser convertida a qualquer altura através da Lei de Potência conforme a relação abaixo (LINARD, 2010).

$$v_{zr} = v_{zn} \left(\frac{z_r}{z_n} \right)^a \quad (18)$$

onde: v_{zr} e v_{zn} são valores de velocidade média correspondentes, respectivamente, a uma altura z_n e a uma altura de referência z_r e o a é chamado de expoente de camada limite, para áreas urbanas costuma-se adotar um fator de rugosidade de 0,4 (MASCARÓ, 1996).

Segundo Tubelis e Nascimento (1987), quando não se dispõe de dados de vento, a sua velocidade pode ser avaliada em função da força exercida pela massa de ar, medida pela Escala de Beaufort (Quadro 8). Prata (2005) apresenta um critério geral de conforto na utilização de espaços exteriores com base na Escala de Beaufort (Quadro 9a e 9b).

Quadro 8 - Escala de Beaufort com as faixas e observação visual da velocidade do ar.

Escala de Beaufort		Velocidade (m/s)	Efeitos do vento
Calmaria	0 – 1	0 - 1,5	Calmo, sem vento perceptível.
Brisa leve	2	1,6 - 3,3	Perceptível na face e movimenta as folhas das árvores.
Brisa fraca	3	3,4 - 5,4	Desfralda bandeira leve, mexe o cabelo, balança as roupas e agita as folhas das árvores.
Brisa moderada	4	5,5 - 7,9	Levanta poeira e papéis, desarruma o cabelo e movimenta o galho das árvores.
Brisa fresca	5	8,0 - 10,7	Movimenta pequenas árvores e sua força é sentida no corpo.
Brisa forte	6	10,8 - 13,8	Dificulta o uso de guarda-chuvas, levanta o cabelo, seu barulho é sentido nos ouvidos, balança os fios elétricos e movimenta os maiores galhos das árvores.
Vento fraco	7	13,9 - 17,1	Dificulta o caminhar de frente para o vento e movimenta as grandes árvores.
Vento moderado	8	17,2 - 20,7	Impede o caminhar e gera grande dificuldade de manter-se em equilíbrio durante a rajada e quebra os galhos das árvores.
Vento forte	9	20,8 - 24,4	Impossível caminhar contra o vento e causa danos nas partes salientes das árvores.

Fonte: Gandemer e Guyot (1976 *apud* PEREGRINO, 2005); Prata (2005).

Quadro 9a - Critério preliminar de conforto relacionado ao vento, considerando-se como unidade: a escala de Beaufort e temperaturas superiores a 10°C*.

Atividade	Área de aplicação	Conforto relativo			
		Perceptível	Tolerável	Desagradável	Perigoso
Andando rápido	Calçada	5	6	7	8
Andando de <i>skate</i>	Parques, pistas de <i>skate</i>	4	5	6	8
De pé ou sentado por curto período de tempo	Parques e praças	3	4	5	8
De pé ou sentado por longo período de tempo	Restaurantes ao ar livre e anfiteatros	2	3	4	8
Critérios representativos para aceitabilidade			< 1 vez / semana	< 1 vez / mês	< 1 vez / ano

*Para cada redução de 20°C na temperatura espera-se que o nível relativo de conforto seja reduzido em um número de Beaufort.

Quadro 9b - Relação entre a escala de Beaufort e a velocidade do ar (m/s).

Escala de Beaufort	1	2	3	4	5	6	7	8
Velocidade média do vento a 10m de altura em campo aberto	0,9	2,4	4,4	6,7	9,3	12,4	15,5	18,9
Velocidade da rajada a 2m de altura $V_2 = V_{10} * 1,5 * 0,8$	1	3	5	8	11	15	19	23
Velocidade média do vento a 2m de altura em área urbana $V_2 = 0,5 * V_2$	0,5	1,5	2,5	4	5,5	7,5	9,5	11,5

Fonte: Prata (2005).

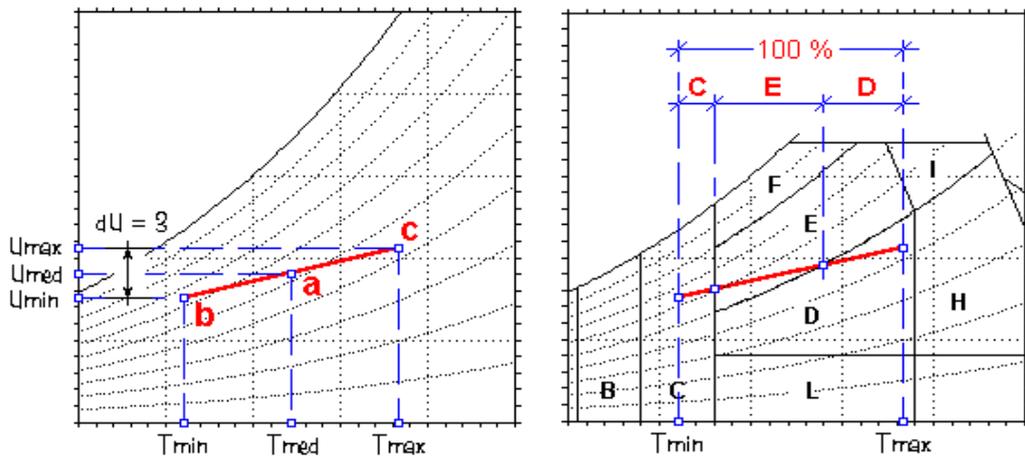
3.1.2.4 Carta Bioclimática da cidade de Fortaleza

A elaboração da Carta Bioclimática de Fortaleza é feita no *Excel* em cima da carta bioclimática adaptada presente na ABNT 135/Parte 3 (ABNT, 2003). Usando, como base, os dados horários mensais da temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) da Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins traça-se uma reta contendo os valores mínimos, médios e máximos (Figura 11a).

Segundo a norma, a reta definida representa todas as horas de um dia médio de um determinado mês, os valores mínimos são as horas mais frias e os máximos, as mais quentes. Ela corresponde a 100% do tempo. Por isso, a partir do cruzamento entre ela e as zonas é possível determinar quais as estratégias a serem adotadas e a percentagem de horas

que corresponde a cada uma (Figura 11b). Dessa forma, de acordo com a Figura 12, as horas mais frias concentram-se nas zonas F e I, respectivamente, 19,7 e 21,3%, requerendo a desumidificação e a ventilação como estratégias de ação para o restabelecimento do conforto térmico. As horas mais quentes recaem na zona J (59%), indicando a ventilação como estratégia.

Figura 11 – Determinação da reta e percentagem de cada estratégia.

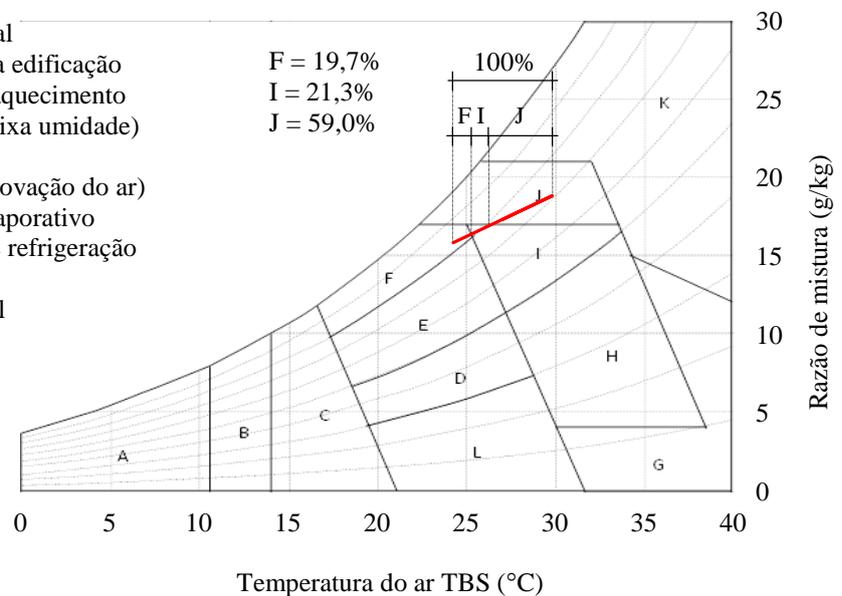


a) Determinação da reta.

b) Percentagem de cada estratégia.

Figura 12 – Carta Bioclimática Brasileira.

- A – Zona de aquecimento artificial
- B – Zona de aquecimento solar da edificação
- C – Zona de massa térmica para aquecimento
- D – Zona de conforto térmico (baixa umidade)
- E – Zona de conforto térmico
- F – Zona de desumidificação (renovação do ar)
- G + H – Zona de resfriamento evaporativo
- H + I – Zona de massa térmica de refrigeração
- I + J – Zona de ventilação
- K – Zona de refrigeração artificial
- L – Zona de umidificação do ar



Fonte: ABNT (2003).

A etapa que se segue trata da organização de todas as informações e procedimentos necessários à realização do trabalho de campo, como a definição dos pontos de medição e do tamanho da amostra, das variáveis coletadas, das técnicas e instrumentos de medição, dos horários e dias para a efetuação do trabalho de campo, a elaboração e teste de questionários e equipamentos.

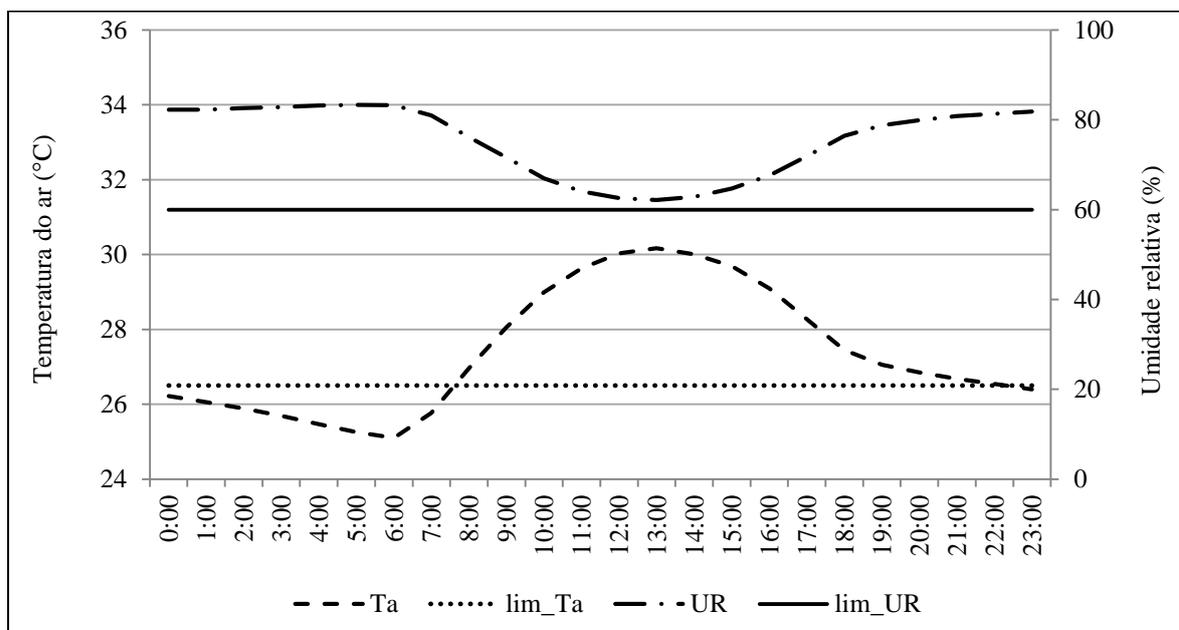
3.2 Etapa preparatória

Essa etapa tem por objetivo a organização de todos os procedimentos a serem empregados nos levantamentos de campo. A definição dos meses e horários de medição é fundamentada no comportamento horário e mensal identificado na fase anterior.

3.2.1 Definição dos períodos e turnos para a realização da pesquisa de campo

O horário das medições toma como referência os valores de temperatura e umidade identificados fora do limite superior de conforto. Esses limites são definidos por Rivero (1986) como sendo: temperatura do ar superior a 26,5°C e umidade relativa acima de 60% (Figura 13).

Figura 13 – Comportamento horário da temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) em Fortaleza, CE, entre os anos de 1991 a 2010.

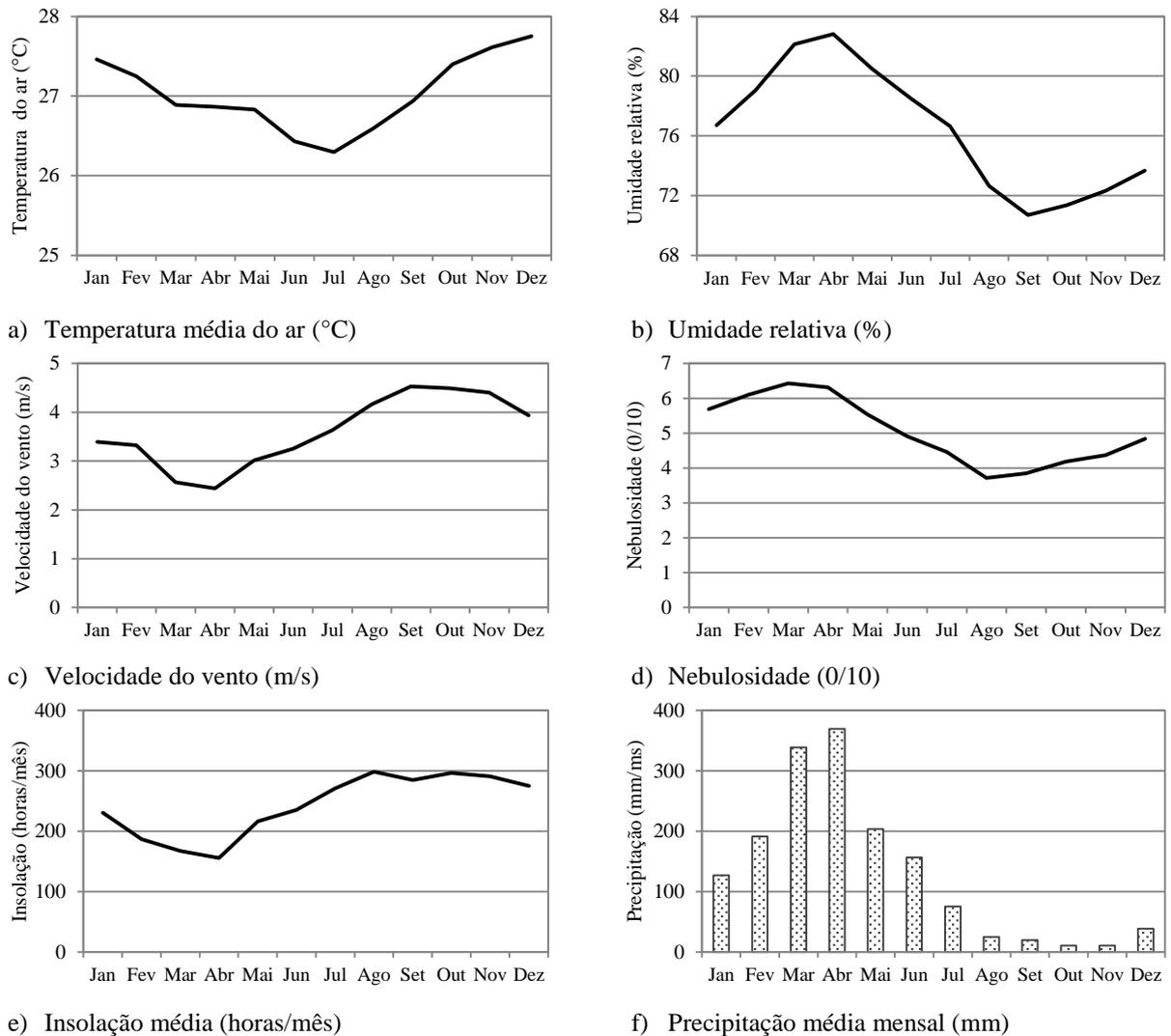


Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Apesar das pequenas amplitudes térmicas observadas ao longo do ano, os dados são coletados em quatro períodos distintos, definidos em função do comportamento dos parâmetros climáticos conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Normais climatológicas mensais da cidade de Fortaleza, CE, no período de 1980 a 2010.



Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Dessa forma, a pesquisa de campo abrange os meses de Janeiro, Abril, Julho e Setembro, entre 08:00 e 16:00h. O mês de Janeiro corresponde ao Solstício de Verão, é um período que antecede a quadra chuvosa, onde se observa o efeito combinado do processo de redução da velocidade do vento, temperatura média e radiação solar com a elevação da umidade e nebulosidade. Em geral, é percebido pela população como um mês muito quente e abafado.

O pico da quadra chuvosa encontra-se em Abril. Nesse mês, a intensidade da radiação solar e dos ventos é menor e a nebulosidade e umidade maiores. No que diz respeito à temperatura média, ela continua a decrescer, atingindo o seu valor mínimo em Julho. As elevadas temperaturas, umidade e baixa velocidade do vento podem proporcionar situações de desconforto térmico para a população.

No mês de Julho, as chuvas, a nebulosidade e a umidade já não são tão altas, a radiação solar e a velocidade do vento começam a se tornar mais intensas. É o mês caracterizado por mais baixas temperaturas, pois no Hemisfério Sul, a Terra encontra-se mais distante do Sol devido ao seu movimento de translação, determinando o Solstício de Inverno. O mês de Setembro é caracterizado como o mês de elevadas velocidades do vento e baixa umidade, praticamente não chove e a radiação solar e a temperatura começam a se tornar mais expressivas. Estes dois meses são os que proporcionam uma melhor sensação térmica.

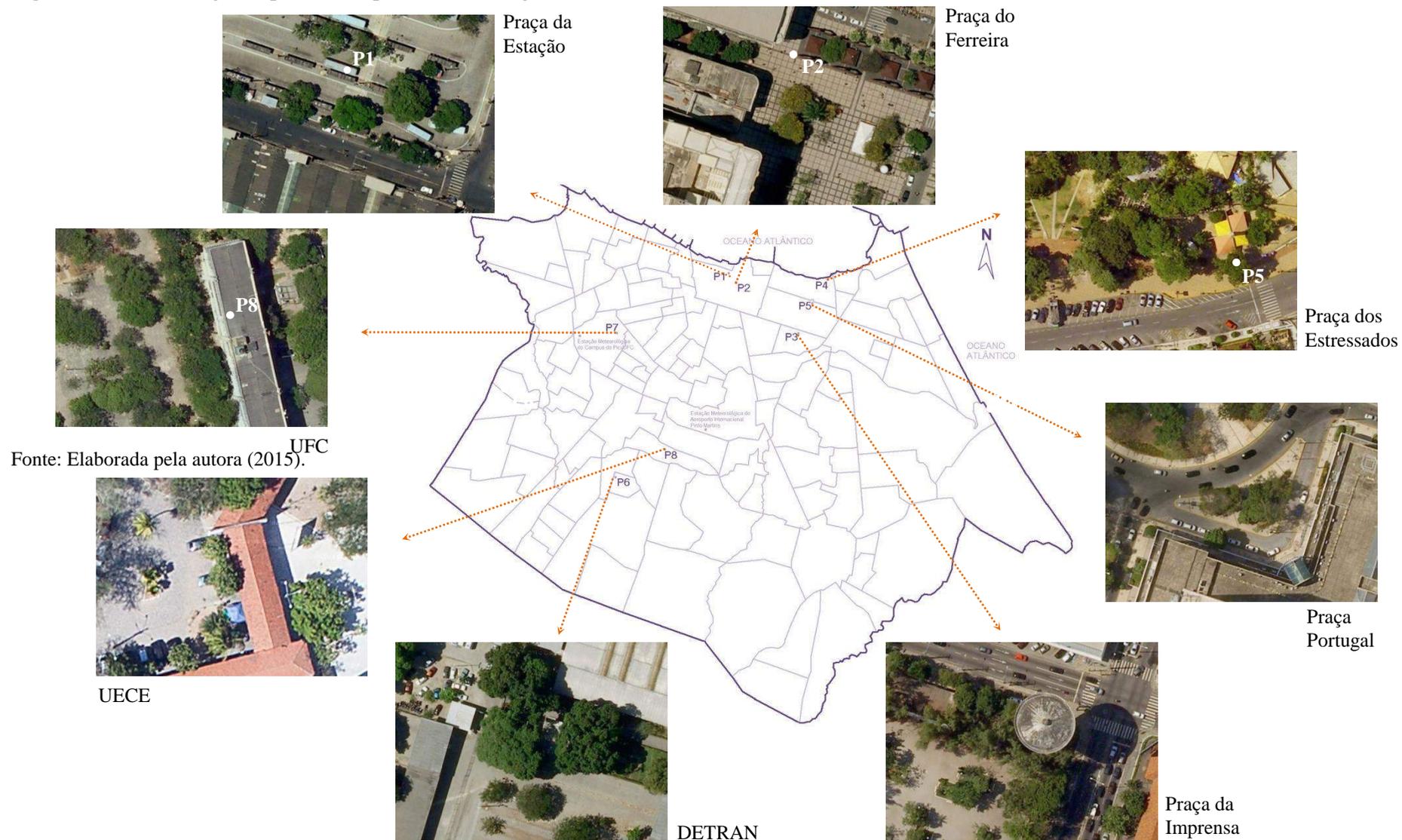
3.2.2 Definição dos pontos de medição

O objetivo principal da realização da pesquisa de campo é identificar o nível de conforto térmico atual e desejado da população e, simultaneamente, levantar os parâmetros climáticos e as características urbanas necessárias à aplicação dos índices de conforto térmico. Por isso, é muito importante salientar que não se deseja verificar a influência do espaço físico na sensação térmica humana, mas sim, de acordo com as condições climáticas, a sensação térmica atual e desejada da população. Este pressuposto é mencionado porque justifica o procedimento na obtenção dos dados.

Portanto, define-se a localização dos pontos de medição com base nos seguintes critérios: espaços públicos abertos e arborizados, relativamente seguros, com elevado fluxo de pessoas advindas de diferentes bairros da cidade, com diferentes faixas etárias e situação social. Com isso, procura-se cobrir o município de Fortaleza e abranger o maior número possível de pessoas que, esporadicamente ou cotidianamente, assume a posição de pedestre.

Após a observação de diversos pontos da cidade, selecionaram-se oito, conforme dispostos na Figura 15 e no Quadro 10. Paralelamente, adotou-se como ponto de referência, a Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC.

Figura 15 – Localização espacial dos pontos de medição.



Quadro 10 – Localização dos pontos de medição da pesquisa de campo realizada na cidade de Fortaleza, CE no período de 2011 a 2012.

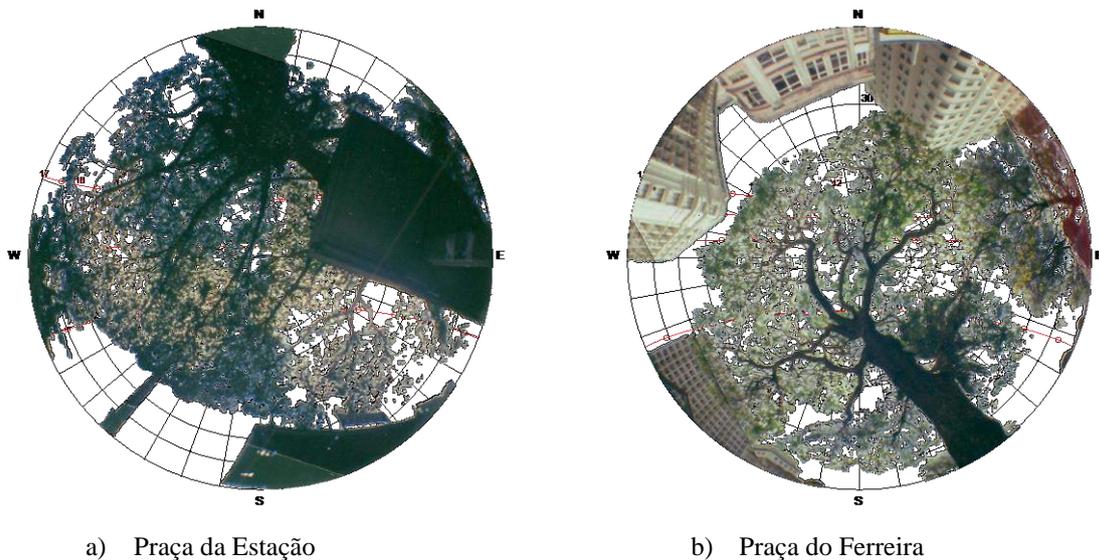
Pontos	Local	Latitude	Longitude	Altitude	Fuso	SVF
P1	Praça da Estação	-3°43'22,33''	-38°31'48,21''	27m	-3,0	0,213
P2	Praça do Ferreira	-3°43'36,20''	-38°31'34,87''	30m	-3,0	0,193
P3	Praça da Imprensa	-3°44'45,35''	-38°30'06,26''	50m	-3,0	0,164
P4	Praça dos Estressados/Beira-Mar	-3°43'31,48''	-38°29'30,82''	22m	-3,0	0,205
P5	Praça Portugal	-3°44'01,40''	-38°29'49,97''	38m	-3,0	0,028
P6	DETRAN/Sede Maraponga	-3°47'58,51''	-38°34'18,95''	41m	-3,0	0,093
P7	UFC	-3°44'43,60''	-38°34'33,10''	27m	-3,0	0,227
P8	UECE	-3°47'19,51''	-38°33'11,90''	33m	-3,0	0,094
-	Estação Meteorológica Pici/UFC	-3°44'43,42''	-38°34'55,71''	24m	-3,0	-

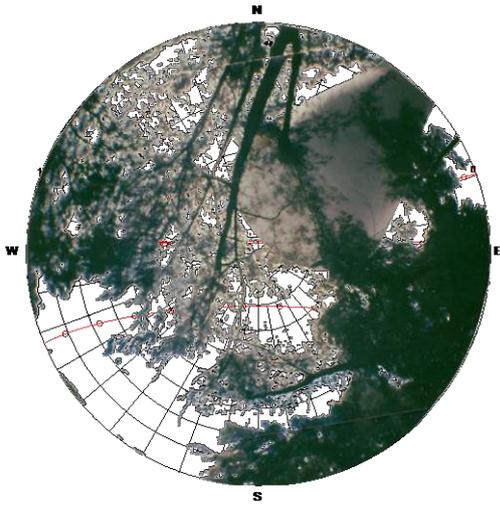
Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Em seguida foram tiradas fotos olho-de-peixe em cada ponto, com a câmara *Lomography Fisheye One*, a fim de identificar o fator de céu visível (*Sky View Factor - SVF*) necessário ao cálculo da temperatura média radiante através do modelo *RayMan* (Figura 16).

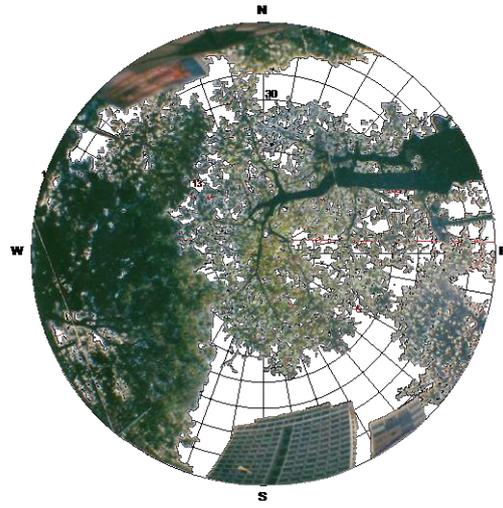
Após a definição dos pontos de medição e dos períodos, foi solicitada à Prefeitura Municipal de Fortaleza, ao Detran/Sede Maraponga e à Universidade Estadual do Ceará, uma autorização para a realização da pesquisa de campo nos período identificados.

Figura 16 – Fotos olho-de-peixe e cartas solares nos oito pontos de coleta.

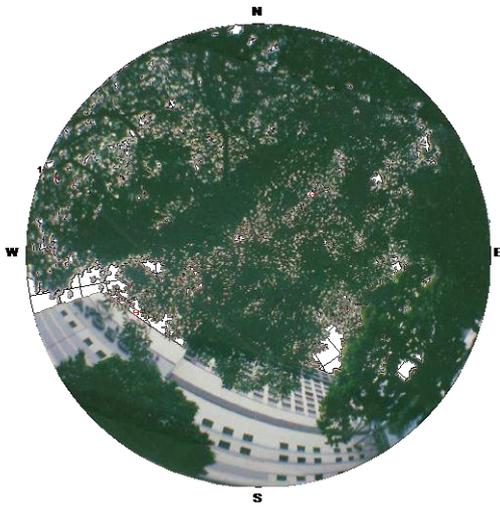




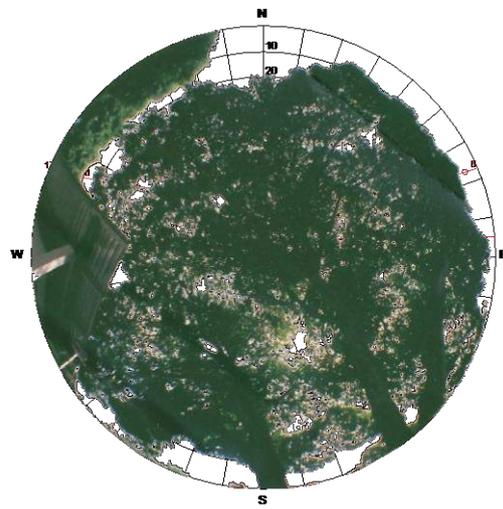
c) Praça da Imprensa



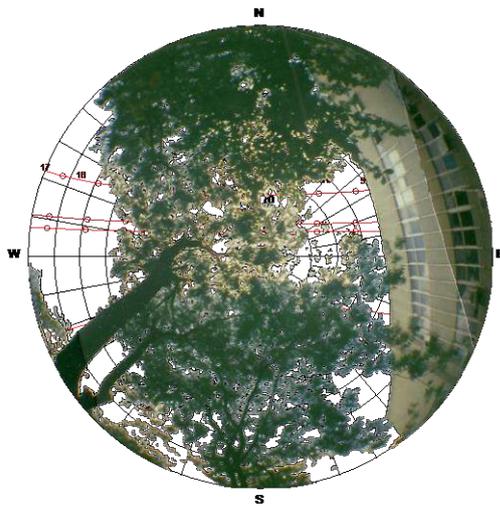
d) Praça dos Estressados



e) Praça Portugal



f) Detran/Maraponga



g) UFC



h) UECE

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

3.2.3 Definição dos índices aplicados

Os índices utilizados foram escolhidos a partir da revisão bibliográfica, levando-se em consideração quatro características básicas: as variáveis climáticas necessárias, a forma de cálculo, as escalas de apreciação e os exemplos de aplicabilidade. Assim, foram selecionados os seguintes índices:

- a) Índice de Desconforto, *DI*
- b) Índice Humidex, *HU*
- c) Índice de Temperatura Aparente, *AT*
- d) Índice de Calor, *HI*
- e) Índice de Verão, *SSI*
- f) Voto Real de Sensação, *ASV*
- g) Temperatura Efetiva Normal, *NET*
- h) Temperatura Equivalente Fisiológica, *PET*
- i) Índice Térmico Climático Universal, *UTCI*
- j) Voto Médio Estimado, *PMV*

Os seis primeiros são considerados índices simples destinados a aplicações no meio externo em climas quentes e medem o grau de desconforto, periculosidade ou esforço térmico. O último é um índice racional, originalmente, desenvolvido para aplicações no meio interno, mas que vem sendo utilizado em estudos que visam avaliar a sensação térmica no espaço público urbano.

O *PET* também é um índice racional, mas de aplicação ao meio externo dentro de um estado estático, enquanto o *UTCI* é desenvolvido para avaliações dinâmicas. Os valores correspondentes entre as escalas de apreciação dos índices e a escala de sensação térmica utilizada na presente pesquisa podem ser visualizados no Quadro 11.

Dessa forma, procurou-se cobrir os índices mais utilizados em avaliações no meio externo em climas quentes e verificar a possibilidade de aplicação, no meio externo, de índices desenvolvidos para o meio interno. A definição dos índices permite identificar as variáveis que serão necessárias ao seu cálculo. Tais parâmetros podem ser classificados como variáveis micro-climáticas, variáveis individuais, subjetivas e dados-controle, conforme descrição abaixo.

Quadro 11 – Limites de sensações térmicas e alerta usados em vários índices bioclimáticos.

Sensação térmica	Índices					
	DI (°C)	HU (°C)	AT (°C)	HI (°C)	SSI (°C)	ASV
Muito frio (ext. perigo)						
Frio (moderado perigo)						-3
Fresco (baixo perigo)						-2
Lev. fresco (atenção)					21,1 – 25,0	-1
Neutro (sem perigo)	18 – 21	20 – 30			25,0 – 28,3	0
Lev. aquecido (atenção)	21 – 24	30 – 40	26,7 – 32,2	27 – 32	28,3 – 32,8	+1
Quente (ext. atenção)	24 – 27	40 – 45	32,2 – 40,0	32 – 41	32,8 – 37,8	+2
Muito quente (perigo)	27 – 29	45 – 55	40,0 – 54,4	41 – 54	37,8 – 44,4	+3
Ext. quente (ext. perigo)	29 – 32	> 55	> 54,4	> 54	44,4 – 51,7	

Sensação térmica	Índices					
	NET (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)	PMV	ASHRAE	STA
Muito frio (ext. perigo)				-4		-4
Frio (moderado perigo)	< 1	< 4		-3	-3	-3
Fresco (baixo perigo)	1 – 9	4 – 8		-2	-2	-2
Lev. fresco (atenção)	9 – 17	8 – 18	0 – 9	-1	-1	-1
Neutro (sem perigo)	17 – 21	18 – 23	9 – 26	0	0	0
Lev. aquecido (atenção)	21 – 23	23 – 35	26 – 32	+1	+1	+1
Quente (ext. atenção)	23 – 27	35 – 41	32 – 38	+2	+2	+2
Muito quente (perigo)	> 27	> 41	38 – 46	+3	+3	+3
Ext. quente (ext. perigo)			> 46	+4		+4

Fonte: Matzarakis, Mayer e Iziomon (1999); Pepi (2000); Kastri (2001); ASHRAE (2004); Nikolopoulou (2004); Blazejczyk *et al.* (2012); Canada (2014).

3.2.4 Variáveis coletadas

3.2.4.1 Variáveis micro-climáticas

As variáveis micro-climáticas são coletadas de acordo com a necessidade de aplicação dos índices. São medidos os valores de temperatura do ar (°C), temperatura de bulbo úmido (°C), umidade relativa (%), temperatura de globo (°C) e velocidade do vento (m/s).

Tais variáveis são coletadas por meio de instrumentos de medição e visam, também, caracterizar as condições micro-climáticas urbanas no momento em que é realizado o levantamento de campo.

A temperatura média radiante é um dos parâmetros necessário ao cálculo de índices racionais. Nesse estudo, ela é determinada de três maneiras: através do programa *RayMan* e por meio das equações descritas em Givoni (1976) e Thorsson *et al.* (2007).

O cálculo da temperatura média radiante através do *RayMan* requer a introdução de fotografias de olho-de-peixe. Cada pixel da imagem corresponde a um fator de ângulo localizado por um ângulo azimutal e zenital. O somatório de todos os fatores de ângulo resulta

no valor do Fator de Céu Visível, necessário ao cálculo da temperatura média radiante e da densidade dos fluxos de radiação de onda-curta e longa que alcançam o corpo humano nas complexas estruturas urbanas. Matzarakis, Rutz e Mayer (2007, 2010) descrevem, detalhadamente, todos os procedimentos usados na identificação desses parâmetros.

O cálculo da temperatura média radiante usando a fórmula de Belding (Givoni, 1976) e para convecção forçada da ISO 7726 definida em Thorsson *et al.* (2007) é dado como:

$$t_{mrt} = t_g + 0,24v^{0,5}(t_g - t_a) \quad (^\circ\text{C}) \quad (19)$$

$$t_{mrt} = \left\{ (t_g + 273)^4 + \left[\frac{(1,1 \times 10^8 \times v^{0,6})}{\varepsilon_g \times D^{0,4}} \right] \times (t_g - t_a) \right\}^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (^\circ\text{C}) \quad (20)$$

onde:

t_{mrt} é a temperatura média radiante ($^\circ\text{C}$)

t_g é a temperatura de globo ($^\circ\text{C}$)

v é a velocidade do vento (m/s)

ε_g é a emissividade do globo igual a 0,95 (adimensional)

D é o diâmetro do globo igual a 0,15 (m)

t_a é a temperatura do ar ($^\circ\text{C}$)

De acordo com as equações descritas acima, é necessária a identificação da temperatura de globo, a qual consiste na temperatura indicada por um sensor de temperatura localizado no centro de um globo. O formato esférico e a cor negra permitem que a radiação de um ambiente real, geralmente heterogênea, seja integrada em um valor médio (LAMBERTS *et al.*, 2011).

3.2.4.2 Variáveis individuais e subjetivas

As variáveis individuais são coletadas no ato da entrevista com o objetivo de caracterizar a população analisada e possibilitar o cálculo individual dos índices térmicos racionais. Correspondem às características pessoais de cada indivíduo, como: altura (m), idade (anos), peso (kg), sexo, taxa metabólica e isolamento térmico proporcionado pela roupa.

A atividade metabólica, como potência calorífica, pode ser expressa em *Watt*. Mas, ao considerar-se a quantidade de energia consumida, ela incorpora na sua definição, a unidade de área de superfície corporal, passando a ser expressa em termos de densidade de fluxo energético (W/m^2). Normalmente, a sua unidade de medida é o *Met*. Para uma pessoa saudável em repouso e com área corporal de $1,80\text{m}^2$ (1,70m de altura e 69kg de peso), 1Met

corresponde a $58,2\text{W/m}^2$ e equivale a, aproximadamente, 100W (ASHRAE, 2004). O Quadro 12 apresenta a taxa metabólica de algumas atividades típicas.

Normalmente, a identificação da taxa metabólica é feita por meio de tabelas, mas ela ainda pode ser calculada em função da taxa cardíaca ou do consumo de oxigênio (LEITE, 2002; BARBIERO, 2004; MONTEIRO, 2008; VAGLIATTI, 2010).

Quadro 12 - Taxa metabólica de atividades típicas.

Atividade	Met*	W/m ² *
Dormindo	0,7	40
Reclinado	0,8	45
Sentado	1,0	60
Em pé	1,2	70
Caminhando em superfície plana a:		
0.9m/s	2,0	115
1.2m/s	2,6	150
1.8m/s	3,8	220
Lendo ou escrevendo	1,0	60
Digitando	1,1	65
Arquivando sentado	1,2	70
Arquivando em pé	1,4	80
Empacotando	2,1	120
Dirigindo carro passeio	1,0 - 2,0	60 - 115
Cozinhando	1,6 - 2,0	95 - 115
Limpando a casa	2,0 - 3,4	115 - 200
Dançando, socialmente	2,4 - 4,4	140 - 255
Andando de bicicleta	3,0 - 4,0	175 - 235

*adulto saudável com área de superfície corporal equivalente a $1,80\text{m}^2$

Fonte: ISO 7730 (1994) e ASHRAE, 2004.

O isolamento térmico do vestuário refere-se ao transporte de calor sensível. A unidade de medida utilizada para caracterizar o efeito do vestuário é o *Clo* (do inglês *Clothes*). Significa o isolamento necessário para fazer a transferência de 1W/m^2 , com um gradiente de temperatura de $0,155^\circ\text{C}$ entre duas superfícies (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Assim, quanto maior for a resistência da roupa, menores serão as trocas de calor do organismo com o meio. O Quadro 13 apresenta a resistência térmica de algumas peças do vestuário. Para identificar o valor do conjunto, é necessário somar todas as resistências e multiplicar por 0,82 em função do efeito das sobreposições de diferentes peças (PARSONS, 1999).

As variáveis subjetivas também são coletadas por meio da aplicação de questionários. Referem-se à percepção, avaliação e preferências térmicas. Inicialmente, procura-se avaliar também a percepção das sensações térmicas em função das variáveis ambientais como sugerido por Giralt (2006) e Monteiro (2008), mas após a aplicação do experimento piloto, observa-se uma dificuldade em avaliar separadamente, cada elemento

climático, principalmente, a umidade e a temperatura radiante. Dessa forma, opta-se por questões mais genéricas.

Quadro 13 - Isolamento térmico para peças individuais de roupas (Clo).

Descrição do vestuário	I _{cl} (clo)	Descrição do vestuário	I _{cl} (clo)
Camisas:		Calças compridas:	
regata	0,09	tecido fino	0,15
malha de mangas curtas	0,17	tecido pesado	0,24
malha de mangas longas	0,22	agasalho esportivo de algodão	0,28
tecido de mangas curtas	0,19	Saias:	
tecido de mangas longas	0,25	tecido fino	0,14
com gravata	+ 5%	tecido pesado	0,23
Jaquetas:		Short	0,06
esportiva de algodão	0,34	Bermuda	0,08
tecido fino sem mangas	0,10	Macacão com mangas curtas	0,30
tecido leve com mangas curtas	0,25	Roupa interior leve	0,04
tecido pesado com mangas longas	0,35	Meias	0,02
Paletó simples	0,36	Sandália	0,02
Paletó transpassado	0,44	Chinelo	0,02
Vestidos:		Sapato	0,02
tecido fino sem mangas	0,17	Tênis	0,02
tecido fino com mangas curtas	0,29	Botas	0,10

Fonte: ISO 7730 (1994) e ASHRAE (2004).

3.2.4.3 Variáveis de controle

As variáveis de controle são aquelas relacionadas aos aspectos físicos, psicológicos e culturais que podem influenciar o balanço energético do corpo humano, como o estado de saúde, o tempo de exposição ao meio térmico atual e o processo de aclimatização. Além destas, ainda são consideradas a atividade profissional e o local de residência, com a finalidade de caracterizar contextualmente o meio em que a pesquisa é realizada. Todas estas questões são apresentadas a seguir, na elaboração do questionário.

3.2.5 Elaboração do questionário

O questionário foi elaborado a partir dos estudos realizados por Spagnolo e De Dear (2003), Andrade, Oliveira e Alcoforado (2006) e Humphreys e Hancock (2007). Nele, a sensação térmica atual e a sensação térmica desejada são informações imprescindíveis. A fim de reduzir a taxa de rejeição, sua formulação é simples, direta e objetiva, de forma que o seu preenchimento leve, no máximo, cinco minutos. Sua formatação final pode ser vista no Apêndice C.

Estruturalmente, é subdividido em três seções e as perguntas são dispostas de maneira que uma resposta não venha a interferir na seguinte. Na primeira parte são abordadas

as variáveis individuais e de controle. Esta etapa pode ser considerada como eliminatória, pois, dependendo das respostas, a entrevista continua ou é encerrada. A partir da revisão da literatura são adotados alguns critérios:

- a) residir há, no mínimo, cinco anos na Região Metropolitana de Fortaleza,
- b) ter mais de dez anos de idade,
- c) apresentar condições estáveis de saúde,
- d) estar na área de estudo há mais de dez minutos,
- e) não estar vindo de ambiente fechado com ar condicionado, e
- f) não ter respondido o questionário anteriormente.

Na segunda seção, são avaliadas as respostas subjetivas. A percepção térmica é medida através da sensação térmica atual graduada a partir da alteração sugerida por Mayer e Matzarakis (1998) na Escala de ASHRAE. Os valores variam de -4 (extremamente frio) a +4 (extremamente quente), tendo o valor neutro ao centro (Quadro 14).

Quadro 14 – Escala de percepção térmica (Sensação Térmica Atual – STA).

Graus de intensidade				Neutralidade	Graus de intensidade			
Com muito frio	Com frio	Fresco	Levemente e fresco	Neutro	Levemente e com calor	Com calor	Com muito calor	Com calor extremo
-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4

Fonte: Mayer e Matzarakis (1998).

A preferência é avaliada basicamente, através da sensação térmica desejada medida em uma escala de cinco pontos de graus de intensidade, sendo dois para o frio (bem mais fresco e levemente mais fresco), dois para o calor (um pouco mais de calor e calor) e, ao centro, a permanência da sensação térmica atual percebida (Quadro 15). No final do questionário, adiciona-se uma questão semelhante a esta com o objetivo de confirmar a sensação térmica desejada. Caso haja incoerência, a entrevista é considerada inválida.

Quadro 15 – Escala de preferência térmica (Sensação Térmica Desejada – STD).

Graus de intensidade		Neutralidade	Graus de intensidade	
Bem mais fresco	Levemente mais fresco	Como está	Com um pouco mais de calor	Com calor
-2	-1	0	+1	+2

Fonte: Spagnolo e De Dear (2003).

A avaliação diz respeito ao nível de conforto ou desconforto térmico, graduado em uma escala de cinco pontos, variando de muito desconfortável a muito confortável, e à perspiração sensível, caracterizada pelo nível de umidade da pele (Quadro 16). A perspiração

sensível sobre situações em que a pele não está suada até uma situação em que as roupas estão encharcadas e o suor pingando, conforme sugerido por Givoni (1976).

Quadro 16 – Escala de avaliação do nível de conforto térmico.

Graus de intensidade		Neutralidade	Graus de intensidade	
Muito desconfortável	Desconfortável	Nem desconfortável nem confortável	Confortável	Muito confortável
-2	-1	0	+1	+2

Fonte: Andrade, Oliveira e Alcoforado (2006).

A terceira etapa do questionário foi elaborada visando a aquisição de informações adicionais referentes tanto à experiência passada e capacidade de memória quanto ao nível de conforto e preferência. Dessa forma, foram investigados: os recursos utilizados para se defender do sol e da claridade, o período do ano e os horários avaliados como mais confortáveis e desconfortáveis, além das razões atribuídas às escolhas.

3.2.6 Instrumentos de medição

Para a medição das variáveis climáticas foram utilizados equipamentos individuais portáteis. As marcas e modelos, as variáveis medidas por cada equipamento e as especificações técnicas dos mesmos são apresentadas no Quadro 17.

Além dos instrumentos citados acima, foi utilizado um abrigo meteorológico ventilado, feito de madeira e caiado, nas dimensões 23 x 30 x 22cm, fixado no tronco da árvore com uma corda; e um tripé para fixação do termômetro de globo.

3.2.7 Definição do tamanho da amostra

O tamanho mínimo da amostra foi determinado em função de um erro amostral de 5% conforme a equação abaixo (ROSSI, 2012):

$$n = \frac{\left[N \times \left(\frac{1}{E^2} \right) \right]}{\left[N + \left(\frac{1}{E^2} \right) \right]} \quad (21)$$

onde:

n é o tamanho da amostra

N é o tamanho da população

E é o erro amostral

Quadro 17 – Instrumentos de medição.

Instrumentos	Variável medida	Escala	Resolução	Nível de precisão
	Temperatura do ar (°C)	-30°C a 100°C	0,01°C	± 0,5°C (em 25°C) ± 0,8°C (todas as escalas)
	Temperatura de Bulbo Úmido (°C)	0°C a 80°C	0,01°C	± 0,5°C (em 25°C) ± 0,8°C (todas as escalas)
	Umidade Relativa (%)	0% a 100%	0,01%	± 3,5% UR (em 25°C, 20% – 80% UR) ± 4% UR (todas as escalas)
	Temperatura de Globo (°C)	-5°C a 100°C	0,1°C	± 0,5°C
	Velocidade do vento (m/s)	0 a 30m/s	0,1m/s	± 5%

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Assim, com uma população de 2.452.185 habitantes de acordo com o censo demográfico de 2010 (IBGE, 2013), obteve-se uma amostra mínima de aproximadamente 400 pessoas. Esse total foi distribuído durante os quatro períodos e em cada ponto de medição. Portanto, em cada local deveriam ser entrevistadas, no mínimo, 13 pessoas por período.

Em comparação com trabalhos de campo realizados com objetivos semelhantes, esse valor está dentro do padrão utilizado por diversos autores, ou seja, entre 90 a 1800 entrevistas, mas, apesar disso, procurou-se investigar um número maior de pessoas e dessa forma, adota-se uma amostra mínima de 960 pessoas (XAVIER, 1999; SPAGNOLO; DE DEAR, 2003; LYRA, 2007; MONTEIRO, 2008; BRÖDE *et al.*, 2012; KRÜGER *et al.*, 2012b; LABAKI *et al.*, 2012; ROSSI, 2012).

3.2.8 Equipe de entrevistadores

A equipe foi composta somente por duas pessoas, uma com a atribuição exclusiva de aplicar os questionários e a outra para realizar também as medições. Por medida de segurança foi solicitada a presença de mais uma pessoa para cuidar dos equipamentos, entretanto ela não interferiu na pesquisa. Em todos os períodos, inclusive no experimento piloto foram feitas reuniões onde se discutiram as instruções referentes à aplicação dos questionários e a explanação a ser feita sobre o objetivo da pesquisa.

3.2.9 Experimento piloto e teste dos equipamentos

A primeira pesquisa exploratória foi realizada no dia 05 de Maio de 2011 na Universidade Federal do Ceará durante o turno da manhã. Teve o objetivo de testar a aplicabilidade e o entendimento do questionário pelos entrevistados.

Foram realizadas vinte entrevistas, onde procurou-se identificar as falhas do questionário, a clareza das perguntas, a proporção de refugo e o motivo, além dos procedimentos de coleta. A partir de então, foram feitas as devidas correções, dentre elas, a redução do número de perguntas, a melhoria na formulação das mesmas e a renumeração da sequência.

Durante a realização desse primeiro experimento, observou-se que, dentro de um período de 30 minutos, os dados climáticos praticamente não variaram e que, dessa forma, os parâmetros climáticos poderiam ser coletados dentro de intervalos pré-fixados.

No segundo experimento piloto foram testados os equipamentos junto à Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC em três dias consecutivos, 15, 16 e 17 de Junho de 2011, às 09:00 e 15:00h. O resultado pode ser visualizado no Quadro 18.

Quadro 18 – Aferição do termo-higrômetro e do anemômetro com os dados da Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC.

Data	Hora	Temperatura do ar (°C)		Temperatura de bulbo úmido (°C)		Umidade relativa (%)		Velocidade do vento (m/s)	
		Estação	Equip.	Estação	Equip.	Estação	Equip.	Estação	Equip.
15/06/2011	09:00	28,4	28,5	23,2	23,0	63	64	7,0	6,2
	15:00	32,4	32,0	23,5	23,1	44	44	2,5	2,5
16/06/2011	09:00	27,0	26,9	21,4	21,3	63	63	4,0	4,3
	15:00	29,6	29,3	24,0	24,0	59	60	4,5	5,0
17/06/2011	09:00	27,4	27,3	24,2	24,1	76	74	2,5	2,8
	15:00	29,8	29,4	24,6	24,4	64	62	4,0	3,5

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

O termômetro de globo utilizado na pesquisa foi gentilmente cedido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica da Universidade Federal do Ceará, normalmente utilizado nas disciplinas de Segurança do Trabalho. Os procedimentos usados no levantamento dos dados são descritos a seguir.

3.3.10 Procedimentos de coleta

Os questionários foram preenchidos pelo pesquisador e identificados apenas por números e códigos, mantendo-se o anonimato dos entrevistados. As medições e entrevistas foram feitas à sombra, com o entrevistado na posição em pé, não devendo o mesmo estar a uma distância superior a 3m dos equipamentos. A amostragem foi feita por conveniência, onde o entrevistador sonda a opinião dos que estão mais próximos e acessíveis.

O termo-higrômetro foi protegido do sol e do vento, em um abrigo meteorológico disposto a 1,10m acima do nível do solo, aproximadamente, na altura do tórax de uma pessoa. Segundo Matzarakis, Mayer e Iziomon (1999), essa altura é biometeorologicamente significativa para os seres humanos, pois representa a altura média do centro de gravidade de uma pessoa em pé. Esse mesmo valor é adotado por Monteiro (2008), Hirashima (2010) e Rossi (2012) em experimentos dessa natureza, realizados no Brasil, seguindo as especificações previstas na ISO 7726/1998 (Quadro 19). O termômetro de globo foi colocado sobre um tripé com o globo alcançando 1,7m acima do nível do solo, na altura da cabeça para uma pessoa em pé.

Quadro 19 – Altura de medição para as variáveis ambientais.

	Sentada	Em pé
Nível da cabeça	1,10m	1,70m
Nível do abdômen	0,60m	1,10m
Nível do tornozelo	0,10m	0,10m

Fonte: Rossi (2012).

A instalação dos instrumentos nos pontos pré-definidos foi realizada com 30 minutos de antecedência, para que as medidas dos termômetros se estabilizem. Na coleta da velocidade do vento, registraram-se a maior e a menor velocidade em um período de 1 minuto e anotou-se o valor de maior insistência dentro desse intervalo. A nebulosidade foi mensurada em oitavos, seguindo a metodologia sugerida por Silva (2006).

Antecedendo a entrevista, foi feita uma breve explanação sobre a importância do tema e os objetivos da pesquisa. Também foi ressaltado que o estudo busca pelo quanto

quente ou frio as pessoas sentem-se ou desejam sentir-se naquele momento, e não o quanto quente ou frio é o meio em que elas se encontram, evitando-se ambiguidade nas respostas.

A coleta dos parâmetros climáticos, normalmente, é realizada logo após a entrevista, mas, como ressaltado durante o experimento piloto, a não observância de uma variação significativa que justifique essa simultaneidade faz com que se estabeleça um intervalo de quinze minutos entre uma medição e outra. Os dados climáticos coletados foram registrados, manualmente, em uma planilha de medição (Apêndice D) e comparados com os dados coletados na Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC.

3.3 Coleta de dados

Essa fase refere-se à coleta dos dados propriamente dita. Requer a definição das datas e horários de medição e os procedimentos a serem tomados durante a aquisição das informações.

3.3.1 Coleta de dados secundários

A caracterização climática da cidade foi feita com base nos dados horários, mensais e anuais da precipitação, umidade, nebulosidade, insolação, temperatura do ar, velocidade e direção do vento coletados nas estações meteorológicas convencionais de superfície do Aeroporto Internacional Pinto Martins e do Campus do Pici/UFC, referentes, respectivamente, aos períodos de 1991 a 2010 e 1980 a 2010. As duas estações foram utilizadas porque pretendeu-se fazer uma caracterização horária e mensal, mas, como a Estação do Aeroporto não dispõe de todos os dados, sempre que foi necessário se recorreu aos dados do Campus do Pici/UFC.

Os dados coletados na Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins são mensais e anuais descritos dentro do perfil de 24h. Vale ressaltar que a umidade relativa passou a ser coletada dentro do perfil de 24h somente a partir de 1991, delimitando o período adotado (1991 a 2010). Os dados são obtidos a partir da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica, disponível para consulta no *site*: <http://www.redemet.aer.mil.br/>.

Na Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC, os dados são coletados, diariamente, às 09:00, 15:00 e 21:00h desde 1966. Tendo-se em vista a disponibilidade dos dados e o fato de que o estudo não busca nem uma análise comparativa nem a interpolação de valores, foi possível definir um período de trinta anos para os dados diários da Estação

Meteorológica do Campus do Pici/UFC. Após a coleta, os dados de ambas as estações foram organizados em tabelas, contendo as médias horárias, mensais e anuais.

A radiação, a temperatura média radiante e alguns parâmetros que definem o teor de umidade do ar foram calculados conforme descrição feita no item 3.1.2.1. Todos os parâmetros climáticos usados na caracterização climática da cidade foram tratados graficamente utilizando o programa *Excel*.

O programa *Urbanus Canyon_2010* foi utilizado no cálculo do índice de estresse térmico *HL (Heat Load)* ao longo das horas do ano e dos valores máximos de radiação solar que contribuem com a neutralidade térmica do pedestre.

O *software* é elaborado pelo Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAUUSP) e está disponível para o uso público no endereço eletrônico da própria universidade: http://www.fau.usp.br/pesquisa/lab_nuc/labaut/conforto/index.html. O objetivo principal do modelo é identificar a sensação térmica e o grau de estresse térmico do pedestre em espaços urbanos abertos sem obstrução, levando em consideração as características climáticas de cidades brasileiras.

Para a cidade de Fortaleza, o banco de dados do programa *Urbanus Canyon_2010* é formado pelos dados climáticos da Estação Meteorológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), coletados entre os anos de 1961 a 1990. O seu desenvolvimento segue a metodologia proposta pela norma alemã VDI 3787/Parte II (ALUCCI, 2011).

O programa *Analysis Sol-Ar 6.2* é utilizado para identificar a trajetória solar de Fortaleza. Desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) visa auxiliar no projeto de proteções solares e análises de posicionamento de edificações. Está disponível no *site*: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>.

De acordo com a disponibilidade de dados, o *Analysis Sol-Ar 6.2* também permite a visualização de intervalos de dados de radiação e temperatura correspondentes às trajetórias solares ao longo do ano e do dia. O banco de dados do programa para a cidade de Fortaleza é composto por dados horários oriundos da Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins no período de 1961 a 1970, tratados em arquivos do tipo CSV por Goulart, Lamberts e Firmino (1998).

A seguir é apresentada a programação da pesquisa de campo, onde são definidos os dias, os horários de medição e o número de questionários para cada ponto determinado anteriormente.

3.3.2 Programação da pesquisa de campo

Os levantamentos de campo foram realizados em dias úteis e, sempre que possível, em dias consecutivos. Uma vez que o objetivo da realização da pesquisa de campo não consistia em analisar o espaço físico e sim a percepção subjetiva das pessoas com relação ao clima no momento em que estavam sendo entrevistadas, não foi necessário que as medições acontecessem concomitantemente em todos os pontos. As datas e horários definidos para a coleta dos dados e o número de pessoas correspondente são mostrados no Quadro 20.

Quadro 20 – Programação pesquisa de campo.

1º Período				2º Período			
Data	Local	N _{Quest}	Horário	Data	Local	N _{Quest}	Horário
06.07.11	P6	30	09:00 - 16:00	31.08.11	P8	30	09:00 - 16:00
07.07.11	P8	30	09:00 - 16:00	02.09.11	P7	30	09:00 - 16:00
13.07.11	P7	30	09:00 - 16:00	06.09.11	P5	30	09:00 - 16:00
19.07.11	P5	30	09:00 - 16:00	08.09.11	P6	30	09:00 - 16:00
20.07.11	P1	30	09:00 - 16:00	09.09.11	P2	30	09:00 - 16:00
21.07.11	P2	30	09:00 - 16:00	13.09.11	P4	30	09:00 - 16:00
22.07.11	P3	30	09:00 - 16:00	14.09.11	P3	30	09:00 - 16:00
26.07.11	P4	30	09:00 - 16:00	15.09.11	P1	30	09:00 - 16:00
3º Período				4º Período			
Data	Local	N _{Quest}	Horário	Data	Local	N _{Quest}	Horário
05.01.12	P3	30	09:00 - 16:00	23.03.12	P5	30	09:00 - 16:00
06.01.12	P2	30	09:00 - 16:00	26.03.12	P3	30	09:00 - 16:00
11.01.12	P4	30	09:00 - 16:00	17.04.12	P7	30	09:00 - 16:00
12.01.12	P6	30	09:00 - 16:00	18.04.12	P8	30	09:00 - 16:00
13.01.12	P8	30	09:00 - 16:00	25.04.12	P2	30	09:00 - 16:00
16.01.12	P5	30	09:00 - 16:00	26.04.12	P6	30	09:00 - 16:00
17.01.12	P7	30	09:00 - 16:00	27.04.12	P4	30	09:00 - 16:00
20.01.12	P1	30	09:00 - 16:00	30.04.12	P1	30	09:00 - 16:00

P1 – Praça da Estação; P2 – Praça do Ferreira; P3 – Praça da Imprensa; P4 – Praça dos Estressados/Beira-Mar; P5 – Praça Portugal; P6 – DETRAN/Sede Maraponga; P7 – UFC/Campus do Pici; P8 – UECE/Campus do Itaperi.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

3.4 Tratamento dos dados coletados

Nessa etapa, primeiramente, os questionários são cuidadosamente avaliados um a um. Após a conferência e o cálculo da resistência térmica do vestuário, do metabolismo e do índice de massa corpórea, as informações coletadas são, então, codificadas, digitalizadas e organizadas em planilhas eletrônicas.

Algumas informações contidas no questionário e no levantamento dos dados climáticos são agrupadas para facilitar a análise das respostas. Os Quadros 21 e 22 apresentam, respectivamente, os critérios adotados.

Quadro 21 – Critérios adotados no agrupamento de classes de variáveis individuais.

Questões	Classes	
Naturalidade ou nacionalidade	Estado do Ceará	Europa
	Região Norte	América do Norte
	Região Nordeste	América Central
	Região Centro-Oeste	América do Sul
	Região Sudeste	África
	Região Sul	Ásia Oceania
Tempo que reside em Fortaleza	Sempre	10 a 20 anos
	2 a 5 anos	≥ 20 anos
	5 a 10 anos	
Regional* de Fortaleza em que reside	Secretaria Regional do Centro	Secretaria Regional IV
	Secretaria Regional I	Secretaria Regional V
	Secretaria Regional II	Secretaria Regional VI
	Secretaria Regional III	Região Metropolitana de Fortaleza
Idade	10 a 20 anos	41 a 50 anos
	21 a 30 anos	51 a 60 anos
	31 a 40 anos	> 60 anos
Índice de Massa Corpórea ($IMC = \frac{\text{peso}}{\text{altura}^2}$)	Abaixo do peso ($\leq 18,5\text{kg/m}^2$)	Obesidade I ($30,0$ a $34,9\text{kg/m}^2$)
	Peso normal ($18,5$ a $24,9\text{kg/m}^2$)	Obesidade severa ($35,0$ a $39,9\text{kg/m}^2$)
	Acima do peso ($25,0$ a $29,9\text{kg/m}^2$)	Obesidade mórbida ($\geq 40,0\text{kg/m}^2$)
Nível de atividade metabólica	Descanso ($\leq 40\text{W/m}^2$)	Alto (200 a 230W/m^2)
	Baixo (41 a 130W/m^2)	Muito alto ($> 230\text{W/m}^2$)
	Moderado (131 a 199W/m^2)	

*As informações foram coletadas na forma de Bairro e posteriormente agrupadas em Regional. No Apêndice E encontra-se a relação de bairros que compõem cada Regional.

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Quadro 22 – Critérios adotados na classificação da cobertura de nuvens / condição do céu.

Cód.	Categoria	Cobertura de nuvens	Porcentagem	Definição	Oitavas
(1)	Céu limpo (ensolarado)	Céu limpo	0%	Céu claro e nenhum vestígio de nuvens	0
		Céu claro	0 – 10%	1/8 ou menos do céu está coberto por nuvens	1
		Céu com nuvens isoladas	10 – 25%	2/8 do céu está coberto por nuvens, nuvens dispersas	2
(2)	Céu parcialmente encoberto	Céu com nuvens espalhadas	25 – 50%	3/8 do céu está coberto por nuvens	3
		Céu com nuvens quebradas	50 – 90%	4/8 do céu está coberto por nuvens	4
		Céu com nuvens quebradas	50 – 90%	5/8 do céu está coberto por nuvens	5
(3)	Céu encoberto	Céu com nuvens quebradas	50 – 90%	6/8 do céu está coberto por nuvens	6
		Céu com nuvens quebradas	50 – 90%	7/8 ou mais do céu está coberto por nuvens, mas não completamente	7
(4)	Totalmente encoberto	Céu nublado	> 90%	8/8 do céu está completamente coberto por nuvens	8

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

3.4.1 Cálculo dos índices e variáveis ambientais

Os índices térmicos foram calculados para cada pessoa entrevistada com base nas suas características individuais e nas variáveis climáticas medidas no ato da entrevista. Os índices simples foram calculados conforme as equações apresentadas durante a descrição de cada um, constante no Apêndice B. Os índices *PET* e *PMV* foram calculados a partir do programa *RayMan* versão 1.2 e o *UTCI*, através do *software BioKlima* versão 2.6.

O modelo *RayMan* é desenvolvido com base nas diretrizes alemãs VDI-3789, Parte II: Interações entre Atmosfera e Superfície, Cálculo das radiações de onda-curta e longa; e VDI-3787, Parte I: Métodos para a avaliação biometeorológica humana do clima e qualidade do ar para o planejamento urbano e regional (MATZARAKIS; MAYER, 2000; MATZARAKIS; RUTZ, 2005).

O cálculo dos índices *PMV* e *PET* é um dos produtos finais do modelo. Para a sua estimativa é necessária a introdução:

- da localização geográfica, data e hora,
- dos parâmetros meteorológicos - temperatura do ar (°C), umidade relativa (%) ou pressão do vapor d'água (hPa), velocidade do vento (m/s), nebulosidade (oitavas), radiação global (W/m²) e temperatura média radiante (°C); e
- das variáveis individuais - altura (m), peso (kg), idade, sexo, vestuário (clo) e atividade metabólica (W).

O cálculo dos índices pelo *RayMan* é feito individualmente por causa das variáveis individuais (MATZARAKIS; MAYER; RUTZ, 2002). O cálculo do *UTCI* pelo *BioKlima* também considera as características individuais, mas permite a introdução de um arquivo de texto, facilitando a obtenção dos resultados.

O *BioKlima* foi desenvolvido por Krzysztof Blazejczyk para estudos bioclimáticos e termofisiológicos. O programa permite o cálculo de vários índices, dentre eles o *UTCI*, a partir da inserção, manual ou em arquivos de texto, de dados de entrada. Para o cálculo do *UTCI* são necessários os seguintes parâmetros: a umidade relativa, o isolamento do vestuário, a taxa metabólica, a temperatura média radiante, a nebulosidade, o sexo, a temperatura do ar, a altitude solar e a velocidade do vento na altura de 10m, além dos dados referentes à localização geográfica, data e hora.

3.4.2 Tratamento estatístico

O tratamento estatístico dos dados foi realizado com o apoio do Laboratório de Estatística e Matemática Aplicada – LEMA do Departamento de Estatística da Universidade Federal do Ceará, em duas etapas distintas. A primeira consistiu na análise descritiva das informações coletadas e verificação da aplicabilidade dos índices. A segunda tratou da definição de novos limites de conforto para os índices calculados e parâmetros climáticos.

3.4.2.1 Análise descritiva dos dados

A análise foi realizada usando o *software* estatístico R 3.0.1 (R Core Team 2013) de domínio público, desenvolvido por *The R Development Core Team*, disponível no site: <http://cran.r-project.org>, considerando-se o conjunto de dados de todos os períodos. Inicialmente, são verificadas as frequências absolutas e relativas, medidas de tendência central e variabilidade, valores máximos e mínimos de todas as variáveis, além da elaboração de gráficos.

Em seguida aplica-se o teste de correlação linear de Pearson a um nível de significância de 1%, para testar a existência de correlação entre a temperatura média radiante calculada por meio do modelo *RayMan* e a calculada conforme equação estabelecida pela ISO 7726 e por Belding. O coeficiente de correlação (r) mede o grau de associação entre as variáveis dependente e independente (y e x). Seu valor varia de -1 (correlação negativa) a 1 (correlação positiva). A correlação é nula quando r é igual a zero, é fraca entre 0,0 e 0,3, regular, se r estiver entre 0,3 e 0,7, forte, quando r assume valores entre 0,7 e 0,9 e perfeita quando for igual a um (SILVA; DINIZ; BORTOLUZZI, 2009).

Posteriormente, com o objetivo de verificar a existência de associação entre as variáveis são elaboradas tabelas de contingência e aplicado o teste assintótico qui-quadrado de independência. Seu objetivo é verificar se a distribuição das frequências observadas se desvia significativamente das frequências esperadas, mas não permite obter qualquer evidência com relação à intensidade ou sentido da inter-relação.

As hipóteses testadas foram:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \text{Existe independência entre as variáveis} \\ H_1: \text{Não existe independência entre as variáveis} \end{array} \right.$$

O teste é aplicado às variáveis qualitativas nominais e ordinais, mas é necessário que cada célula da tabela tenha valor esperado maior ou igual a cinco, caso isso não ocorra,

aplica-se a correção de continuidade de Yates. Se o nível de significância for maior que o p-valor, rejeita-se a hipótese nula e considera-se a existência de associação entre as variáveis.

São testadas as seguintes relações: Índice de Massa Corpórea e Sensação Térmica Atual e Desejada, Disposição Física e Tempo de Exposição, Disposição Física e Sensação Térmica Atual e Desejada, Tempo de Exposição e Sensação Térmica Atual e Desejada, Umidade da Pele e Nível de Conforto e Sensação Térmica Atual e, finalizando, Sensação Térmica Atual e Desejada.

Com o objetivo de investigar a aplicabilidade dos índices térmicos utilizados no estudo, tomando como base, a sensação térmica atual relatada pelos entrevistados, adota-se a técnica da ANOVA para comparação entre grupos a um nível de significância de 5% (MONTGOMERY, 2012).

A análise de variância (ANOVA) é um teste paramétrico de hipóteses apropriado para comparar conjuntos de dados quantitativos, em termos de seus valores médios. Dessa forma, é realizada a comparação das médias dos valores dos índices térmicos, entre as diferentes categorias (grupos) de sensação térmica relatada.

Assume como pressupostos, a aleatoriedade e independência, a normalidade dos valores da amostra em cada um dos grupos e a homogeneidade de variância dos grupos (LOURENÇO, 2004; MONTGOMERY, 2012). A verificação da suposição de homogeneidade de variâncias, entre os grupos, é realizada através do teste de Levene (LEVENE, 1960) e, para avaliar a suposição de normalidade de resíduos utiliza-se o teste não-paramétrico de Shapiro (SPRENT; SMEETON, 2001).

Nesse estudo, desejou-se saber se a medida do indicador índice térmico diferiu entre os níveis de sensação térmica atual, assim, testou-se o efeito entre as categorias (grupos) de sensação térmica a partir das hipóteses:

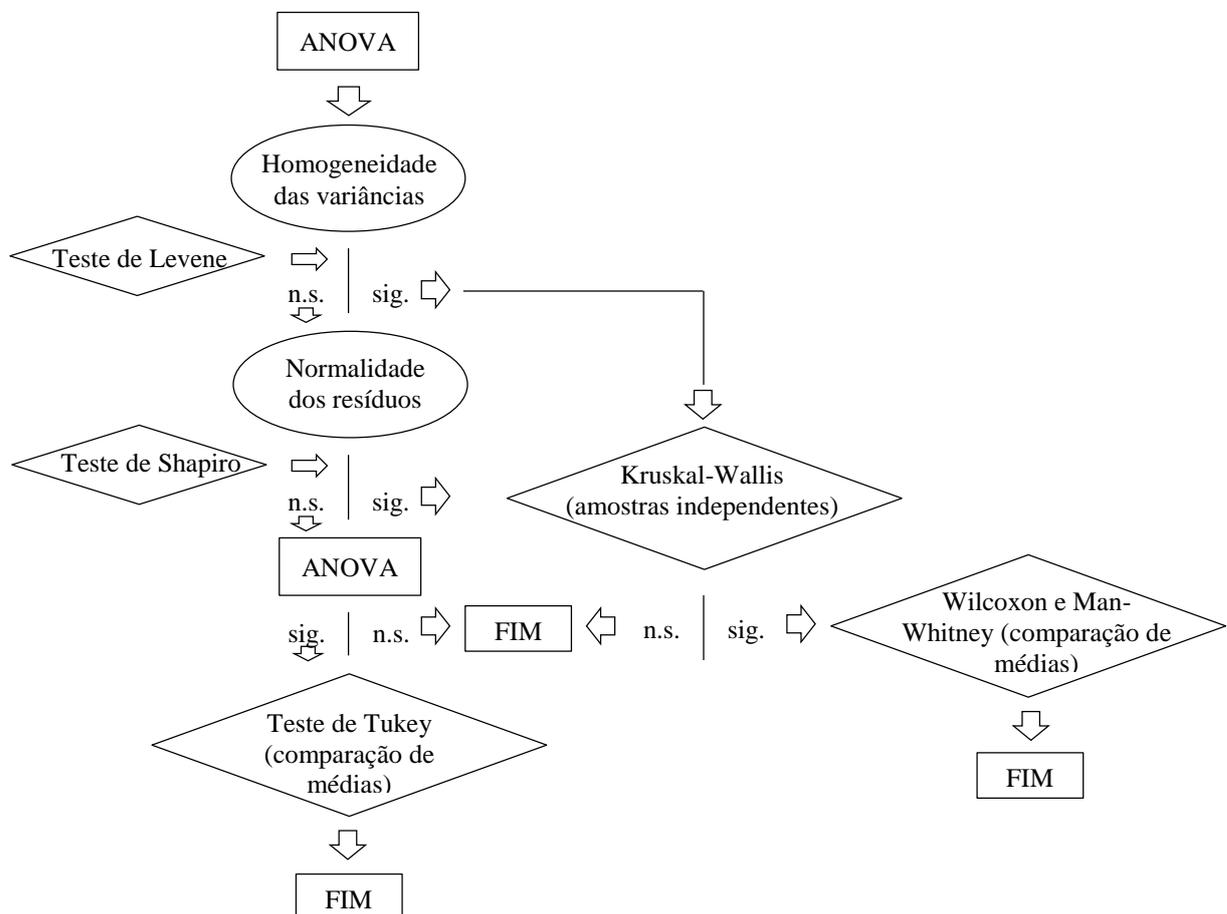
- H₀: Não há diferença significativa nas médias dos valores dos índices térmicos para as diferentes categorias (grupos) de sensação térmica relatada.
- H₁: Existe diferença significativa na média dos índices térmicos em pelo menos uma categoria (grupo) de sensação térmica relatada.

Enquanto a hipótese nula (H_0) considera que o fator variado entre os grupos não afeta de forma significativa a média dos resultados obtidos, a hipótese alternativa (H_1) admite que, pelo menos, uma das médias é diferente das demais devido ao fator considerado.

Quando se conclui, pela análise de variância, que existe diferença entre as médias dos grupos, não se obtém quais dos grupos possui média diferente dos demais. Para responder essa questão utiliza-se um teste auxiliar após a ANOVA, chamado teste de Tukey (MONTGOMERY, 2012). Esse teste permite testar qualquer contraste entre duas médias.

No caso de violação de algum dos pressupostos de aplicação da ANOVA, a comparação entre grupos é feita através do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis para amostras independentes e as diferenças entre grupos independentes são testadas através dos testes de Wilcoxon e Man-Whitney (SPRENT; SMEETON, 2001). A Figura 17 mostra o fluxograma da metodologia da ANOVA.

Figura 17 – Fluxograma da metodologia da ANOVA.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

3.4.2.2 Análise de regressão probit

As análises de regressão não-linear tipo *probit* são realizadas com o *software* estatístico R 3.0.1 (R Core Team 2013) de domínio público, desenvolvido por The R Development Core Team, disponível no site: <http://cran.r-project.org>.

Esse tipo de análise vem sendo adotada em diversos estudos que têm por objetivo estabelecer os limites de conforto adequados às variáveis analisadas (DE DEAR; BRAGER, 1997; XAVIER, 1999; GONÇALVES; VALLE; GARCIA, 2001; SPAGNOLO; DE DEAR, 2003; LYRA, 2007; LIN *et al.*, 2009).

No modelo *probit*, a variável resposta ou dependente assume só dois valores (sim = 1 ou não = 0; presença = 1 ou ausência = 0) e o objetivo é estimar a probabilidade (ou percentagem) de indivíduos em cada uma das duas categorias de resposta, em função da variável regressora de interesse (MCCULLAGH; NELDER, 1989). Segundo Agresti (2002), usualmente, esse tipo de relação é descrita não linearmente através de modelos lineares generalizados e, de forma particular, o modelo *probit* é expresso como:

$$P(Y = 1 | X = x) = \Phi(\beta_0 + \beta_1 x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\beta_0 + \beta_1 x} e^{-z^2/2} dz \quad (26)$$

onde:

Y=1 é a variável indicadora informando a presença de determinada sensação térmica e Y=0 caso contrário,

X é a variável regressora que descreve o índice térmico ou a variável climática de interesse,

Φ é a função acumulada da distribuição normal padronizada, e

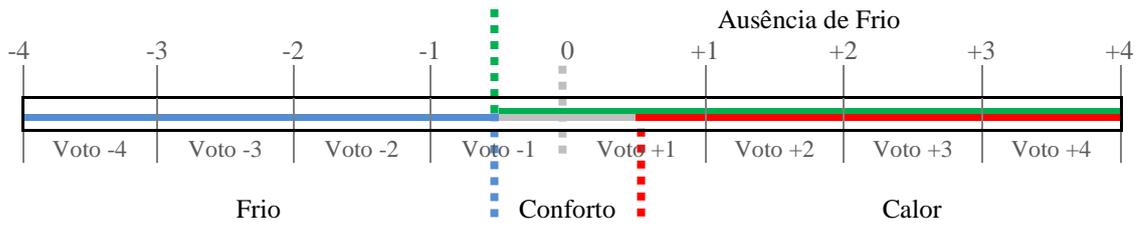
β_0 e β_1 são os parâmetros do modelo da regressão *probit*.

Neste estudo foram avaliadas duas variáveis dependentes a fim de identificar os limites inferior e superior de conforto mais adequados à realidade local. São elas: desconforto devido ao calor e ausência de frio.

Apesar da análise *probit* ser mais aplicável que a regressão linear (FINNEY, 1971 *apud* DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997), ela requer respostas binárias enquanto a Sensação Térmica Atual é graduada em uma escala de nove pontos. Geralmente, a solução adotada é considerar os indivíduos que votam “mais frio que neutro” (STA < 0) em um grupo e os que votam “mais quente que neutro” (STA > 0) em outro grupo e os que votam “neutro” (STA = 0) são repartidos ao meio, entre ambos os grupos (SPAGNOLO; DE DEAR, 2003).

Mas, de acordo com Xavier (1999), uma vez que a escala de percepção térmica não prevê o voto +0,5 ou -0,5, o que segundo ASHRAE (2004), representaria uma faixa de aceitabilidade térmica, o indivíduo que vota +1,0 pode estar votando desde +0,1 até +1,0 e, portanto, a amplitude do voto pode ser subdividida como se fosse de +0,1 a +0,5 (conforto) e de +0,6 a +1,0 (desconforto), estabelecendo-se a mesma analogia para o voto -1,0 conforme interpretação apresentada na Figura 18.

Figura 18 – Interpretação dos votos de sensação térmica relatados.



A interpretação dos votos de sensação térmica relatados ainda pode ser escrita da seguinte maneira:

+4	⇒ Desconforto	} Calor	} Ausência de Frio
+3	⇒ Desconforto		
+2	⇒ Desconforto		
	⇒ 50% de +0,6 a +1,0 ⇒ Desconforto		
+1			
	⇒ 50% de +0,1 a +0,5 ⇒ Conforto		
0	⇒ Conforto		
	⇒ 50% de -0,1 a -0,5 ⇒ Conforto		
-1			
	⇒ 50% de -0,6 a 1,0 ⇒ Desconforto		
-2	⇒ Desconforto		
-3	⇒ Desconforto		
-4	⇒ Desconforto		

Fonte: Xavier (1999) adaptado pela autora (2015).

Levando em consideração as condições climáticas locais, supõem-se que a proporção de pessoas sentindo desconforto devido ao frio é muito baixa, então sugere-se que a faixa de conforto seja determinada pela diferença entre a percentagem de pessoas com ausência de frio e a percentagem de pessoas insatisfeitas devido ao calor, marcadas na Figura 18, pelas linhas verde e vermelha, respectivamente.

Antecedendo a análise *probit* propriamente dita, calcula-se o coeficiente de correlação de Pearson para avaliar a existência de correlação linear entre as variáveis ambientais e índices térmicos e a sensação térmica atual. Também são utilizados modelos de regressão linear polinomial para investigar as relações funcionais entre os percentuais de insatisfeitos com o calor e com ausência de frio com a sensação térmica atual. O modelo de regressão polinomial é dado por:

$$E(Y|X) = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i X^i \quad (27)$$

onde:

$E(Y|X)$ é o valor esperado da variável resposta Y condicionada à variável regressora X de interesse e seus graus

β_0 é o intercepto da regressão

β_i 's são as contribuições individuais dos graus das regressoras (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012).

Em todos os testes elaborados, o nível de significância adotado foi de 5%. Após a identificação das equações em que se estima o percentual de pessoas insatisfeitas devido ao calor e o percentual de pessoas com ausência de frio, substitui-se os valores +0,5 e -0,5 na primeira e segunda equação, respectivamente.

Os percentuais encontrados correspondem aos limites inferior e superior de conforto. São aplicados aos modelos *probit* a fim de se identificar os valores dos índices térmicos e variáveis ambientais que correspondem a esses percentuais, delimitando as novas faixas de conforto. Simultaneamente, também se identifica o valor em que 50% da população passa a manifestar desconforto devido ao calor. A seguir são ressaltadas algumas incertezas inerentes à aplicação dessa metodologia.

3.5 Incertezas experimentais

Em estudos experimentais podem ocorrer eventuais imprecisões nas diversas etapas da pesquisa, mesmo tomando-se todo cuidado possível. No presente estudo, admite-se a possibilidade de existirem incertezas na aquisição e registro das variáveis microclimáticas, subjetivas, individuais e de controle.

No que se refere às variáveis microclimáticas, as imprecisões podem ser atribuídas à calibração dos equipamentos e descalibração dos mesmos ao longo do ano, erros de leitura e anotação e digitalização dos dados levantados em campo.

Durante o procedimento de obtenção das informações adquiridas por meio da aplicação de questionários, é possível que fatores, como a interação entrevistador-entrevistado e o próprio entendimento do questionário pelo respondente, influenciem as respostas dadas. Além disso, mesmo com a conferência de cada questionário, há a possibilidade de erros durante a codificação, digitalização e tabulação das informações.

Apesar de todas as precauções tomadas para assegurar o rigor necessário à pesquisa e evitar que pequenos erros interfiram na validade, confiabilidade e fidedignidade dos resultados, ainda se admite a possibilidade de erros durante o tratamento estatístico.

No próximo capítulo são apresentados os resultados obtidos de acordo com os objetivos do presente estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo são apresentados e discutidos os resultados encontrados e, assim como na metodologia, também são abordados em etapas. Na primeira, é apresentada a caracterização da área de estudo, fundamentando a definição dos períodos e turnos para o trabalho de campo. Nas etapas seguintes são testadas as hipóteses levantadas e definidos os novos limites de conforto para os índices estudados e algumas variáveis climáticas.

4.1 Caracterização bioclimática da cidade de Fortaleza

A caracterização bioclimática é feita a partir da análise comportamental dos parâmetros climáticos. Inicialmente, aborda-se as condições pluviométricas e partindo dela, as demais variáveis, por fim, para uma melhor visualização, os valores são plotados na Carta Bioclimática adaptada ao Brasil (ABNT, 2003), onde são identificadas as estratégias sugeridas.

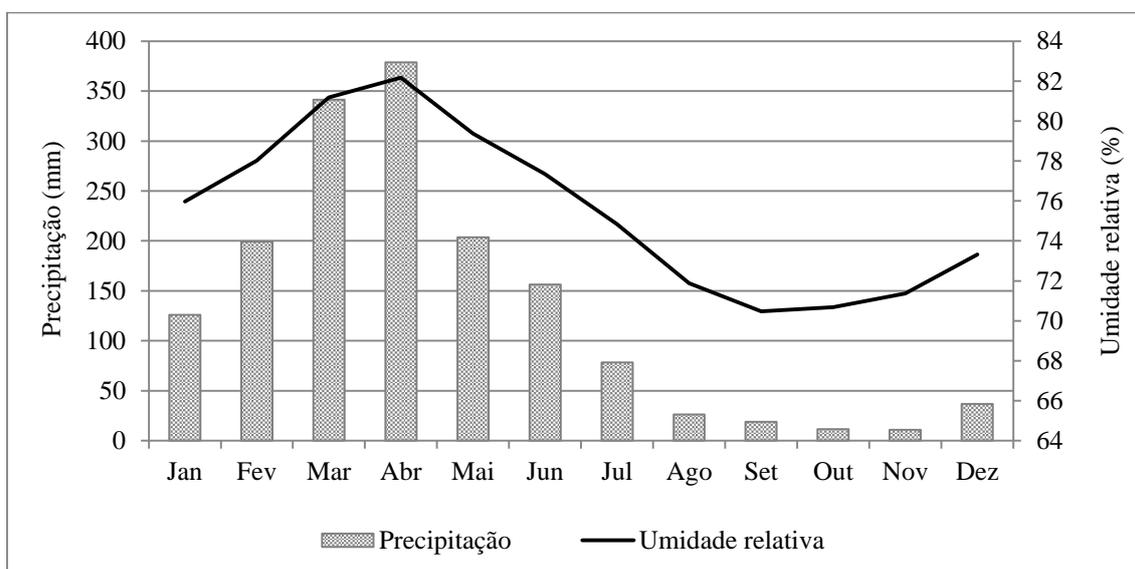
Apesar da distribuição da precipitação ser muito irregular, ela segue um padrão similar ano a ano. Em média, segundo dados de 1980 a 2010 da Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC, a quantidade de chuva, em Fortaleza, é de 1567,67mm por ano, ocorrendo principalmente entre os meses de Fevereiro a Maio (Figura 19). Nesse período, atua a ZCIT, principal sistema atmosférico produtor de chuvas no Estado, concentrando, aproximadamente, 71% do total precipitado ao longo do ano.

Segundo Teixeira (2008), sua maior incidência ocorre no período noturno do dia, principalmente durante a madrugada, até o início da manhã. Conforme apresentado na Figura 20, pode-se perceber que a precipitação total acumulada, em Fortaleza, entre 21:00 e 09:00h corresponde a, aproximadamente, 80% da quantidade de chuva precipitada durante o período de 1980 a 2010. Também é possível verificar que a frequência de ocorrência da precipitação é maior durante este horário.

A umidade relativa acompanha o regime pluvial e, em média, é considerada elevada durante todo o ano (76%) (Figura 19). Esse fato se deve à camada de ar úmido que se forma sobre o oceano, tornando as áreas costeiras mais úmidas. Os valores mais elevados ocorrem no meio do primeiro semestre atingindo o valor máximo em Abril (em média, 82%). Os mínimos são alcançados durante a estação seca, chegando a, em média, 70% em Setembro.

Visto que a capacidade do ar de reter vapor d'água é diretamente proporcional ao aumento da temperatura, a umidade relativa diminui a partir do nascer do Sol, atinge o valor mínimo nas horas mais quentes do dia, voltando a aumentar logo em seguida (Figura 21).

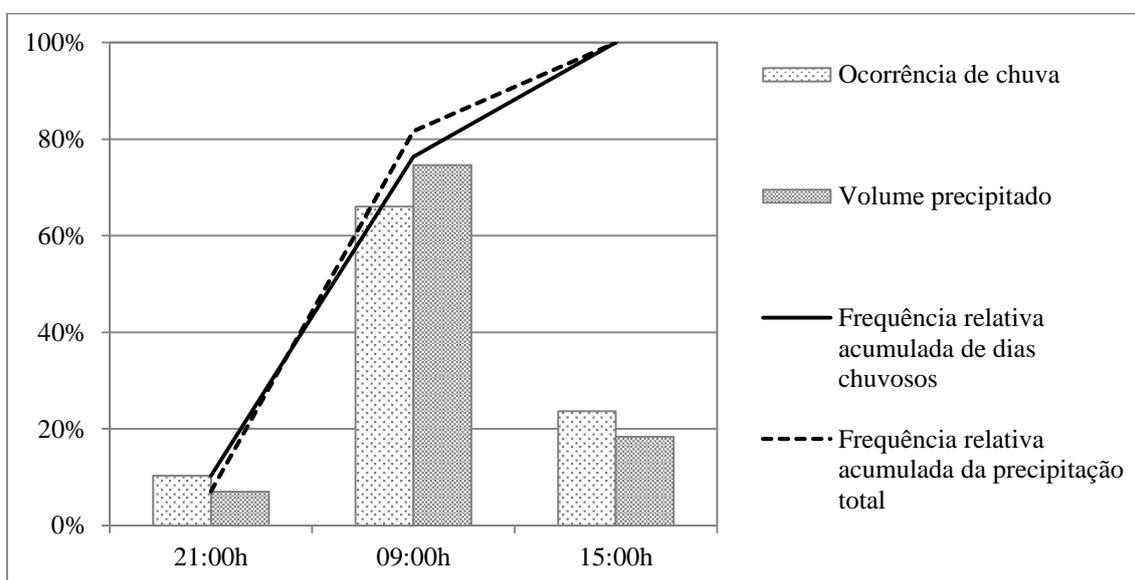
Figura 19 - Regime pluviométrico médio (mm) e nível de umidade relativa (%) mensal da cidade de Fortaleza, CE, durante o período de 1980 a 2010.



Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Figura 20 - Frequência relativa e acumulada da ocorrência horária de precipitação e da quantidade total de chuva em Fortaleza, CE durante o período de 1980 a 2010.

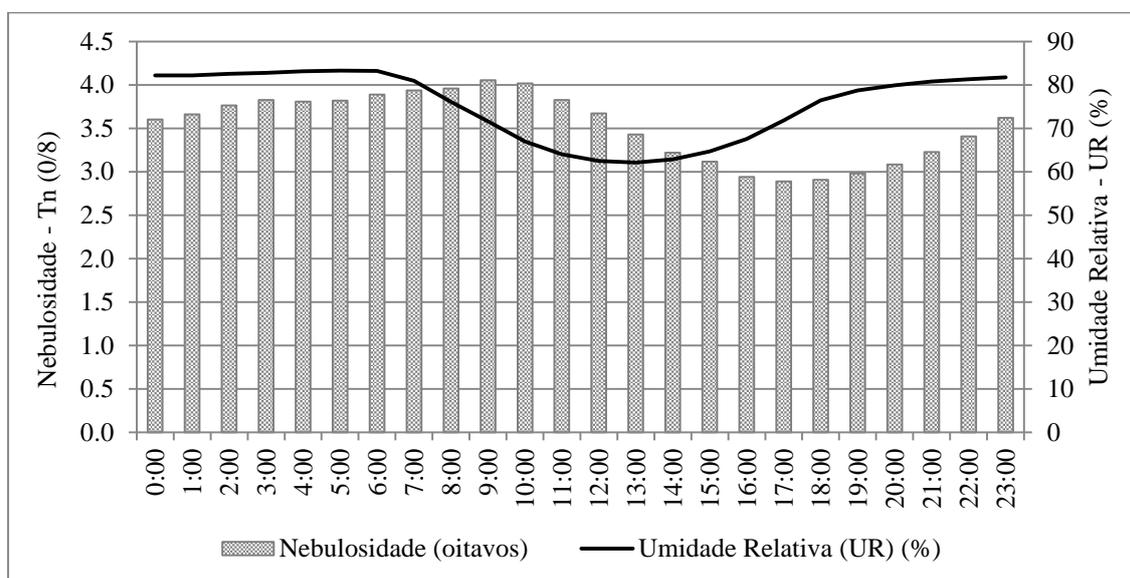


Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

De acordo com Rivero (1986), para que a condição de conforto seja alcançada, a umidade deve situar-se entre 30 e 60%. Levando-se em consideração esse limite, verifica-se que Fortaleza está fora da zona de conforto durante todo o ano (Figura 19), tendo somente uma leve aproximação entre 10:00 e 16:00h (Figura 21).

Figura 21 - Comportamento médio horário da Nebulosidade (0/8) e Umidade Relativa (%) em Fortaleza, CE no período de 1991 a 2010.



Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins.

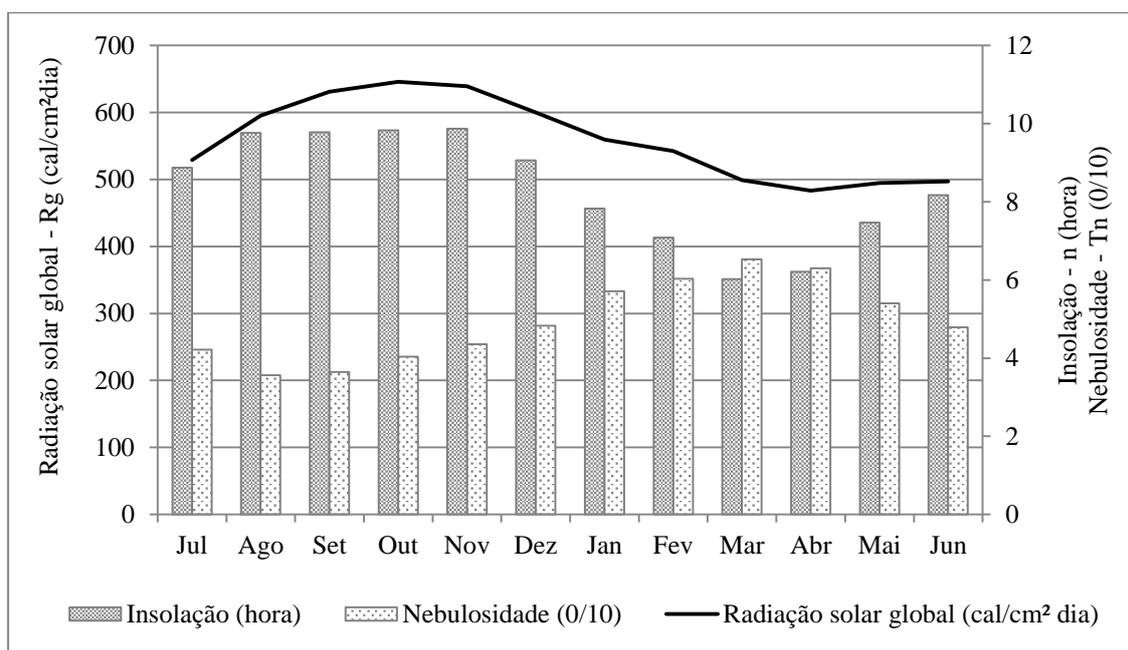
Fonte: Elaborada pela autora (2015).

A distribuição média anual da nebulosidade varia com a latitude. Em Fortaleza, situa-se em torno de 4/8, o que, segundo a classificação adotada por Brown e Dekay (2004), confere ao céu condições de “céu parcialmente nublado”. Em geral, é maior durante o dia e menor, na estação seca (Figuras 21 e 22) devido à quantidade de vapor d’água presente na atmosfera. A radiação solar global e a insolação apresentam o mesmo comportamento anual enquanto para a nebulosidade, o sentido é inverso (Figura 22).

Essa característica de céu parcialmente nublado durante quase todo o ano, em especial no período diurno, atenua a incidência direta da radiação solar. Isso pode ser percebido quando a radiação atinge níveis mais elevados e a nebulosidade é menor, fazendo-se sentir de uma forma mais intensa o efeito da radiação no conforto térmico.

Mas, se por um lado, a nebulosidade atenua a quantidade de radiação solar que atinge o solo diretamente, por outro, ela dificulta a liberação da radiação emitida pela superfície terrestre para o espaço. Em função do balanço energético, pode-se dizer que quanto maior a nebulosidade, a umidade e a presença de poluentes, menores são as perdas radiativas para os níveis mais elevados da atmosfera. Em termos de conforto térmico, isso significa dizer que na presença de uma elevada temperatura, essa combinação gera a sensação de abafado, bem típica de um dia de verão muito nublado (SILVA, 2006).

Figura 22 - Comportamento médio mensal da Nebulosidade (0/10), da Insolação (horas) e da Radiação Solar Global (cal/cm²dia) em Fortaleza, CE no período de 1980 a 2010.



Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC.

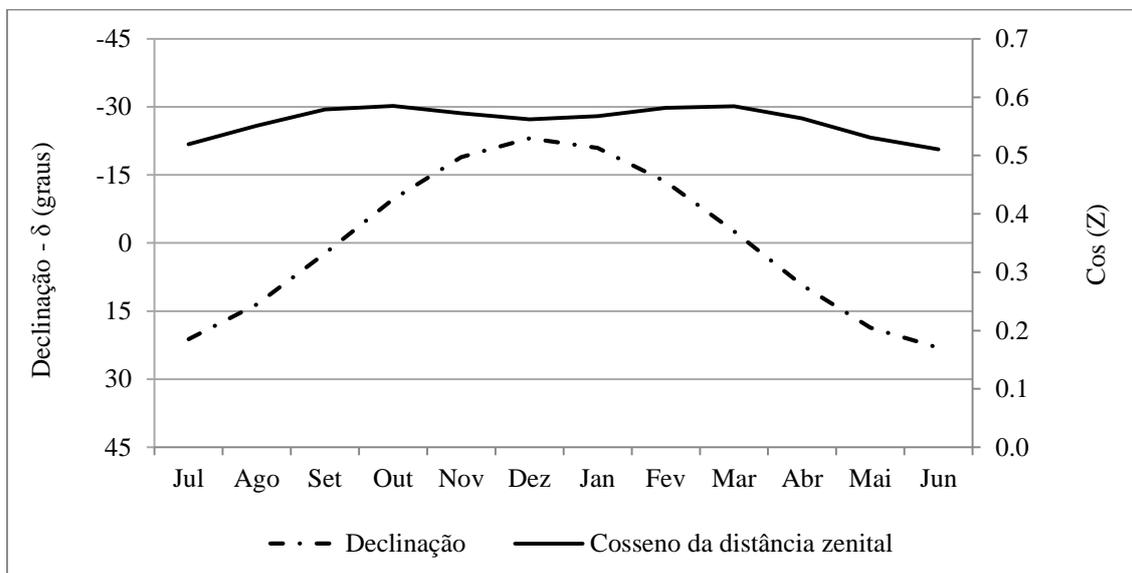
Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Segundo Tubelis e Nascimento (1987), nas latitudes baixas, as intensidades máximas de radiação solar ocorrem em dois momentos, antes e depois do Solstício de Verão, e se afastam com a diminuição da latitude, coincidindo com os Equinócios na latitude do Equador. A Figura 23 mostra o curso anual da declinação do sol e do cosseno do ângulo zenital para a latitude de Fortaleza. Os valores máximos ocorrem em Outubro e Março, e os mínimos, em Dezembro e Junho, porém a variação entre estes valores é muito pequena. Isso justifica o porquê das diferenças entre as estações do ano, sob o ponto de vista energético, não serem tão perceptíveis.

Na latitude de Fortaleza, a diferença máxima entre o nascer e o pôr do Sol ao longo do ano é de aproximadamente 20 minutos. Por esse motivo, praticamente não se percebe a diferença entre a duração dos dias e das noites durante o ano e, aparentemente, o Sol nasce e se põe sempre no mesmo horário. Entretanto, no Solstício de Inverno, o Sol nasce às 06h 06' 36'' e se põe às 17h 54' 00'' e, no Solstício de Verão, nasce às 05h 53' 24'' e se põe às 18h 06' 00''.

Na Figura 24 verifica-se a pequena variação existente na irradiância solar entre as estações do ano. As diferenças são maiores entre 10:00 e 15:00h, principalmente, nos Solstícios, quando a declinação atinge seus valores extremos (Dezembro e Junho) (Figura 24). Provavelmente, esse é o horário em que o desconforto térmico é mais intenso.

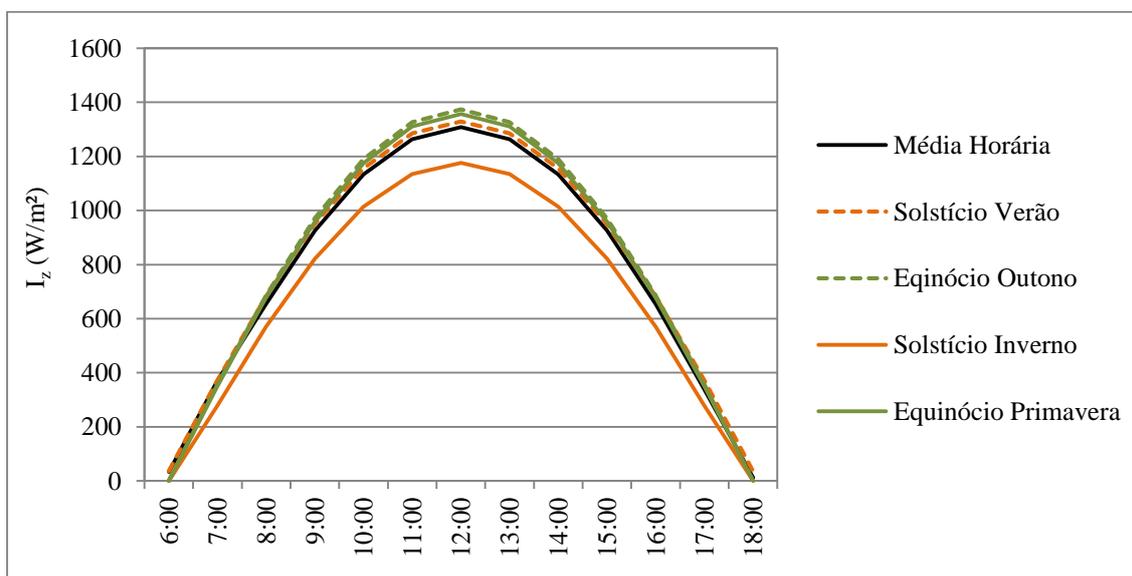
Figura 23 - Curso anual da declinação do Sol (δ) e do cosseno do ângulo zenital ($Cos(Z)$) para a latitude de Fortaleza, CE.



Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

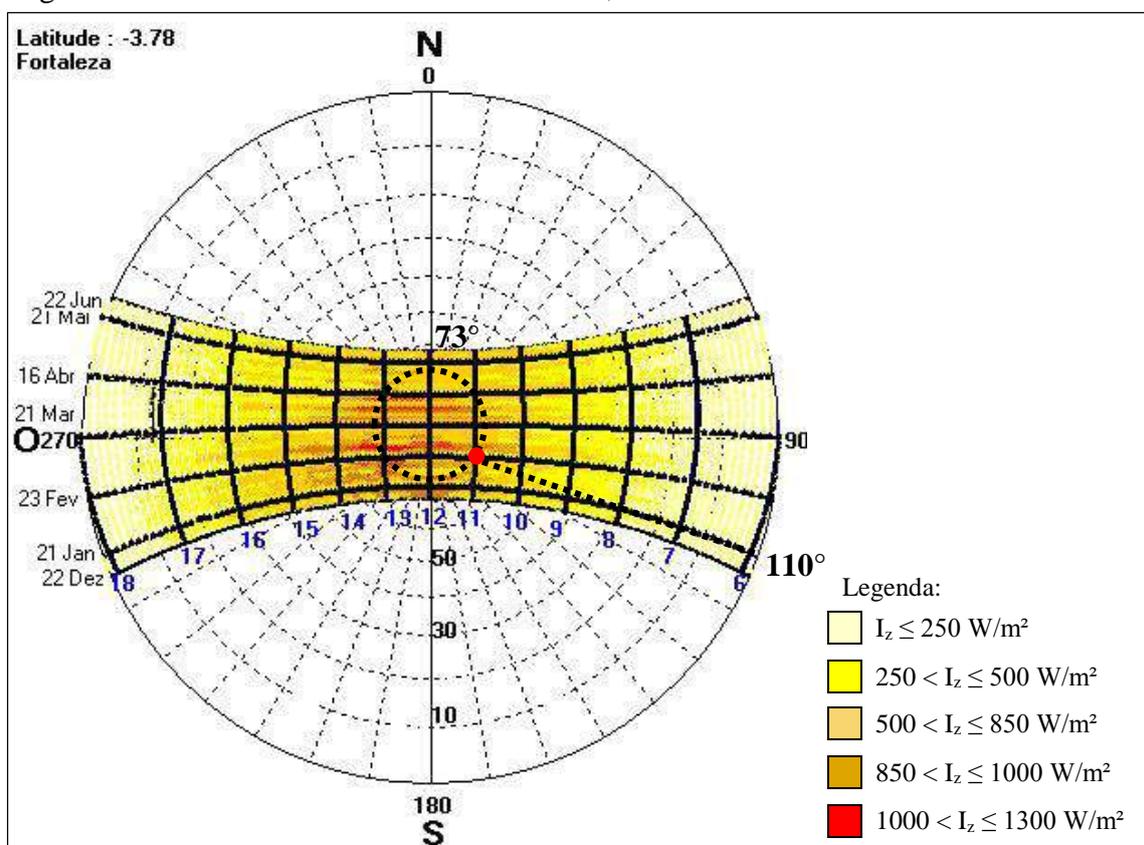
Figura 24 - Variação da Radiação Solar Extraterrestre - I_z (W/m^2) para Fortaleza, CE.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

A Figura 25, gerada pelo programa *Analysis Sol-Ar 6.2*, apresenta a Carta Solar para a latitude de Fortaleza com a variação da radiação solar até o mês de Junho. Através dela, é possível observar, por exemplo, que às 11:00h do dia 23/02, a altura solar é 73° , o azimute é 110° e a radiação solar situa-se entre 850 e 1000 W/m^2 . O programa também mostra a variação da radiação solar após o mês de Junho.

Figura 25 - Carta Solar da cidade de Fortaleza, CE.



Fonte dos dados: Goulart, Lamberts e Firmino (1998).

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Essa carta é comumente utilizada na arquitetura e no urbanismo visando o aproveitamento ou a proteção do calor solar (FROTA, 2004). Além da altura do Sol em um dado momento e da duração do dia, ela permite identificar o azimute dos raios solares, fornecendo a sua localização nas três dimensões.

Calculando-se o índice de Carga Térmica ((*Heat Load* - *HL*) (Apêndice B) usando o programa *Urbanus Canyon_2010*, observa-se que a partir das 08:00h já se evidencia estresse devido à carga térmica imposta ao ser humano e, mesmo que se controle a radiação solar, a neutralidade térmica pode não ser alcançada (Tabela 1).

Parte da radiação solar que incide sobre a superfície da terra é absorvida pelo solo e parte é refletida. A diferença entre a porção absorvida e a refletida é chamada de radiação de entrada. A porção absorvida eleva a temperatura do solo e, em contrapartida, o mesmo passa a emitir radiação na forma de ondas eletromagnéticas não visíveis.

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, tomando como base os valores de radiação solar e velocidade do vento, mostra que o calor radiante fornecido pelo Sol

durante um ano em Fortaleza é suficiente para evaporar, livremente, uma lâmina d'água de 2,7m de altura (FORTALEZA, 1991).

O balanço de radiação da superfície do solo determina os fluxos de calor responsáveis pelo aquecimento e resfriamento do solo e, conseqüentemente, do ar em contato com ele. Portanto, a temperatura do ar também varia durante o dia, em função da trajetória diária do Sol acima da linha do horizonte, e durante o ano devido à variação da declinação do Sol (TUBELIS; NASCIMENTO, 1987).

Tabela 1 - Média mensal do comportamento horário da radiação solar global incidente e aceitável, altura solar e do índice Carga Térmica (*HL*) para a cidade de Fortaleza, CE, entre 05:00 e 19:00h, calculada usando o programa *Urbanus Canyon_2010*.

Hora	Altura solar (graus)	Radiação solar global (W/m ²)	Radiação solar global aceitável (W/m ²)	Carga térmica, <i>HL</i>	
05:00	0,0	0,0	-	0,983	N
06:00	0,5	1,9	10,0	0,975	EMF
07:00	14,5	94,9	32,6	1,008	N
08:00	28,7	232,7	0	1,092	EMC
09:00	42,8	361,7	0	1,100	EMC
10:00	56,3	461,8	0	1,162	EMC
11:00	68,4	529,4	0	1,254	EC
12:00	75,5	555,1	0	1,254	EC
13:00	68,4	529,4	0	1,347	EC
14:00	56,3	461,8	0	1,316	EC
15:00	42,8	361,7	0	1,378	EC
16:00	28,7	232,7	0	1,347	EC
17:00	14,5	94,9	0	1,254	EC
18:00	0,5	1,9	0	1,075	EMC
19:00	0,0	0,0	-	1,025	N

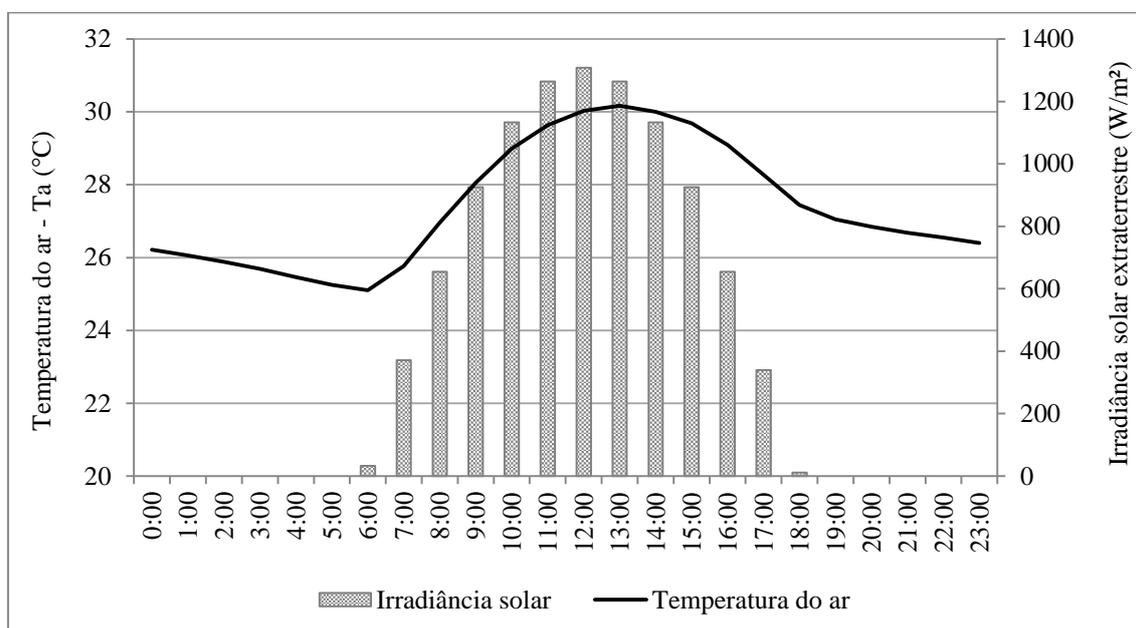
Legenda: N – Neutralidade térmica; EMF – Moderado estresse devido ao frio; EMC – Moderado estresse devido ao calor; EC – Forte estresse devido ao calor.

Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia para a cidade de Fortaleza, Ce, entre os anos de 1961 a 1990, presente no banco de dados do programa *Urbanus Canyon_2010*.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

A fim de manter o equilíbrio na interface solo-ar, a temperatura do ar acompanha a do solo, é mínima, quando o balanço de radiação passa de negativo para positivo e, máxima, quando o balanço é máximo. Entretanto, à medida que se afasta do solo, observa-se um atraso contínuo para a ocorrência das temperaturas máxima e mínima, devido ao processo de transferência de calor entre as camadas (PETALAS, 2000). As Figuras 26 e 27 apresentam os cursos diário e anual da temperatura média do ar.

Figura 26 - Curso diário dos valores médios horários da temperatura do ar e da irradiância solar extraterrestre em Fortaleza, CE no período de 1991 a 2010.

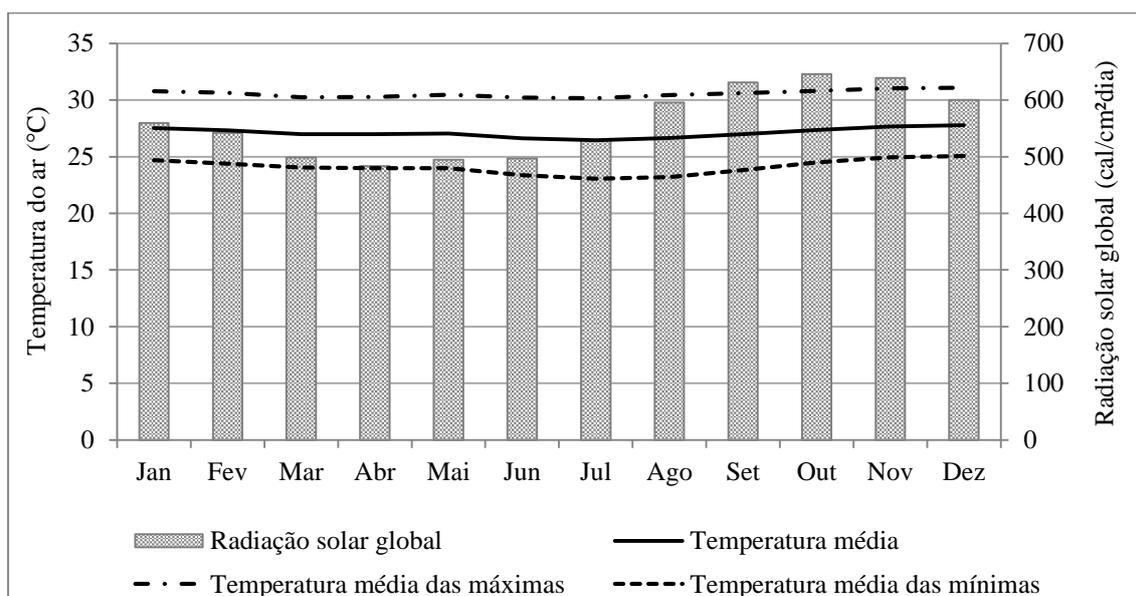


	Equinócio Outono	Solstício Inverno	Equinócio Primavera	Solstício Verão	Ano
Temperatura Média Máxima	29,7°C	29,9°C	30,2°C	30,8°C	30,2°C
Temperatura Média Mínima	25,1°C	24,4°C	24,9°C	26,1°C	25,1°C

Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Figura 27 - Curso anual dos valores médios mensais da temperatura do ar e da radiação solar global em Fortaleza, CE no período de 1980 a 2010.



Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Uma vez que as variações horárias no nível de radiação solar ao longo do ano são muito pequenas, também não se observam grandes diferenças na temperatura do ar entre as estações do ano, tanto com relação aos seus valores máximos e mínimos quanto no que concerne às horas em que ocorrem.

Durante o dia, verifica-se que a temperatura média mínima ($25,1^{\circ}\text{C}$) é alcançada às 06:00h. Neste horário, a radiação solar já tem começado a incidir sobre a superfície do solo, aquecendo-o e iniciando, simultaneamente, um fluxo de calor ascendente na camada de ar em contato com o mesmo.

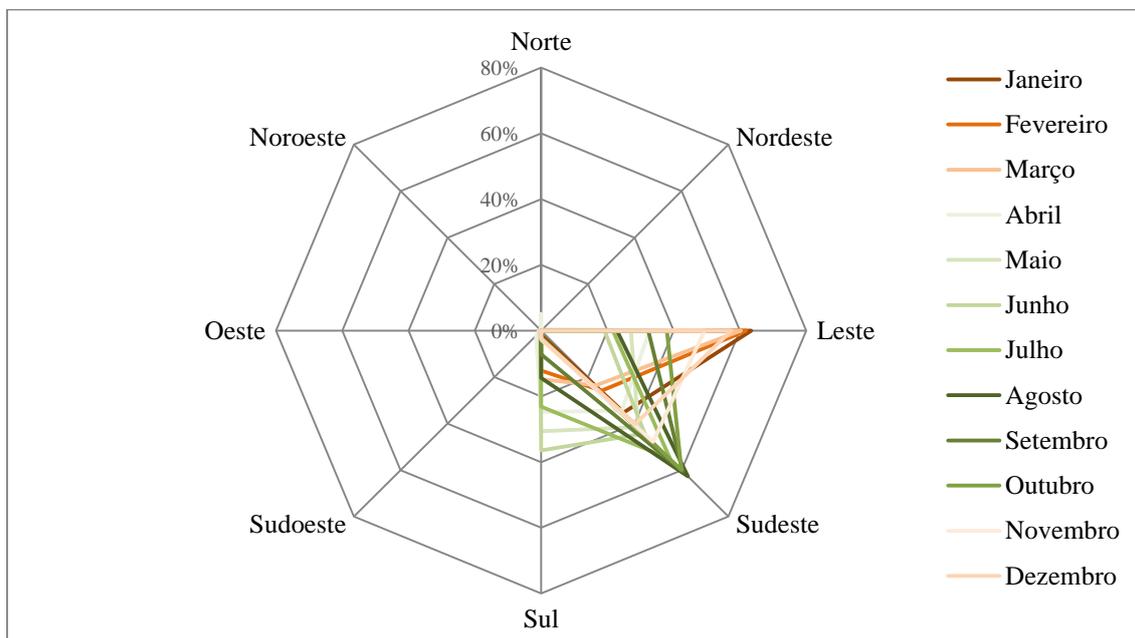
Na superfície do solo, a temperatura média máxima acompanha a intensidade máxima da irradiância solar que ocorre às 12:00h. Mas, devido ao processo de transferência de calor entre as camadas de ar, à medida que se afasta do solo, ela se atrasa continuamente, atingindo a temperatura máxima ($30,2^{\circ}\text{C}$, em média), a dois metros de altura acima do nível do solo, somente às 13:00h. A partir deste ponto ela começa a regredir e, com o resfriamento do ar, tende a se estabilizar, embora o processo de resfriamento perdure durante toda a noite até alcançar o seu valor mínimo.

No curso anual da temperatura do ar, observa-se que a mesma acompanha o comportamento da radiação solar, definido em função da latitude e do movimento de translação da Terra em torno do Sol. Com base nos dados da Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC, para o período de 1980 a 2010, a temperatura média anual do ar é de $27,1^{\circ}\text{C}$, sendo Julho, o mês que apresenta média mensal mais baixa ($26,4^{\circ}\text{C}$) e Dezembro, o de média mais alta ($27,8^{\circ}\text{C}$). A média das máximas varia de $30,2^{\circ}\text{C}$ a $31,1^{\circ}\text{C}$ e das mínimas, de $23,1^{\circ}\text{C}$ a $25,0^{\circ}\text{C}$. A temperatura mínima absoluta ocorrida durante o período é $19,2^{\circ}\text{C}$ em 14 de Julho de 1988 e a máxima absoluta é $34,2^{\circ}\text{C}$ ocorrida em 09 de Janeiro de 2007.

Segundo Sá (1938 *apud* RIVERO, 1986), os valores limites admissíveis para o conforto com relação à temperatura do ar no Brasil, devem estar entre $24,5^{\circ}\text{C}$ e $26,5^{\circ}\text{C}$. Se estes valores fossem adotados para avaliação das condições de conforto térmico em Fortaleza, verifica-se que, em média, somente o mês de Julho estaria dentro destes limites e, observando o curso diário da temperatura, a sensação de conforto seria experimentada a partir das 22:00h até as 07:00h da manhã.

A direção predominante dos ventos em Fortaleza é a Sudeste devido à atuação do Anticiclone do Atlântico Sul (Figura 28). De Novembro a Março, a componente Leste é mais relevante e, eventualmente, há entrada de ventos Nordeste, principalmente, em Março e Abril. Durante o dia, em média, a direção Sul predomina entre 06:00 e 08:00h, a Sudeste, durante a madrugada e entre 08:00 e 14:00h e, no restante do dia, o sentido Leste (Figura 29).

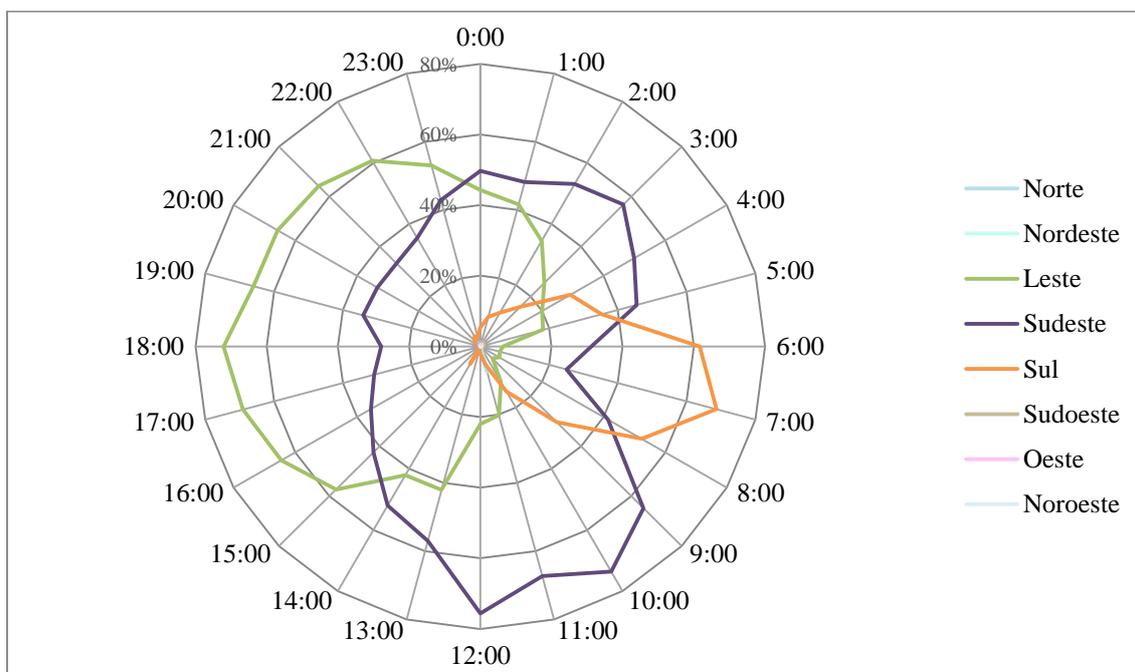
Figura 28 - Direção predominante dos ventos em Fortaleza, CE durante o ano no período de 1991 a 2010.



Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Figura 29 - Direção predominante dos ventos em Fortaleza, CE durante o dia no período de 1991 a 2010.



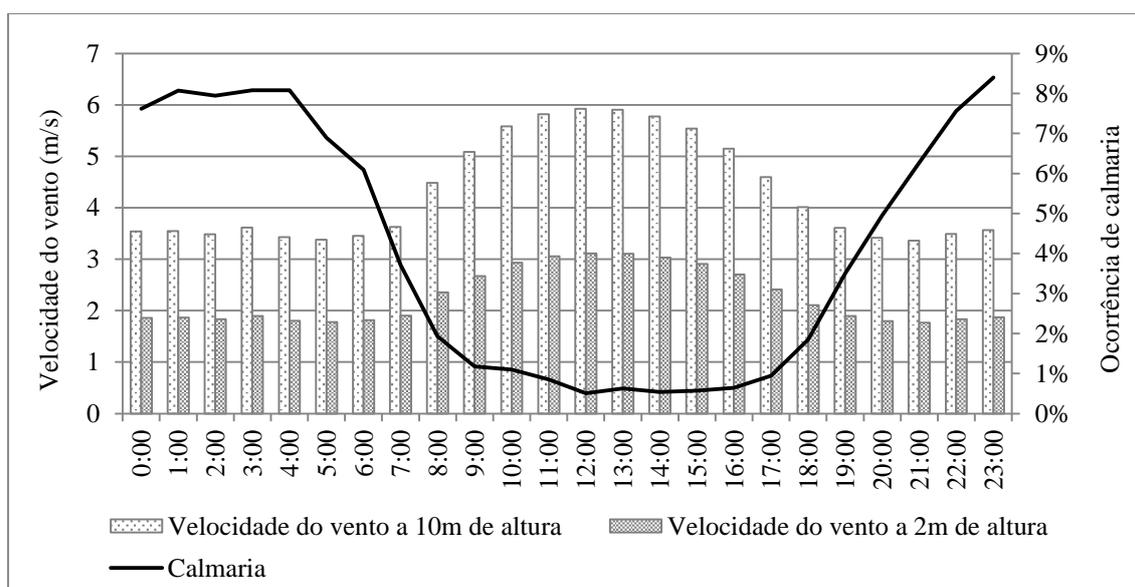
Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

O deslocamento do ar depende das condições atmosféricas, mas, também deve-se levar em consideração o aquecimento diferencial da superfície. O sentido do deslocamento do ar obedece ao mesmo princípio termodinâmico descrito anteriormente, mas, devido à sua inércia, o ar tende a permanecer na mesma direção, mesmo quando encontra um obstáculo, fluindo ao seu redor e criando zonas de diferentes pressões (BROWN; DEKAY, 2004).

As Figuras 30 e 31 apresentam o curso diário e a variação anual da velocidade do vento. Nelas, observa-se o efeito marcante do balanço de radiação da superfície. No seu curso diário, a velocidade do vento é maior durante o dia, acompanhando o balanço de radiação. Entre 07:00 e 11:00h, ela é crescente, alcança seu valor máximo às 12:00h, começando a decrescer em seguida. A partir do momento em que ocorre a inversão no balanço de radiação (passa de positivo para negativo), o vento entra em um período de baixas velocidades ou calmaria.

Figura 30 - Curso diário da velocidade do vento em Fortaleza, CE, a 10 e 2m de altura, e ocorrência de calmaria durante o período de 1991 a 2010.



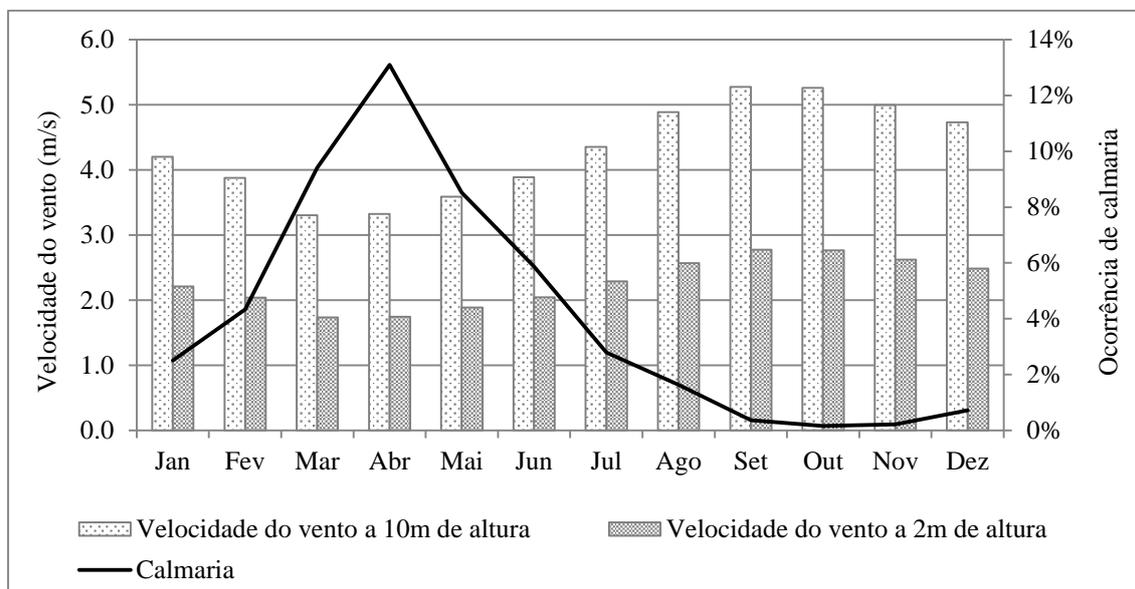
Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

O vento varia sazonalmente pelo aquecimento diferencial dos hemisférios. A velocidade média mensal em Fortaleza varia entre os limites de 2,2m/s a 7,5m/s, com média anual de 4,3m/s. Ela cresce de Julho a Novembro, alcançando o valor máximo em Setembro, no Equinócio da Primavera e decresce gradativamente até o mês de Maio, durante o Equinócio de Outono. Também é possível observar que a ocorrência de calmaria é mais

frequente durante a quadra chuvosa (Fevereiro a Maio), com pico máximo em Abril (Figura 31).

Figura 31 - Curso anual da velocidade média do vento em Fortaleza, CE, a 10 e 2m de altura, e ocorrência de calmaria durante o período de 1991 a 2010.



Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Associando-se as características diária e anual do vento a 10m de altura à escala de Beaufort, tem-se que, aproximadamente, de Fevereiro a Julho, a partir das 20:00h até o início da manhã, há o predomínio de uma Brisa Leve e das 08:00 às 19:00h, Brisa Fraca. De Julho a Janeiro, o vento é caracterizado como Brisa Moderada entre 09:00 e 16:00h e Fraca, nos demais horários.

No Quadro 23, Mascaró (1996) apresenta limites de conforto para ventilação no meio externo em uma sequência de 10 minutos a 2m acima do solo. De acordo com essa escala e levando-se em consideração os valores médios a altura de 2m e o expoente de camada limite de 0,4, a velocidade do vento em Fortaleza está dentro dos limites de conforto. O conforto relativo é perceptível para uma pessoa em pé ou sentada e, completamente aceitável.

Além dos ventos alísios, a posição geográfica do município de Fortaleza deixa-o sob a influência dos sistemas de brisas que atuam diariamente, condicionam o clima local e proporcionam alívio às condições térmicas estressantes durante o dia, sendo considerados de fundamental importância (FORTALEZA, 1991). De acordo com Silva (2006), no Nordeste do Brasil, as brisas contribuem para mudar um pouco a direção e a velocidade dos ventos alísios

e, dependendo da orientação da costa, a velocidade do vento resultante da superposição alísio-brisa, pode ser maior ou menor que a do alísio.

Quadro 23 - Critério de conforto para pedestres.

Velocidade do vento (m/s)	Nível de conforto
5m/s	Início do desconforto
10m/s	Claramente desconfortável
15m/s	Controle do caminhar é afetado
20m/s	Perigoso para pessoas mais frágeis

Fonte: Mascaró (1996).

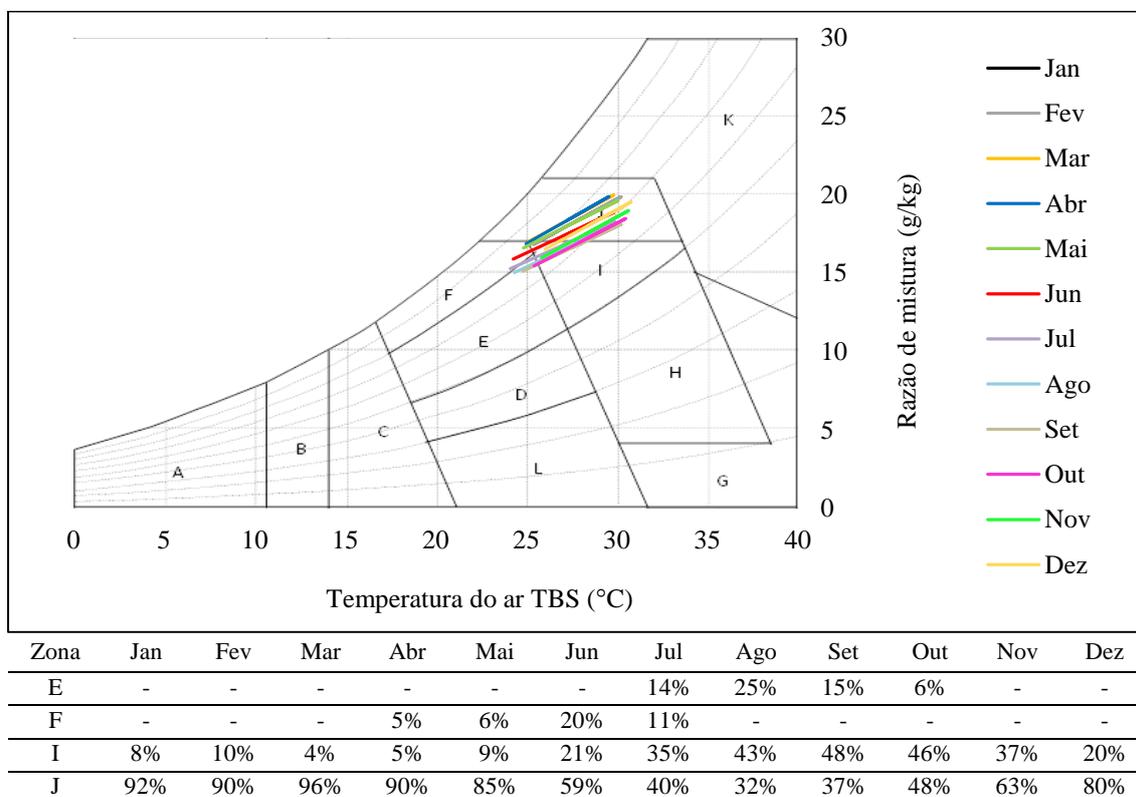
Como pode ser observado até o presente momento e de acordo com diversos autores, dentre eles Olgyay (1992) e Givoni (1998), as regiões de clima quente e úmido devem evitar a excessiva radiação solar e promover a evaporação da umidade através da ventilação a fim de amenizar o estresse térmico devido ao calor.

No Zoneamento Bioclimático Brasileiro, de acordo com a Figura 32, estas são as estratégias sugeridas e indispensáveis à restauração das condições de conforto em Fortaleza durante todo o ano e, ainda assim, admite-se a possibilidade de não serem suficientes em algumas horas do dia.

Observando a disposição dos dados na Figura 32, verifica-se uma concentração dos dados nas Zonas I e J, apontando para a necessidade de ventilação em todos os meses do ano, principalmente, nas horas mais quentes. O conforto térmico (Zona E) só é alcançado nas primeiras horas do dia dos meses Julho, Agosto e Setembro. O mês de Junho ainda é considerado um mês úmido, requerendo a desumidificação do ar (Zona F) no início da manhã.

Durante o período chuvoso, quando a umidade é mais elevada, em média, mais de 90% das horas situam-se na Zona J, indicando a necessidade de ventilação. Apesar das horas mais quentes do dia aproximarem-se da Zona K, em nenhum mês é apontada a necessidade de refrigeração artificial. No Apêndice F pode-se verificar, separadamente, as estratégias a serem adotadas para cada mês do ano.

Figura 32 - Percentagem de hora correspondente a cada estratégia indicada na carta bioclimática, considerando-se o dia médio de cada mês em Fortaleza, CE, durante o período de 1991 a 2010.



A – Zona de aquecimento artificial; B – Zona de aquecimento solar da edificação; C – Zona de massa térmica para aquecimento; D – Zona de conforto térmico (baixa umidade); E – Zona de conforto térmico; F – Zona de desumidificação (renovação do ar); G + H – Zona de resfriamento evaporativo; H + I – Zona de massa térmica de refrigeração; I + J – Zona de ventilação; K – Zona de refrigeração artificial; L – Zona de umidificação do ar.

Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Finalizando a caracterização bioclimática de Fortaleza e aplicando o índice de conforto térmico *UTCI*, o Quadro 24 apresenta o comportamento mensal e horário da sensação térmica, considerando-se a escala de apreciação proposta para o índice (BLAZEJCZYK *et al.*, 2013). Nesse caso, os valores de maiores desconfortos são esperados nos meses de Dezembro e Janeiro, entre 09:00 e 16:00h, sendo que de Novembro a Fevereiro, é mais intenso às 14:00h.

Quadro 24 – Comportamento horário e mensal do índice *UTCI* para a cidade de Fortaleza, CE, no período de 1991 a 2010.

Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
00:00	24,5	24,7	24,7	25,2	24,6	23,6	22,8	22,2	22,1	22,3	23,1	23,7
01:00	24,3	24,5	24,6	24,6	24,6	23,5	22,5	22,0	21,9	22,3	23,1	23,6
02:00	24,1	24,2	24,3	24,2	24,3	23,0	22,5	21,8	21,6	22,2	22,9	23,7
03:00	23,8	24,1	24,0	24,2	24,2	22,8	22,1	21,5	21,1	21,8	22,6	23,4
04:00	23,7	23,5	24,3	23,9	23,9	22,9	22,0	21,5	21,2	21,6	22,3	23,2
05:00	23,4	23,2	23,6	23,7	24,1	22,5	21,9	21,0	21,0	21,6	22,1	23,2
06:00	26,8	24,7	23,4	23,9	23,5	21,9	21,2	20,7	21,0	22,4	24,9	26,6
07:00	30,0	29,4	27,0	24,9	23,7	22,0	21,2	20,9	23,7	26,7	28,5	29,4
08:00	31,3	31,6	30,5	28,9	26,1	23,6	23,0	24,7	27,3	29,2	30,5	31,1
09:00	32,3	32,9	32,8	31,4	29,4	27,2	26,6	28,1	29,8	31,1	31,7	32,2
10:00	32,9	33,4	33,4	32,6	31,3	29,5	29,2	30,5	31,7	32,2	32,3	32,6
11:00	33,0	33,6	34,0	33,6	32,4	31,0	30,8	31,9	32,6	32,7	32,5	32,6
12:00	33,2	33,8	34,0	33,8	32,8	31,7	31,4	32,5	32,9	32,8	32,5	32,9
13:00	33,5	34,1	34,4	34,1	32,8	31,7	31,4	32,4	32,9	32,9	32,8	33,2
14:00	33,7	34,4	34,2	33,4	32,0	30,8	30,7	31,6	32,2	32,7	32,9	33,3
15:00	33,6	33,6	33,2	32,2	30,8	29,2	28,8	30,0	31,2	32,1	32,5	33,2
16:00	32,8	33,0	31,5	30,0	27,9	26,3	25,8	27,3	29,0	30,7	31,3	32,3
17:00	31,2	30,7	28,6	26,6	25,6	24,7	24,0	23,9	25,5	28,1	29,5	30,7
18:00	28,3	26,9	25,5	26,1	25,6	24,5	23,6	23,2	23,1	24,4	26,7	28,2
19:00	25,3	25,7	25,9	26,0	25,7	24,8	23,6	23,3	23,1	23,3	23,8	24,6
20:00	25,4	25,4	25,8	25,9	25,6	24,7	23,9	23,1	23,0	23,1	23,7	24,6
21:00	25,1	25,2	25,5	25,8	25,5	24,6	23,4	23,0	22,8	23,0	23,6	24,5
22:00	24,9	25,2	25,3	25,2	25,2	24,3	23,0	22,7	22,5	22,8	23,4	24,2
23:00	24,7	25,1	25,1	25,1	25,1	24,0	22,9	22,5	22,4	22,5	23,2	24,0

Legenda:

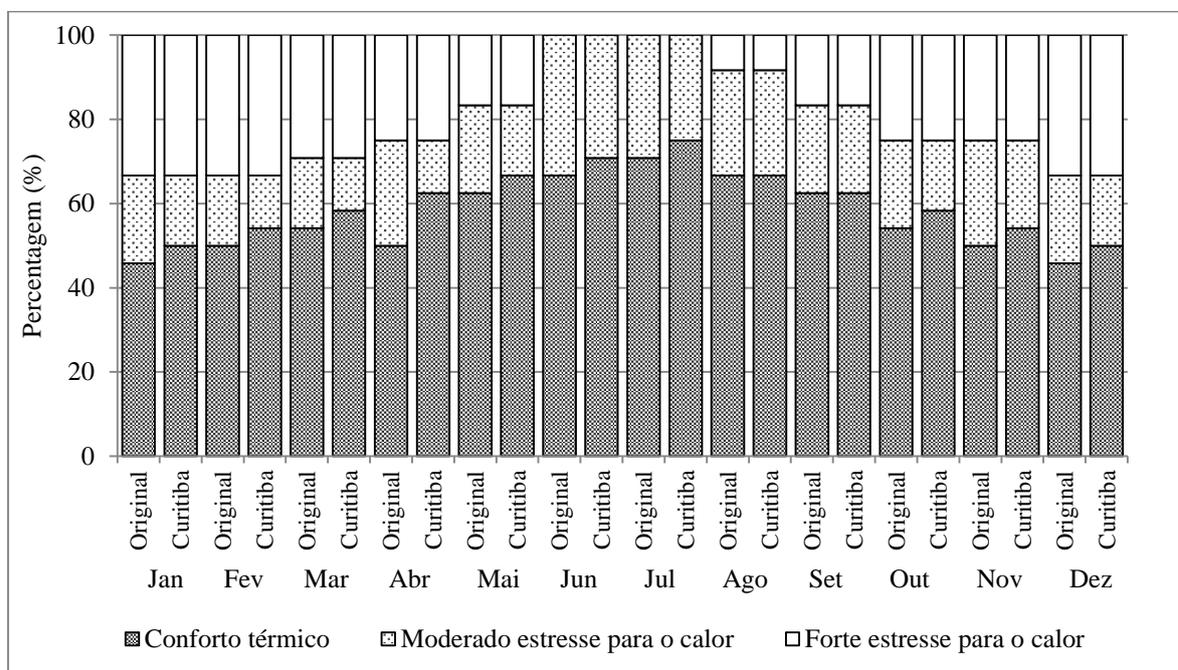
■	> 46°C	Extremo estresse para o calor
■	38 a 46°C	Muito forte estresse para o calor
■	32 a 38°C	Forte estresse para o calor
■	26 a 32°C	Moderado estresse para o calor
■	18 a 26°C	Conforto térmico
■	9 a 18°C	Sem estresse térmico
■	0 a 9°C	Pouco estresse para o frio

Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins.

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Adotando a calibração proposta por Rossi, Krüger e Bröde (2012) para a cidade de Curitiba, PR, o comportamento mensal permanece inalterado, mas observa-se uma maior tolerância ao calor, reduzindo os horários de “moderado estresse para o calor” em todos os meses, com exceção de Agosto e Setembro (Figura 33).

Figura 33 – Comparação da percentagem de horas do comportamento mensal do índice *UTCI* para a cidade de Fortaleza, CE, no período de 1991 a 2010, definida pela escala original e pelas faixas adaptadas às condições de Curitiba, PR.



Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins e Rossi (2012).

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

4.2 Tratamento estatístico dos dados da pesquisa de campo

O tratamento estatístico foi realizado em duas etapas distintas, como ressaltado anteriormente. Na primeira foi feita a análise descritiva das informações levantadas em campo e verificada a existência de associações entre algumas variáveis. Essa etapa envolve a maioria dos objetivos propostos e auxilia na compreensão do efeito das condições climáticas na sensação térmica da população. Os objetivos são atingidos à medida que são transformados em hipóteses e testados com base na amostra pesquisada.

4.2.1 Análise descritiva

Partindo-se de uma amostra mínima de 960 pessoas, foram realizadas ao todo, 1304 entrevistas e 648 medições relativas às variáveis climáticas. Deste total, 1297 conjuntos de dados pessoais são considerados válidos na primeira fase da análise e 1268, na análise de regressão *probit*. Na Tabela 2 pode-se visualizar a quantidade de pessoas abordadas durante a pesquisa de campo e o número de medições das variáveis climáticas em cada período da pesquisa de campo.

Tabela 2 – Frequência absoluta do total de pessoas abordadas e medições realizadas durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, entre 2011 e 2012.

1º Período					2º Período				
Data	Local	N _{Quest}	Horário	N _{med}	Data	Local	N _{Quest}	Horário	N _{med}
06.07.11	P6	35	09:00 - 16:00	25	31.08.11	P8	38	09:30 - 16:00	23
07.07.11	P8	40	09:00 - 15:00	18	02.09.11	P7	35	09:30 - 16:00	23
13.07.11	P7	37	09:00 - 15:30	23	06.09.11	P5	35	09:00 - 15:30	25
19.07.11	P5	41	09:00 - 15:30	26	08.06.11	P6	39	09:00 - 15:30	25
20.07.11	P1	34	09:00 - 14:30	19	09.09.11	P2	40	09:00 - 16:00	26
21.07.11	P2	43	09:00 - 14:30	23	13.09.11	P4	35	09:00 - 16:00	26
22.07.11	P3	38	09:00 - 15:00	23	14.09.11	P3	40	09:00 - 15:30	27
26.07.11	P4	34	09:00 - 16:00	23	15.09.11	P1	35	09:00 - 15:00	22
Total		302		180	Total		297		197
3º Período					4º Período				
Data	Local	N _{Quest}	Horário	N _{med}	Data	Local	N _{Quest}	Horário	N _{med}
05.01.12	P3	47	09:00 - 16:00	24	23.03.12	P5	60	09:00-15:00	21
06.01.12	P2	43	09:00 - 16:00	26	26.03.12	P3	60	09:00-15:30	18
11.01.12	P4	32	09:00 - 16:00	20	17.04.12	P7	60	09:00-15:30	17
12.01.12	P6	37	09:00 - 16:00	27	18.04.12	P8	66	09:00-15:30	15
13.01.12	P8	49	09:00 - 15:00	22	25.04.12	P2	98	09:00-15:30	25
16.01.12	P5	49	09:00 - 15:00	21	-	P6	-	-	-
17.01.12	P7	69	09:00 - 16:00	24	-	P4	-	-	-
20.01.12	P1	35	09:00 - 11:30	11	-	P1	-	-	-
Total		361		175	Total		344		96

P1 – Praça da Estação; P2 – Praça do Ferreira; P3 – Praça da Imprensa; P4 – Praça dos Estressados/Beira-Mar; P5 – Praça Portugal; P6 – DETRAN/Sede Maraponga; P7 – UFC/Campus do Pici; P8 – UECE/Campus do Itaperi; N_{Quest} – Número de questionários; N_{med} – Número de medições.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

No terceiro e quarto períodos, mais uma pessoa incorporou a equipe, possibilitando um número maior de entrevistas. Em alguns locais as entrevistas foram encerradas mais cedo, principalmente, por motivo de segurança, pelo esgotamento de pessoas dispostas a serem entrevistadas e a ocorrência de chuva em alguns momentos. No quarto período, por questão de segurança e tendo em vista que os Solstícios de Verão, Inverno e Equinócio já haviam sido cobertos e as amplitudes térmicas apresentavam-se muito baixas, os locais de coleta dos dados foram reduzidos de oito para cinco.

4.2.1.1 Descritiva das variáveis ambientais

As Tabelas 3 a 7 apresentam as descritivas para cada uma das variáveis climáticas coletadas em cada período e no conjunto. Através delas, verifica-se que a menor média de temperatura do ar é observada no primeiro período (Julho), durante o Solstício de Inverno

(29,1°C) (Tabela 3), e a maior, no Solstício de Verão (30,0°C) (Tabela 5). A variabilidade e dispersão são relativamente pequenas, mas coerentes com a caracterização feita anteriormente. No conjunto, a temperatura do ar de 29,4°C é a que apresenta a maior frequência. O valor mínimo corresponde a 25,8°C, ocorrido no primeiro período, nas medições realizadas em Julho.

Tabela 3 – Descritiva das variáveis climáticas coletadas no primeiro período (Julho/2011) da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE.

	T_a (°C)	T_g (°C)	T_w (°C)	UR (%)	V_a (m/s)	N (oitavas)
n	180	180	180	180	180	180
Média	29,1	30,9	23,9	66,7	0,8	4,0
Mediana	29,4	30,9	24,0	66,0	0,7	4,0
Moda	29,4	31,3	23,0	65,0	0,0	8,0
Desvio padrão	1,0	1,3	1,0	7,3	0,7	2,9
Coef.Variação	4%	4%	4%	11%	78%	73%
Assimetria	-0,9	0,4	0,0	0,3	0,7	0,1
Amplitude	5,2	7,6	4,6	30,0	3,1	8,0
Mínimo	25,8	27,7	21,6	53,0	0,0	0,0
Máximo	31,0	35,3	26,2	83,0	3,1	8,0

T_a – Temperatura do ar; T_g – Temperatura de globo; T_w – Temperatura de bulbo úmido; UR – Umidade relativa; V_a – Velocidade do ar; N – Nebulosidade, n – tamanho da amostra dos dados climáticos.

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Tabela 4 – Descritiva das variáveis climáticas coletadas no segundo período (Ago - Set/2011) da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE.

	T_a (°C)	T_g (°C)	T_w (°C)	UR (%)	V_a (m/s)	N (oitavas)
n	197	197	197	197	197	197
Média	29,8	32,1	23,2	58,7	1,3	0,6
Mediana	29,9	32,2	23,2	59,0	1,2	0,0
Moda	31,1	31,1	23,2	59,0	1,0	0,0
Desvio padrão	1,1	1,7	0,9	4,1	0,9	1,3
Coef.Variação	4%	5%	4%	7%	70%	205%
Assimetria	-0,1	0,2	0,4	0,1	1,1	2,8
Amplitude	4,3	9,8	4,4	22,0	5,0	7,0
Mínimo	27,4	28,2	21,2	48,0	0,0	0,0
Máximo	31,7	38,0	25,6	70,0	5,0	7,0

T_a – Temperatura do ar; T_g – Temperatura de globo; T_w – Temperatura de bulbo úmido; UR – Umidade relativa; V_a – Velocidade do ar; N – Nebulosidade, n – tamanho da amostra dos dados climáticos.

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

A temperatura de globo acompanha o comportamento sazonal da radiação, nebulosidade e velocidade do vento, apresentando a maior média em Janeiro (Solstício de Verão) e a menor, em Julho, durante o Solstício de Inverno. A variabilidade e a dispersão também são muito baixas. No conjunto, a diferença entre a média da temperatura do ar e de globo é de, aproximadamente, 2°C. Hirashima (2010), comparando resultados da temperatura

de globo coletada na sombra e no sol, constatou que, na sombra, os valores medidos de temperatura de globo assemelham-se aos valores de temperatura do ar devido à ausência da radiação solar direta.

Tabela 5 – Descritiva das variáveis climáticas coletadas no terceiro período (Jan/2012) da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE.

	T_a (°C)	T_g (°C)	T_w (°C)	UR (%)	V_a (m/s)	N (oitavas)
n	175	175	175	175	175	175
Média	30,0	32,3	25,1	69,2	0,7	4,5
Mediana	30,0	32,2	25,1	70,0	0,8	5,0
Moda	29,2	31,8	25,6	71,0	1,0	7,0
Desvio padrão	0,9	1,7	0,5	4,5	0,5	2,8
Coef. Variação	3%	5%	2%	7%	69%	62%
Assimetria	0,0	0,8	0,1	0,1	0,4	-0,5
Amplitude	4,1	10,2	2,5	22,0	2,1	8,0
Mínimo	27,7	29,0	24,1	60,0	0,0	0,0
Máximo	31,8	39,2	26,6	82,0	2,1	8,0

T_a – Temperatura do ar; T_g – Temperatura de globo; T_w – Temperatura de bulbo úmido; UR – Umidade relativa; V_a – Velocidade do ar; N – Nebulosidade, n – tamanho da amostra dos dados climáticos.

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Tabela 6 – Descritiva das variáveis climáticas coletadas no quarto período (Mar – Abr/2012) da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE.

	T_a (°C)	T_g (°C)	T_w (°C)	UR (%)	V_a (m/s)	N (oitavas)
n	96	96	96	96	96	96
Média	30,0	31,8	25,5	72,5	0,7	4,1
Mediana	29,9	31,9	25,5	72,0	0,7	4,0
Moda	30,2	32,5	25,5	74,0	0,0	6,0
Desvio padrão	0,9	1,2	0,5	5,7	0,6	2,4
Coef. Variação	3%	4%	2%	8%	80%	60%
Assimetria	0,3	-0,3	0,0	0,1	0,6	-0,3
Amplitude	4,0	5,1	2,5	23,0	2,5	8,0
Mínimo	27,9	28,8	24,3	62,0	0,0	0,0
Máximo	31,9	33,9	26,8	85,0	2,5	8,0

T_a – Temperatura do ar; T_g – Temperatura de globo; T_w – Temperatura de bulbo úmido; UR – Umidade relativa; V_a – Velocidade do ar; N – Nebulosidade, n – tamanho da amostra dos dados climáticos.

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

A menor média de umidade do ar é observada no Equinócio da Primavera (2º período – Ago/Set) quando a velocidade do vento atinge a maior média e a nebulosidade, a menor. Essa combinação favorece o processo de evaporação e convecção forçada, responsáveis pelo resfriamento da superfície. Apesar de possuir uma baixa dispersão, é interessante observar que a variabilidade da umidade relativa é maior no primeiro período, mostrando a influência exercida pelo aumento gradativo da velocidade do vento.

Também deve-se observar que a variabilidade da velocidade do vento e da nebulosidade é alta em todos os períodos, provavelmente, devido aos sistemas atmosféricos atuantes na região. Além disso, a velocidade do vento em microescala é muito afetada pelas obstruções causadas pelas edificações.

Tabela 7 – Descritiva das variáveis climáticas coletadas em todo o conjunto da pesquisa de campo realizada em Fortaleza no período de 2011 a 2012.

	T _a (°C)	T _g (°C)	T _w (°C)	UR (%)	V _a (m/s)	N (oitavas)
n	648	648	648	648	648	648
Média	29,7	31,8	24,3	65,8	0,9	3,1
Mediana	29,7	31,6	24,5	65,5	0,9	2,0
Moda	29,4	31,8	25,0	62,0	0,0	0,0
Desvio padrão	1,1	1,6	1,2	7,4	0,7	2,9
Coef. Variação	4%	5%	5%	11%	79%	94%
Assimetria	-0,3	0,6	-0,3	0,2	1,2	0,4
Amplitude	6,1	11,5	5,6	37,0	5,0	8,0
Mínimo	25,8	27,7	21,2	48,0	0,0	0,0
Máximo	31,9	39,2	26,8	85,0	5,0	8,0

T_a – Temperatura do ar; T_g – Temperatura de globo; T_w – Temperatura de bulbo úmido; UR – Umidade relativa; V_a – Velocidade do ar; N – Nebulosidade, n – tamanho da amostra dos dados climáticos.

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Comparando os valores coletados com as normais climatológicas presentes na Tabela 8, verifica-se que os dados coletados seguem o mesmo comportamento, mas, sofrem a influência da estrutura urbana.

Tabela 8 – Normais climatológicas no período de 1980 a 2010 na cidade de Fortaleza, CE.

Etapas	Temperatura do ar (°C)			Umidade relativa (%)				
	09:00h	15:00h	Média	Média das mínimas	Média das máximas	09:00h	15:00h	Média
1º Período	27,2	29,1	26,4	23,1	30,2	70	64	75
2º Período	28,2	29,3	27,0	23,8	30,6	65	61	70
3º Período	28,4	29,6	27,5	24,7	30,8	74	67	76
4º Período	27,6	29,0	27,0	24,0	30,3	82	74	82
Conjunto	28,0	29,4	27,1	24,1	30,6	72	66	76

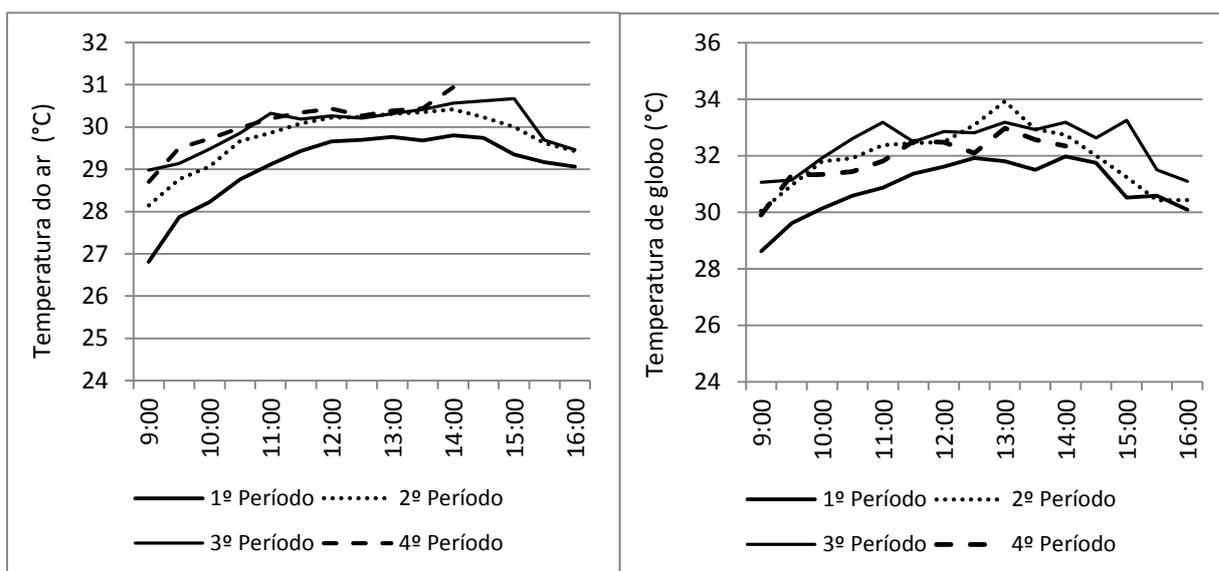
Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Campus do Pici/UFC.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Na Figura 34 nos itens de “a” a “f”, observa-se que, em geral, as temperaturas mais elevadas do ar e de globo situam-se entre 13:00 e 14:00h. No segundo período, quando a nebulosidade é mais baixa, a temperatura de globo alcança um valor máximo às 13:00h. A umidade relativa possui um comportamento horário inversamente proporcional ao da

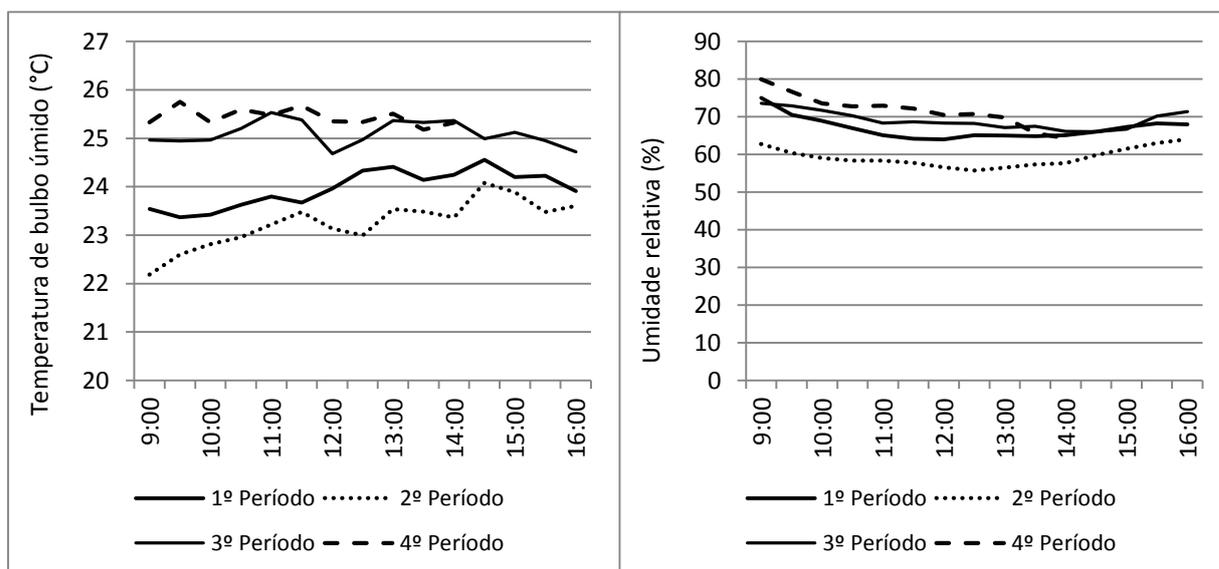
temperatura do ar como já esperado. Nessa sequência também pode-se perceber o quanto a velocidade do vento varia durante os períodos em que os dados foram levantados.

Figura 34 – Comportamento horário da média dos valores de temperatura, umidade, velocidade do ar e nebulosidade coletados durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período entre 2011 e 2012.



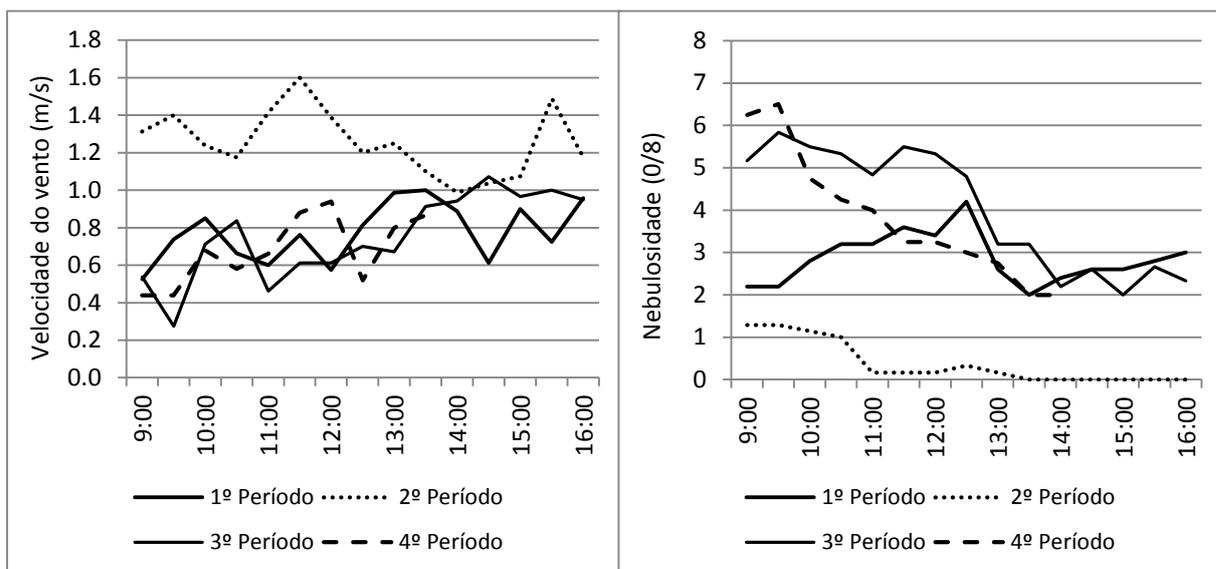
a) Temperatura do ar (T_a) (°C)

b) Temperatura de globo (T_g) (°C)



c) Temperatura de bulbo úmido (T_w) (°C)

d) Umidade relativa (UR) (%)

e) Velocidade do vento (v) (m/s)f) Nebulosidade (N) (oitavos)

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Durante a realização da pesquisa de campo predomina a condição de céu limpo ou ensolarado, representando 43,6% do total do conjunto. A nebulosidade é mais elevada no início da manhã e durante a estação chuvosa, e mais baixa, quando os ventos são mais intensos. O comportamento das variáveis coletadas está de acordo com o padrão descrito para a cidade de Fortaleza e, provavelmente, as variações observadas se devem às estruturas urbanas. Na próxima seção, a amostra é caracterizada com base nas variáveis individuais e, logo em seguida, são apresentados os resultados dos testes de associação realizados entre algumas variáveis.

4.2.1.2 Aplicação do modelo *RayMan*

Uma vez que os termorreceptores situam-se na pele e esta situa-se na interface com o ar, ela acaba governando as respostas termorreguladoras. Como a temperatura média radiante representa a soma de todos os fluxos de radiação sob os quais o corpo humano está exposto, ela passa a ser considerada um dos elementos que mais influencia as respostas fisiológicas e sensoriais (MATZARAKIS; RUTZ; MAYER, 2007).

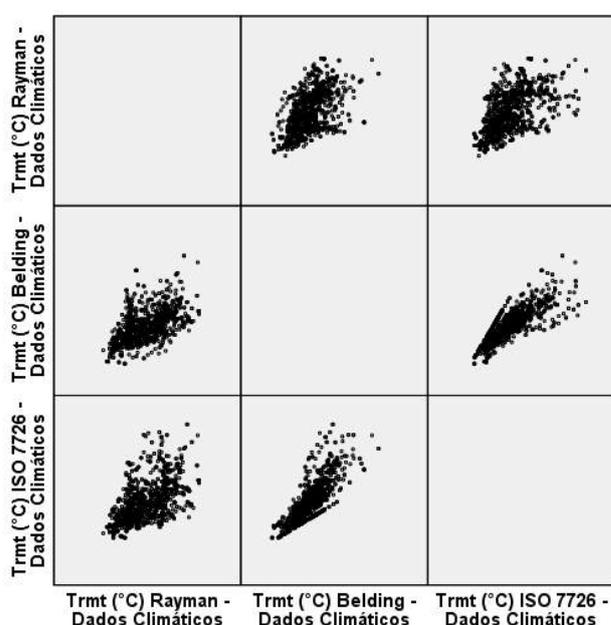
O modelo *RayMan* calcula esses fluxos de radiação de onda longa e curta, especialmente, dentro das complexas estruturas urbanas, fornecendo, como produto final, o valor da temperatura média radiante (MATZARAKIS; MAYER, 2000).

Com o objetivo de verificar a utilização do programa *RayMan* no cálculo da temperatura média radiante, foi testada a existência de correlação entre três métodos

diferentes de cálculo. A Figura 35 e a Tabela 9 apresentam os resultados do teste, indicando a existência de uma correlação significativa entre os três métodos, ao nível de significância de 1%. A correlação mais forte é observada entre as equações de Belding e da ISO 7726, entretanto, elas requerem a medição da variável temperatura de globo, necessitando de uma instrumentação mais específica.

Os resultados mostram uma correlação moderada de 55,2% ($p < 0,01$) e 57,8% ($p < 0,01$) entre T_{mrt_RayMan} e $T_{mrt_Belding}$ e entre T_{mrt_RayMan} e $T_{mrt_ISO\ 7726}$, respectivamente, indicando a possibilidade de utilização do programa *RayMan* no cálculo da temperatura média radiante.

Figura 35 – Correlação entre os métodos de cálculo da temperatura média radiante.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Tabela 9 – Correlação de Pearson das temperaturas média radiantes calculadas pelo *RayMan* e pelas equações de Belding e da ISO 7726.

	T_{mrt_RayMan} (°C)	$T_{mrt_Belding}$ (°C)	$T_{mrt_ISO\ 7726}$ (°C)
T_{mrt_RayMan} (°C)	1	0,552*	0,578*
$T_{mrt_Belding}$ (°C)	0,552*	1	0,813*
$T_{mrt_ISO\ 7726}$ (°C)	0,578*	0,813*	1

*A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

4.2.1.3 Caracterização da amostra

Um dos objetivos do trabalho de campo é obter respostas referentes à sensação térmica atual que fossem representativas para toda a população residente na cidade de Fortaleza e Região Metropolitana, mas para isso é necessário abordar a percepção térmica de forma mais abrangente. Por esse motivo, optou-se pela escolha de diversos locais que convergem um bom fluxo de pessoas advindas de diversos pontos da cidade.

De acordo com as Tabelas 10 a 12, percebe-se que esse objetivo foi alcançado, na medida em que foram entrevistadas pessoas de quase todos os bairros da cidade, tendo-se uma representação significativa e equilibrada. Dos respondentes, 87,4% são naturais do Estado do Ceará e 6,7% são da Região Norte/Nordeste, totalizando 94,1% da amostra. De todos os entrevistados, 91,6% residem em Fortaleza há mais de 20 anos. Isso significa que as pessoas entrevistadas estão aclimatadas ao local em que vivem, tendo condições de manifestar e avaliar a sua percepção térmica.

Tabela 10 – Local de residência dos respondentes durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza no período de 2011 a 2012.

	Frequência	Percentual	Percentagem acumulativa
Secretaria Regional do Centro - SERCEFOP	34	2,6	2,6
Secretaria Regional I - SER I	188	14,5	17,1
Secretaria Regional II - SER II	261	20,1	37,2
Secretaria Regional III - SER III	154	11,9	49,1
Secretaria Regional IV - SER IV	180	13,9	63,0
Secretaria Regional V - SER V	173	13,3	76,3
Secretaria Regional VI - SER VI	179	13,8	90,1
Região Metropolitana de Fortaleza - RMF	128	9,9	100,0
Total	1297	100,0	

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Tabela 11 – Naturalidade ou nacionalidade dos entrevistados durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza no período de 2011 a 2012.

	Frequência	Percentual
Ceará	1133	87,4
Região Norte	23	1,8
Região Nordeste (Exceto Ceará)	64	4,9
Região Centro Oeste	8	0,6
Região Sudeste	58	4,5
Região Sul	6	0,5
Europa	3	0,2
América do Sul	2	0,2
Total	1297	100,0

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

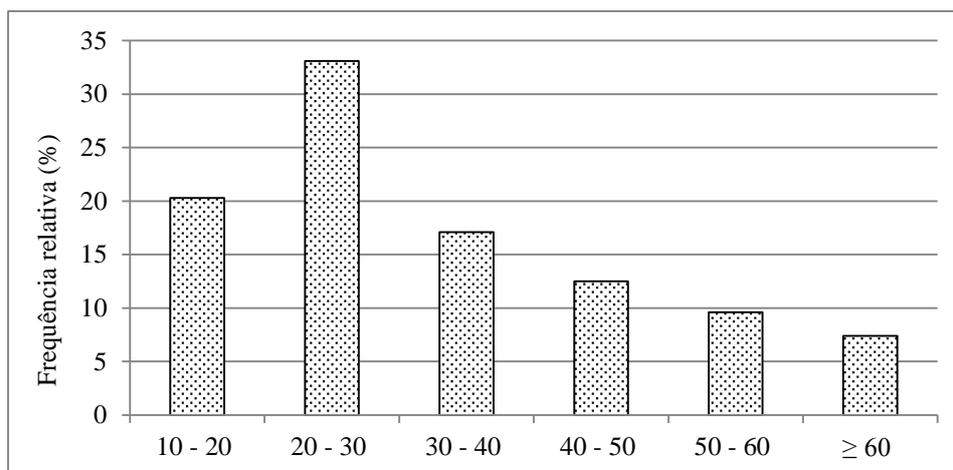
Tabela 12 – Tempo que reside em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.

	Frequência	Percentual
2 - 5 anos	24	1,9
5 - 10 anos	22	1,7
10 - 20 anos	63	4,9
≥ 20 anos	55	4,2
A vida toda	1133	87,4
Total	1297	100,0

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

A faixa etária predominante é de adultos entre 20 e 50 anos (62,7%) e as idades mínima e máxima observadas foram, respectivamente, 15 e 69 anos (Figura 36 e Tabela 13). Também é possível observar um equilíbrio entre os gêneros masculino e feminino. Apesar de uma dispersão moderada na classificação do índice de massa corpórea, quase 50% da amostra é classificada com peso normal (Figura 37). Segundo Havenith (2005) e Carvalhais (2011), esses são alguns dos fatores individuais que influenciam na tolerância ao calor.

Figura 36 – Faixa etária dos entrevistados em Fortaleza,CE, no período de 2011 a 2012.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

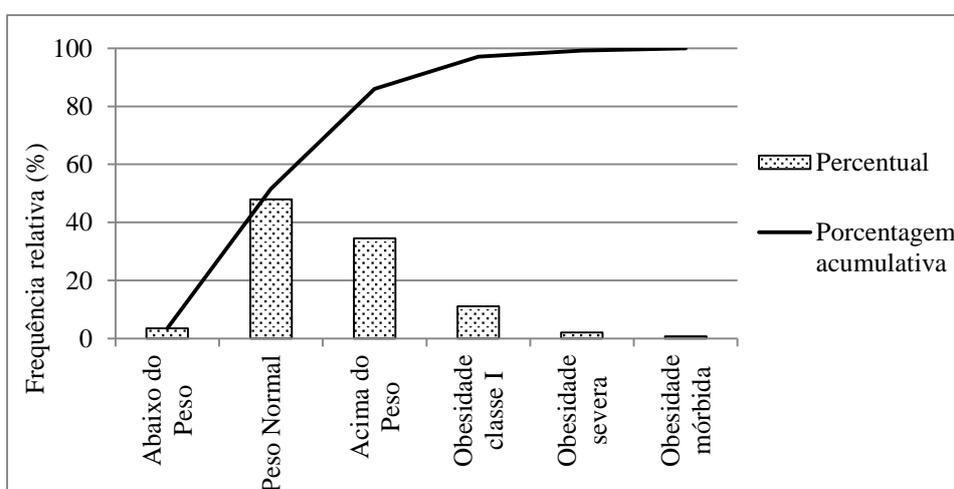
Uma importante característica a ser observada é a disposição física, onde 80,4% das pessoas entrevistadas sentem-se em estado de “Normalidade” a “Muito bem” (Figura 38). Vale ressaltar que as categorias “Levemente indisposto” e “Indisposto” não significam que a pessoa está doente, mas por algum motivo, como cansaço ou porque dormiu tarde, sente-se indisposta.

Tabela 13 – Descritivas da idade, do peso (kg), altura (m) e IMC dos respondentes da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, durante o período de 2011 a 2012.

		Número de observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Faixa etária	Geral	1297	15	69	34	14,4
	Feminino	528	15	65	32	14,1
	Masculino	769	17	69	35	14,2
Peso (kg)	Geral	1297	38,0	157,0	70,7	15,2
	Feminino	528	38,0	140,0	62,1	12,2
	Masculino	769	41,0	157,0	76,6	14,3
Altura (m)	Geral	1297	1,20	1,98	1,67	0,10
	Feminino	528	1,20	1,80	1,59	0,08
	Masculino	769	1,40	1,98	1,72	0,08
IMC	Geral	1297	14,7	58,3	25,4	4,6
	Feminino	528	15,8	58,3	24,5	5,0
	Masculino	769	14,7	43,8	25,9	4,2

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

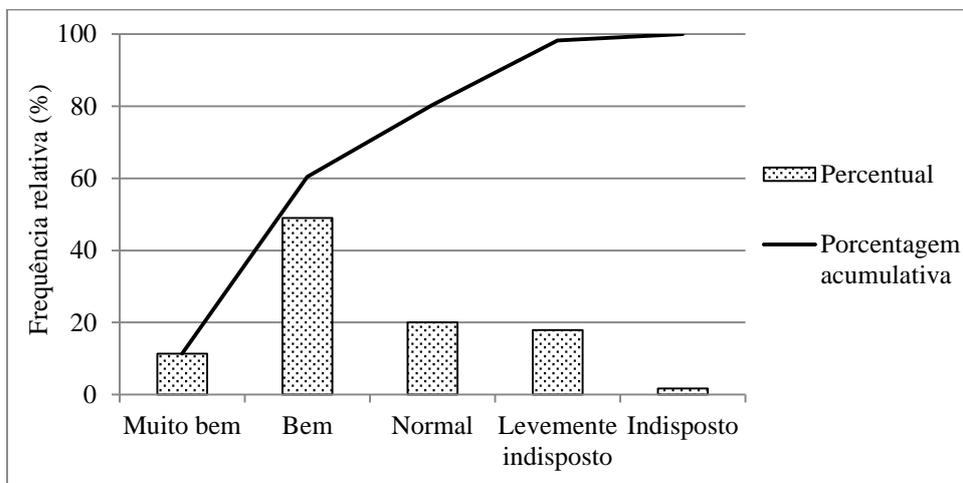
Figura 37 – Índice de Massa Corpórea (IMC) dos respondentes da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, durante o período de 2011 a 2012.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

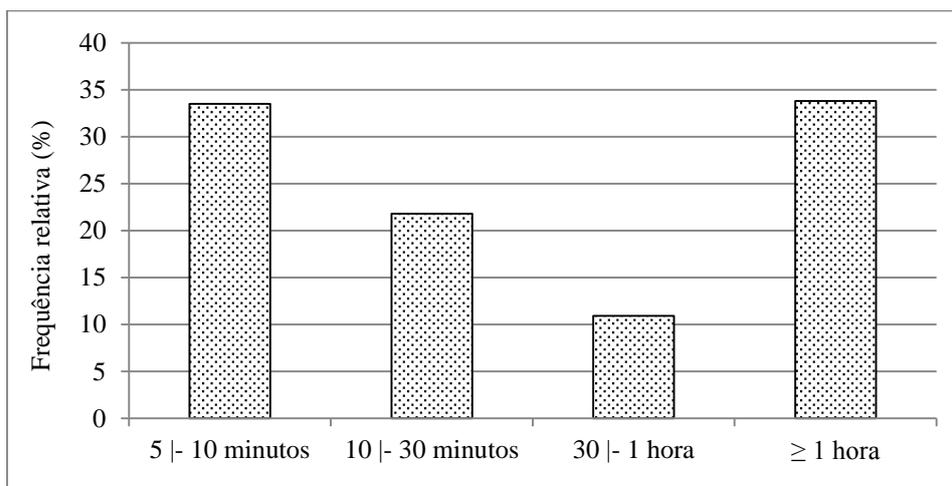
Outro aspecto relevante diz respeito ao tempo de exposição, 66,5% das pessoas entrevistadas situam-se no local da entrevista há mais de dez minutos (Figura 39). O intervalo de dez a doze minutos é considerado por Hodder e Parsons (2007) como o tempo mínimo necessário para a estabilização da sensação térmica. Para Fiala e Lomas (2001), em ambientes quentes, o processo de adaptação às condições climáticas atuais acontece durante os primeiros cinco a dez minutos de exposição.

Figura 38 – Disposição física dos entrevistados na pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, durante o período de 2011 a 2012.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

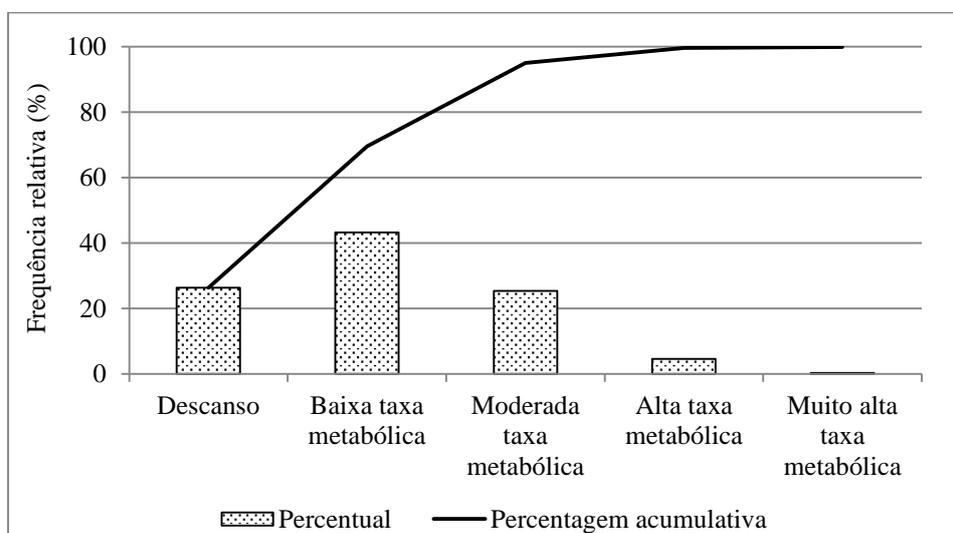
Figura 39 – Tempo de exposição no local da entrevista em Fortaleza, CE, durante o período de 2011 a 2012.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Complementando os dados individuais, a Figura 40 apresenta o nível de atividade e a Tabela 14, as descritivas da taxa metabólica e do isolamento térmico do vestuário. Esses valores são tabelados conforme a atividade desenvolvida e as peças que compõem o vestuário. Existem muitas críticas a respeito da forma como eles são identificados, sendo passíveis de erros (HUMPHREYS; NICOL, 2002; PARSONS, 2001c; CHARLES, 2003; CAMARGO, 2007).

Figura 40 – Nível de atividade metabólica (W/m^2) dos entrevistados na pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, durante o período de 2011 a 2012.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Tabela 14 – Descritivas da taxa metabólica (W/m^2) e do isolamento térmico do vestuário (clo) das pessoas entrevistadas durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.

Variáveis	Nº de observ.	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Moda	Desvio padrão	Coef. var.
Taxa metabólica	1297	40	337	108,97	115,0	150,0	45,25	41,5%
Vestuário	1297	0,17	0,8	0,36	0,39	0,4	0,09	25%

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Entretanto, comumente esses valores são identificados dessa forma e, por meio deles, observa-se que, durante o levantamento de campo, o nível de atividade é predominante baixa ou leve. Quando somada ao descanso e ao nível moderado, abrange 95% da amostra. Da mesma forma, o vestuário é caracterizado por roupas leves de verão, com média variabilidade.

4.2.1.4 Análise da percepção, avaliação e preferência térmica da população

A fim de verificar a percepção e preferência térmica da população e testar a hipótese de que existe um deslocamento para a esquerda na escala de ASHRAE, a Tabela 15 compara os resultados da pesquisa de campo referentes à sensação térmica apontada no ato da entrevista (percepção) e a que preferia estar sentindo no mesmo momento (preferência). Nela percebe-se que, de acordo com as condições climáticas no instante em que a pesquisa foi

realizada, aproximadamente, 56% dos entrevistados apresentam uma sensação térmica voltada para o calor e 72,6% preferiam estar se sentindo mais fresco.

Tabela 15 – Sensação térmica atual (STA) e desejada (STD) dos entrevistados na pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, durante o período de 2011 a 2012.

Sensação Térmica Desejada	Sensação Térmica Atual							Total	F _{ac.}	
	Ext. calor (+4)	Muito Quente (+3)	Quente (+2)	Lev. aquec. (+1)	Neutro (0)	Lev. fresco (-1)	Fresco (-2)			
	F _{abs.}	F _{rel.}	F _{abs.}	F _{rel.}	F _{abs.}	F _{rel.}	F _{abs.}			F _{rel.}
Bem mais fresco (-2)	F _{abs.}	5	81	207	240	95	61	26	715	715
	F _{rel.}	83,3%	88,0%	82,8%	63,5%	35,6%	40,7%	16,9%	55,1%	55,1%
Lev. mais fresco (-1)	F _{abs.}	0	10	30	103	57	12	15	227	942
	F _{rel.}	0%	10,9%	12,0%	27,2%	21,3%	8,0%	9,7%	17,5%	72,6%
Como está (0)	F _{abs.}	1	1	13	35	115	75	109	349	1291
	F _{rel.}	16,7%	1,1%	5,2%	9,3%	43,1%	50,0%	70,8%	26,9%	99,5%
Pouco mais quente (+1)	F _{abs.}	0	0	0	0	0	2	4	6	1297
	F _{rel.}	0%	0%	0%	0%	0%	1,3%	2,6%	0,5%	100%
Total	F _{abs.}	6	92	250	378	267	150	154	1297	-
	F _{rel.}	0,5%	7,1%	19,3%	29,1%	20,6%	11,6%	11,9%	100%	-
	F _{ac.}	0,5%	7,6%	26,8%	56,0%	76,6%	88,1%	100%	-	-

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

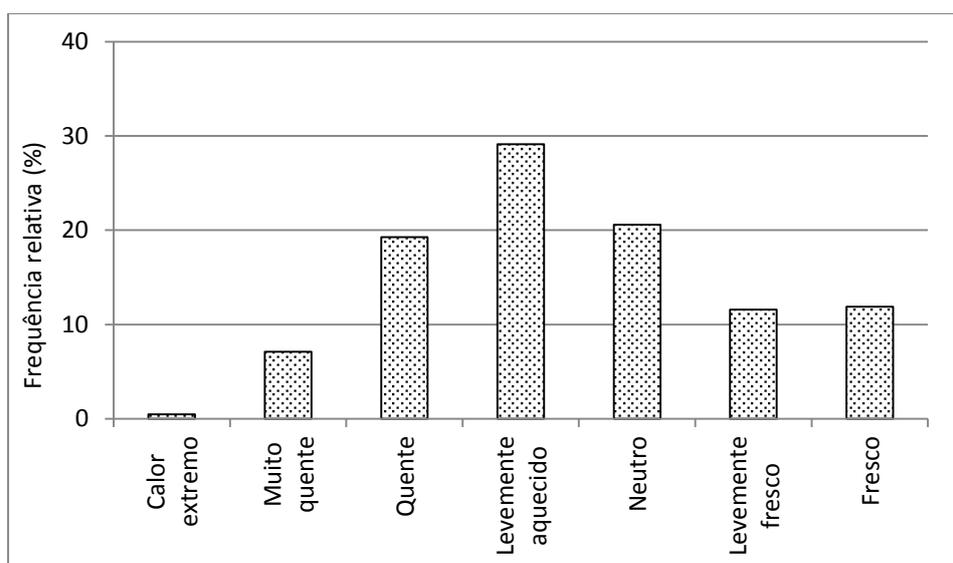
A linha central em cinza mostra o número de pessoas que, mesmo sentindo algum desconforto devido ao frio ou calor, gostariam de continuar no mesmo meio térmico. Ao todo são 349 pessoas e representam 26,9% da amostra. A coluna em cinza mostra que, mesmo estando em neutralidade térmica, algumas pessoas preferiam estar se sentindo mais frescas (11,7% do total entrevistado). Somente 115 pessoas (8,9% dos entrevistados) apontam estar em conforto. A porção superior esquerda mostra que todas as pessoas que sentem algum grau de desconforto devido ao calor, gostariam de estar em um meio mais frio.

Ao contrário do esperado, 95% dos que dizem estar se sentindo “fresco” ou “levemente fresco”, gostariam de estar se sentindo ainda mais fresco e somente 5%, um pouco mais aquecido. Entretanto, esperava-se que, no mínimo, estas pessoas não desejassem nenhuma mudança. Observa-se com isso que as categorias “fresco” e “levemente fresco” não são vistas como desconfortantes, provavelmente devido às características climáticas de Fortaleza.

No que se refere às seis pessoas que desejavam estar se sentindo um pouco mais quente, observou-se que elas apresentavam uma taxa metabólica muito baixa, um IMC inferior ao do peso normal e usavam roupas leves de verão (0,4clo). Paralelamente, constatou-se que as entrevistas ocorreram no início da manhã durante o primeiro (Julho) e quarto (Abril) períodos.

De todos os entrevistados, 676 pessoas se encontram em desconforto para o calor, 501 em conforto e 120 em desconforto para o frio, independentemente do período em que foram entrevistadas. A distribuição da sensação térmica atual (STA) refere-se à percepção térmica subjetiva, e pode ser melhor visualizada na Figura 41, enquanto a preferência térmica dentro de cada categoria é melhor representada na Figura 42. Observa-se que quanto mais quente o clima é percebido, mais fresco se prefere que ele seja. Portanto, confirma-se a preferência térmica da população por um clima mais fresco.

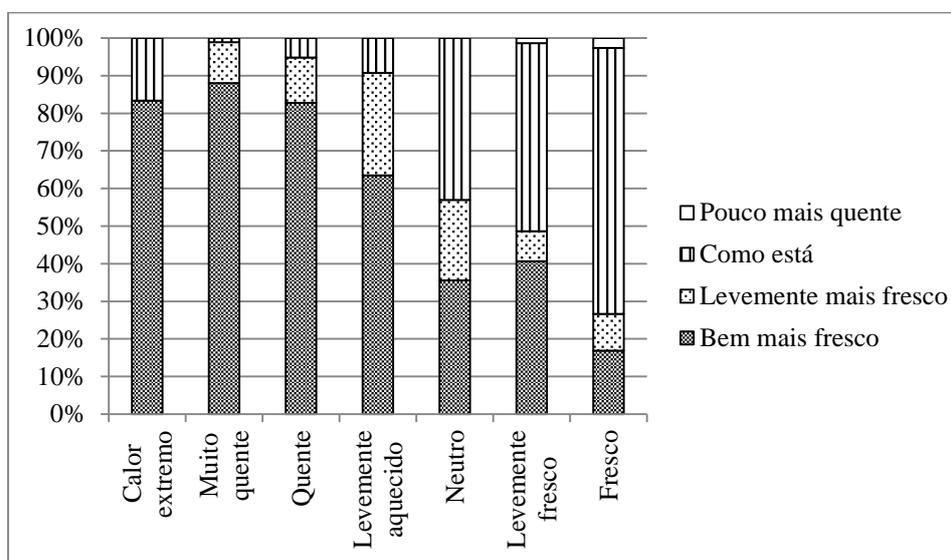
Figura 41 – Percentuais da sensação térmica percebida pelos entrevistados durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Como observado por Humphreys e Hancock (2007), para cada sensação térmica atual, há uma diversidade de sensação desejada e, por isso, cada categoria na escala de ASHRAE pode ter mais de um significado, algumas vezes pode indicar satisfação térmica, outras desconforto. Em um estudo realizado no Reino Unido, esses autores observam que a sensação desejada média situa-se acima do “neutro” e ressaltam que isso provavelmente acontece porque o clima é frio, devendo-se assegurar um aquecimento suficiente para as pessoas.

Figura 42 – Sensação térmica desejada pelas pessoas entrevistadas durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.



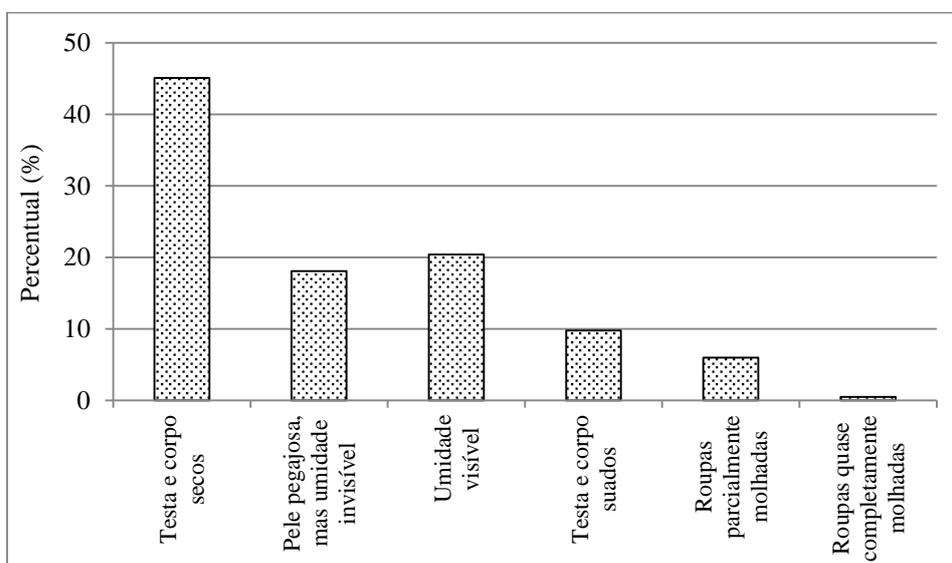
Fonte: Elaborada pela autora (2015).

No presente trabalho, considerando-se que as pessoas em estado “neutro” são as que não desejam mudança, então a sensação térmica desejada média situa-se entre as categorias “como está” e “levemente mais fresco”, ou seja, abaixo do “neutro”. Portanto, é interessante observar que, assim como previsto por Humphreys e Hancock (2007), e levando-se em consideração que o clima de Fortaleza é quente, a sensação térmica desejada média situa-se abaixo do “neutro”, pois o conforto está associado com o frescor, enquanto a sensação térmica atual média situa-se um pouco acima do “neutro”.

A perspiração sensível é uma das principais avaliações subjetivas do meio térmico, diz respeito ao estado de umidade da pele, se aplica somente às condições quentes da zona de conforto e depende da combinação de umidade, temperatura do ar, velocidade do vento e taxa metabólica (GIVONI, 1976). Pela Figura 43 observa-se que a maioria dos entrevistados considera o corpo e a testa como secos.

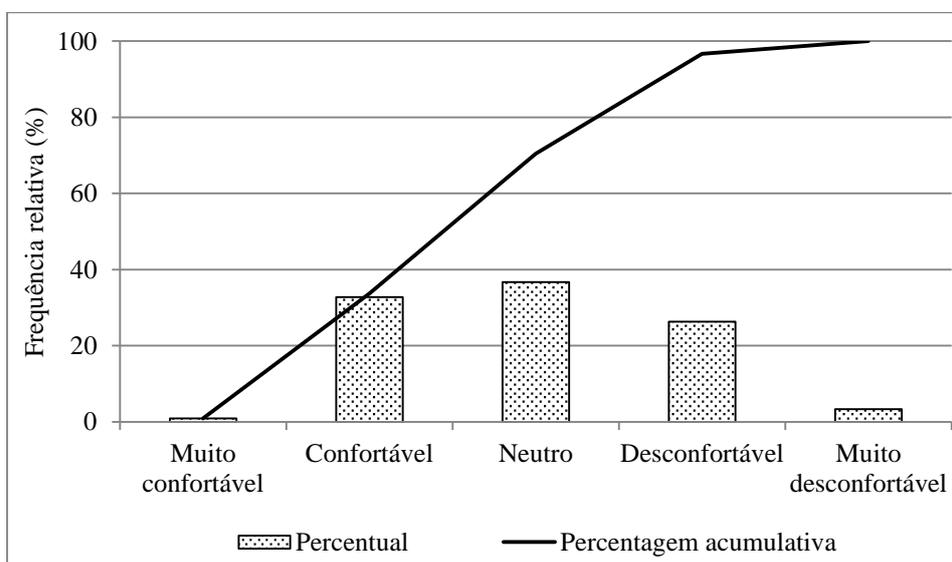
No que diz respeito ao nível de conforto, apesar da maioria dos entrevistados perceber as condições térmicas como “Levemente aquecido” a “Muito quente”, os que dizem estar se sentindo de “Neutro” a “Muito confortável” somam 70,4% do total entrevistado (Figura 44), mostrando uma adaptação ao calor.

Figura 43 – Avaliação subjetiva da perspiração sensível pelas pessoas entrevistadas durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Figura 44 – Percentual do nível de conforto relatado pelas pessoas entrevistadas durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

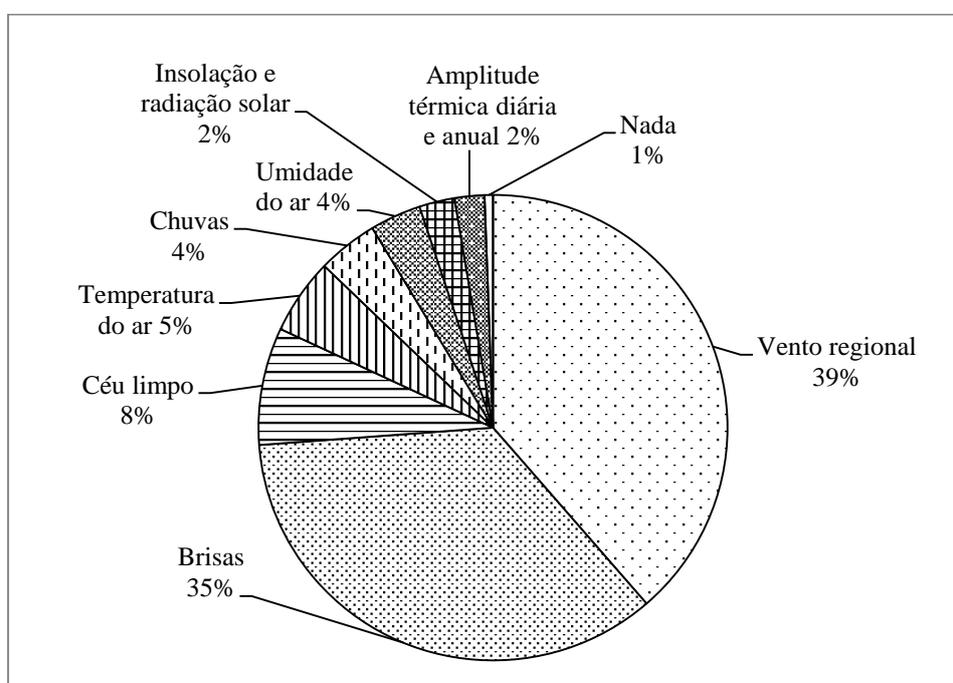
O levantamento de campo ainda visou analisar a preferência térmica da população a partir de outros parâmetros como a proteção contra o sol e a claridade, os maiores incômodos percebidos com relação a algumas características climáticas e a própria experiência relatada à memória individual a fim de explorar sua expectativa e ações em diferentes circunstâncias como sugerido por Nikolopoulou e Steemers (2003).

Dentro desse contexto, é interessante abordar dois aspectos que obrigatoriamente influenciam a composição da estrutura urbana. O primeiro deles diz respeito ao sombreamento. O sol forte é o parâmetro mais apontado como desconfortante (56% dos entrevistados) enquanto o sombreamento proporcionado pelas árvores e edifícios, adicionado a outros recursos como o uso de bonés ou chapéus, mangas protetoras e guarda-sol, totalizam 69% de toda a amostra e 96% dos que dizem usar alguma forma de proteção.

Hirashima (2010) observa no estudo realizado na cidade de Belo Horizonte, MG, onde o clima é mais ameno, que, em dias ensolarados, as pessoas estavam em sua grande maioria na sombra.

O segundo diz respeito à ventilação. As brisas e o vento são os elementos climáticos considerados mais agradáveis ao clima de Fortaleza (Figura 45). Isso é confirmado pelas justificativas dadas na escolha do período do ano e do turno do dia considerados mais agradáveis. Esse resultado está de acordo com as estratégias sugeridas na Carta Bioclimática de Fortaleza, mas amplia a sua aplicação ao meio externo, recomendando sombreamento e ventilação para o espaço aberto urbano, como calçadas, parques e praças.

Figura 45 – Elementos climáticos considerados mais agradáveis no clima de Fortaleza, CE com relação ao total entrevistado entre os anos de 2011 a 2012.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

No tocante à experiência relatada e expectativa, observa-se que a população sente dificuldade em identificar, ao longo do ano, os meses mais desconfortáveis, provavelmente,

devido à pequena amplitude térmica. Entretanto, no geral, apontam o mês de Dezembro como mais desconfortável (30% da amostra) e o de Abril (20% da amostra) e o de Junho (16% do total entrevistado) como os mais confortáveis. Mas, ressaltam que consideram o mês de Abril confortável somente no momento em que está chovendo, caso contrário, dão preferência ao mês de Junho por sentirem a temperatura mais amena.

Com relação ao turno do dia considerado mais agradável, a maioria das pessoas entrevistadas aponta a madrugada e a manhã, entre 04:00 e 08:00h, como os horários mais confortáveis, atribuindo como razão para a escolha, o fato de ser mais fresco, ventilado e apresentar temperaturas mais baixas e sol fraco. A seguir, são apresentados os resultados dos testes de associações realizados entre determinados parâmetros com o objetivo de identificar a existência de alguma dependência entre eles.

4.2.1.5 Testes de associação

Alguns estudiosos afirmam que a sensação térmica pode ser influenciada por outros fatores além do clima. Em geral, são características individuais que interferem nas respostas termorreguladoras. Por esse motivo, verifica-se a existência ou não de dependência entre algumas variáveis. Todos os testes são realizados a um nível de significância de 5% e os resultados das relações podem ser visualizados na Tabela 16. As tabelas de contingência necessárias à aplicação do teste estão dispostas no Apêndice G.

Tabela 16 – Resultado dos testes de associação (teste chi-quadrado).

Relações avaliadas	Valor	df	p-valor	Conclusão
STA x STD	463,75	18	< 0,001	Há evidências de associação
STA x IMC	28,38	30	0,550	Não há evidências de associação
STA x Pers_sensível	322,05	30	< 0,001	Há evidências de associação
STA x T_exposição	25,55	18	0,208	Não há evidências de associação
STA x D_física	58,78	24	< 0,001	Há evidências de associação
STD x IMC	31,24	15	0,008	Há evidências de associação
STD x T_exposição	18,75	9	0,027	Há evidências de associação
STD x D_física	68,08	12	< 0,001	Há evidências de associação
T_exposição x D_física	11,86	12	0,457	Não há evidências de associação
Pers_sensível x N_conf	199,05	20	< 0,001	Há evidências de associação

STA – Sensação Térmica Atual; STD – Sensação Térmica Desejada; IMC – Índice de Massa Corpórea; Pers_sensível – Perspiração Sensível; T_exposição – Tempo de Exposição; D_física – Disposição Física; N_conf – Nível de Conforto; df – grau de liberdade.

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Portanto, observa-se que, para as condições térmicas atuantes, os parâmetros Disposição Física e Perspiração Sensível interferem de alguma forma na Sensação Térmica Atual percebida pela população de maneira altamente significativa.

A umidade presente sobre a superfície da pele dificulta o resfriamento proporcionado pelo processo de evaporação, pois o calor utilizado na evaporação passa a advir do meio e não da pele, elevando a sensação de desconforto para o calor. As relações estabelecidas entre a Perspiração Sensível, a Sensação Térmica Atual e o Nível de Conforto refletem essa condição.

Segundo Carvalhais (2011), qualquer condição de saúde que provoque uma alteração no sistema termorregulador aumenta o risco das consequências de exposições a ambientes quentes; entretanto, os mecanismos associados a esta relação ainda não são bem conhecidos.

Neste estudo, foram tratadas pessoas saudáveis, mas que porventura podem apresentar algum nível de indisposição. Ao todo, 1043 dizem estar se sentindo dispostas; desse total, 564 percebem o clima mais quente que neutro. Isto representa, respectivamente, 80% e 43% da amostra. Por outro lado, 64% dos 20% da amostra que dizem estar indispostos também percebem o clima como mais quente que neutro. Portanto, aparentemente não se pode fazer nenhuma suposição sobre a relação entre a Sensação Térmica Atual e a Disposição Física.

A relação entre a Sensação Térmica Desejada e o Índice de Massa Corpórea também apresenta evidências de associação. A preferência da população é caracterizada por uma sensação mais fresca e isso se reflete em todas as categorias de IMC, com pequenas diferenças percentuais entre elas. Entretanto, para a Sensação Térmica Atual não se identifica um padrão de distribuição com os níveis de IMC.

É interessante observar a dependência existente entre a Sensação Térmica Atual e a Desejada. A maioria dos que dizem estar se sentindo “levemente aquecido”, “quente”, “muito quente” ou com “calor extremo” deseja uma sensação térmica bem mais fresca, enquanto a maioria dos que se sentem “fresco”, “levemente fresco” ou “neutro” não deseja nenhuma mudança. Esse resultado confirma a hipótese de que a sensação térmica desejada está associada à sensação térmica atual.

4.2.1.6 Descritiva dos Índices Térmicos e análise de sua aplicabilidade

A Tabela 17 mostra a estatística descritiva da Sensação Térmica Atual (STA) e dos índices térmicos utilizados. Através dela, observa-se que os índices que apresentam maior

e menor variabilidade são, respectivamente, o *ASV* e o *DI*. Também é interessante observar que a média da Sensação Térmica Atual é 0,6, correspondendo à categoria “Levemente aquecido”, enquanto, com exceção do *ASV* e do *NET*, a média dos demais índices situa-se dentro da categoria “Quente”.

Tabela 17 – Estatística descritiva dos índices térmicos utilizados durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.

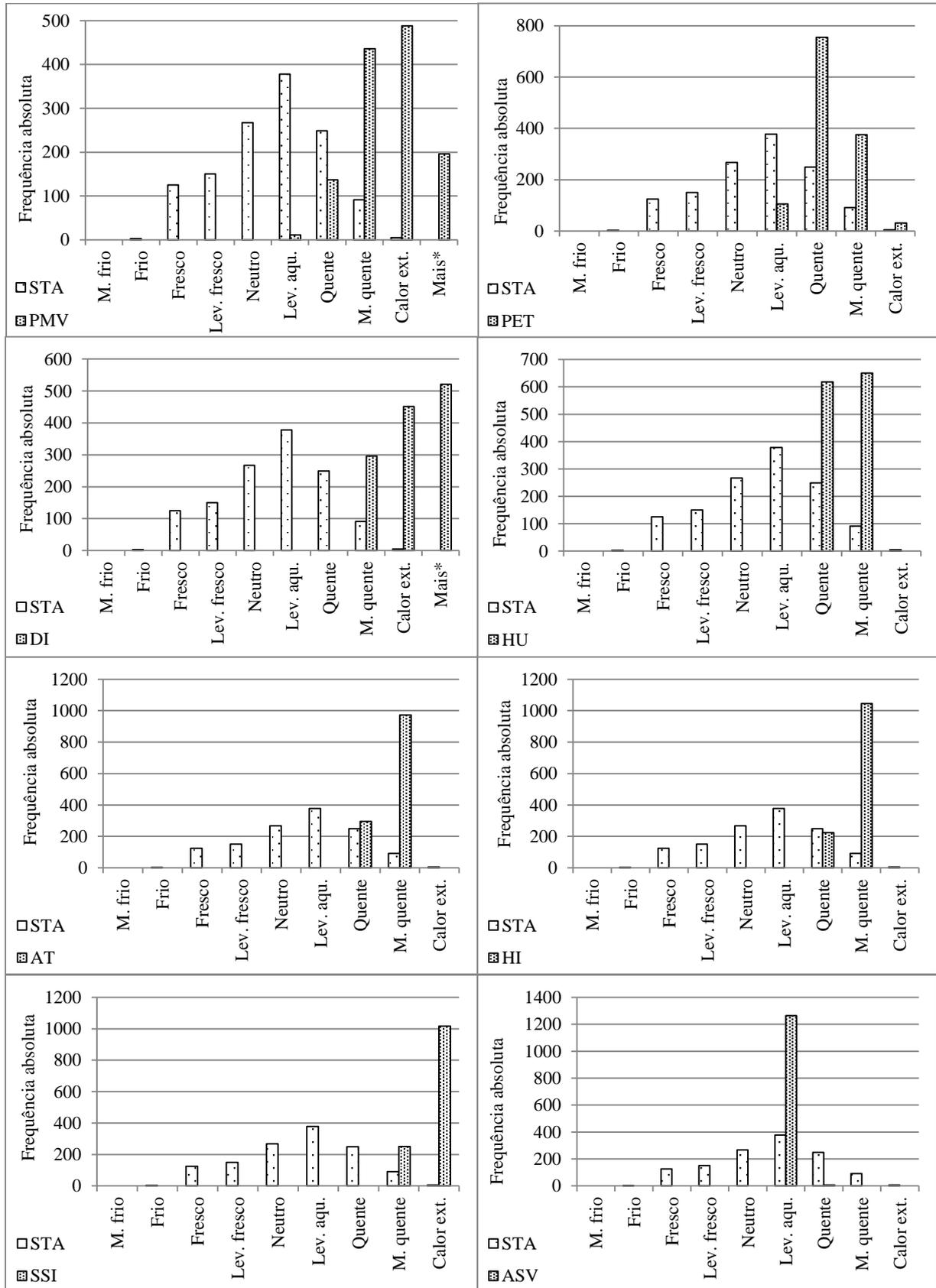
Índices térmicos	Média	Mediana	Moda	Desvio padrão	Variância	Coef. de variação	Mínimo	Máximo
STA	0,6	1,0	1,0	1,4	2,0	234,0	-3,0	4,0
PMV	3,1	3,1	3,2	1,0	0,9	30,8	0,2	7,7
PET	33,6	33,4	31,7	3,4	11,9	10,2	25,6	44,6
DI	26,5	26,6	26,4	0,7	0,6	2,8	24,1	28,2
HU	39,7	40,1	40,9	2,0	3,8	4,9	34,4	44,1
AT	33,1	33,1	35,7	1,5	2,4	4,6	27,5	36,6
HI	33,9	34,0	35,0	2,0	3,9	5,8	28,3	39,0
SSI	39,2	39,5	40,2	1,6	2,6	4,1	34,3	42,8
ASV	0,4	0,4	0,4	0,1	0,0	36,5	0,1	1,3
UTCI	33,7	33,7	37,3	2,0	3,9	5,9	27,5	38,7
NET	23,2	23,3	25,6	1,3	1,6	5,5	18,8	25,8

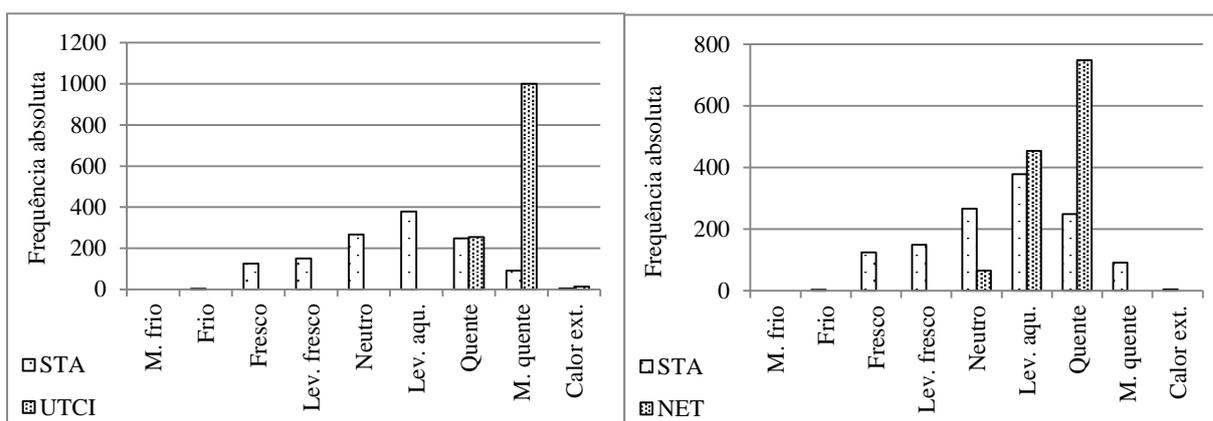
Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Com o objetivo de verificar a aplicabilidade dos índices térmicos e testar a hipótese de que existe uma discrepância entre o voto de sensação térmica atual e o resultado analítico dos índices térmicos, primeiramente, são elaborados gráficos mostrando os resultados analíticos e relatados pelos entrevistados.

A Figura 46 mostra o quanto o valor calculado se distancia da realidade e a Tabela 18 compara os limites das escalas de apreciação dos índices com o intervalo de confiança proposto para cada índice com base na pesquisa de campo. Através deles, percebe-se que os resultados analíticos se concentram, basicamente, em duas ou três categorias, não sendo capazes de perceberem as diferenças apontadas pelas pessoas.

Figura 46 – Histograma de frequência dos valores observados para a sensação térmica atual e os índices térmicos durante a pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.





*Mais – coluna referente à quantidade de valores que excedem o limite superior da escala de apreciação original do índice analisado.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Tabela 18 – Comparação entre os valores dos limites inferiores e superiores das escalas de apreciação dos índices e os definidos a partir da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, entre 2011 e 2012.

Índice térmico	Categorias de sensação térmica	Escala original de apreciação do índice		Pesquisa de campo			
				Intervalo de 95% de confiança		Mín.	Máx.
		Lim_inf	Lim_sup	Lim_inf	Lim_sup		
PMV	Fresco	-2,5	-1,5	2,74	3,03	0,5	6,2
	Levemente fresco	-1,5	-0,5	2,78	3,11	0,2	5,5
	Neutro	-0,5	0,5	2,82	3,05	0,8	6,1
	Levemente aquecido	0,5	1,5	3,10	3,28	0,5	6,2
	Quente	1,5	2,5	3,25	3,50	1,2	7,7
	Muito quente	2,5	3,5	3,24	3,64	1,5	6,9
	Calor extremo	3,5		2,60	5,77	2,0	5,5
PET	Fresco	8,0	13,0	32,20	33,27	25,6	42,6
	Levemente fresco	13,0	18,0	32,51	33,64	25,9	41,4
	Neutro	18,0	23,0	32,72	33,60	25,8	43,9
	Levemente aquecido	23,0	29,0	33,50	34,17	26,5	43,0
	Quente	29,0	35,0	33,77	34,60	27,2	44,6
	Muito quente	35,0	41,0	33,88	35,26	28,5	42,6
	Calor extremo	41,0		31,53	41,33	30,3	40,5
DI	Fresco	-	-	26,16	26,42	24,1	28,2
	Levemente fresco	-	-	26,19	26,43	24,2	27,7
	Neutro	18	21	26,19	26,36	24,2	28,2
	Levemente aquecido	21	24	26,48	26,62	24,5	28,2
	Quente	24	26	26,59	26,76	24,5	28,2
	Muito quente	26	26,7	26,81	27,06	25,4	28,0
	Calor extremo	26,7	32	26,16	27,94	25,5	27,8

(continua)

Tabela 18 – Comparação entre os valores dos limites das escalas de apreciação dos índices e os definidos a partir da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, entre 2011 e 2012 (*continuação*).

Índice térmico	Categorias de sensação térmica	Escala original de apreciação do índice		Pesquisa de campo			
				Intervalo de 95% de confiança		Mín.	Máx.
		Lim_inf	Lim_sup	Lim_inf	Lim_sup		
HU	Fresco	-	-	38,87	39,54	34,4	44,1
	Levemente fresco	-	-	38,94	39,55	34,4	43,2
	Neutro	20	30	38,85	39,31	34,4	44,1
	Levemente aquecido	30	40	39,69	40,06	35,1	44,1
	Quente	40	46	39,97	40,42	35,0	44,1
	Muito quente	46		40,56	41,25	36,3	43,6
	Calor extremo			38,54	43,17	36,9	43,2
AT	Fresco	-	-	32,30	32,80	28,2	36,6
	Levemente fresco	-	-	32,39	32,85	28,4	35,7
	Neutro	-	-	32,48	32,84	27,5	36,6
	Levemente aquecido	26,7	32,2	33,05	33,36	27,6	36,6
	Quente	32,2	40,0	33,30	33,66	28,2	36,6
	Muito quente	40,0	54,4	33,71	34,23	31,6	36,4
	Calor extremo	54,4		32,39	35,86	31,5	35,9
HI	Fresco	-	-	33,00	33,67	28,3	39,0
	Levemente fresco	-	-	33,10	33,69	28,7	37,9
	Neutro	-	-	33,05	33,49	28,7	39,0
	Levemente aquecido	27,0	32,0	33,88	34,26	29,1	39,0
	Quente	32,0	41,0	34,18	34,66	29,1	39,0
	Muito quente	41,0	54,0	34,81	35,54	31,1	38,4
	Calor extremo	54,0		32,69	37,79	31,2	37,9
SSI	Fresco	-	-	38,47	39,03	34,3	42,8
	Levemente fresco	21,1	25,0	38,57	39,06	34,7	42,1
	Neutro	25,0	28,3	38,51	38,88	34,7	42,8
	Levemente aquecido	28,3	32,8	39,19	39,50	35,3	42,8
	Quente	32,8	37,8	39,43	39,80	35,4	42,8
	Muito quente	37,8	44,4	39,93	40,48	36,7	42,5
	Calor extremo	44,4	51,7	38,25	42,14	36,9	42,1
ASV	Fresco	-2	-1	0,35	0,41	0,1	1,3
	Levemente fresco	-1	0	0,34	0,39	0,1	1,1
	Neutro	0	1	0,35	0,38	0,1	1,3
	Levemente aquecido	1	2	0,38	0,41	0,1	1,1
	Quente	2	3	0,40	0,43	0,1	1,1
	Muito quente	3		0,41	0,46	0,1	0,9
	Calor extremo			0,27	0,75	0,3	0,9
UTCI	Fresco	0	9	32,88	33,54	28,2	38,5
	Levemente fresco	9	18	32,99	33,65	28,3	37,9
	Neutro	18	26	33,01	33,50	27,5	38,5
	Levemente aquecido	26	32	33,66	34,04	28,2	38,7
	Quente	32	38	33,85	34,30	29,2	38,1
	Muito quente	38	46	34,23	34,90	31,1	38,0
	Calor extremo	46		32,72	38,40	31,5	37,5

(continua)

Tabela 18 – Comparação entre os valores dos limites das escalas de apreciação dos índices e os definidos a partir da pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, entre 2011 e 2012 (*continuação*).

Índice térmico	Categorias de sensação térmica	Escala original de apreciação do índice		Pesquisa de campo			
				Intervalo de 95% de confiança		Mín.	Máx.
		Lim_inf	Lim_sup	Lim_inf	Lim_sup		
NET	Fresco	9	17	22,58	23,04	18,8	25,8
	Levemente fresco	17	21	22,67	23,08	19,2	25,6
	Neutro	21	23	22,65	22,94	19,2	25,8
	Levemente aquecido	23	27	23,17	23,42	19,5	25,8
	Quente	27		23,35	23,65	19,5	25,8
	Muito quente			23,73	24,18	21,2	25,7
	Calor extremo			22,40	25,62	21,4	25,7

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

(conclusão)

Quando se verifica a correlação entre o valor analítico dos índices e a sensação térmica atual (Tabela 19), mesmo atendendo a todos os critérios de aplicabilidade de cada índice, verifica-se que os coeficientes de determinação são muito baixos, indicando ausência de relação. Por exemplo, da relação entre a STA e o PET, verifica-se que o PET explica somente 4,35% das sensações térmicas relatadas ($R^2 = 0,0435$).

Isso não significa dizer que não possam ser aplicados, mas sim que obrigatoriamente precisam ser ajustados ao clima de Fortaleza. Dentro de uma escala global, provavelmente eles retratam essa realidade, pois a maioria dos índices foi desenvolvida para o clima da zona temperada do norte e, verdadeiramente, o clima de Fortaleza é quente.

Tabela 19 – Coeficientes de determinação (R^2) entre os índices térmicos e a sensação térmica atual.

	PMV	PET	DI	HU	AT	HI	SSI	UTCI	NET
STA	0,0687	0,04357	0,0664	0,0683	0,0877	0,0805	0,0751	0,0609	0,0746

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Esse aspecto pode ser melhor compreendido verificando a existência de diferença e contraste entre as médias dos grupos. Para isso, se aplica a análise de variância ANOVA e o teste de Tukey, respectivamente. Mas, antecedendo essa análise, é necessário verificar a suposição de homogeneidade de variâncias entre os grupos e de normalidade de resíduos. A Tabela 20 apresenta os resultados do teste de igualdade de variância.

Tabela 20 – Teste de igualdade das variâncias (Levene) entre os índices térmicos e a STA.

Índice	F	Grau de liberdade 1	Grau de liberdade 2	p-valor
HI	1,068	5	1285	0,376
UTCI	1,665	5	1285	0,140
NET	2,033	5	1285	0,071
PMV	1,889	5	1285	0,093

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

No teste de Levene, testa-se a hipótese nula de que a variação de erro da variável dependente (índice térmico) é igual entre os grupos; portanto, se o p-valor é maior que 5%, não há evidências para rejeitar a hipótese de igualdade de variâncias. Nesse caso, todos os índices da Tabela 20 têm indícios de homogeneidade de variâncias, permitindo a continuação da análise através da ANOVA.

O objetivo da aplicação da ANOVA consiste em identificar a existência de diferenças entre os valores dos índices térmicos e as categorias de sensação térmica atual. Seus resultados estão presentes na Tabela 21 e, novamente, a hipótese nula testa a igualdade entre as variâncias, sendo rejeitada quando o p-valor é maior que 5%, assumindo-se que a variável dependente (índice térmico) difere entre os níveis de sensação térmica atual relatada pelos respondentes.

Pelos resultados obtidos, todos os índices constantes na Tabela 21 rejeitam a hipótese de que não há efeitos entre os assuntos, indicando que, pelo menos um efeito da variável dependente (índice térmico) difere entre si. Como a ANOVA não identifica quais os grupos que diferem entre si, aplica-se o teste de Tukey.

Conforme apresentado nas Tabelas de 22 a 25, as categorias de médias semelhantes são agrupadas em subconjuntos. Na Tabela 22 analisa-se a variável dependente *HI*. Ela difere entre si em algumas categorias, formando três subconjuntos, mas não tão bem definidos, pois os intervalos são muito próximos. Assim, as categorias “Neutro”, “Fresco” e “Levemente fresco” não diferem entre si e compõem o subconjunto 1, a “Levemente aquecido” e “Quente”, o subconjunto 2 e a categoria “Muito quente”, o terceiro subconjunto. Pode-se entender esse comportamento como um agrupamento das categorias que compõem um subconjunto em uma única categoria.

Para o índice *UTCI* (Tabela 23), as categorias “Fresco” e “Neutro” diferem de “Levemente aquecido”, “Quente” e “Muito quente”, mas os grupos “Levemente fresco”, “Levemente aquecido” e “Quente” se sobrepõem, não sendo possível definir a qual subconjunto pertencem.

Tabela 21 - Teste de efeitos entre os índices térmicos e a STA (ANOVA)**.

Índice térmico	Fonte	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média dos quadrados	F	p-valor
HI	STA	423,391	5	84,678	23,649	< 0,001
	Erro	4601,184	1285	3,581		
	Total corrigido	5024,574	1290			
UTCI	STA	231,488	5	46,298	12,346	< 0,001
	Erro	4818,735	1285	3,750		
	Total corrigido	5050,223	1290			
NET	STA	161,920	5	32,384	21,075	< 0,001
	Erro	1974,523	1285	1,537		
	Total corrigido	2136,443	1290			
PMV	STA	49,934	5	9,987	11,111	< 0,001
	Erro	1154,953	1285	0,899		
	Total corrigido	1204,887	1290			

**Na mesma análise é verificado o teste de normalidade dos resíduos, constatando-se que todos eles seguem normalidade.

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Tabela 22 – Teste de comparação de médias para o índice *HI*.

Sensação Térmica Atual	N	Subconjunto		
		1	2	3
Neutro	267	33,274		
Fresco	154	33,314		
Levemente fresco	150	33,396		
Levemente aquecido	378		34,072	
Quente	250		34,419	
Muito quente	92			35,174
Sig.		0,991	0,522	1,000

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Tabela 23 – Teste de comparação de médias para o índice *UTCI*.

Sensação Térmica Atual	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
Fresco	154	33,165			
Neutro	267	33,253			
Levemente fresco	150	33,322	33,322		
Levemente aquecido	378		33,849	33,849	
Quente	250			34,077	34,077
Muito quente	92				34,569
Sig.		0,975	0,113	0,882	0,168

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

No resultado do teste de Tukey para o índice *NET* (Tabela 24) observa-se que, apesar dos valores serem próximos, são formados três subconjuntos distintos, onde as categorias “Neutro”, “Fresco” e “Levemente fresco” não diferem entre si e compõem o

subconjunto 1, “Levemente aquecido” e “Quente” formam o segundo subconjunto e a categoria “Muito quente”, o terceiro.

Tabela 24 – Teste de comparação de médias para o índice *NET*.

Sensação Térmica Atual	N	Subconjunto		
		1	2	3
Neutro	267	22,794		
Fresco	154	22,795		
Levemente fresco	150	22,879		
Levemente aquecido	378		23,291	
Quente	250		23,502	
Muito quente	92			23,955
Sig.		0,988	0,606	1,000

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

No teste de comparação para o índice *PMV* (Tabela 25), observando o subconjunto 1, a categoria “Fresco” não difere nem do “Neutro” nem do “Levemente fresco”, mas difere dos demais. No subconjunto 2, os grupos “Neutro”, “Levemente fresco” e “Levemente aquecido” não diferem entre si, e no subconjunto 3, “Quente” e “Muito quente” não diferem de “Levemente aquecido”, mas diferem de “Fresco”, “Neutro” e “Levemente fresco”.

Tabela 25 – Teste de comparação de médias para o índice *PMV*.

Sensação Térmica Atual	N	Subconjunto		
		1	2	3
Fresco	154	2,883		
Neutro	267	2,934	2,934	
Levemente fresco	150	2,948	2,948	
Levemente aquecido	378		3,193	3,193
Quente	250			3,374
Muito quente	92			3,442
Sig.		0,988	0,111	0,139

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Uma vez que usando o teste de Levene não é identificada homogeneidade de variância para as variáveis dependentes *HU*, *PET*, *DI*, *AT*, *SSI* e *ASV*, violando um dos pressupostos para a aplicação da ANOVA, a comparação entre grupos passa a ser feita através do teste de Kruskal-Wallis e as diferenças entre grupos, através dos testes de Wilcoxon e Man-Whitney.

A Tabela 26 mostra os resultados do teste de Kruskal-Wallis para a verificação da existência de efeitos entre os índices térmicos e a sensação térmica atual. De acordo com ele, a um nível de significância de 5%, rejeita-se a hipótese de não existência de efeitos entre

grupos, portanto há indícios de que haja pelo menos um efeito, entre os grupos das variáveis dependentes, que difira entre si.

Tabela 26 - Teste de efeitos entre os índices térmicos e a STA (Kruskal-Wallis).

Índice térmico	Chi-quadrado	Graus de liberdade	Significância assintótica
HU	104,314	6	< 0,001
PET	38,274	6	< 0,001
DI	92,972	6	< 0,001
AT	99,785	6	< 0,001
SSI	105,443	6	< 0,001
ASV	46,518	6	< 0,001

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Na Tabela 27 são apresentados os grupos que diferem entre si. Novamente é possível observar que, para todos os índices, normalmente, as categorias “Fresco”, “Levemente fresco” e “Neutro” diferem de forma significativa das categorias “Levemente aquecido”, “Quente” e “Muito quente”.

Tabela 27 – Valores da significância assintótica do teste de diferenças entre grupos (categorias) independentes (Wilcoxon e Man-Whitney).

Índice térmico	Categorias de STA	Categorias de STA						
		Fresco	Levemente fresco	Neutro	Levemente aquecido	Quente	Muito quente	Calor extremo
HU	Fresco		0,819	0,450	0,001*	0,000*	0,000*	0,041*
	Levemente fresco	0,819		0,289	0,001*	0,000*	0,000*	0,037*
	Neutro	0,450	0,289		0,000*	0,000*	0,000*	0,025*
	Levemente aquecido	0,001*	0,001*	0,000*		0,041*	0,000*	0,152
	Quente	0,000*	0,000*	0,000*	0,041*		0,001*	0,260
	Muito quente	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,001*		0,876
	Calor extremo	0,041*	0,037*	0,025*	0,152	0,260	0,876	
PET	Fresco		0,500	0,506	0,001*	0,000*	0,000*	0,061
	Levemente fresco	0,500		0,998	0,019*	0,002*	0,001*	0,097
	Neutro	0,506	0,998		0,005*	0,000*	0,000*	0,103
	Levemente aquecido	0,001*	0,019*	0,005*		0,146	0,056	0,135
	Quente	0,000*	0,002*	0,000*	0,146		0,421	0,166
	Muito quente	0,000*	0,001*	0,000*	0,056	0,421		0,306
	Calor extremo	0,061	0,097	0,103	0,135	0,166	0,306	
DI	Fresco		0,905	0,608	0,001*	0,000*	0,000*	0,025*
	Levemente fresco	0,905		0,450	0,001*	0,000*	0,000*	0,016*
	Neutro	0,608	0,450		0,000*	0,000*	0,000*	0,016*
	Levemente aquecido	0,001*	0,001*	0,000*		0,045*	0,000*	0,061
	Quente	0,000*	0,000*	0,000*	0,045*		0,002*	0,138
	Muito quente	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,002*		0,441
	Calor extremo	0,025*	0,016*	0,016*	0,061	0,138	0,441	

(continua)

Tabela 27 – Valores da significância assintótica do teste de diferenças entre grupos (categorias) independentes (Wilcoxon e Man-Whitney) (*continuação*).

AT	Fresco		0,644	0,475	0,000*	0,000*	0,000*	0,024*
	Levemente fresco	0,644		0,857	0,000*	0,000*	0,000*	0,023*
	Neutro	0,475	0,857		0,000*	0,000*	0,000*	0,023*
	Levemente aquecido	0,000*	0,000*	0,000*		0,065	0,000*	0,130
	Quente	0,000*	0,000*	0,000*	0,065		0,013*	0,278
	Muito quente	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,013*		0,568
	Calor extremo	0,024*	0,023*	0,023*	0,130	0,278	0,568	
SSI	Fresco		0,774	0,508	0,000*	0,000*	0,000*	0,041*
	Levemente fresco	0,774		0,321	0,000*	0,000*	0,000*	0,037*
	Neutro	0,508	0,321		0,000*	0,000*	0,000*	0,026*
	Levemente aquecido	0,000*	0,000*	0,000*		0,034*	0,000*	0,147
	Quente	0,000*	0,000*	0,000*	0,034*		0,002*	0,274
	Muito quente	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,002*		0,728
	Calor extremo	0,041*	0,037*	0,026*	0,147	0,274	0,728	
ASV	Fresco		0,645	0,798	0,007*	0,001*	0,000*	0,156
	Levemente fresco	0,645		0,768	0,001*	0,000*	0,000*	0,126
	Neutro	0,798	0,768		0,001*	0,000*	0,000*	0,136
	Levemente aquecido	0,007*	0,001*	0,001*		0,301	0,009*	0,333
	Quente	0,001*	0,000*	0,000*	0,301		0,087	0,484
	Muito quente	0,000*	0,000*	0,000*	0,009*	0,087		0,778
	Calor extremo	0,156	0,126	0,136	0,333	0,484	0,778	

*significantes a 5%.

(conclusão)

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Os resultados mostram uma concentração dos valores analíticos dos índices em duas ou três categorias de sensação térmica dentro da sua escala de apreciação. Isso é observado tanto graficamente quanto na comparação entre os limites dos intervalos de confiança definidos para os índices térmicos calculados e os limites da escala de apreciação dos mesmos. Além de muito estreitos, eles se sobrepõem, dando a entender que todos os índices subestimam a quantidade de pessoas em conforto e superestimam a quantidade de pessoas em desconforto para o calor.

Investigando a variância das médias entre os grupos de sensação térmica dos índices térmicos e as categorias de sensação térmica atual (Índice Térmico x Sensação Térmica Atual) observa-se que diferem, significativamente, entre si. Portanto, conclui-se que, provavelmente, as amostras não provêm de populações com médias iguais e que, dessa forma, as sensações térmicas dos índices térmicos não são as mesmas para todas as categorias de sensação térmica relatada pela população.

As análises conduzidas confirmam a hipótese de que os limites de conforto definidos para as zonas climáticas mais frias não podem ser diretamente aplicados no meio externo de uma região de clima inter-tropical sem que sejam ajustados.

Os estudos realizados no Brasil por Xavier (1999), Lyra (2007), Monteiro (2008), Hirashima (2010) e Rossi (2012) também observam um comportamento semelhante a esse e optam pela calibração dos índices e proposição de um modelo preditivo. Na próxima seção são apresentados os resultados da análise *probit*. Por meio dela procura-se definir novas faixas de conforto para os índices estudados.

4.2.2 Análise de regressão probit

A fim de definir novos limites de conforto para os índices estudados, inicialmente é necessário identificar o percentual real de insatisfeitos e analisá-lo em função das sensações térmicas atuais, conforme apresentado na metodologia. Uma vez definida essa relação é possível identificar, na regressão *probit*, o valor correspondente ao percentual médio de insatisfeitos.

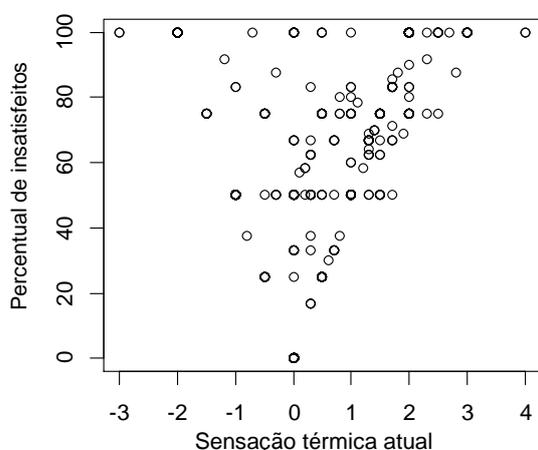
Segundo Xavier (1999), esse método baseia-se na relação estabelecida entre o *PMV* e o *PPD* desenvolvida por Fanger. Nessa relação, a faixa aceitável termicamente recai sobre a amplitude do *PMV* de -0,5 a +0,5, onde os votos das pessoas na escala de percepção também possuem amplitude de -0,5 a +0,5. Como a expressão do *PPD* (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas) é uma função exponencial do *PMV*, pode-se esperar que a relação estabelecida entre a Sensação Térmica Atual e a Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas também seja.

Seguindo a orientação expressa na metodologia para a identificação do percentual de pessoas insatisfeitas, primeiramente, procurou-se identificar esse percentual considerando as pessoas que estivessem insatisfeitas devido ao frio e ao calor. Entretanto, conforme a Figura 47, é observada uma ausência de relação.

Assim sendo, passa-se a considerar duas relações, na primeira (Figura 48) se identifica o percentual de pessoas insatisfeitas devido ao calor, onde o valor a ser substituído é +0,5. Corresponde a todas as pessoas que votam: “Calor extremo”, “Muito quente”, “Quente” e 50% dos que votam “Levemente aquecido”.

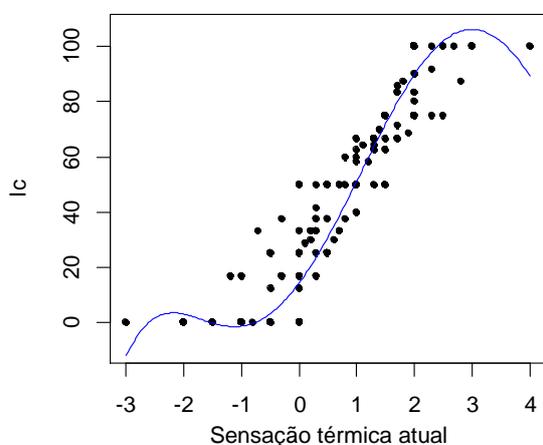
O segundo relacionamento deve identificar o percentual de pessoas “insatisfeitas” devido à ausência de frio (Figura 49), onde o valor a ser substituído é -0,5. Essa relação é composta por todos os que votam: “Calor extremo”, “Muito quente”, “Quente”, “levemente aquecido”, “Neutro” e 50% dos que votam “Levemente frio”. Dessa forma, os dois percentuais identificam os novos valores que definem a faixa de conforto.

Figura 47 – Relacionamento entre o percentual de insatisfeitos e a sensação térmica atual dos entrevistados em Fortaleza, CE, durante o período de 2011 a 2012.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Figura 48 - Relacionamento entre o percentual de insatisfeitos devido ao calor (I_c) e a sensação térmica atual dos entrevistados na pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

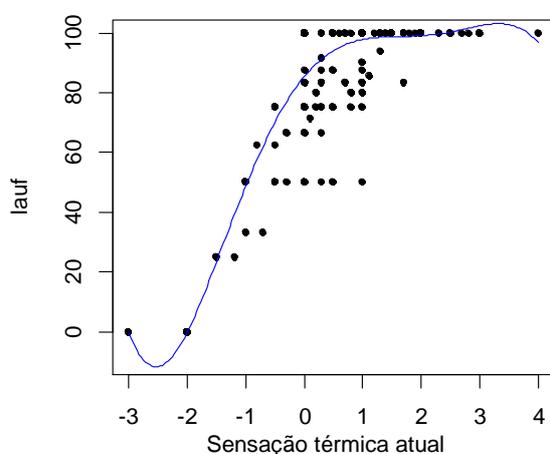
No primeiro caso (I_c) obtém-se um coeficiente de determinação $R^2 = 0,9028$, significando que 90% da variação da percentagem de pessoas insatisfeitas devido ao calor é justificada pela variação das sensações térmicas. Substituindo na Equação (28), a sensação predita igual a +0,5, tem-se um percentual de 31%. Para a percentagem de pessoas insatisfeitas devido à ausência de frio (I_{auf}), o coeficiente de determinação encontrado corresponde a 0,8686 e substituindo x_{auf} por -0,5 na Equação (29), determina-se um percentual de 70%.

$$I_c = 14,3429 + 28,3484x_c + 11,5455x_c^2 - 2,2335x_c^3 - 0,8784x_c^4 + 0,1414x_c^5 \quad (\%) \quad (28)$$

$$I_{auf} = 85,4487176 + 23,5706189x_{auf} - 13,1181644x_{auf}^2 + 1,1216401x_{auf}^3 + 1,0343031x_{auf}^4 - 0,2045629x_{auf}^5 \quad (\%) \quad (29)$$

onde, x_c e x_{auf} são as sensações previstas.

Figura 49 - Relacionamento entre o percentual de insatisfeitos devido à ausência de frio (I_{auf}) e a sensação térmica atual dos entrevistados na pesquisa de campo realizada em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Segundo ASHRAE (2004), o percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) no intervalo entre -0,5 e +0,5 é da ordem de 10%, entretanto no presente trabalho os percentuais de insatisfeitos encontrados, em ambas as situações, são da ordem de 30% ($I_c = 31\%$ e $I_{auf} = 70\%$, ou seja, a Percentagem de Insatisfeitos devido ao Frio é $100 - 70\% = 30\%$), superior ao estipulado pela norma.

No estudo realizado para Florianópolis, SC, Xavier (1999) também identifica um percentual de 30% e, na situação de conforto pleno, quando o voto corresponde a zero, a percentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico passa para 21,1%, muito superior aos 5% apontados pela norma para o PMV igual a zero. Lyra (2007), para Salvador, BA, identifica percentuais de 25% para -0,5 e 30% para +0,5 e, substituindo-se o zero na equação que define o percentual de pessoas insatisfeitas, encontra-se 25,1% para a condição de conforto pleno.

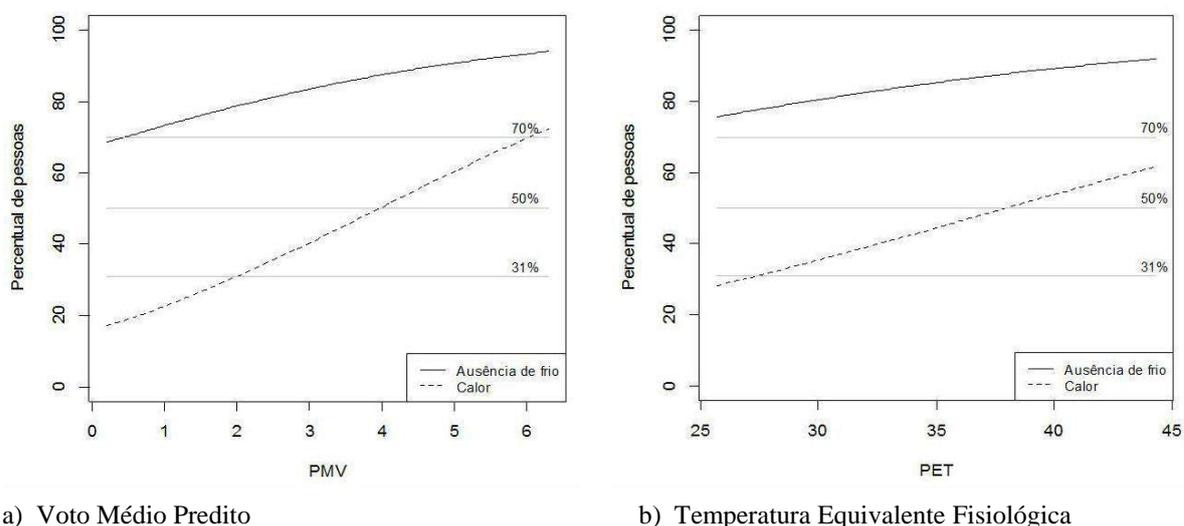
No presente estudo, não é possível determinar, diretamente, o percentual de insatisfeitos para o voto igual a zero, visto que são usadas duas equações para identificar os limites inferior e superior de conforto.

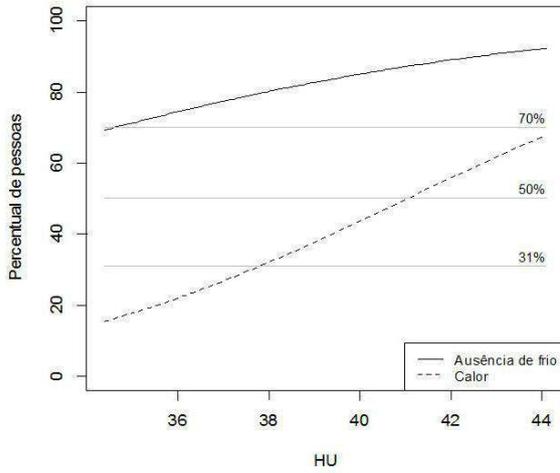
Considerando a sensação predita igual a zero em ambas as equações, obtém-se 14,3% para o calor e 85,4% para a ausência de frio. Esse resultado é esperado devido às características climáticas de Fortaleza, visto que o desconforto térmico não está associado ao frio. Essa realidade é bem percebida pela parcela dos entrevistados que votam de “Levemente fresco” a “Muito frio” (11% da amostra) e de “Levemente aquecido” a “Calor extremo” (56% dos entrevistados).

ASHRAE (2004) considera 10% como limite aceitável de insatisfeitos para que o meio seja considerado termicamente aceitável. Desses 10%, 5% respondem para o calor e 5% para o frio. Os 85,4% encontrados representam os que estão em conforto e os insatisfeitos devido ao calor, subtraindo-se deles os 14,3% de insatisfeitos devido ao calor, obtém-se 71,1%. Os 71,1% representam o percentual de satisfeitos, conseqüentemente, o percentual de insatisfeitos na situação plena de conforto passa a ser 28,9% (100% - 71,1%), mostrando uma maior tolerância ao calor pela população.

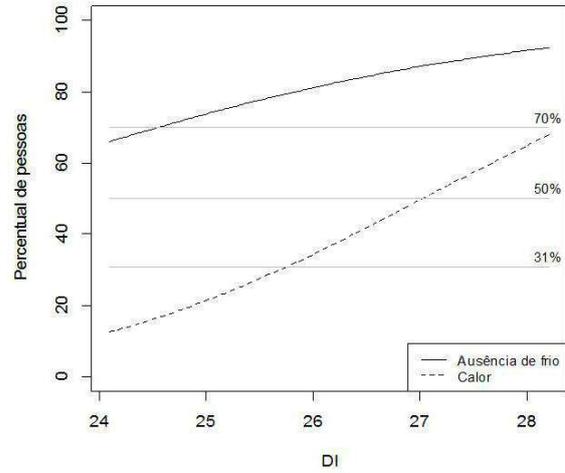
Para os percentuais de 31% e 70% consegue-se estabelecer os limites inferior e superior de conforto para os índices térmicos e alguns parâmetros climáticos. A Figura 50 mostra as respectivas curvas limites de conforto e desconforto determinadas pela análise de regressão *probit*, para os parâmetros que respondem significativamente ao modelo. Além dos percentuais acima, também é identificado o valor correspondente a 50%.

Figura 50 – Curvas limites de conforto térmico em função das variáveis analisadas em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.

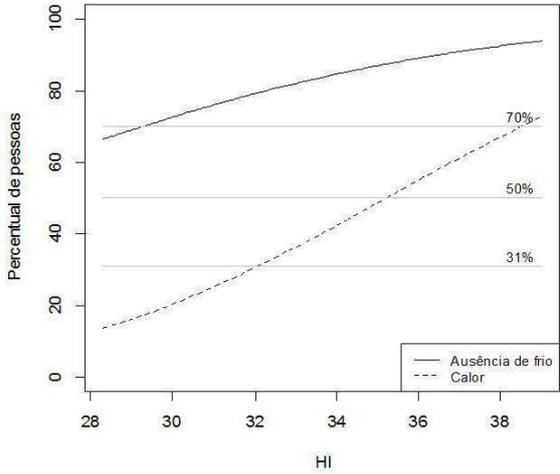




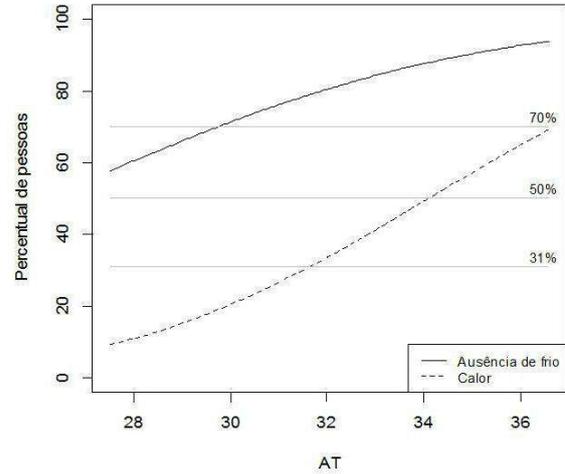
c) Humidex



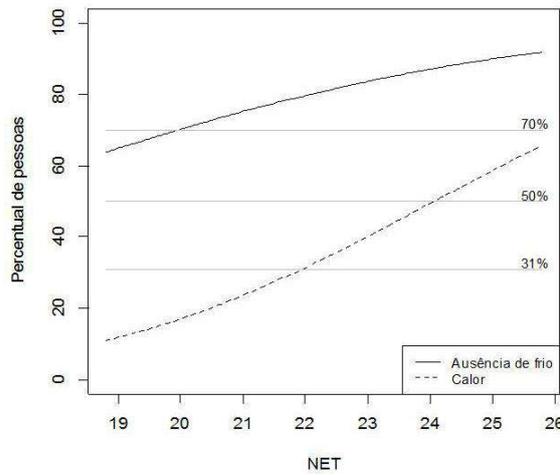
d) Índice de Desconforto



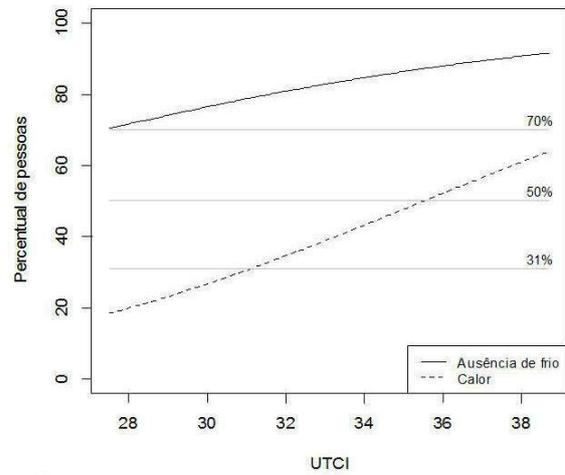
e) Índice de Calor



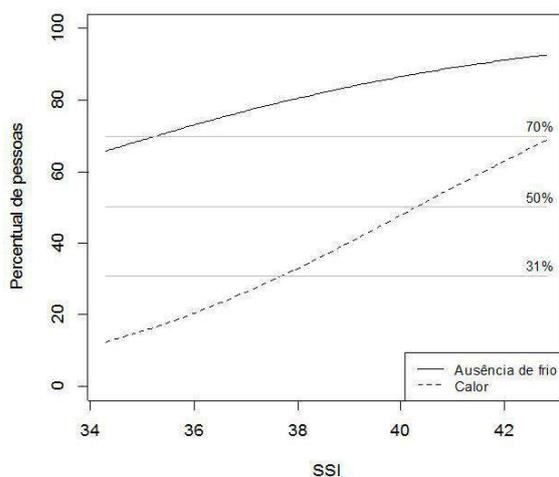
f) Temperatura Aparente



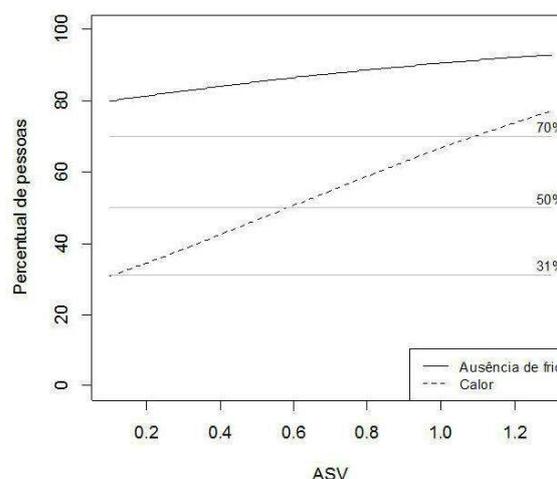
g) Temperatura Equivalente Normal



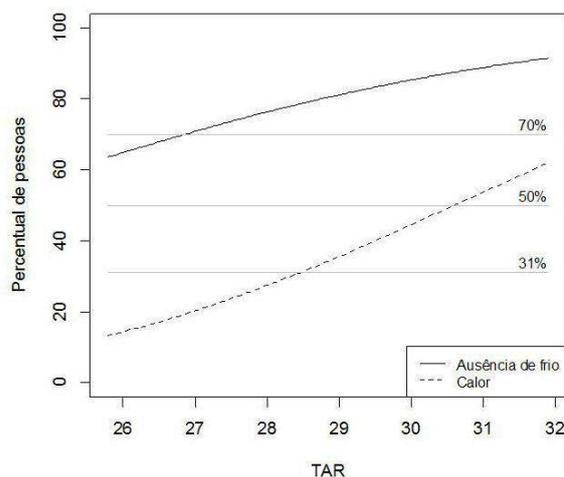
h) Índice Climático Térmico Universal



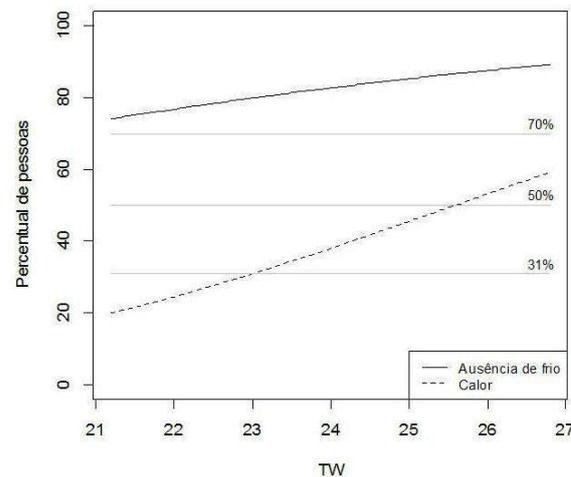
i) Índice de Verão



j) Voto Real de Sensação



k) Temperatura do ar (°C)



l) Temperatura de bulbo úmido (°C)

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

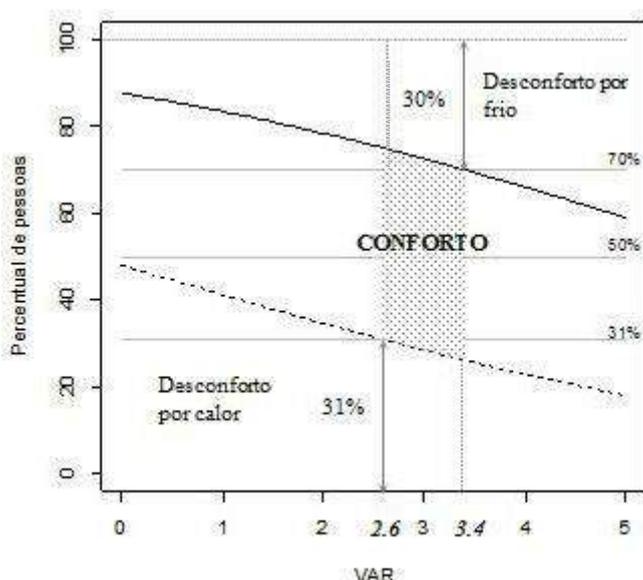
No modelo *probit*, as variáveis dependentes são dicotomizadas, ou seja, assumem apenas dois valores (sim ou não). Assim, no caso da ocorrência de desconforto devido ao calor, a variável dependente assume o valor 1, caso contrário o valor zero. No caso da ocorrência de desconforto devido ao frio, a variável dependente também assume o valor 1, caso contrário, zero.

Assim, a presença de desconforto por calor em cada medição é constatada quando o percentual do somatório de pessoas que votam: “Calor extremo”, “Muito quente”, “Quente” e 50% dos que votam “Levemente aquecido” é superior a 31% do total dos votos coletados na medição. De modo análogo, a presença de desconforto por frio em dada medição é constatada quando o percentual do somatório de pessoas que votam: “Calor extremo”, “Muito quente”,

“Quente”, “levemente aquecido”, “Neutro” e 50% dos que votam “Levemente frio” é inferior a 70% do total dos votos.

Tomando-se como exemplo a Figura 51, onde é retratado o percentual de pessoas *versus* a velocidade do vento, tem-se que, à medida que se aumenta a velocidade do vento, há uma redução da percentagem de pessoas em desconforto devido ao calor e um aumento da percentagem de pessoas devido ao frio. Os valores da velocidade do vento que estabelecem a fronteira entre o calor e o frio são, respectivamente, 2,57 e 3,40m/s. A curva é decrescente em virtude do efeito térmico produzido. A porção em destaque corresponde à zona de conforto.

Figura 51 – Curva limite de conforto e desconforto para a variável velocidade do vento em Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

A Tabela 28 contém os limites de conforto obtidos para cada parâmetro analisado, permitindo a sua comparação com os limites definidos para outras cidades brasileiras (Tabela 29). Na Figura 52, pode-se observar que a população de Fortaleza apresenta uma maior tolerância ao calor e menor ao frio. Também se verifica que, não somente em termos de limites superior e inferior, mas também em amplitude, à medida que se distancia em latitude, essa situação vai se invertendo, ou seja, os valores são menores e as amplitudes maiores.

O ASV é um índice desenvolvido a partir do voto de sensação térmica relatada pela população de diversas cidades europeias. Observa-se que, ao compará-lo com São Paulo, seus valores são inferiores, contrariando o comportamento apresentado pelas demais variáveis. A curva para o frio não apresenta significância estatística e, provavelmente, ele não seja capaz de representar a realidade de Fortaleza.

Tabela 28 – Níveis das variáveis ambientais que indicam um percentual de 31%, 70% e 50%.

Variável / Índice térmico	Limite inferior de conforto (70%)	Limite superior de conforto (31%)	Percentual de 50%
Temperatura do ar (°C)	26,8	28,5	30,6
Temperatura de bulbo úmido (°C)	20,0	23,0	25,6
Velocidade do vento (m/s)	3,4	2,6	-
PMV	0,5	2,0	4,0
PET (°C)	21,2	27,4	37,9
HU (°C)	34,6	37,8	41,1
DI (°C)	24,6	25,8	27,2
HI (°C)	29,3	32,1	35,2
AT (°C)	29,7	31,6	34,1
SSI (°C)	35,3	37,7	40,3
ASV	-0,5*	0,1	0,6
UTCI (°C)	27,4	31,1	35,5
NET (°C)	19,9	21,9	24,1

* sem significância estatística a 5%.

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

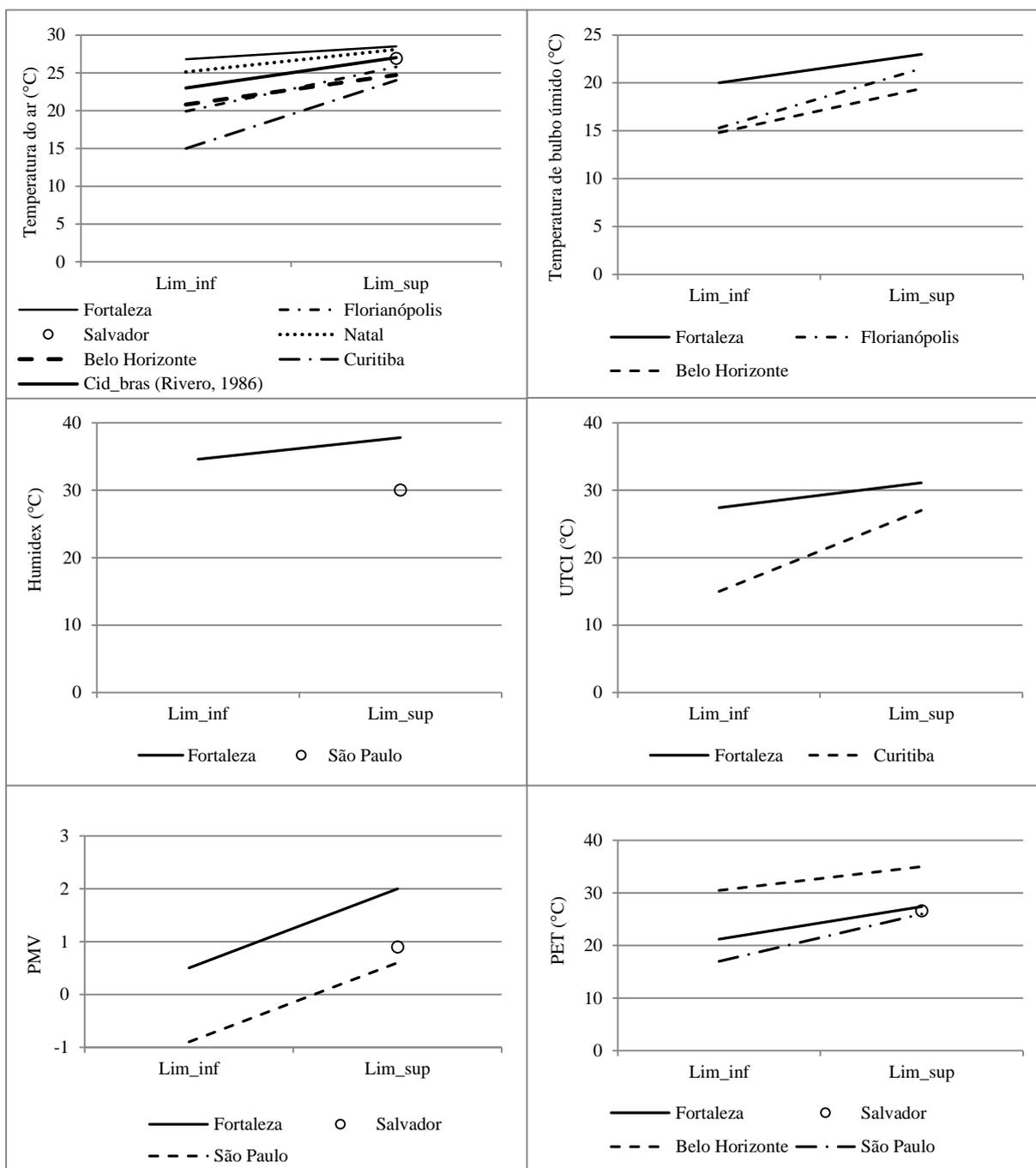
Tabela 29 – Limites inferiores e superiores de conforto térmico e de desconforto para o calor de estudos anteriores.

	Florianópolis*		Salvador*	Natal*		Belo Horizonte		Curitiba		São Paulo	
	L_inf	L_sup	L_sup	L_inf	L_sup	L_inf	L_sup	L_inf	L_sup	L_inf	L_sup
T_a (°C)	19,9	25,8	26,9	25,1	28,1	20,8	24,7	15,0	24,0	-	-
T_w (°C)	15,3	21,5	-	-	-	14,8	19,4	-	-	-	-
T_{mrt} (°C)	-	-	25,8	25,9	29,2	-	-	-	-	-	-
T_g (°C)	-	-	-	-	-	21,3	25,1	-	-	-	-
UR (%)	-	-	68	69	92	64	93	-	-	-	-
V_a (m/s)	-	-	0,17	0,12	0,83	0,4	1,7	-	-	-	-
PMV	-	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-0,9	0,6
PET	-	-	26,6	-	-	30,5	35,0	-	-	17,0	26,0
UTCI	-	-	-	-	-	-	-	15,0	27,0	-	-
HU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,0
ASV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,15	0,15

*Meio interno.

Fonte: Araújo (1996 *apud* PEREIRA; ASSIS, 2009); Xavier (1999); Gonçalves; Valle; Garcia (2001); Lyra (2007); Monteiro (2008); Hirashima (2010).

Figura 52 – Comparação entre as faixas de conforto definidas para Fortaleza, CE, no período de 2011 a 2012 e outros limites definidos para algumas cidades brasileiras.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Na comparação entre as cidades brasileiras para o índice PET, é interessante observar que os limites de conforto definidos para Belo Horizonte são superiores aos limites definidos para São Paulo e Fortaleza.

Primeiramente, para o cálculo do PET em São Paulo, Monteiro (2008) utiliza o modelo MEMI enquanto para Belo Horizonte, Hirashima (2010) aplica um programa

desenvolvido na Universidade de Freiburg, o qual considera dados pessoais padronizados e não individuais. Além disso, deve-se levar em conta, as diferenças com relação ao procedimento de coleta dos dados e à metodologia de análise utilizada.

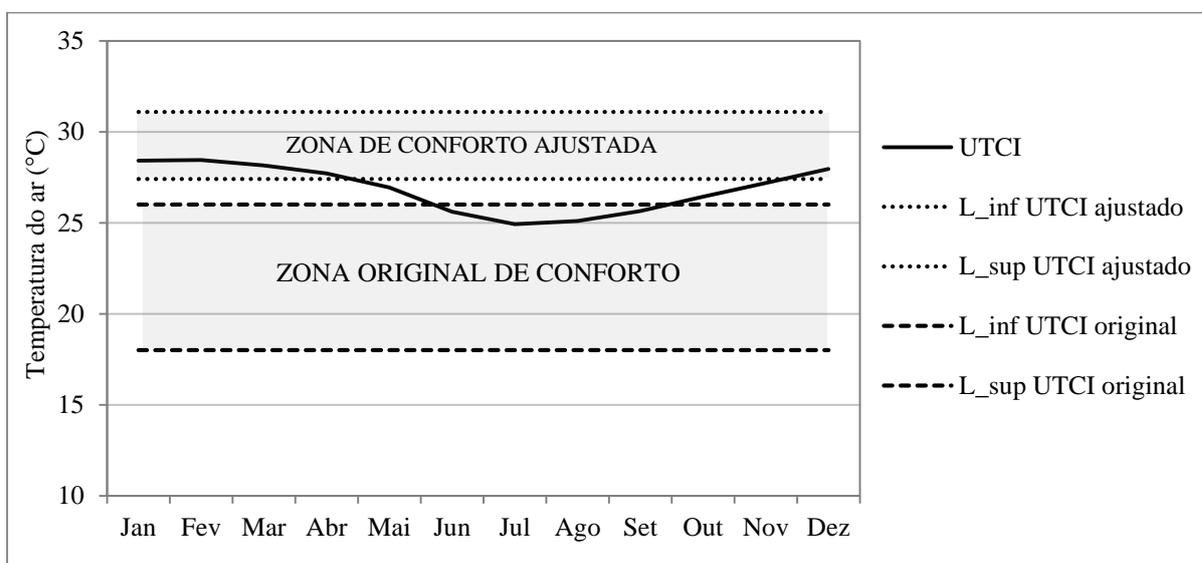
A partir da definição das novas faixas de conforto é possível reavaliar o comportamento mensal e horário da sensação térmica para a cidade de Fortaleza (Figuras 53 e 54). Tomando como referência o índice *UTCI* e a temperatura do ar, verifica-se que, de acordo com sua escala de apreciação original, os meses de Outubro a Maio apresentam desconforto devido ao calor e de Junho a Setembro, conforto. Considerando a escala ajustada, os meses de Dezembro a Abril passam a ser considerados como conforto e de Maio a Novembro, a população apresentaria um “desconforto devido ao frio” (Figura 53a).

Deve-se salientar que essa avaliação se aplica a pessoas no meio externo, na sombra. Outra questão a ser considerada reside no fato da sensibilidade do *UTCI* aos estímulos climáticos. Segundo Blazejczyk *et al.* (2012), as respostas do corpo humano dadas pelo índice são muito sensíveis a alterações na temperatura, radiação solar, umidade e, especialmente, velocidade do vento e, portanto, em termos de microescala, o índice é capaz de refletir pequenas diferenças na intensidade desses parâmetros. Esse aspecto se reflete na melhor percepção dos contrastes em termos horários (Figura 53a).

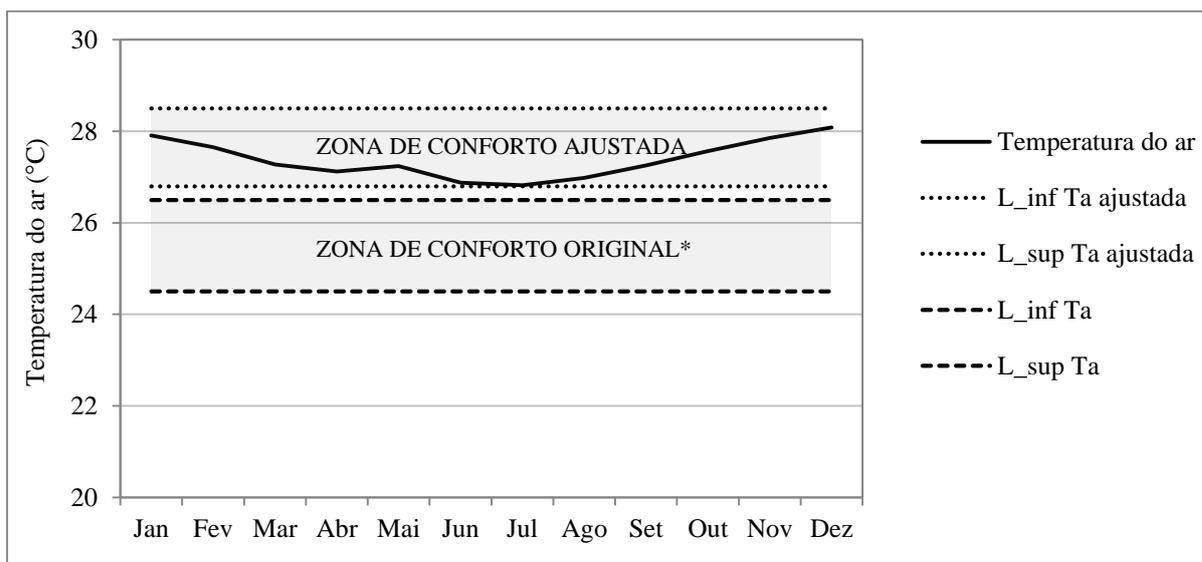
Com relação à temperatura do ar, de acordo com o parâmetro sugerido por Sá (1938 *apud* RIVERO, 1986), todos os meses do ano estariam em uma situação de desconforto devido ao calor. Com a temperatura do ar ajustada, a população experimentaria a sensação de conforto nos meses de Agosto a Junho e “desconforto devido ao frio”, somente no mês de Julho (Figura 53b).

Em termos horários, para a faixa original do *UTCI*, o conforto seria experimentado somente de 00:00h às 07:00h; no restante do dia, as pessoas sentiriam uma sensação de desconforto devido ao calor. Com a escala ajustada, o conforto é percebido em dois períodos do dia, de 07:00 às 09:30h e de 15:00 às 17:00h; o desconforto devido ao calor acompanha a radiação solar e as elevadas temperaturas do ar, concentrando-se entre 09:30 e 15:00h. A sensação de “desconforto devido ao frio” é percebida a partir das 17:00h e dura toda a noite (Figura 54a).

Figura 53 – Comportamento mensal do índice *UTCI* e da temperatura do ar para a cidade de Fortaleza, CE, no período de 1991 a 2010.



a) UTCI mensal



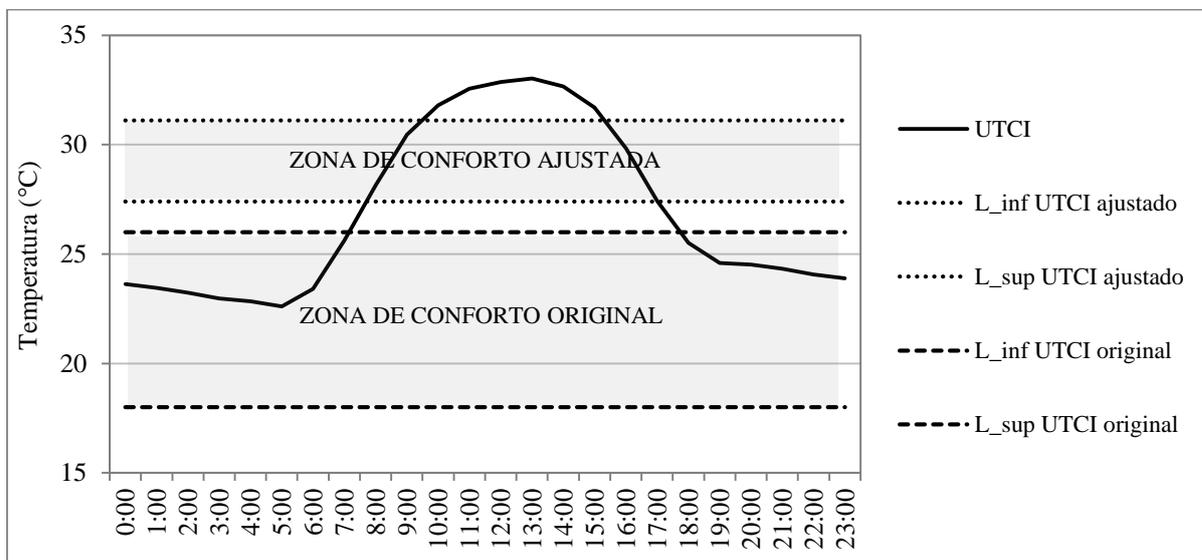
b) Temperatura do ar mensal

*Segundo Sá (1938 *apud* RIVERO, 1986) para cidades brasileiras.

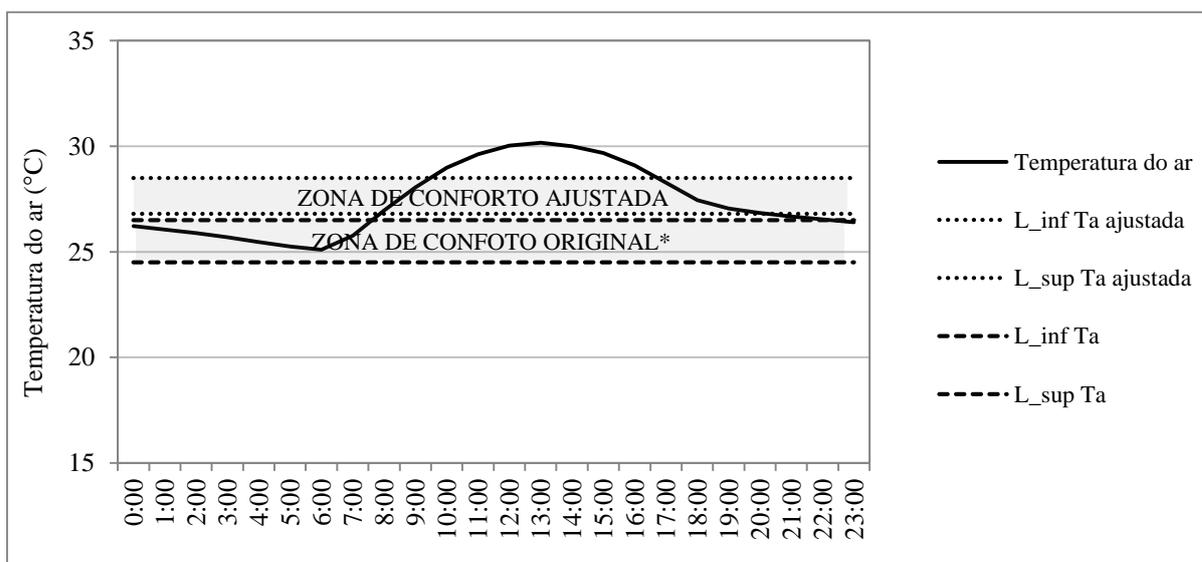
Fonte: Elaborada pela autora (2015).

No que se refere à temperatura do ar, de acordo com os limites de 24,5 a 26,5°C definidos por Sá (1938 *apud* RIVERO, 1986), o desconforto devido ao calor é observado desde 07:30h até às 21:30h. Os novos limites mostram uma tolerância maior ao calor, pois o horário de desconforto passa a ser das 09:30 às 16:30. O “desconforto devido ao frio” seria percebido a partir das 20:00h, duraria por toda a noite até às 08:00h. O período de conforto ocorre em dois momentos, de 08:00 às 09:30h e de 16:30 às 20:00h (Figura 54b).

Figura 54 – Comportamento horário do índice *UTCI* (°C) e da temperatura do ar (°C) para a cidade de Fortaleza, CE, no período de 1991 a 2010.



a) *UTCI* horário



b) Temperatura do ar horária

*Segundo Sá (1938 *apud* RIVERO, 1986) para cidades brasileiras.

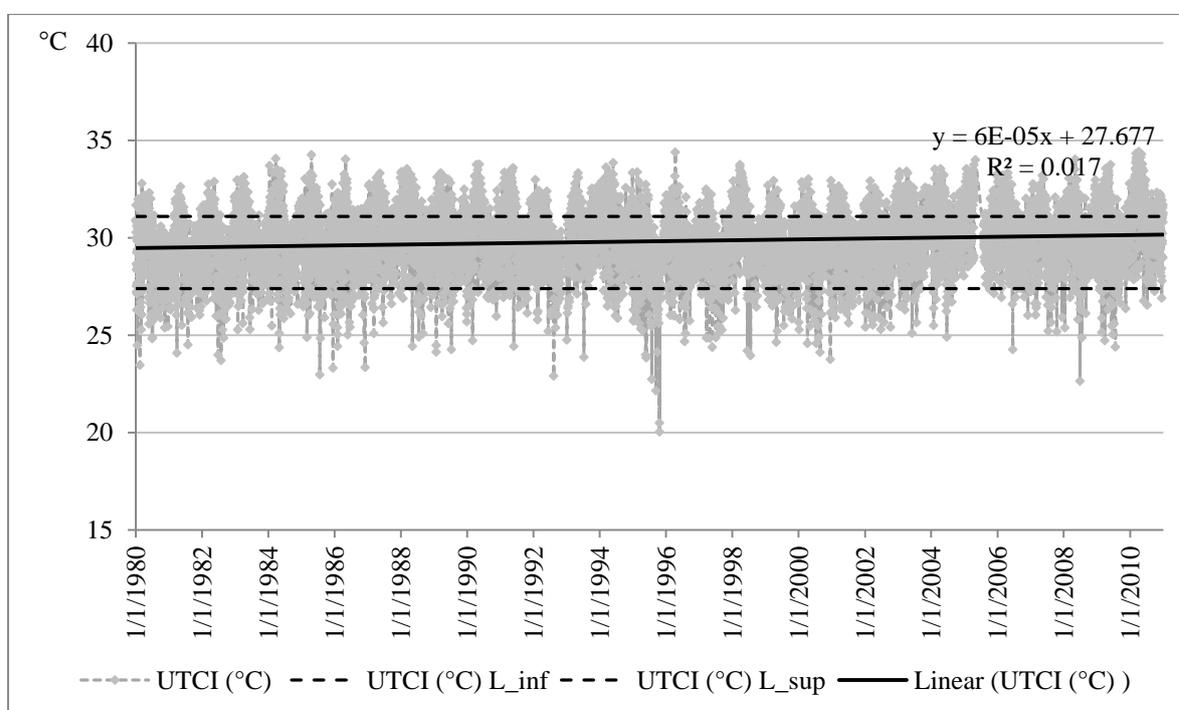
Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Dentro de uma análise preliminar, quando se plota o *UTCI* ao longo dos anos e compara seus valores dentro dos novos limites de conforto, verifica-se que a maioria dos dados encontra-se dentro da faixa de conforto (Figura 55). Ao traçar uma linha de tendência linear observa-se uma leve inclinação positiva no sentido de um aumento para o calor. É bem verdade que a inclinação é muito pequena e, por isso, não se pode afirmar que existem

evidências de uma provável alteração no nível de conforto térmico sem que seja feita uma análise estatística mais aprofundada.

Os valores utilizados na análise *probit* estão presentes no Apêndice H. Além dos dados considerados inválidos na primeira fase da análise, do restante da amostra foram considerados espúrios mais 30 questionários que apresentam valores muito baixos para sensação térmica e muito altos para o índice térmico. Assim, o número de conjunto de dados pessoais durante a análise de regressão não-linear *probit* passa a ser 1268, mas as medições referentes às variáveis climáticas permanecem sendo 648.

Figura 55 – Distribuição do índice *UTCI* entre o período de 1980 a 2010 na cidade de Fortaleza, CE.



Fonte: Elaborada pela autora (2015).

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nesse capítulo são abordados os principais resultados da pesquisa e a partir deles são apresentadas recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

Levando-se em conta a contribuição da urbanização no processo de mudanças climáticas globais, esse estudo visou contribuir com uma melhor compreensão do conforto termo-higrométrico dos usuários dos espaços urbanos e oferecer aos profissionais envolvidos na transformação do meio, ferramentas que possibilitem a avaliação dos parâmetros climáticos dentro de uma realidade prática, de forma que o conhecimento climático possa ser incorporado ao planejamento urbano.

Através de levantamentos de campo, testou-se a aplicabilidade de alguns índices de conforto térmico e adaptou-se as suas escalas de apreciação à realidade local, definindo-se novos limites de conforto. Dessa forma, os índices podem ser usados de forma mais consistente em avaliações de projetos de reurbanização e no planejamento urbano.

Ao analisar os resultados em termos de horas mais confortáveis deve-se ter em mente que eles representam pessoas presentes no meio externo, na sombra, com roupas leves de verão e atividade física leve a moderada.

É interessante observar esse aspecto porque o período noturno é considerado como dentro da faixa de conforto ou “desconforto para o frio” e, em muitos casos, durante as entrevistas, muitas pessoas afirmaram usar algum equipamento de condicionamento de ar também nesse período para restaurar a condição de conforto. Aparentemente isso revela uma incoerência, mas acontece porque, apesar da dependência dos elementos climáticos atuantes no meio externo, as condições internas são determinadas por outros fatores, como o projeto da edificação. Ainda deve-se levar em consideração o retardamento no resfriamento das estruturas, assim como no aquecimento durante o período diurno.

Os dados foram levantados em oito locais distintos, com elevado fluxo de pessoas advindas de diferentes bairros da cidade e que de alguma forma usam o espaço urbano, sendo capazes de representar a população. Algumas restrições foram feitas em função da aclimação e do estado de saúde, para evitar que esses fatores interfiram nas respostas.

Quando não se dispõe de instrumentação mais específica para a coleta da temperatura de globo, o programa *RayMan* pode ser utilizado no cálculo da temperatura média radiante, mas a equação apresentada por ASHRAE (2004) e pela ISO 7726 para o seu cálculo ainda é a mais consistente.

A partir da análise estatística dos dados coletados, verifica-se que, apesar da distanciação entre os resultados analíticos do índice e o voto de sensação, os índices estudados, após os ajustes nas suas escalas de apreciação, podem ser aplicados em Fortaleza e estendidos à região litorânea do Estado do Ceará.

A preferência térmica depende da sensação percebida dentro de uma correlação positiva, por exemplo, com uma sensação atual de calor a pessoa deseja se sentir mais fresca. De modo geral, o clima de Fortaleza é percebido como levemente aquecido e as pessoas preferem que seja mais fresco. Mas, mesmo assim, se sentem de neutro a confortável. Isso é relevante porque mostra a importância de se levar em conta a adaptação e, ao mesmo tempo, a necessidade de se criar ambientes externos que, sutilmente, estimulem as sensações.

Ainda nesse sentido, as pessoas relacionam conforto e agradabilidade a um clima mais fresco, ventilado, com temperaturas mais amenas e sol mais fraco e, desconforto, ao sol forte, à temperatura e umidade elevadas. Paralelamente, apontam o sol forte como a variável que causa maior incômodo e o sombreamento como forma de proteção. Também consideram o vento regional e as brisas marítimas como os elementos climáticos mais agradáveis na cidade. Esses dois aspectos, sombreamento e ventilação, também são considerados como estratégias de ação na Carta Bioclimática de Fortaleza para o meio interno, podendo estendê-las ao meio externo.

A sensação térmica atual é influenciada pela disposição física e pela perspiração sensível, mas, neste estudo, não apresenta nenhuma dependência com relação ao tempo de exposição.

Os resultados mostram a realidade de um clima quente e úmido e as diferenças identificadas entre o valor dos índices e as sensações térmicas relatadas pela população revelam que a escala original dos índices não é sensível o bastante para perceber as pequenas diferenças semânticas inerentes à percepção da população local. Em outras palavras, o clima é verdadeiramente quente, mas, mesmo assim, é possível percebê-lo como mais fresco ou ainda mais quente.

No presente trabalho são definidos novos limites de conforto e desconforto para o calor e o frio. As faixas de conforto definidas apresentam menor amplitude e valores mais elevados que a das escalas originais de apreciação dos índices e as ajustadas para outras cidades brasileiras.

Por um lado, indicam uma maior tolerância ao calor, reduzindo o número de horas em que o desconforto devido ao calor é percebido. Mas, por outro lado, recai em uma questão que deve ser investigada mais profundamente, pois qual é o real significado de desconforto

por frio em um clima quente. Apesar de ser uma terminologia adotada dentro de uma escala universal de apreciação, talvez ela não seja a mais indicada para o clima local, ou devam ser introduzidas faixas intermediárias.

O fato dos resultados indicarem uma maior tolerância da população ao calor não implica em uma permissão ao uso indiscriminado do solo urbano, mas pelo contrário. O horário em que o desconforto devido ao calor é percebido corresponde às horas em que a radiação global é mais intensa, requerendo um sombreamento adequado.

Também deve ser observado que, mesmo que haja ventilação, se a temperatura do ar se elevar acima da temperatura da pele não haverá resfriamento e sim, aquecimento. Além disso, se a umidade for muito alta e a ventilação deficiente, o processo de evaporação do suor é reduzido. Portanto, é necessário favorecer o sombreamento e a ventilação urbana.

A presença dos recursos hídricos e a necessidade de proteção dos mesmos fornece uma grande oportunidade para isso. O ideal não é concentrar um grande volume de áreas verdes em poucos lugares dentro da cidade, mas criar um sistema interligando a arborização urbana com um grande número de pequenas áreas verdes bem distribuídas em vários pontos da cidade.

Assim, a vegetação, além de proteger o pedestre da incidência direta dos raios solares e amenizar os desconfortos térmicos, também pode auxiliar na canalização da brisa marítima e do vento regional, além de colaborar com a drenagem urbana, em conjunto com a utilização de pisos mais permeáveis.

Quando se calcula o índice *UTCI* entre os anos de 1980 a 2010 e se verifica sua evolução dentro dos novos limites estabelecidos para ele, observa-se que a maioria dos dados permanece dentro da faixa de conforto ao longo dos anos. Mas, ao traçar a reta de tendência linear, é possível perceber uma pequena inclinação positiva; entretanto, é necessária uma avaliação estatística mais aprofundada a fim de se identificar alguma alteração.

O trabalho realizado contribui com ferramentas para análises do meio urbano. A partir da aplicação dos índices ou cartas bioclimáticos é possível dar prioridade a alguns parâmetros na composição ou reestruturação de um espaço. É importante ter sempre em mente que as condições no meio interno, além de dependerem do desenho da edificação, ainda dependem do que acontece no externo. A seguir, são apresentadas algumas sugestões para o aprofundamento do presente estudo em alguns aspectos.

5.1 Recomendação para trabalhos posteriores

Durante o processo de análise do relacionamento entre os índices térmicos e a sensação térmica atual e desta com as variáveis ambientais, verifica-se um relacionamento muito baixo, indicando a presença de fatores externos. É necessário que essa análise seja mais aprofundada na tentativa de desenvolvimento de um modelo preditivo.

A fim de confirmar a possibilidade de aplicação dos limites de conforto definidos para Fortaleza, nas demais cidades da região litorânea do Estado do Ceará, é interessante a realização de uma pesquisa de campo semelhante à que foi feita, em alguns pontos amostrais que abranjam essa área.

Na verificação de contrastes entre as médias usando o teste de Tukey, observa-se a sobreposição de algumas categorias de sensação térmica. Por meio da análise *probit*, se identificam três situações: desconforto por calor e frio e conforto. Portanto, sugere-se que se investiguem e definam os níveis de desconforto, tanto para o calor quanto para o frio e, no que se refere ao frio, avaliar a terminologia utilizada para designar as sensações percebidas.

Também se recomenda que seja verificada a percepção térmica sob o sol. Dessa forma, se obteria um parâmetro de comparação, podendo confirmar, ainda mais, a importância da arborização para o conforto térmico.

Com relação à saúde humana, dois aspectos devem ser observados. O primeiro deles diz respeito ao estudo do relacionamento entre os limites de conforto dos índices e os fatores de risco decorrentes do nível de atividade física. O segundo refere-se às projeções de aumento da temperatura do ar pelo IPCC e suas repercussões para a saúde.

Finalizando, em termos de evolução, seria interessante avaliar a existência de possíveis diferenças nos valores dos índices por décadas e por anos classificados como de contrastes climáticos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. V.; LABAKI, L. C. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2010.
- AGRESTI, A. **Categorical Data Analysis**. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2002.
- ALI-TOUDERT, F. **Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate**. 2005. Dissertation (Master of Environmental Sciences) – Meteorological Institute, University of Freiburg, Freiburg, 2005.
- ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. **Building and Environment**, v. 41, n. 2, p. 94-108, Feb. 2006.
- ALMEIDA, M. G.; SILVA, S. M. **Climatização e instalações das construções II: térmica de edifícios**. Braga: Universidade do Minho, 2010.
- ALUCCI, M. P. **Recursos de projeto para controle do estresse térmico em espaços abertos de cidades brasileiras**. São Paulo: FAUUSP, 2011.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - ASHRAE. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2004.
- AMORIM, M. C. de C. T. Estudo do conforto térmico em ambiente tropical. **Revista Geográfica da América Central**, v. 2, n. 47E, p. 1-17, 2011.
- ANAOOKAR, P. D.; CHALFOUN, N. V. Achieving outdoor thermal comfort innovatively: a case study for the new Alumni Plaza. **EDRA Proceedings**, v. 36, p. 69-75, 2005.
- ANDRADE, H. **Bioclima humano e temperatura do ar em Lisboa**. 2003. 435 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2003a.
- ANDRADE, H. Microclimatic variations of thermal comfort in a Lisbon city district. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE*, 5., 2003, Lodz. **Proceedings...** Lodz, Poland: International Association of Urban Climate/World Meteorological society/University of Lodz, 2003b.
- ANDRADE, H. O clima urbano: natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, v. XL, n. 80, p. 67-91, 2005.
- ANDRADE, H. O desconforto térmico estival em Lisboa: uma abordagem bioclimática. **Finisterra**, v. 33, n. 66, p. 41-58, 1998.
- ANDRADE, H.; ALCOFORADO, M. J. Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 92, n. 3-4, p. 225-237, May 2008.

ANDRADE, H.; OLIVEIRA, S.; ALCOFORADO, M. J. A first assessment of the outdoor climatic comfort in Lisbon. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN ECOLOGY*, 3., 2006, Berlin. **Proceedings...** Berlin, 2006.

ANGOURIDAKIS, V. E.; MAKROGIANNIS, T. J. The Discomfort Index in Thessaloniki, Greece. **International Journal of Biometeorology**, v. 26, n. 1, p. 53-59, Mar. 1982.

ARAÚJO, B. C. DE; CARAM, R. Análise ambiental: estudo bioclimático urbano em centro histórico. **Ambiente e Sociedade**, v. 9, n. 1, jan./jun. 2006.

ASSIS, E. S. de. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, v. 7, n. 1, p. 20-25, 2006.

ASSIS, E. S. de; FROTA, A. B. Urban bioclimatic design strategies for a tropical city. **Atmospheric Environment**, v. 33, n. 24-25, p. 4135-4142, Oct. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

AULICIEMS, A. Psycho-physiological criteria for global thermal zones of building design. **International Journal of Biometeorology**, n. 8, Part 2, Supplement to v. 26, p. 69-86, 1982.

AULICIEMS, A. Towards a psycho-physiological model of thermal perception. **International Journal of Biometeorology**, v. 25, n. 2, p. 109-122, June 1981.

AULICIEMS, A.; KALMA, J. D. Human thermal climates of Australia. **Australian Geographical Studies**, v. 19, n. 1, p. 3-24, Apr. 1981.

AZEVEDO, B. M. de; BORGES, R. L. M.; FERNANDES, C. N. V.; FAÇANHA, D. A. E.; VIANA, T. V. de A. Influência da metodologia de cálculo da radiação solar global na evapotranspiração de referência. **Irriga**, v. 16, n. 3, p. 317-328, jul./set. 2011.

AZEVEDO, J. M. F. **A influência das variáveis ambientais (meteorológicas e de qualidade do ar) na morbidade respiratória e cardiovascular na Área Metropolitana do Porto**. 2010. 145 f. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas) – Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BARBIERO, M. **Avaliação das percepções quanto ao ambiente térmico em uma indústria metalúrgica: um estudo de caso**. 2004. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BARRADAS, V. L.; TEJEDA-MARTÍNEZ, A.; JÁUREGUI, E. Energy balance measurements in a suburban vegetated area in Mexico City. **Atmospheric Environment**, v. 33, n. 24-25, p. 4109-4113, Oct. 1991.

BECKER, S. Bioclimatological rating of cities and resorts in South Africa according to the Climate Index. **International Journal of Climatology**, v. 20, n. 12, p. 1403–1414, Oct. 2000.

BECKER, S.; POTCHTER, O.; YAAKOV, Y. Thermal sensation in extremely hot and dry urban environments. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 8, p. 747-756, Sept. 2003.

BEZERRA, P. T. da C.; LEITÃO, M. de M. V. B. R.; AZEVEDO, P. V. de. Ilhas de calor e desconforto térmico no semiárido brasileiro: um estudo de caso na cidade de Petrolina-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 3, p. 427-441, 2013.

BLAZEJCZYK, K. Assessment of regional bioclimatic contrasts in Poland. **Miscellanea Geographica**, v. 15, p. 79-91, 2011.

BLAZEJCZYK, K. **MENEX_2005**: the Revised Version of Man-Environment Heat Exchange Mode. 2006. Disponível em: <www.igipz.pan.pl/geoeko-klimat/blaz/menex.htm>. Acesso em: 20 ago. 2012.

BLAZEJCZYK, K.; EPSTEIN, Y.; JENDRITZKY, G.; STAIGER, H.; TINZ, B. Comparison of UTCI to selected thermal indices. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 3, p. 515-535, May 2012.

BLAZEJCZYK, K.; JENDRITZKY, G.; BRÖDE, P.; FIALA, D.; HAVENITH, G.; EPSTEIN, Y.; PSIKUTA, A.; KAMPMANN, B. An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). **Geographia Polonica**, v. 86, n. 1, p. 5-10, 2013.

BLAZEJCZYK, K.; NILSSON, H.; HOLMÉR, I. Solar heat load on man: review of different methods of estimation. **International Journal of Biometeorology**, v. 37, n. 3, p. 125-132, Sept. 1993.

BRAGER, G. S.; DE DEAR, R. Climate, comfort and natural ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE MOVING THERMAL COMFORT STANDARDS INTO THE 21st CENTURY, 2001, Windsor. **Proceedings...** Windsor: Oxford Brookes University, 2001. p. 60-77.

BRANCO, K. G. C.; ZANELLA, M. E.; SALES, M. C. L. O clima em áreas verdes intra-urbanas de Fortaleza. **Revista Geonorte**, v. 2, n.5, p. 443-454, 2012.

BRÖDE, P.; BLAZEJCZYK, K.; FIALA, D.; HAVENITH, G.; HOLMÉR, I.; JENDRITZKY, G.; KUKLANE, K.; KAMPMANN, B. The Universal Thermal Climate Index UTCI compared to ergonomics standards for assessing the thermal environment. **Industrial Health**, v. 51, v. 1, p. 16-24, 2013.

BRÖDE, P.; JENDRITZKY, G.; FIALA, D.; HAVENITH, G. The Universal Thermal Climate Index UTCI in operational use. *In*: CONFERENCE: ADAPTING TO CHANGE: NEW THINKING ON COMFORT CUMBERLAND LODGE, 2010, Windsor, UK. **Proceedings...** London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings, 2010. Disponível em: <<http://nceub.org.uk>>. Acesso em: 20 out. 2011.

BRÖDE, P.; KRÜGER, E. L.; ROSSI, F. A.; FIALA, D. Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI—a case study in Southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 3, p. 471-480, May 2012.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. **Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído**. 2003. 205 f. Tese (doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade de Campinas, Campinas, 2003.

BURT, J. E.; O'ROURKE, P. A.; TERJUNG, W. H. The relative influence of urban climates on outdoor human energy budget and skin temperature I. Modeling Considerations. **International Journal of Biometeorology**, v. 26, n. 1, p. 3-23, 1982a.

BURT, J. E.; O'ROURKE, P. A.; TERJUNG, W. H. The relative influence of urban climates on outdoor human energy budget and skin temperature II. Man in an urban environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 26, n. 1, p. 3-23, 1982b.

CAMARGO, C. G.; PADILHA, C. K.; PAZ, S. R. da; ASSIS, S. V. de. Avaliação sistemática do grau de desconforto para a cidade de Pelotas/RS. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 11., 2000. Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/12-533788fd27a17aaa82601f544a8af608.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2009.

CAMARGO, M. G. de. **Análise da percepção térmica dos carteiros do CDD-Londrina em Relação ao uniforme utilizado em ambiente quente**. 2007. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

CAMARGO, M. G. de; FURLAN, M. M. D. P. Resposta fisiológica do corpo às temperaturas elevadas: exercício, extremos de temperatura e doenças térmicas. **Revista Saúde e Pesquisa**, v. 4, n. 2, p. 278-288, maio/ago. 2011.

CANADA. Meteorological Service of Canada. Weather and Health. Disponível em: <<http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/>>. Acesso em: 14 out. 2014.

CARDOSO, N. K. R.; LIMA, F. U. F. de; ASSIS, S. V. de. Avaliação horária do Índice de Desconforto. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 11., 2004, Fortaleza. **Anais ...** Fortaleza, 2004. Disponível em: <www.cbmet.com/cbm-files/22-9b764f770f5eae7f500938581024d7f4.doc>. Acesso em: 28 out. 2009.

CARFAN, A. C. **Análise do conforto térmico em áreas abertas no município de Ourinhos – SP**. 2011. 166 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade São Paulo, São Paulo, 2011.

CARFAN, A. C.; GALVANI, E.; NERY, J. T. O efeito do sombreamento no conforto térmico – Estudo de caso: cidade de São Paulo. *In: SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA*, 6., 2010, Coimbra. **Proceedings...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.

CARVALHAIS, C. A. A. **Contribuição para o estudo da tolerância humana a ambientes térmicos extremos: ensaios de validação de câmara climática**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2011.

CEGNAR, T.; MATZARAKIS, A. Climate and bioclimate variations in Slovenia and their application for tourism. *In: MATZARAKIS, A.; FREITAS, C. R. DE; SCOTT, D. (Org.). Advances in Tourism Climatology*. Freiburg, 2004. p. 66-73.

CHARLES, K. E. Fanger's thermal comfort and draught models. **IRC Research Report RR-162**. Ottawa, 2003.

CHEN, H.; OOKA, R.; HARAYAMA, K.; KATO, S.; LI, X. Study on outdoor thermal environment of apartment block in Shenzhen, China with coupled simulation of convection, radiation and conduction. **Energy and Buildings**, v. 36, n. 12, p. 1247-1258, Dec. 2004.

CHEN, L.; NG, E. Outdoor thermal comfort and outdoor activities: a review of research in the past decade. **Cities**, v. 29, n. 2, p. 118-125, Apr. 2012.

CLARCK, J. F.; BACH, W. Comparison of the comfort conditions in different urban and suburban microenvironments. **International Journal of Biometeorology**, v. 15, n. 1, p. 41-54, Mar. 1971.

COSTA FILHO, A. C. **Adequação bioclimática para os espaços urbanos abertos do Centro de Fortaleza, Ce.** 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

COSTA, A. D. L. **Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambientes externos: uma experiência no bairro de Petrópolis em Natal/RN.** 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; CASTRO NETO, P. **Radiação solar.** Lavras, MG: UFLA, [20--].

DE DEAR, R., PICKUP, J. An outdoor thermal environment index (*OUT_SET**). Part II: applications. *In: INTERNATIONAL CONGRESS OF BIOMETEOROLOGY AND INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATOLOGY (WCASP-50, WMO/TD No. 1026)*, 2000, Sydney. **Proceedings...** Sydney: WMO, 2000. p. 285-288.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. S. The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 45, n. 2, p. 100-108, July 2001.

DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. **Final Report ASHRAE RP-884**, 1997.

DE FREITAS, C. R. Assessment of human bioclimate based on thermal response. **International Journal of Biometeorology**, v. 29, n. 2, p. 97-119, June 1985.

DE SCHILLER, S.; EVANS, J. M. Training architects and planners to design with urban microclimates. **Atmospheric Environment**, v. 30, n. 3, p. 449-454, Feb. 1996.

DEOSTHALI, V. Assessment of impact of urbanization on climate: an application of bioclimatic index. **Atmospheric Environment**, v. 33, n. 24-25, p. 4125-4133, Oct. 1999.

DOHERTY, T.; ARENS, E. Evaluation of the physiological bases of thermal comfort models. **ASHRAE Transactions**, v. 94, n. 1, p. 1371-1385, 1988.

ELIASSON, I. The use of climate knowledge in urban planning. **Landscape and Urban Planning**, v. 48, n. 1-2, p. 31-44, Apr. 2000.

ELUDOYIN E, O. M.; ADELEKAN, I. O. The physiologic climate of Nigeria. **International Journal of Biometeorology**, v. 57, n. 2, p. 241-264, Mar. 2013.

EMMANUEL, R. Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humidity city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. **Building and Environment**, v. 40, n. 12, p. 1591 – 1601, Dec. 2005.

EPSTEIN, Y.; MORAN, D. S. Thermal comfort and the heat stress indices. **Industrial Health**, v. 44, n. 3, p. 388-398, 2006.

FANGER, P. O. Calculation of thermal comfort: introduction of a basic comfort equation. **ASHRAE Transactions**, v. 73, 1967.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15-28, dez. 2005.

FIALA, D.; LOMAS, K. J. The dynamic effect of adaptive human responses in the sensation of thermal comfort. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE MOVING THERMAL COMFORT STANDARDS INTO THE 21ST CENTURY*, 2001, Windsor. **Proceedings...** Windsor: Oxford Brookes University, 2001. p. 147-157.

FIALA, D.; LOMAS, K. J.; STOHRER, M. A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: the passive system. **Journal of Applied Physiology**, v. 87, n. 5, p. 1957-1972, Nov. 1999.

FIALA, D.; LOMAS, K. J.; STOHRER, M. Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. **International Journal of Biometeorology**, v. 45, n. 3, p. 143-159, Sept. 2001.

FORTALEZA. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano – PDDU.FOR: Síntese diagnóstica**. Fortaleza: PMF, 1991.

FOUNTAIN, M.; HUIZENGA, C. **A thermal sensation model for use by the engineering profession**: final report to the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. and Environmental Analytics. Piedmont, 1995.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FROTA, A. F. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

GAGGE, A. P.; STOLWIJK, J. A. J.; HARDY, J. D. Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. **Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 1-20, June 1967.

GAGGE, A. P.; STOLWIJK, J. A. J.; SALTIN, B. Comfort and thermal sensations and associated physiological responses during exercise at various ambient temperatures. **Environmental Research**, v. 2, n. 3, p. 202-229, Apr. 1969.

GAGGE; FOBELETS; BERGLUND. A standard predictive index of human response to the thermal environment. **ASHRAE Transactions**, v. 92, n. 2, p. 709-731, 1986.

GAITANI, N.; MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M. On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces. **Building and Environment**, v. 42, n. 1, p. 317-324, Jan. 2007.

GARÍN, A. de; BEJARÁN, R. Mortality rate and relative strain index in Buenos Aires city. **International Journal of Biometeorology**, v. 48, n. 1, p. 31-36, Sept. 2003.

GIRALT, R. P. **Conforto térmico em espaços públicos abertos na cidade de Torres – RS**. 2006. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano Regional) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GIVONI, B. A new method for evaluating industrial heat exposure and maximum permissible work load. **International Journal of Biometeorology**, v. 8, n. 2, p. 115-124, 1964.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. London: Applied Science Publishers, 1976.

GIVONI, B.; NOGUCHI, M.; SAARONI, H.; POCHTER, O.; YAACOV, Y.; FELLER, N.; BECKER, S. Outdoor comfort research issues. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1, p. 77-86, Jan. 2003.

GIVONI, B.; SOHAR, E. Rectal temperature in the prediction of permissible work rates in hot environments. **International Journal of Biometeorology**, v. 12, n. 1, p. 41-50, 1968.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.

GOMES, M. A. S.; AMORIM, M. C. de C. T. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 10, p. 94-106, set. 2003.

GONÇALVES, W. de B.; VALLE, R. M.; GARCIA, E. S. Adaptabilidade de índices de conforto térmico para Belo Horizonte – MG, com base em pesquisa de população universitária. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001. **Anais...** São Pedro: ANTAC, 2001.

GONZÁLEZ, J. E.; LUVALL, J. C.; RICKMAN, D.; COMARAZAMY, D.; PICÓN, A. J.; HARMSSEN, E. W.; PARSIANI, H.; RAMÍREZ, N.; VÁSQUEZ, R. E.; WILLIAMS, R.; WAIDE, R. B.; TEPLEY, C. A. Urban heat island developing in coastal tropical cities. **Eos, Transactions, American Geophysical Union**, v. 86, n. 42, p. 397-403, Oct. 2005.

GONZALEZ, R. R.; NISHI, Y.; GAGGE, A. P. Experimental evaluation of Standard Effective Temperature: a new biometeorological index of man's thermal discomfort. **International Journal of Biometeorology**, v. 18, n. 1, p. 1-15, Mar. 1974.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

GRIFFITHS, J. F. **Climatology: an introduction**. London: Oxford University Press, 1966.

GULYÁS, A.; UNGER, J.; MATZARAKIS, A. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: modelling and measurements. **Building and Environment**, v. 41, n. 12, p. 1713-1722, Dec. 2006.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Textbook of medical physiology**. 11. ed. Pennsylvania: Elsevier, 2006.

HAVENITH, G. Temperature regulation, heat balance and climate stress. *In*: KIRCH, W.; MENNE, B.; BERTOLLINI, R. (Org.). **Extreme weather events and public health responses**. Berlin: Springer-Verlag, 2005, p. 69-80.

HAVENITH, G.; FIALA, D.; BLAZEJCZYK, K.; RICHARDS, M.; BRÖDE, P.; HOLMÉR, I.; RINTAMAKI, H.; BENSHABAT, Y.; JENDRITZKY, G. The UTCI-clothing model. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 3, p. 461-470, May 2012.

HIRASHIMA, S. Q. da S. **Calibração do índice de conforto térmico Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) para espaços abertos do município de Belo Horizonte, MG**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo horizonte, 2010.

HISSA, M. C. **Otimização do conforto ambiental climático de edifícios multifamiliares em Fortaleza**. 2000. Dissertação (Mestrado em Edificações) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

HODDER, S. G.; PARSONS, K. The effects of solar radiation on thermal comfort. **International Journal of Biometeorology**, v. 51, n. 3, p. 233-250, Jan. 2007.

HONJO, T. Thermal comfort in outdoor environment. **Global Environmental Research**, v. 13, n. 1, p. 43-47, 2009.

HÖPPE, P. Aspects of human biometeorology in past, present and future. **International Journal of Biometeorology**, v. 40, n. 1, p. 19–23, Feb. 1997.

HÖPPE, P. Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 661-665, July 2002.

HÖPPE, P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, n. 2, p. 71-75, Oct. 1999.

HUANG, J. Prediction of air temperature for thermal comfort of people in outdoor environments. **International Journal of Biometeorology**, v. 51, n. 5, p. 375-382, May 2007.

HUMPHREYS, M. A.; HANCOCK, M. Do people like to feel ‘neutral’? Exploring the variation of the desired thermal sensation on the ASHRAE scale. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 7, p. 867-874, July 2007.

HUMPHREYS, M. A.; NICOL, J. F. The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 667-684, July 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Atlas do censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de Julho de 2014**. [Rio de Janeiro]: 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 7730: Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**. 2. ed. Geneva: 1994.

JAUREGUI, E. The human climate of tropical cities: an overview. **International Journal of Biometeorology**, v. 35, n. 3, p. 151-160, Sept. 1991.

JAUREGUI, E. The last Ms for 40th anniversary issue. Aspects of urban human biometeorology. **International Journal of Biometeorology**, v. 40, n. 1, p. 58-61, Feb. 1997.

JAUREGUI, E.; CERVANTES, J.; TEJEDA, A. Bioclimatic conditions in México City – an assessment. **International Journal of Biometeorology**, v. 40, n. 3, p. 166-177, May 1997.

JAUREGUI, E.; SOTO, C. Wet-bulb Temperature and Discomfort Index areal distribution in Mexico. **International Journal of Biometeorology**, v. 11, n. 1, p. 21-28, Mar. 1967.

JENDRITZKY, G. Selected questions of topical interest in human bioclimatology. **International Journal of Biometeorology**, v. 35, n. 3, p. 139-150, Sept. 1991.

JENDRITZKY, G.; GRAETZ, A.; KOPPE, C.; LASCHEWSKI, G. How to deal with the urban development – urban climate – human health effect relationship, a contribution to methodology. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 5., 2003, Lodz. **Proceedings...** Lodz, Poland: International Association of Urban Climate/World Meteorological society/University of Lodz, p. 4750-2003, 2003.

JENDRITZKY, G.; HAVENITH, G. The thermal environment of the human being – a subjective retrospection on methodologies. *In*: International Congress Biometeorology ICB 2005, 17., 2005, Germany. **Annalen der Meteorologie**, v. 1, n. 41, Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 2005. p. 259-262.

JENDRITZKY, G.; MAAROUF, A.; FIALA, D.; STAIGER, H. An update on the development of a universal thermal climate index. *In*: CONFERENCE OF BIOMETEOROLOGICAL AEROBIOLOGY, 15., 2002, Kansas. **Proceedings...** Kansas: AMS, 2002. p. 129-133.

JENDRITZKY, G.; MAAROUF, A.; STAIGER, H. Looking for a Universal Thermal Climate Index UTCI for outdoor applications. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE MOVING THERMAL COMFORT STANDARDS INTO THE 21st CENTURY, 2001, Windsor. **Proceedings...** Windsor: Oxford Brookes University, 2001. p. 353-367.

JENDRITZKY, G.; STAIGER, H.; BUCHER, K.; GRAETZ, A.; LASCHEWSKI, G. The perceived temperature: the method of the Deutscher Wetterdienst for the assessment of cold stress and heat load for the human body. *In*: INTERNET WORKSHOP ON WINDCHILL, 2000, Canada. **Proceedings...** Canada: Meteorological Service of Canada, 2000.

JENDRITZKY, G.; TINZ, B. The thermal environment of the human being on the global scale. *Global Health Action*, v. 2, 2009. DOI: 10.3402/gha.v2i0.2005.

JOHANSSON, E.; EMMANUEL, R. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Biometeorology**, v. 51, n. 2, p. 119-133, Nov. 2006.

KALKSTEIN, L. S.; GREENE, J. S. An evaluation of climate mortality relationships in large U.S. cities and the possible impacts of a climate change. **Environmental Health Perspectives**, v. 105, n. 1, p. 84-93, Jan. 1997.

KALKSTEIN, L. S.; JAMASON, P. F.; GREENE, J. S.; LIBBY, J.; ROBINSON, L. The Philadelphia Hot Weather-Health Watch/Warning System: development and application, Summer 1995. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 7, p. 1519-1528, July 1996.

KAstri, T. G. **Ανασκόπηση των βιοκλιματικών δεικτών: εφαρμογές στην πόλη της Θεσσαλονίκης**. 2001. Dissertation (Master of Geology) - Faculty of Sciences, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, 2001.

KATZSCHNER, L. Microclimatic thermal comfort analysis in cities for urban planning and open space design. *In: COMFORT AND ENERGY USE IN BUILDINGS*, 2006, London. Proceedings... London: NCUB, 2006.

KATZSCHNER, L.; BOSCH, U.; RÖTTGEN, M. A methodology for bioclimatic microscale mapping of open spaces. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE*, 5., 2003, Lodz. **Proceedings...** Lodz, Poland: International Association of Urban Climate/World Meteorological society/University of Lodz, 2003.

KATZSCHNER, L.; FREIRE, T.; NERY, J.; ANDRADE, T.; CARVALHO, L. Urban climate study of Salvador: thermal comfort pattern. *In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 5., 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 1999.

KIM, K. R.; KWON, T. H.; KOO, H. J.; BYON, J. Y.; KIM, J. AND CHOI, B. C. Restoration of an inner-city stream and its impacts on air temperature, relative humidity and perceived temperature. *In: CONFERENCE ON ATMOSPHERIC BIOGEOSCIENCES*, 18., 2008, Orlando. Proceedings... Orlando: AMS, 2008.

KNEZ, I.; THORSSON, S. Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. **International Journal of Biometeorology**, v. 50, n. 5, p. 258-268, May 2006.

KRÜGER, E. L.; DRACH, P. R. C.; EMMANUEL, R.; CORBELLA, O. D. Estudo de conforto em espaços abertos em região de clima temperado: o caso de Glasgow, Reino Unido. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 7-25, jan./mar. 2012b.

KRÜGER, E.; BRÖDE, P.; EMMANUEL, R.; FIALA, D. Predicting outdoor thermal sensation from two field studies in Curitiba, Brazil and Glasgow, UK using the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *In: WINDSOR CONFERENCE: THE CHANGING CONTEXT OF COMFORT IN AN UNPREDICTABLE WORLD*, 7., 2012, Windsor. **Proceedings...** Windsor: NCEUB, 2012a.

KUBAHA, K.; FIALA, D.; TOFTUM, J.; TAKI, A. H. Human projected area factors for detailed direct and diffuse solar radiation analysis. **International Journal of Biometeorology**, v. 49, n. 2, p. 113-129, Nov. 2004.

KUSCH, W.; FONG, H. Y.; JENDRITZKY, G.; JACOBSEN, I. **Guidelines on biometeorology and air quality forecasts**. PWS-10, WMO/TD 1184. Geneva: WMO, 2004.

LABAKI, L. C.; FONTES, M. S. G. de C.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L.; DACANAL, C. Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudos em ruas de pedestres no estado de São Paulo. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 167-183, jan./mar. 2012.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S.; VECCHI, R. de. **Conforto e stress térmico**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br>>. Acesso em: 06 jan. 2015.

LASCHEWSKI, G.; JENDRITZKY, G. Effects of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany. **Climate Research**, v. 21, n. 1, p. 91-103, May 2002.

LATINI, G.; GRIFONI, R. C.; TASCINI, S. **Thermal comfort and microclimates in open spaces**. Italy: ASHRAE, 2010.

LEITE, E. S. C. de M. **Stress térmico por calor**: estudo comparativo dos métodos e normas de quantificação. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LEVENE, H. Robust tests for equality of variances. In: OLKIN, I.; HOEFFDING, W.; GHURYE, S. G.; MADOW, W. G.; MANN, H. B. (Org.). **Contributions to probability and statistics**: essays in honor of Harold Hotelling. California: Stanford University Press, 1960. p. 278–292.

LIN, T. P.; DE DEAR, R.; MATZARAKIS, A.; HWANG, R. L. Prediction of thermal acceptability in hot-humid outdoor environments in Taiwan. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 7., 2009, Yokohama. **Proceedings...** Yokohama, Japan: International Association for Urban Climate (IAUC), 2009. Disponível em: <http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/361686-2-090515150755-005.pdf>. Acesso em: 12 out. 2011.

LINARD, F. J. A. **Estimativas da velocidade do vento em altitude usando o software windographer®**. 2010. 42 p. Monografia (Graduação em Bacharelado em Física) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2010.

LOPES, T. F.; FONTENELLE, M. R.; ARAÚJO, B. C. D. de. Desempenho térmico da fachada de um edifício multifamiliar com pintura na cor preta em Fortaleza, Ce. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANTAC, 2011.

LOURENÇO, C. **Estatística II**: testes de hipóteses para mais de duas amostras one-way ANOVA. Lisboa: ISCTE, 2004.

LYRA, D. S. F. M. **Aplicabilidade de índices de conforto térmico: um estudo de caso em Salvador – Ba.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia ambiental Urbana) – Escola Plitécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

MACIEL, L. L. da S.; NASCIMENTO, R. B. do; ZANELLA, M. E. Clima urbano e sensação térmica: o caso dos terminais de ônibus de Fortaleza. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v. 2, n. 5, p. 207-219, 2012.

MAGALHÃES, G. B.; ZANELLA, M. E. Comportamento climático da Região Metropolitana de Fortaleza. **Mercator**, v. 10, n. 21, p. 129-145, set./dez. 2011.

MAIA, J. A.; GONÇALVES, F. L. T. Uma análise do conforto térmico e suas relações meteorológicas na cidade de São Paulo – Parte 1. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBMET, 2002. p. 307-314.

MALVEIRA, E. C. H. **Estudo de mudanças climáticas num ambiente urbano: evolução da Ilha de Calor na Região Metropolitana de Fortaleza.** 2003. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2003.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI.** Brasília: MMA, 2006.

MARIN, F. R.; ASSAD, E. D.; PILAU, F. G. **Clima e ambiente: introdução à climatologia para ciências ambientais.** Campinas: EMBRAPA, 2008.

MARKHAM, S. E.; MARKHAM, I. S. Biometeorological effects on worker absenteeism. **International Journal of Biometeorology**, v. 49, n. 5, p. 317-324, May 2005.

MARTINS, C. C. T. **Efeito do esforço submáximo intermitente na performance individual em diferentes ambientes térmicos.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013.

MASCARÓ, L. **Ambiência urbana.** Porto Alegre: Sagra; D. C. Luzzatto, 1996.

MATEEVA, Z. Personal factors of human thermal perception: long-lasting climate experience. **Prace i Studia Geograficzne**, v. 47, p. 335-344, 2011.

MATZARAKIS, A. Climate, thermal comfort and tourism. *In*: AMELUNG, B.; BLAZEJCZYK, K.; MATZARAKIS, A. (Org.). **Climate Change and Tourism: Assessment and Coping Strategies.** Freiburg, 2007. p. 140-154.

MATZARAKIS, A. **Ανθρωποβιομετεωρολογική εκτίμηση του κλίματος της Ελλάδος.** 1995. 245 f. Thesis (Doctorate in Sciences) - Faculty of Sciences, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, 1995.

MATZARAKIS, A.; AMELUNG, B. Physiologically equivalent temperature as indicator for impacts of climate change on thermal comfort of humans. *In*: THOMSON, M. C.; GARCIA-HERRERA, R.; BENISTON, M. (Org.). **Seasonal forecasts, climate change and human**

health. Advances in global change research 30. Berlin: Springer Sciences and Business Media, 2008. p. 161-172.

MATZARAKIS, A.; KARATARAKIS; SARANTOPOULOS, 2005 Matzarakis, A.; Karatarakis, N.; Sarantopoulos, A. Tourism climatology and tourism potential for Crete, Greece. **Annalen der Meteorologie** **41**, v. 2, p. 616-619, 2005.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H. Atmospheric conditions and human thermal comfort in urban areas. *In: SEMINAR ON ENVIRONMENTAL PROTECTION, ENVIRONMENT AND HEALTH*, 11., 2000, Thessaloniki. **Proceedings...** Thessaloniki, 2000. p. 155-166.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H. Heat stress in Greece. **International Journal of Biometeorology**, v. 41, n. 1, p. 34 – 39, Aug.1997.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H. Human-biometeorological assessment of urban structures. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE*, 5., 2003, Lodz. **Proceedings...** Lodz, Poland: International Association of Urban Climate/World Meteorological society/University of Lodz, 2003. p. 83-86.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H. Investigations of urban climate's thermal component in Freiburg, Germany. *In: CONFERENCE ON BIOMETEOROLOGY AND AEROBIOLOGY*, 13., 1998, Albuquerque. **Proceedings...** Albuquerque, USA: AMS, 1998.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; IZIOMON, M. G. Applications of a universal thermal index: Physiological Equivalent Temperature. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, n. 2, p. 76-84, Oct. 1999.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; RUTZ, F. Radiation and thermal comfort. *In: HELLENIC CONFERENCE IN METEOROLOGY, CLIMATOLOGY AND ATMOSPHERIC PHYSICS*, 6., 2002, Ioannina. **Proceedings...** Ioannina, Greece, 2002. T. B, v. 2, p. 739-744.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F. Application of RayMan for tourism and climate investigations. **Annalen der Meteorologie** **41**, v. 2, p. 631-636, 2005.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F., MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – application of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, v. 51, n. 4, p. 323-334, Mar. 2007.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F., MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, n. 2, p. 131-139, Mar. 2010.

MATZARAKIS, A.; ZYGMUNTOWSKI, M.; KOCH, E.; RUDEL, E. Mapping the thermal bioclimate of Austria for health and recreation tourism. *In: MATZARAKIS, A.; FREITAS, C. R. de; SCOTT, D. (Org.). Advances in Tourism Climatology.* Freiburg, 2004. p. 10-18.

MATZARAKIS, A; ENDLER, C. Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, n. 4, p. 479-483, July 2010.

MAYER, H.; HOLST, J.; DOSTAL, P.; IMBERY, F.; SCHINDLER, D. Human thermal comfort in summer within an urban street canyon in Central Europe. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 17, n. 3, p. 241-250, June, 2008.

MAYER, H.; HÖPPE, P. Thermal comfort of man in different urban environments. **Theoretical Applied Climatology**, v. 38, n. 1, p. 43-49, Mar. 1987.

MCCULLAGH, P.; NELDER, J. **Generalized Linear Models**. 2. ed. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC, 1989.

MCGREGOR, G. A preliminary assessment of the spatial and temporal characteristics of human comfort in China. *International Journal of Biometeorology*, v. 13, n. 7, p. 707-725, Nov. 1993.

MCGREGOR, G. Climate change and Hong Kong: possible implications and responses. **Hong Kong Meteorological Society Bulletin**, v. 2, n. 1, p. 16-27, 1992.

MCGREGOR, G. R.; MARKOU, M. T.; BARTZOKAS, A.; KATSOULIS, B. D. An evaluation of the nature and timing of summer human thermal discomfort in Athens, Greece. **Climate Research**, v. 20, n. 1, p. 83-94, Feb. 2002.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MILLS, G. Progress toward sustainable settlements: a role for urban climatology. **Theoretical Applied Climatology**, v. 84, n. 1-3, p. 69-76, Feb. 2006.

MINELLA, F. C. O.; ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L. Análise do efeito diurno do fator de visão do céu no microclima e nos níveis de conforto térmico em ruas de pedestres em Curitiba. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 1, p. 123-143, jan./mar. 2011.

MOCHIDA, T.; SAKOI, T. ET* and SET*: its originality and characteristics. **Journal of the Human Environmental System**, v. 6, n. 2, p. 51-59, 2003.

MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2011.

MONTEIRO, L. M. **Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos**. 2008. 382 f. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Conforto térmico em ambientes semi-confinados: proposição de modelo adaptativo. **PARC – Pesquisa em arquitetura e construção**, v. 1, n. 4, nov. 2009a. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~parc/vol1/n4/vol1-n4-monteiro-alucci.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2010.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Índices de conforto térmico em espaços urbanos abertos. **Fórum Patrimônio: ambiente construído e patrimônio sustentável**, v. 4, n. 1, jan./jun. 2010.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. **Ambiente Construído**, v. 7, n. 3, p. 43-58, jul./set. 2007.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Thermal comfort index for the assessment of outdoor urban spaces in subtropical climates. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE*, 7., 2009, Yokohama. **Proceedings...** Yokohama: IAUC, 2009b. Disponível em: <http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/375911-1-090514092824-005.pdf>. Acesso em: 12 out. 2011.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Verificação comparativa experimental da aplicabilidade de diferentes modelos preditivos de conforto térmico em ambientes externos. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2006. p. 584-593.

MONTEIRO, L. M.; DUARTE, D.; GONÇALVES, J. S., ALUCCI, M. P. Conforto térmico como condicionante do projeto arquitetônico-paisagístico: o caso dos espaços abertos do novo centro de pesquisas da Petrobras no Rio de Janeiro, CENPES II. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 4, p. 61-86, out./dez. 2008a.

MONTEIRO, L. M.; GONÇALVES, J.; ALUCCI, M. P. Conforto térmico urbano: o caso do Bairro Austin, em Nova Iguaçu – RJ. *In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - ESPAÇO SUSTENTÁVEL: INOVAÇÕES EM EDIFÍCIOS E CIDADES*, 7., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: NUTAU/USP, 2008b.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to Linear Regression Analysis**. 5. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.

MONTGOMERY, D.C. **Designs and Analysis of Experiments**. 8. ed. New York: John Wiley, 2012.

MORABITO, M.; DIGESI, V.; CRISCI, A.; ORLANDINI, S.; CECCHI, L.; MARACCHI, G.; GENSINI, G. F. The influence of meteorological and environmental factors on hospital admissions for cardiovascular diseases in Florence 1998-2001. *In: CONFERENCE ON BIOMETEOROLOGY/AEROBIOLOGY*, 15., 2002, Kansas City. **Proceedings...** Kansas City: ISB, 2002.

MORAIS, J. D. M. de. **Análise exploratória de diferenças de conforto térmico entre dois padrões de ocupação urbana representados por ocupação espontânea e por ocupação planejada**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

MOURA, L. F. **Verificação da existência de imprecisões nos valores do índice de isolamento térmico da vestimenta da norma ISO 9920: 2007**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2012.

MOURA, M. de O. **O clima urbano de Fortaleza sob o nível do campo térmico**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MOURA, M. de O.; SALES, M. C. L. Monitoramento do microclima urbano de Fortaleza-Ceará-Brasil. *In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA*, 2005, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBMET, 2005.

MOURA, M. de O.; ZANELLA, M. E. Escolha de “anos-padrão” para o estudo do conforto térmico em Fortaleza, Ce: verificação de critérios. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 547-560, 2012.

NAKATA, C. M. **Comportamento do pedestre e ambiente térmico urbano**. 2010. Dissertação (Mestrado em Design) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2010.

NEDEL, A.; GONÇALVES, F. L. T.; CARDOSO, M. R. A. Estimativa do conforto térmico em ambientes *indoor* na cidade de São Paulo/SP, através da aplicação de um índice biometeorológico. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA*, 4., 2006, Ribeirão Preto. **Anais ...** Ribeirão Preto: Instituto de Zootecnia, 2006.

NERY, J.; ANDRADE, T.; MOURA, T. Conforto térmico em Salvador: o índice PET e sua abordagem projetual. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, v. 7, n. 1, p. 71-77, 2006.

NG, E. Y.; REN, C.; KATZSCHNER, L. Urban climatic mapping in Hong Kong. **Journal of Heat Island Institute International**, v. 7- 2, p. 55-64, 2012.

NG, E.; CHENG, V. Urban human thermal comfort in hot and humid Hong Kong. **Energy and Buildings**, v. 55, n. , p. 51-65, Dec. 2012.

NIKOLOPOULOU, M. **RUROS: Rediscovering the urban realm and open spaces**. Grécia: Center for Renewable Energy Sources (C.R.E.S.), 2004.

NIKOLOPOULOU, M. Μικροκλίμα και θερμική άνεση: η επίδρασή τους στη χρήση του υπαίθριου χώρου. *In: ΗΜΕΡΙΔΑ ΤΕΕ: ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΝ ΑΣΤΙΚΟ ΥΠΑΙΘΡΙΟ ΧΩΡΟ*, 2002, Thessaloniki. **Proceedings...** Thessaloniki: ΤΕΕ, 2002.

NIKOLOPOULOU, M.; BAKER, N.; STEEMERS, K. Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. **Solar Energy**, v. 70, n. 3, p. 227-235, 2001.

NIKOLOPOULOU, M.; LYKOUDIS, S. Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries. **Building and Environment**, v. 41, n. 11, p. 1455-1470, Nov. 2006.

NIKOLOPOULOU, M.; STEEMERS, K. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1, p. 95-101, Jan. 2003.

NOGUEIRA, C. E. C.; SIQUEIRA, J. A. C.; SOUZA, S. N. M. de; NIEDZIALKOSKI, R. K.; PRADO, N. V. do. Avaliação do conforto térmico nas residências convencional e inovadora do “Projeto CASA”, Unioeste, Campus de Cascavel. **Acta Scientiarum, Technology**, v. 34, n. 1, p. 3-7, jan./mar. 2012.

OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Buildings**, v. 11, n. 1-3, p. 103-113, Mar. 1988.

OKE, T. R. Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. **Energy and Buildings**, v. 7, n. 1, p. 1-10, Sept. 1984.

OLGYAY, V. **Design with climate: a bioclimatic approach to architectural regionalism**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

OLIVEIRA, S.; ANDRADE, H. An initial assessment of the bioclimatic comfort in an outdoor public space in Lisbon. **International Journal of Biometeorology**, v. 52, n. 1, p. 69-84, Oct. 2007.

OSHIRO, A. M. **Análise computacional da resposta do sistema térmico humano para diferentes condições ambientais**. 2010. 76 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

PAIVA, F. I. B.; ZANELLA, M. E. Conforto Térmico na área central do bairro da Messejana, Fortaleza-CE: uma comparação entre os índices de conforto térmico Temperatura Aparente e Digrama do Conforto Térmico. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 17., 2012, Belo Horizonte. **Anais...** Belo horizonte: AGB, 2012.

PAIVA, F. I. B; ZANELLA, M. E. Microclimas urbanos na área central do bairro da Messejana, Fortaleza/Ce. **Revista Equador**, v. 2, n. 2, p. 153-172, jul./dez. 2013.

PAIVA, J. P. M. **Análise microclimática em conjuntos habitacionais: o caso do Conjunto Ceará – Fortaleza/CE**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, 2010.

PANTAVOU, K.; LYKOURDIS, S. Environmental exposure and human health effects related to heat exhaustion: a field study of heat stress. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, 12., 2011, Rhodes. **Proceedings...** Rhodes: University of the Aegean, 2011. p. 807-812.

PARSONS, K. C. **Human thermal environments**. 2. ed. New York: Taylor & Francis, 2006.

PARSONS, K. C. International standards for the assessment of the risk of thermal strain on clothed workers in hot environments. **Annals of Occupational Hygiene**, v. 43, n. 5, p. 297-308, July 1999.

PARSONS, K. Occupational health impacts of climate change: current and future ISO Standards for the assessment of heat stress. **Industrial Health**, v. 51, n. 1, p. 86-100, 2013.

PARSONS, K. The estimation of metabolic heat for use in the assessment of thermal comfort. *In*: CONFERENCE ON MOVING THERMAL COMFORT STANDARDS INTO THE 21st CENTURY, 2001, Windsor. **Proceedings...** Windsor: Oxford Brookes University, 2001c. p. 301-308.

PEPI, J. W. **The New Summer Simmer Index: a comfort index for the new millennium**. 2000. Disponível em: < <http://summersimmer.com/home.htm> >. Acesso em: 25 nov. 2014.

PEREGRINO, P. S. A. **Interrelações existentes entre os escoamentos de ventos e os padrões de ocupação do solo nos bairros do Cabo Branco e Tambaú / João Pessoa – PB**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. de. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 1, p. 31-51, jan./mar. 2009.

PETALAS, K. V. **Impactos da urbanização sobre os parâmetros climáticos, em duas áreas de Fortaleza, Ceará**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

PETALAS, K. V.; LUNA, R. M. Análise multitemporal do crescimento da mancha urbana no município de Fortaleza-Ce, no período de 1985 a 2007. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL, 2., João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2011. v. 4. p. 729-737.

PETALAS, K. V.; MOTA, F. S. B. Avaliação das condições bioclimáticas da região costeira do nordeste brasileiro: o município de Fortaleza, Ce. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, p. 185-201, jul./dez. 2013.

PEZZUTO, C. C. **Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. Estudo de caso em Campinas, SP**. 2007. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

PICKUP, J.; DE DEAR, R. An outdoor thermal comfort index (OUT_SET*): Part I, The model and its assumptions. *In*: INTERNATIONAL CONGRESS OF BIOMETEOROLOGY AND INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATOLOGY (WCASP-50, WMO/TD No. 1026), 2000, Sydney. **Proceedings...** Sydney: WMO, 2000. p. 279-284.

PINHEIRO, J. S. de S. **Análise ergonômica aplicada aos processos industriais relacionada a trabalho em ambientes à altas temperaturas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

PINHEIRO, S. D. G. **Análise do comportamento térmico de habitações unifamiliares tendo em conta o conforto dos seus habitantes**. 2013. Dissertação (Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2013.

PRATA, A. R. **Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano**. 2005. 271 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo: 2005.

QUAYLE, R.; DOEHRING, F. Heat stress: a comparison of indices. **Weatherwise**, v. 34, n. 3, p. 120-124, 1981.

REBELLO, M. P. de C. **Estudo de Impacto Ambiental – Proteção / recuperação da Praia de Iracema**. Fortaleza: GEOLÓGICA, 2009.

REPELLI, C. A; ALVES, R.; SOUZA, E. B. de; UBARANA, V. N.; ALVES, J. M. B. Sensação térmica para Fortaleza-Ce. **Monitor Climático**, v. 11, n. 121, p. 8-16, 1997.

RIVERO, R. **Acondicionamento térmico natural: arquitetura e clima**. 2. ed. Porto Alegre: D. C. Luzzatto Editores, 1986.

ROBERTS, D. F. The adaptation of human races to different climates. **International Journal of Biometeorology**, n. 8, Part 2, Supplement to v. 26, p. 39-52, 1982.

ROSSI, F. A. **Proposição de metodologia e de modelo preditivo para avaliação da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba**. 2012. 190 f. Tese (Doutorado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L.; BRÖDE, P. Definição de faixas de conforto e desconforto térmico para espaços abertos em Curitiba, PR, com o índice UTCI. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 41-59, jan./mar. 2012.

ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L.; GUIMARÃES, I. A. Modelo preditivo de sensação térmica em espaços abertos em Curitiba, PR. **R. Ra'e Ga**, v. 29, p. 209-238, dez. 2013.

RUAS, A. C. **Avaliação de conforto térmico: contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

RUDEL, E.; MATZARAKIS, A.; KOCH, E. Potential increase of heat load on humans in a changing climate. **World Resource Review**, v. 17, n. 1, p. 32-44, 2005.

SANTANA, A. M. S. de. **O desenho urbano e a climatologia em Fortaleza**. 1997. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SANTOS, C. A. C. **Desenvolvimento de metodologias para a avaliação do desempenho térmico de meias através da utilização de um manequim térmico transpirável**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2009.

SANTOS, F. B. dos; GOMES, H. B.; AZEVEDO, C. D. da S. Análise da formação de Ilhas de Calor em Fortaleza-Ce por meio de imagens de satélite. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013.

SANTOS, J. de O. **Fragilidade e riscos socioambientais em Fortaleza-CE: contribuições ao ordenamento territorial**. 2011. 331 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SANTOS, J. S. dos; SILVA, V. de P. R. da; SILVA, E. R. da; ARAÚJO, L. E. de; COSTA, A. D. L. Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em cidade tropical úmida. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 2, p. 540-557, 2012.

SANTOS, J. S. dos; V. de P. R. da; ARAÚJO, L. E. de; LIMA, E. R. V. de; COSTA, A. D. L. Análise das condições do conforto térmico em ambiente urbano: estudo de caso em campus universitário. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 2, p. 336-353, 2011.

SILVA, B. F. da; DINIZ, J.; BORTOLUZZI, M. A. **Minicurso de estatística básica: introdução ao software R**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

SILVA, M. A. V. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Oficina de Textos, 2006.

SILVA, N. T. da; MONTEIRO, D. C. da S.; SOUZA FILHO, J. F. de; MOURA, M. de O. Microclimas e avaliação do conforto térmico no bairro do Centro em João Pessoa, Paraíba. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 5, p. 401-410, nov. 2012.

SILVA, R. G. da. **Biofísica ambiental**: os animais e seu ambiente. Jaboticabal: FAPESP, 2008.

SIMONE, A.; BABIAK, J.; BULLO, M.; LANDKILDE, G.; OLESEN, B. W. Operative temperature control of radiant surface heating and cooling systems. *In*: CLIMA 2007 WELLBEING INDOORS, 9., 2007, Helsinki. **Proceedings...** Helsinki, Finland: Helsinki University of Technology, 2007.

SINGH, M. K.; MAHAPATRA, S.; ATREYA, S. K. Development of bio-climatic zones in north-east India. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 12, p. 1250-1257, Dec. 2007.

SKINNER, C. J.; DE DEAR, R. Climate and tourism – an Australian perspective. *In*: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CLIMATE, TOURISM AND RECREATION, 1., 2001, Halkidiki, Greece. **Proceedings...** Halkidiki, Greece: ISB, 2001. p. 239-256.

SOUZA FILHO, M. R. P. de; SALES, M. C. L. Estudo do comportamento dos ventos na cidade de Fortaleza nos últimos trinta e cinco anos: 1974 – 2009 (resultados preliminares). *In*: ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS, 16., 2010, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: AGB, 2010.

SOUZA, D. M. de; NERY, J. T. O conforto térmico na perspectiva da climatologia geográfica. **Geografia**, v. 21, n. 2, p. 65-83, maio/ago. 2012.

SOUZA, E. B. de; ALVES, J. M. B.; XAVIER, T. de M. B. S. A estação chuvosa no semi-árido nordestino durante os anos de predominância de aquecimento ou de resfriamento observados em toda bacia do Atlântico Tropical. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: SBMET, 1998.

SOUZA, M. J. N. de; MENELEU NETO, J.; SANTOS, J. de O.; GONDIM, M. S. **Diagnóstico ambiental do município de Fortaleza: subsídios ao macrozoneamento ambiental e à revisão do Plano Diretor Participativo – PDPFor**. Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2009.

SOUZA, S.; ANDRADE, T.; PITOMBO, C.; NERY, J.; FREIRE, M. Avaliação do desempenho térmico nos microclimas das praças: Piedade e Visconde de Cayrú, Salvador/BA. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: ANTAC, 2011. v. top2. p. art44.

SPAGNOLO, J.; DE DEAR, R. A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. **Building and Environment**, v. 38, n. 5, p. 721-738, May 2003.

SPILLERE, J. I.; FURTADO, T. S. **Estresse ocupacional causado pelo calor**. 2007. 65 p. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2007.

SPRENT, P., SMEETON, N.C. **Applied Nonparametric Statistical Methods**. New York: Chapman Hall, 2001.

STEADMAN, R. G. A universal scale of Apparent Temperature. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 23, n. 12, p. 1674-1687, Dec. 1984.

STEADMAN, R. G. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. **Journal of Applied Meteorology**, v. 18, n. 7, p. 861-873, July 1979a.

STEADMAN, R. G. The assessment of sultriness. Part II: Effects of wind, extra radiation and barometric pressure on Apparent Temperature. **Journal of Applied Meteorology**, v. 18, n. 7, p. 874-885, July 1979b.

STREILING, S.; MATZARAKIS, A. Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: a case study. **Journal of Arboriculture**, v. 29, n. 6, p. 309-316, 2003.

SVENSSON, M. K.; ELIASSON, I. Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning. **Landscape and Urban Planning**, v. 61, n. 1, p. 37-54, Sept. 2002.

SVENSSON, M. K.; THORSSON, S.; LINDQVIST, S. A geographical information system model for creating bioclimatic maps – examples from a high, mid-latitude city. **International Journal of Biometeorology**, v. 47, n. 2, p. 102-112, Mar. 2003.

TAESLER, R. Climate Characteristics and human health: the problem of climate classification. *In*: SYMPOSIUM ON CLIMATE AND HUMAN HEALTH (WCAP – No. 1.), 1987, Leningrad. **Proceedings...** Leningrad: WMO, 1987. p. 81-109.

TAN, J.; Zheng, Y.; Song, G.; Kalkstein, L. S.; Kalkstein, A. J.; Tang, X. Heat wave impacts on mortality in Shanghai, 1998 and 2003. **International Journal of Biometeorology**, v. 51, n. 3, p. 193-200, Jan. 2007.

TANABE, S.; HASEBE, Y.; KIMURA, K.; HAGA, Y. Estimation of thermal sensation using PMV and SET* under high air movement conditions. **Journal of Thermal Biology**, v. 18, n. 5-6, p. 551-554, Dec. 1993.

TEIXEIRA, R. F. B. O fenômeno da brisa e sua relação com a chuva sobre Fortaleza-Ce. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 282-291, set. 2008.

TERJUNG, W. H. Physiologic climates of the conterminous United States: a bioclimatic classification based on man. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 56, n. 1, p. 141-179, Mar. 1966.

THORSSON, S.; LINDBERG, F.; ELIASSON, I.; HOLMER, B. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 14, p. 1983-1993, Nov. 2007.

THORSSON, S.; LINDQVIST, M.; LINDQVIST, S. Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. **International Journal of Biometeorology**, v. 48, n. 3, p. 149-156, Feb. 2004.

TRINTA, P. V. **Análise bioclimática do bairro do Renascença II – São Luís – MA: realidade e perspectiva do conforto térmico em espaços externos.** 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

TSELEPIDAKI, I.; SANTAMOURIS, M.; MOUSTRIS, C.; POULOPOULOU, G. Analysis of the summer discomfort index in Athens, Greece, for cooling purpose. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 51-56, 1992.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. do. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1987.

UNGER, J. Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central-European city. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, n. 3, p. 139-144, Nov. 1999.

VAGLIATTI, R. B. **Metodologia para medição de dissipação de calor no corpo humano**. 2010. 30 p. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

VASCONCELOS, P. E. de M. **Estudo da relação entre variáveis térmicas e o desempenho de estudantes da Academia de Polícia Militar do Estado da Paraíba**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

VOELKER, C.; HOFFMANN, S.; KORNADT, O.; ARENS, E.; ZHANG, H. HUIZENGA, C. Heat and moisture transfer through clothing. *In*: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 11., 2009, Glasgow. **Proceedings...** Glasgow: University of Salford, 2009. p. 1360-1367.

XAVIER, A. A. de P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

XAVIER, T. DE M. B. S.; XAVIER, A. F. S. Alterações climáticas urbanas em Fortaleza-Ceará (1974-95). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9., 1996, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: SBMET, 1996. p. 1172 – 1176.

ZANELLA, M. E.; MOURA, M. de O. O clima das cidades do nordeste brasileiro: contribuições no planejamento e gestão urbana. **Revista da ANPEGE**, v. 9, n. 11, p. 75-89, jan./jun. 2013.

ZANINOVIC, K.; MATZARAKIS, A. Long term analysis of thermal bioclimate at the Adriatic Coast. **Annalen der Meteorologie** 41, v. 1, p. 247-250, 2005.

ZANINOVIC, K.; MATZARAKIS, A. Thermal sensation in different meteorological situations in town centre and suburbs of Zagreb. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE OF URBAN CLIMATE, 6., Göteborg. **Proceedings...** Göteborg, Sweden: University Göteborg, 2006. p. 882-885.

ZANINOVIC, K.; MATZARAKIS, A. Variations and trends of thermal comfort at the Adriatic Coast. *In*: MATZARAKIS, A., DE FREITAS, C., SCOTT, D. (Org.). **Advances in tourism climatology**. Freiburg, 2004. p. 74-81.

ZHU, Y.; LIU, J.; HAGISHIMA, A.; TANIMOTO, J.; YAO, Y.; MA, Z. Evaluation of coupled outdoor and indoor thermal comfort environment and anthropogenic heat. **Building and Environment**, v. 42, n. 2, p. 1018-1025, Feb. 2007.

APÊNDICA A – MODELOS DE TERMORREGULAÇÃO DO CORPO HUMANO

A1 A Equação de Conforto de Fanger

Fanger (1967) define a equação de conforto como:

$$H - D - S_w - R_w - R_d = K - R + C \quad (A1)$$

onde:

H é a produção interna de calor

D é a perda de calor por difusão do vapor d'água através da pele

S_w é a perda de calor pela evaporação do suor na superfície da pele

R_w é a perda de calor latente pela respiração

R_d é a perda de calor sensível pela respiração

K é a transferência de calor da pele para a superfície externa do corpo vestido (condução através da roupa)

R é a perda de calor por radiação

C é a perda de calor por convecção

Desdobrando os termos da equação (1), tem-se que a produção interna de calor (H) corresponde a uma porção da taxa metabólica total (M), pois uma pequena parte é convertida em energia mecânica (W), assim:

$$H = M - W \quad (\text{kcal/h}) \quad (A2)$$

Sendo a energia mecânica (W) calculada em função da eficiência mecânica do trabalho externo ($\eta = W/M$), a produção interna de calor pode ser escrita como:

$$H = M (1 - \eta) \quad (\text{kcal/h}) \quad (A3)$$

Considerando-se que a produção interna de calor é expressa por unidade de superfície do corpo, então:

$$(H/A_{Du}) = (M/A_{Du}) (1 - \eta) \quad (\text{kcal/h}) \quad (A3a)$$

Segundo De Freitas (1985) a área de superfície corporal é calculada pela equação de DuBois (A_{Du}), a qual relaciona o peso (W_t) em kg e a altura (H_t) em cm:

$$A_{Du} = 0,00718 W_t^{0,425} H_t^{0,725} \quad (\text{m}^2) \quad (\text{A4})$$

A transferência de calor latente para a atmosfera através da pele ($D + S_w$) acontece quer pela difusão do vapor de água presente ainda nos poros da pele (perspiração insensível) (D), quer pela evaporação do suor (S_w). O primeiro processo não é controlado fisiologicamente, é proporcional à diferença entre a pressão do vapor d'água na pele (p_s) e no ar (p_a) medidos em mmHg.

$$D = 0,35 A_{Du} (p_s - p_a) \quad (\text{kcal/hr}) \quad (\text{A5})$$

Como ressaltado anteriormente, a pressão de saturação do vapor d'água na pele (p_s) depende da temperatura média da pele (t_{sk}) e, portanto, pode ser calculada como:

$$p_s = 1,92t_{sk} - 25,3 \quad (\text{mmHg}) \quad (\text{A6})$$

$$t_{sk} = 35,7 - 0,032 M (M/A_{Du}) (1 - \eta) \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{A7})$$

A perda de calor pela evaporação do suor secretado pelas glândulas sudoríparas é a segunda condição básica do conforto térmico e é dada pela equação:

$$S_w = A_{Du} 0,42 [(M/A_{Du}) (1 - \eta)) - 50] \quad (\text{kcal/h}) \quad (\text{A8})$$

Quando o ar é expirado, ele contém mais calor e água que durante a sua inalação e, por isso, a respiração resulta na perda de calor latente e sensível do corpo. A perda de calor latente pela respiração (R_w) depende da diferença entre o conteúdo de umidade do ar expirado e inspirado e da quantidade de oxigênio necessária, estando diretamente relacionada com a taxa metabólica. A perda de calor sensível pela respiração (R_d) também está relacionada com a taxa metabólica e a temperatura do ar inspirado (t_a).

$$R_w = 0,0023 M (44 - p_a) \quad (\text{kcal/hr}) \quad (\text{A9})$$

$$R_d = 0,0014M (34 - t_a) \quad (\text{kcal/hr}) \quad (\text{A10})$$

A transferência de calor sensível da superfície da pele para a superfície externa de um corpo vestido envolve os processos de radiação e convecção que acontecem nos espaços de ar e de condução através da própria roupa. Gagge, Burton e Bazzett (1941 *apud* FANGER, 1967) introduziu o termo I_{cl} como expressão do isolamento necessário à transferência de 1W/m^2 , com um gradiente de temperatura de $0,155^\circ\text{C}$ entre duas superfícies. Portanto, a

condução de calor através do vestuário é determinada em função do gradiente de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) entre as superfícies externas da pele (t_{sk}) e do vestuário (t_{cl}) e da resistência à transferência de calor do vestuário (I_{cl}) (clo):

$$K = A_{Du} \frac{[35,7 - 0,032 \left(\frac{M}{A_{Du}} \right) (1 - \eta) - t_{cl}]}{0,18 I_{cl}} \quad (\text{kcal/h}) \quad (\text{A11})$$

Fanger (1967) ressalta que o valor de I_{cl} para uma pessoa sentada é superior ao da mesma pessoa em pé. Também destaca a influência da velocidade do ar, pois, quando elevada, dependendo da permeabilidade do material da roupa, a pressão dinâmica da corrente de ar cria um fluxo através da mesma, influenciando o processo de convecção.

A troca de calor por radiação ocorre entre o corpo humano e sua circunvizinhança. Entretanto, devido às irregularidades dos contornos do corpo humano, a área de superfície real de um corpo vestido é reduzida para uma área efetiva de radiação que está em função da área total de superfície do corpo (A_{Du}) (m^2) e das razões entre a área efetiva de radiação e a área total de superfície do corpo vestido (f_{eff}) e entre a área total de superfície do corpo vestido sobre a área total de superfície do corpo (f_{cl}).

O fator f_{eff} representa a fração da superfície corporal coberta pelo vestuário enquanto o termo f_{cl} expressa o aumento na área de superfície do corpo devido ao vestuário. Segundo Höppe (1996 *apud* ANDRADE, 2003) e VDI (1998 *apud* ANDRADE, 2003) são respectivamente calculados como:

$$f_{eff} = \frac{(-2,36 + 173,51 I_{cl} - 100,76 I_{cl}^2 + 19,28 I_{cl}^3)}{100} \quad (\text{A12})$$

$$f_{cl} = 1 + 0,15 I_{cl} \quad (\text{A13})$$

A perda de calor por radiação baseia-se na lei de Stefan-Boltzmann, sendo expressa como:

$$R = 4,8 * 10^{-8} A_{Du} f_{cl} f_{eff} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] \quad (\text{kcal/hr}) \quad (\text{A14})$$

A temperatura média radiante (t_{mrt}) ($^{\circ}\text{C}$) permite expressar a influência combinada de todos os fluxos radiativos do ambiente, através de um único valor de temperatura. Fanger (1967) a define como a temperatura uniforme de um corpo negro, com emissividade (ε) igual a um, que fornece a mesma intensidade radiativa para o corpo humano que o ambiente real. A intensidade e direção dos fluxos de radiação dependem da diferença entre a temperatura

média radiante do ambiente e a temperatura da superfície corporal e tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores.

A perda de calor por convecção é calculada conforme a equação:

$$C = A_{Du} f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \quad (\text{kcal/hr}) \quad (\text{A15})$$

onde: h_c é o coeficiente de transferência de calor convectivo ($\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$).

Seu cálculo depende do tipo do processo de convecção. Quando a convecção é livre ou natural, é calculado a partir da diferença de temperatura entre o corpo vestido e o ar conforme a Equação A16, mas com convecção forçada, ele passa a ser calculado em função da velocidade do ar (v) (m/s) (Equação A16a).

$$h_c = \begin{cases} 2,05(t_{cl} - t_a)^{0,25} & \text{para } 2,05(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 10,4\sqrt{v} \\ 10,4\sqrt{v} & \text{para } 2,05(t_{cl} - t_a)^{0,25} < 10,4\sqrt{v} \end{cases} \quad (\text{A16})$$

Substituindo, na Equação A1, todos os termos de ganho e perda de calor encontra-se a expressão para o cálculo da temperatura da superfície externa do vestuário (t_{cl}) e a Equação de Conforto ou do Balanço Energético do Corpo Humano dadas como:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,032 \frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - 0,18 I_{cl} \left[\frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - 0,35 \left(43 - 0,061 \frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - p_a \right) - 0,42 \left(\frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - 50 \right) - 0,0023 \frac{M}{A_{Du}} (44 - p_a) - 0,0014 \frac{M}{A_{Du}} (34 - t_a) \right] \quad (\text{A17})$$

$$\frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - 0,35 \left[43 - 0,061 \frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - p_a \right] - 0,42 \left[\frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - 50 \right] - 0,0023 \frac{M}{A_{Du}} (44 - p_a) - 0,0014 \frac{M}{A_{Du}} (34 - t_a) = 4,8 * 10^{-8} f_{cl} f_{eff} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \quad (\text{A18})$$

A2 O modelo multi-segmental de conforto térmico dinâmico de Fiala

A Equação de Biocalor (FIALA; LOMAS; STOHRER, 1999) descreve a dissipação de calor em um volume homogêneo e infinito. De acordo com ela, o fluxo de calor conduzido das regiões mais quentes do tecido para as mais frias, adicionado ao metabolismo e à perfusão

sanguínea, é balanceado com o armazenamento de calor dentro do tecido, conforme apresentado abaixo:

$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\omega}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + q_m + \rho_{bl} w_{bl} c_{bl} (T_{bl,a} - T) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{A19})$$

onde:

k é a condutividade do tecido ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)

T é a temperatura do tecido ($^{\circ}\text{C}$)

r é o raio (m)

ω é um fator geométrico adimensional, igual a 1, para coordenadas polares (elementos cilíndricos) e 2, para coordenadas esféricas (cabeça)

q_m é o metabolismo (W/m^3)

ρ_{bl} é a densidade do sangue (kg/m^3)

w_{bl} é a taxa de perfusão do sangue (s^{-1})

c_{bl} é a capacitância térmica do sangue ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$)

t é o tempo (s)

A condução térmica considera a variação da temperatura na direção radial. Em termos gerais, a produção metabólica de um volume de tecido finito (q_m) é tratada como a soma do valor basal ($q_{m,bas,0}$) com o calor adicional (Δq_m) que pode ser produzido pelo processo de termorregulação. Dependendo do tecido e da atividade desenvolvida, ainda pode ser incluída uma produção extra de calor.

$$q_m = q_{m,bas,0} + q_m \quad (\text{A20})$$

O sistema de circulação sanguínea é simulado a partir de três componentes principais: o reservatório central de sangue, a troca de calor e o caminho percorrido entre os nós de cada tecido. Os elementos do corpo são supridos pelas artérias, com o sangue quente advindo do reservatório central. Entretanto, antes de chegar às extremidades do corpo, ele perde calor para o fluxo sanguíneo que corre nas veias adjacentes, resfriando-se. No retorno do sangue venoso ao reservatório de sangue central, ele é re-aquecido a partir das artérias adjacentes e, com a mistura com o sangue de outros elementos, o reservatório central de sangue alcança uma nova temperatura.

A perfusão sanguínea ($\rho_{bl} w_{bl} c_{bl} (T_{bl,a} - T)$) é fundamentada no primeiro princípio de Fick, o qual assume que a troca de calor com o tecido ocorre nos capilares e que não existe

nenhum armazenamento de calor no fluxo sanguíneo. Maiores detalhes das equações envolvidas são dados em Fiala, Lomas e Stohrer (1999).

Na superfície do corpo, o calor é trocado com o meio por convecção (q_c), radiação com as superfícies circunvizinhas (q_R), radiação solar e irradiação de fontes mais quentes (q_{sR}) e pela evaporação da umidade da pele (q_e). A velocidade da troca de calor varia com as partes do corpo e depende da roupa vestida. Portanto, no modelo, o balanço térmico é estabelecido para cada setor da pele de cada elemento do corpo como condições limites para a Equação de Biocalor (Equação A19). Em geral, o fluxo líquido de calor (q_{sk}) (W/m^2) que atravessa a superfície de um setor periférico é equivalente à soma destas trocas individuais.

$$q_{sk} = q_c + q_R - q_{sR} + q_e \quad (\text{A21})$$

A troca de calor convectivo (q_c) entre a temperatura de superfície de um setor da pele (T_{sf}) e a temperatura do ar (T_{air}) é modelada considerando-se a convecção forçada e natural e utilizando-se coeficientes de convecção combinados ($h_{c,mix}$) ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$). Este coeficiente é calculado em função da localização no corpo, da diferença de temperatura entre a superfície da pele e o ar e da velocidade efetiva do ar ($v_{air,eff}$) (m/s).

$$q_c = h_{c,mix} (T_{sf} - T_{air}) \quad (\text{A22})$$

$$h_{c,mix} = \sqrt{a_{nat} \sqrt{T_{sf} - T_{air}} + a_{frc} v_{air,eff} + a_{mix}} \quad (\text{A23})$$

Os coeficientes a_{nat} , a_{frc} e a_{mix} são específicos para cada parte do corpo, conforme apresentado em Fiala, Lomas e Stohrer (1999). A velocidade efetiva é composta pela velocidade do ar no meio e pela velocidade do ar relativa ao corpo em movimento.

A troca de calor por radiação (q_R) é aplicada também a meios assimétricos. Portanto, ela representa a soma da troca de calor parcial entre o setor de um elemento do corpo e as estruturas circunvizinhas. Dessa forma, a sua simulação requer o cálculo dos fatores de visão entre a superfície dos setores do corpo e cada superfície de segmento da circunvizinhança.

Apesar de bastante complexo, esse critério é adotado porque o fator de visão descreve a influência geométrica na troca de calor por radiação. Assim, a troca de calor difere de um setor para outro podendo também, variar com o tempo e a postura do corpo (em pé ou sentado).

Fiala, Lomas e Stohrer (1999) também adotam o conceito de temperatura média das superfícies circunvizinhas ($T_{sr,m}$), mas a tornam dependente da direção. Assim o valor de $T_{sr,m}$ é definido como a temperatura de um invólucro uniforme fictício visto por um setor, o qual provoca a mesma troca de calor por radiação com o setor que o meio assimétrico atual. A troca energética é calculada pela Equação 24A, considerando-se h_R ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$), o coeficiente de troca de calor por radiação.

$$q_R = h_R (T_{sf} - T_{sr,m}) \quad (\text{A24})$$

$$h_R = \sigma \varepsilon_{sf} \varepsilon_{sr} \psi_{sf-sr} (T_{sf}^{*2} + T_{sr,m}^{*2}) (T_{sf}^* + T_{sr,m}^*) \quad (\text{A25})$$

onde:

σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$)

ε_{sf} e $\varepsilon_{sr,m}$ são, respectivamente, os coeficientes de emissão da superfície do corpo do setor considerado e das superfícies circunvizinhas

ψ_{sf-sr} é o fator de visão correspondente

T_{sf}^* e $T_{sr,m}^*$ (K) são as temperaturas absolutas do superfície do setor do corpo e das superfícies circunvizinhas vistas pelo setor do corpo

A irradiação do corpo por fontes de elevada temperatura também é considerada na formulação do sistema passivo. A quantidade de calor absorvida na superfície do setor (q_{sR}) é calculada em função do coeficiente de absorção da superfície (a_{sf}), da intensidade de radiação (S) (W/m^2) e do fator de visão entre o setor e sua circunvizinhança (ψ_{sf-sr}).

$$q_{sR} = a_{sf} \psi_{sf-sr} S \quad (\text{A26})$$

Como as roupas desempenham um importante papel na termorregulação comportamental dos seres humanos, Fiala, Lomas e Stohrer (1999) desenvolvem um modelo computacional simples para calcular os valores de isolamento local requeridos de cada peça de roupa. O cálculo é estabelecido a partir dos dados de permeabilidade à umidade, isolamento térmico, fator de área vestida das roupas e resistência evaporativa do tecido. Também é levado em consideração o efeito isolador provido pela camada de ar que se forma entre a pele e o tecido.

Assim, o coeficiente de transferência efetiva de calor em determinado local (U_{cl}^*) ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) de uma j -ésima camada de roupa vestida em um elemento do setor do corpo é calculado como:

$$U_{cl}^* = \frac{1}{\sum_{j=1}^n (I_{cl}^*)_j + \frac{1}{f_{cl}^* (h_{c,mix} + h_R)}} \quad (A27)$$

onde:

$(I_{cl}^*)_j$ é a resistência térmica local da j -ésima camada de roupa ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)

f_{cl}^* é o fator de área vestida local da camada externa do vestuário (adimensional)

O correspondente coeficiente evaporativo ($U_{e,cl}^*$) ($\text{Wm}^{-2}\text{Pa}^{-1}$) é obtido usando os valores locais do índice de permeabilidade à umidade (i_{cl}^*) e isolamento térmico do vestuário (I_{cl}^*) da camada de roupa aplicada ao setor do corpo, do fator de área vestida (f_{cl}^*) da camada externa da roupa, do coeficiente de convecção ($h_{c,mix}$) e da constante de Lewis para o ar ($L_{air} = 0,0165 \text{ K/Pa}$).

$$U_{e,cl}^* = \frac{L_{air}}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{I_{cl}^*}{i_{cl}^*} \right)_j + \frac{1}{f_{cl}^* h_{c,mix}}} \quad (A28)$$

Cada setor da pele de cada elemento do corpo também é considerado na modelagem do processo de evaporação. A transferência líquida de energia é dirigida pela evaporação potencial entre a pele e o ar e balanceada pela evaporação do suor da superfície da pele e pelo transporte de calor devido à difusão de umidade através da pele. Assim, o transporte de energia latente de um setor da pele é dado como:

$$U_{e,cl}^* (P_{sk} - P_{air}) = \lambda_{H_2O} \frac{dm_{sw}}{A_{sk} dt} + \frac{P_{osk,sat} - P_{sk}}{R_{e,sk}} \quad (A29)$$

onde:

P_{sk} é a pressão do vapor d'água na superfície da pele

P_{air} é a pressão do vapor d'água do ar

$U_{e,cl}^*$ é o coeficiente de evaporação resultante da roupa que cobre o setor

λ_{H_2O} é o calor de vaporização da água, igual a 2256 kJ/kg

A_{sk} é a área do setor da pele

$\frac{dm_{sw}}{dt}$ é a taxa de produção de suor sobre A_{sk}

$\frac{1}{R_{e,sk}}$ é uma permeabilidade à umidade da pele, igual a 0,003 $\text{Wm}^{-2}\text{Pa}^{-1}$

Considerando que dentro da camada externa da pele, a umidade está sempre presente, a pressão do vapor d'água nesse local é a de saturação ($P_{osk,sat}$). Ela depende da temperatura externa da pele (T_{osk}) e pode ser calculada como:

$$P_{osk,sat} = 100 \times \exp\left(18,956 - \frac{4030}{T_{osk} + 235}\right) \quad (A30)$$

Apesar da maior parte do calor ser dissipado através da superfície do corpo, uma pequena porção é liberada durante a respiração. O modelo de perda de calor pela respiração é obtido do estudo de Fanger. A troca de calor latente (E_{rsp}) considera a ventilação pulmonar em função do metabolismo de todo o corpo ($\int q_m dV$) (W), o calor latente de vaporização da água e a diferença entre o nível de umidade do ar expirado e inspirado, que, por sua vez, depende da temperatura (T_{air}) (°C) e da pressão parcial do vapor d'água do ar (P_{air}) (Pa).

$$E_{rsp} = 4,373 \int q_m dV (0,028 - 6,5 \times 10^{-5} T_{air} - 4,91 \times 10^{-6} P_{air}) \quad (A31)$$

A perda de calor sensível pela respiração (C_{rsp}) devido à diferença de temperatura entre o ar expirado e inspirado é calculada em função da taxa de ventilação pulmonar e da temperatura e vapor de pressão do ar ambiente.

$$C_{rsp} = 1,948 \times 10^{-3} \int q_m dV (32,6 - 0,066 T_{air} - 1,96 \times 10^{-4} P_{air}) \quad (A32)$$

A perda total de calor pela respiração ($E_{rsp} + C_{rsp}$) aparece no balanço térmico nodal (Equação A19), dentro do termo q_m (metabolismo) como um volume derivativo, ou seja:

$$q_m = q_{m,bas,0} + \Delta q_m - \frac{\partial [a_{rsp}(E_{rsp} + C_{rsp})]}{\partial V} \quad (A33)$$

onde, a_{rsp} é o coeficiente de distribuição da perda total de calor pela respiração entre os elementos corporais do trato pulmonar (pulmão e músculos da face e do pescoço).

APÊNDICA B – REVISÃO DE ÍNDICES TÉRMICOS

B1 Temperatura Efetiva (*Effective Temperature – ET*)

A Temperatura Efetiva integra o efeito da temperatura, umidade, velocidade do ar e isolamento térmico do vestuário. Corresponde à temperatura do ar saturado ($UR = 100\%$) de um meio padrão que proporciona o mesmo conforto térmico que as condições atuais (TAESLER, 1987; ANDRADE, 2003a).

Desenvolvido com o objetivo de prever o conforto humano e seu estado de saúde, é um índice empírico, cujo valor recomendado para uma pessoa saudável, exercendo trabalho leve e vestindo roupas leves de verão é de 30°C (KASTRI, 2001). É calculado somente através de nomograma estabelecido para duas categorias de vestuário, pois as equações originais não são divulgadas. Os limites das condições climáticas cobertas pelo índice são:

- a) temperatura do ar: $1 - 43^{\circ}\text{C}$;
- b) temperatura do termômetro de bulbo úmido: $1 - 43^{\circ}\text{C}$; e
- c) velocidade do vento: $10 - 350\text{cm/s}$.

Além de não incluir o efeito da temperatura média radiante, muitos pesquisadores têm apontado a superestimação do efeito da umidade do ar sobre o conforto térmico como a sua maior desvantagem (DEOSTHALI, 1999; MONTEIRO; ALUCCI, 2007). Yaglou (1947 *apud* GIVONI, 1976) explica que esse efeito pode ser observado em duas ocasiões: na passagem de um meio quente e seco para um mais frio e úmido e vice-versa. No primeiro caso, a pele e as roupas absorvem a umidade e o calor da absorção provoca um sentimento de aquecimento. No sentido contrário, o ar seco e quente favorece a evaporação, proporcionando um efeito de resfriamento.

Segundo Givoni (1976), a Temperatura Efetiva é válida somente enquanto for inferior a 32°C . Também observa que em elevadas temperaturas o efeito de aquecimento proporcionado pela velocidade do vento é superior ao predito pelo índice.

Em 1964, Landsberg propõe uma maneira diferente de calcular a Temperatura Efetiva a partir da relação usada por Thom para o cálculo do Índice de Desconforto (*DI*) (KASTRI, 2001).

Dessa forma, a Temperatura Efetiva passou a ser calculada a partir da mesma equação utilizada no cálculo do *DI* e, por esse motivo, observa-se algumas aplicações adotando essa forma de cálculo como nos estudos desenvolvidos por Jauregui, Cervantes e Tejeda (1997).

B2 Temperatura Equivalente (*Equivalent Temperature – T_{eq}*)

A Temperatura Equivalente é desenvolvida a partir do índice de Temperatura Efetiva. Descreve o aquecimento do ar como um todo, tanto em termos de percepção como de calor latente (GONZALEZ; NISHI; GAGGE, 1974). É calculada como:

$$T_{eq} = t_a + \frac{0,622 \times L \times p_a}{P \times c_p} \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{B1})$$

onde:

L é 2,452 J/kg, expressa o calor necessário para evaporar 1kg de água

t_a é a temperatura do ar ($^\circ\text{C}$)

p_a é a pressão do vapor d'água (hPa)

P é a pressão atmosférica (hPa)

c_p é o calor específico do ar sob pressão estável (J/kg $^\circ\text{K}$)

Apesar dos esforços, T_{eq} continua superestimando o efeito da umidade em climas quentes (KASTRI, 2001).

B3 Temperatura Operativa (*Operative Temperature - T_{op}*)

O índice de Temperatura Operativa é resultante de uma das alterações sofridas pelo índice de Temperatura Efetiva com o objetivo de introduzir a descrição da troca de calor sensível. Essa troca acontece na superfície da pele e é expressa em termos de um gradiente de temperatura comum aos meios atual e de referência. Assim, esse índice representa uma medida linear do estresse térmico do meio físico para qualquer nível de energia metabólica (GONZALEZ; NISHI; GAGGE, 1974).

O T_{op} é definido como uma média ponderada entre a temperatura média radiante e a temperatura do ar. A ponderação é feita através dos coeficientes de transferência de calor. Utiliza um meio isotérmico imaginário no qual o ser humano trocaria o mesmo calor que no meio atual e heterogêneo (GRIFFITHS, 1966; GONZALEZ; NISHI; GAGGE, 1974). É calculado através da equação:

$$T_{op} = \frac{h_r t_{mrt} + h_c t_a}{h} \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{B2})$$

onde:

h é o coeficiente de transferência de calor por radiação e convecção ($h = h_r + h_c$)

h_r é o coeficiente de transferência de calor por radiação

$$h_r = 4\sigma \left(\frac{A_r}{A_{Du}} \right) T^3 \quad (\text{B3})$$

$$T = \left(\frac{t_{sk} + t_{mrt}}{2} \right) + 273 \quad (^\circ\text{K}) \quad (\text{B4})$$

$$t_{sk} = 0,21t_a - 0,049M + 27,5 \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{B5})$$

$$h_c \begin{cases} = 8,6v^{0,53} \\ = 5,66(M - 0,85)^{0,39} \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{escolher o maior valor} \\ \text{entre os coeficientes} \end{array} \quad (\text{B6})$$

$$(\text{B6a})$$

onde:

σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

$\frac{A_r}{A_{Du}}$ é a fração da área da superfície do corpo exposta à radiação térmica, cujo valor é igual a

0,70 para uma pessoa sentada e 0,77 para uma pessoa em pé

h_c é coeficiente de transferência de calor por convecção

t_{mrt} é a temperatura média radiante ($^\circ\text{C}$)

t_a é a temperatura do ar ($^\circ\text{C}$)

t_{sk} é a temperatura média da pele ($^\circ\text{C}$)

M é a taxa metabólica (W/m^2)

v é a velocidade do ar (m/s)

Quando a velocidade do ar é inferior ou igual a 0,2m/s e a diferença entre a temperatura média radiante e a temperatura do ar é inferior a 4°C , a temperatura operativa pode ser calculada como a média entre a temperatura do ar e a temperatura média radiante (SIMONE *et al.*, 2007; ALMEIDA; SILVA, 2010). Simone *et al.* (2007) constatam que o tamanho, a forma e a cor do sensor que mede a temperatura têm um impacto na influência exercida pela temperatura do ar e temperatura média radiante no espaço e, conseqüentemente, reflete na maneira como a pessoa sente.

A ISO X35.203 (1981 *apud* ALMEIDA; SILVA, 2010) recomenda que para atividade sedentária em condições de verão e velocidade do ar inferior a 0,25m/s, a T_{op} deve situar-se entre 23 e 26°C . Nesse intervalo e nessas condições, admite-se que uma umidade relativa compreendida entre 30 e 70% não tem efeito significativo sobre as condições de conforto. Caso os valores analisados estejam fora do padrão acima, é necessário introduzir correções de $-0,14\text{clo}/^\circ\text{C}$ e $-0,5\text{Met}/^\circ\text{C}$.

B4 Taxa de suor prevista para quatro horas (*Predicted Four Hours Sweat Rate - P₄SR*)

De acordo com a descrição feita por Givoni (1976), o índice P_4SR tem, como unidade de medida, a taxa de transpiração resultante de uma exposição de quatro horas a determinadas condições. Além do nível metabólico ainda considera dois tipos de vestuário. A série de condições cobertas pelo índice são:

- a) temperatura de globo (t_g): 27 – 54°C;
- b) temperatura de bulbo úmido (t_w): 16 – 36°C;
- c) velocidade do vento: 5 – 250 cm/s;
- d) nível metabólico: 54 – 200 kcal/m²/h; e
- e) vestuário: leve ou pesado.

O valor do índice é obtido diretamente através da leitura dos dados de temperatura de bulbo seco e úmido e velocidade do vento num nomograma. O valor encontrado corresponde à taxa de transpiração prevista, em litros, após a exposição de quatro horas de uma pessoa sentada em um meio homogêneo.

Segundo Tromp (1980 *apud* TAESLER, 1987), a confiabilidade do índice P_4SR é satisfatória sob condições de estresse térmico que variam de leve a pesado, mas não é sutil em torno da zona de conforto e sob exposição ao frio. Givoni (1976) aconselha que o índice seja aplicado somente para pessoas em atividades correspondentes à taxa metabólica entre 100 e 350 kcal/h e no meio interno, ou, em se tratando do meio externo, a temperatura de bulbo seco deve ser igual ou superior a 20°C, caracterizando condições externas quentes.

B5 Temperatura Resultante (*Resultant Temperature – RT*)

Com o objetivo de desenvolver um índice no qual o equilíbrio térmico entre o corpo e o meio fosse alcançado a partir dos efeitos da umidade e velocidade do ar e para um período de exposição de maior duração, a T_{eq} é reelaborada, originando o índice de Temperatura Resultante (MONTEIRO, 2008). Em comparação à Temperatura Efetiva, RT apresenta uma melhor concordância com as respostas fisiológicas observadas (GIVONI, 1976; KASTRI, 2001). As condições cobertas pelo índice são:

- a) temperatura do ar: 20 – 45°C;
- b) Temperatura de bulbo úmido: 18 – 40°C; E
- c) Velocidade do vento: calma e superior a 3m/s.

A RT pode ser calculada de duas formas: através de nomograma definido para dois tipos de vestuário, ou pela equação:

$$RT = t_a - 0,4 (t_a - 10) \left(1 - \frac{UR}{100}\right) \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{B7})$$

onde:

t_a é a temperatura do ar ($^\circ\text{C}$)

UR é a umidade relativa (%)

Segundo Givoni (1976), quando RT é superior a 30°C , o peso atribuído pelo índice à temperatura do ar e à umidade relativa é coerente com os resultados de experimentos fisiológicos, mas com valores inferiores a 30°C ainda existe uma leve superestimação do efeito da umidade. Referente à velocidade do vento, com valores elevados de RT , o índice subestima o efeito de resfriamento atribuído à velocidade do ar e com valores baixos, há uma superestimação.

B6 Índice de Estresse Térmico por Calor (*Heat Stress Index - HSI*)

O *HSI* objetiva a verificação do esforço térmico sentido por um indivíduo exposto a certas condições ambientais externas, sob diversos níveis de atividade. A temperatura da pele é mantida constante a 35°C . Conforme Kastri (2001), Andrade (2003a), Monteiro e Alucci (2007) e Epstein e Moran (2006), seu valor corresponde à razão entre a evaporação necessária em função do balanço energético do corpo humano e a evaporação máxima possível, ou seja:

$$HSI = \frac{E_{req}}{E_{max}} \times 100 \quad (\%) \quad (\text{B8})$$

$$E_{req} = M + 22(t_{mrt} - t_{sk}) + 2v^{0,5}(t_a - t_{sk}) \quad (\text{Btu/h}) \quad (\text{B9})$$

$$E_{max} = 10v^{0,4}(p_s - p_a) \quad (\text{Btu/h}) \quad (\text{B10})$$

onde:

E_{req} é a evaporação necessária para que se alcance o balanço térmico (Btu/h)

E_{max} é a capacidade evaporativa máxima do meio (Btu/h)

t_{mrt} é a temperatura média radiante ($^\circ\text{F}$)

t_{sk} é a temperatura superficial da pele ($^\circ\text{F}$)

t_a é a temperatura do ar ($^\circ\text{F}$)

v é a velocidade do vento (fpm)

p_s é o vapor de pressão da pele (mmHg)

p_a é o vapor de pressão do ar (mmHg)

Segundo Epstein e Moran (2006), o estresse térmico resulta do desequilíbrio entre as condições impostas ao trabalhador pelo meio e pela execução de sua tarefa e a capacidade que o mesmo tem em eliminar a carga térmica gerada. Por isso, é um indicador das condições de desconforto térmico, mas não é aplicável em condições de excessivo calor (KASTRI, 2001; ANDRADE, 2003a; MONTEIRO; ALUCCI, 2007; EPSTEIN; MORAN, 2006).

Almeida e Silva (2010) consideram o *HSI* apropriado para situações muito agressivas, com um tempo de permanência de, no máximo, trinta minutos. De acordo com as autoras, o conforto térmico está diretamente relacionado com a evaporação do suor. As consequências para uma exposição de oito horas podem ser sintetizadas no Quadro 25.

Quadro 25 - Índice de Estresse Térmico (*HSI*).

<i>HSI</i>	Comentário
0%	Conforto
10 – 30%	<ul style="list-style-type: none"> • Tensão moderada • Pequena redução de qualidade de destreza ou trabalho intelectual • Nula redução e qualidade em trabalho pesado
40 – 60%	<ul style="list-style-type: none"> • Tensão forte • Possibilidade de problemas físicos – cuidados médicos na seleção de pessoal • Nula qualidade de trabalho intelectual • Pequena redução de qualidade de trabalho pesado.
70 - 90%	<ul style="list-style-type: none"> • Tensão severa • Pequena percentagem de população apta. Cuidados médicos. É necessária a ingestão de água e sal a intervalos regulares
100%	<ul style="list-style-type: none"> • A máxima tensão tolerável por jovens em boas condições físicas com cuidados acima descritos

Fonte: Almeida e Silva (2010).

B7 Bulbo Úmido e Temperatura de Globo (*Wet Bulb Globe Temperature - WBGT*)

O *WBGT* foi criado no início dos anos 50, para controlar a ocorrência de insolação nos campos de treinamento das Forças Armadas dos Estados Unidos. Nesse período, os cientistas iniciaram uma série de trabalhos a fim de identificar os fatores da doença. Observam que os casos fatais estão relacionados a combinações de temperatura e umidade e passam a instituir medidas preventivas, referenciadas a certos limites de temperatura e umidade (MARTINS, 2013).

O índice mede a sobrecarga térmica, aplica-se a meios quentes e, por isso é considerado um dos índices mais utilizado para avaliar o estresse térmico do meio, prever o provável esforço térmico e se o meio é seguro ou não para o trabalho (BARBIERO, 2004; EPSTEIN; MORAN, 2006; PARSONS, 2013). De acordo com a *International Standard Organization* (ISO, 1982 *apud* KASTRI, 2001), para o meio externo, é calculado como:

$$WBGT = 0,7t_w + 0,2t_g + 0,1t_a \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{B11})$$

onde:

t_a é a temperatura do ar ($^\circ\text{C}$)

t_w é a temperatura do termômetro de bulbo úmido ($^\circ\text{C}$)

t_g é a temperatura de globo ($^\circ\text{C}$)

O efeito combinado do calor radiante, temperatura do ar e velocidade do vento é medido pelo termômetro de globo à medida que, o globo aquecido libera calor radiante, aquecendo o ar, o qual passa a ser resfriado pelo vento. Paralelamente, o ar quente favorece a evaporação, resfriando o termômetro de bulbo úmido, juntamente com a ação do vento. Assim o *WBGT* responde a todos os quatro elementos do ambiente térmico, mas não necessariamente da mesma maneira que o corpo humano (MARTINS, 2013).

Seus valores de referência em função da atividade desempenhada estão presentes no Quadro 26. Os limites de aceitabilidade do valor do índice são estabelecidos em função da atividade física desenvolvida e do grau de aclimatização, visam predizer a intensidade de trabalho permissível em condições de calor, em regiões quentes. Em geral, considera-se que valores superiores a 30°C indicam redução de atividades e acima de 31°C , suspensão. (ANDRADE, 2003a).

Quadro 26 - Valores de referência, em função da atividade desempenhada, supondo-se um indivíduo com isolamento da roupa de 0,6 clo.

Classe	Taxa metabólica (<i>M</i>)		Valores de referência de <i>WBGT</i> ($^\circ\text{C}$)			
	Relativa à unid. de área da pele (W/m^2)	Relativa a uma área da pele de $1,8\text{m}^2$ (W)	Pessoas aclimatadas ao calor		Pessoas não aclimatadas ao calor	
0	$M \leq 65$	$M \leq 117$	33		32	
1	$65 < M \leq 130$	$117 < M \leq 234$	30		29	
2	$130 < M \leq 200$	$234 < M \leq 360$	28		26	
3	$200 < M \leq 260$	$360 < M \leq 468$	s/ mov. ar sensível	c/ mov. ar sensível	s/ mov. ar sensível	c/ mov. ar sensível
			25	26	22	23
4	$M > 260$	$M > 468$	23	25	18	20

Fonte: ISO 7243/89 *apud* LAMBERTS *et al.*, 2011.

Classificação dos níveis de taxa metabólica (*M*):

0 – Descanso (repouso)

1 – Baixa taxa metabólica (sentado: atividade manual leve, em pé: caminhando lentamente)

2 – Moderada taxa metabólica (de pé: trabalho moderado com as mãos, braços e pernas)

3 – Alta taxa metabólica (trabalho intenso de braços e tronco)

4 – Muito alta taxa metabólica (atividade muito intensa, correr)

Os valores de referência citados correspondem aos níveis de exposição que, sob condições específicas e tabeladas, qualquer pessoa pode ficar exposta, sem prejuízos a sua saúde. Por isso, caso os valores encontrados estejam fora dos limites recomendados, deve-se adotar métodos apropriados que proporcionem a redução do índice, além de executar análises mais detalhadas sobre o estresse térmico (CARVALHAIS, 2011).

Segundo Epstein e Moran (2006), seu cálculo é limitado à medição da temperatura de globo, a qual, em muitas circunstâncias, é impraticável. Entretanto, a temperatura de globo permite a descrição da temperatura média radiante (t_{mrt}), tida como um dos principais elementos que influencia o conforto térmico humano. O estudo comparativo do conforto térmico em áreas urbanas e suburbanas feito por Clark e Bach (1971), revela a sua importância na medida em que observa que os índices que incluem a temperatura de globo indicam um maior esforço térmico ao meio dia.

Tendo em vista as alterações climáticas futuras, Parsons (2013) admite serem necessárias algumas mudanças. Segundo o autor, as especificações dos instrumentos de medida não mudam, entretanto, é necessário levar em consideração um detalhamento das propriedades do vestuário, as diferenças entre os diâmetros dos termômetros de globo e rever os limites de referência.

B8 Índice de Desconforto (*Discomfort Index – DI*) e Índice de Temperatura e Umidade (*Temperature Humidity Index – THI*)

Segundo Griffiths (1966) e Quayle e Doehring (1981), o Índice de Desconforto é desenvolvido com o objetivo de indicar o grau de desconforto sentido por um indivíduo, relacionando, basicamente, as temperaturas de bulbo seco e úmido. Posteriormente, ele passa a ser chamado de Índice de Temperatura e Umidade e ao invés de adotar a temperatura de bulbo úmido, utiliza a umidade relativa (DEOSTHALI, 1999; KASTRI, 2001).

Em geral, são utilizados para avaliar o conforto humano em regiões de clima quente. Considera que a evaporação do suor é uma maneira natural de resfriar a temperatura do corpo e, por isso, quando o ar está muito úmido o dia parece mais quente e desconfortável, pois a perda de calor por evaporação é reduzida (NOGUEIRA *et al.*, 2012). São calculados através do uso das expressões abaixo e avaliados conforme os Quadros 27 e 28.

$$DI = 0,4(t_a + t_w) + 4,8 \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{B12})$$

$$THI = t_a - 0,55 (1 - 0,01UR) (t_a - 15,5) \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{B13})$$

onde:

t_a é a temperatura do ar (°C)

t_w é a temperatura de bulbo úmido (°C)

UR é a umidade relativa (%)

Quadro 27 - Escala de apreciação do nível de desconforto elaborada com base nos valores do índice DI em °C.

Índice de desconforto	Apreciação
$18 \leq DI < 21$	Conforto térmico
$21 \leq DI < 24$	10% da população sente desconforto
$24 \leq DI < 27$	50% da população sente desconforto
$27 \leq DI < 29$	A maioria da população sente desconforto
$29 \leq DI < 32$	100% da população sente desconforto
$DI \geq 32$	O desconforto é muito alto e perigoso

Fonte: Terjung (1968 *apud* KASTRI, 2001).

Quadro 28 - Limites de conforto definidos para o índice THI .

Índice de temperatura e umidade (°C)	Categoria*	Apreciação no calor**
< - 40	Hiperglacial	
- 39,9 a - 20	Glacial	
- 19,9 a - 10	Extremamente frio	
- 9,9 a - 1,8	Muito frio	
- 1,7 a 12,9	Frio	
13 a 14,9	Fresco	
15 a 19,9	Confortável	
20 a 20,9	Quente	
21 a 24	Quente	
24,1 a 26	Quente	100% da população sente-se confortável
26,1 a 26,4	Quente	50% da população sente-se confortável
26,5 a 29,9	Muito quente	100% da população sente desconforto devido ao calor
> 30	Tórrido	

Fonte: *Kyle (1994 *apud* UNGER, 1999); **Emmanuel (2005).

Deosthali (1999) considera o THI , um índice de fácil aplicação que descreve, satisfatoriamente, várias combinações de temperatura e umidade, capaz de modelar o armazenamento energético em climas quente e úmido, podendo ser usado na análise de alterações no desconforto térmico ao longo do tempo. Apesar de ter sido desenvolvido em latitudes médias, o THI continua a ser muito usado nos trópicos, principalmente, em avaliações no meio externo (EMMANUEL, 2005).

Jauregui (1997) expande essa aplicação, assumindo que os índices simples, como o ET , RT , DI e THI , podem perfeitamente ser usados em investigações preliminares de

características bioclimáticas espaciais e temporais, especialmente, quando não se dispõe de dados mais elaborados.

O simplificado cálculo desses índices permite uma avaliação relativamente precisa, especialmente, em se tratando de uma avaliação geral das condições de conforto onde a velocidade do vento e a radiação são espacilmente variáveis, e os índices de conforto mais complexos não podem ser usados (TSELEPIDAKI *et al.*, 1992). Além disso, a relação linear entre a temperatura de bulbo seco (t_a) e a temperatura de bulbo úmido (t_w) permite o cálculo simples e a análise estatística de séries temporais extensas como o estudo realizado por Camargo *et al.* (2000) entre os anos de 1967 a 1997 para a cidade de Pelotas, RS, Brasil.

Apesar de não incluir no seu cálculo o efeito da radiação e da velocidade do vento e, dessa forma, ser considerado um índice de aplicação a ambientes internos (TAESLER, 1987), o *DI* é comumente aplicado em investigações sobre o nível de desconforto no meio externo, como os estudos realizados por Jauregui e Soto (1967), Angouridakis e Makrogiannis (1982), Barradas, Tejeda-Martínez e Jáuregui (1991), Tselepidaki *et al.* (1992) e Kastri (2001).

Epstein e Moran (2006) sugerem que o *DI* seja adotado como um índice de estresse térmico universal. Segundo os autores, o esforço fisiológico refletido pelo índice é mostrado na sua elevada correlação com o tempo fisiológico de tolerância (tempo para alcançar a temperatura do reto de 39,2°C e ritmo cardíaco de 180bpm) para um indivíduo seminu e em repouso; e com a taxa de sudação tanto para o repouso quanto para o exercício físico. Ele também tem se mostrado altamente correlacionado com os índices *WBGT* e *ET*. Dependendo da aplicação, o *DI* permite a determinação da carga térmica a qualquer hora. Entretanto, não é apropriado em locais com significativa radiação térmica.

B9 Humidex (HU)

Segundo Andrade (2003a), o *Humidex* é um índice desenvolvido a fim de determinar limites de intensidade de trabalho em condições de calor. Fornece uma temperatura equivalente em função dos valores de temperatura e umidade relativa do ar e, dessa forma diz o quão quente e úmido o tempo é sentido pelas pessoas (MASTERTON; RICHARDSON, 1979 *apud* GIRALT, 2006; BLAZEJCZYK *et al.*, 2012). Geralmente seu valor decresce com o incremento da latitude (Canada, 2014). É calculado como:

$$HU = t_a + \frac{5}{9} \left[\left(6,112 \times 10^{\left[7,5 \left(\frac{t_a}{237,7 + t_a} \right) \right]} \times \frac{UR}{100} \right) - 10 \right] \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{B14})$$

onde:

t_a é a temperatura do ar (°C)

UR é a umidade relativa (%)

O Quadro 29 apresenta os níveis de classificação do *Humidex*. Segundo Andrade (2003a), apesar de não apresentar uma fundamentação física, é útil na avaliação empírica das condições de calor. Comumente, é utilizado no serviço de previsão do tempo do Canadá para alertar a população sobre possíveis perigos relativos ao estresse térmico devido ao calor (MONTEIRO; ALUCCI, 2007).

Quadro 29 - Níveis de classificação do *Humidex*.

<i>Humidex</i>	Grau de conforto	Nível de periculosidade
20 – 29	Nenhum desconforto	Nenhum
30 – 39	Algum desconforto	Certos tipos de exercício ao ar livre devem ser modificados
40 – 45	Elevado desconforto	Evitar esforço físico e aumentar os períodos de descanso
≥ 46	Situação de perigo	Considerável risco de golpe térmico e insolação.

Fonte: Canada (2014) (<http://ec.gc.ca/meteo-weather/>).

B10 Índice de Esforço Relativo (*Relative Strain Index - RSI*)

O *RSI* é a razão entre a quantidade de evaporação de suor necessária ao conforto e a quantidade possível de evaporação para uma dada condição atmosférica (GARÍN; BEJARÁN, 2003). Leva em consideração o efeito do isolamento térmico do vestuário e a radiação líquida sobre um homem de 25 anos, não aclimatizado ao calor, vestindo terno e em atividade sedentária (UNGER, 1999). Sob condições específicas, ou seja, produção interna de calor de 100W/m², velocidade do ar de 1m/s e sem radiação solar direta, o *RSI* é calculado como:

$$RSI = \frac{(t_a - 21)}{(58 - p_a)} \quad (\text{adimensional}) \quad (\text{B15})$$

onde:

t_a é a temperatura do ar (°C)

p_a é a pressão do vapor d'água (hPa)

Segundo McGregor (1992), as condições meteorológicas se assemelham ao meio interno ou externo sombreado, além disso, o nível de desconforto se refere a uma condição em que o movimento do ar é negligenciado e nenhuma carga de radiação é imposta ao corpo.

Conforme apresentado no Quadro 30, um quarto da população se sentirá desconfortável quando *RSI* for igual a 0,2 e ninguém se sentirá confortável com *RSI* igual a

0,30. Unger (1999), Garín e Bejarán (2003) e Emmanuel (2005) mencionam que 0,20 é o limite superior de conforto e 0,30 é o limite superior de estresse para idosos e pessoas com problemas de saúde.

Quadro 30 - Classificação do *RSI*.

<i>RSI</i>	Proporção de pessoas sem estresse (%)
0,10	100 sem estresse
0,20	75 sem estresse
0,30	0 sem estresse
0,40	75 estressado
0,50	100 estressado

Fonte: Kyle (1992 *apud* UNGER, 1999).

B11 Índice de Estresse Térmico (*Index of Thermal Stress - ITS*)

Givoni (1964) e Givoni e Sohar (1968) apresentam novos métodos para a avaliação quantitativa do estresse térmico total de operários trabalhando em condições quentes, a fim de identificar limites para o nível metabólico sob uma série de condições climáticas. O estresse térmico total é gerado pelo calor metabólico e pelo ganho de calor do meio. Seu limite máximo permissível baseia-se nas diversas respostas fisiológicas, como perda de peso, pulsação e temperatura do reto.

O índice leva em consideração a eficiência do resfriamento provocada pela secreção e evaporação do suor. Essa eficiência depende da velocidade e do local onde acontece o processo de evaporação (GIVONI, 1976; 1998). Isto significa dizer que dentro de uma série de condições ambientais e metabólicas, o suor é secretado a uma taxa suficiente para realizar o resfriamento evaporativo requerido para a manutenção do equilíbrio térmico.

Dessa forma, a taxa de sudação (S) é estimada em função da relação entre a quantidade de resfriamento necessária para a manutenção do equilíbrio térmico (E) e a eficiência do resfriamento (f). Ela expressa o sentimento de desconforto do organismo humano, pois pode-se dizer que, indiretamente, a intensidade do fluxo de suor acaba determinando o nível de desconforto (GIVONI, 1964; 1976; 1998; KASTRI, 2001).

A quantidade necessária de resfriamento (E) é definida pelo balanço entre a produção de calor metabólico e a troca de calor com o meio, fazendo com que a taxa de sudação (S) seja calculada como:

$$S = [(M - W) \pm (C + R)] \left(\frac{1}{f}\right) \quad (\text{kcal/h}) \quad (\text{B16})$$

onde:

M é a taxa metabólica (kcal/h)

W é a energia metabólica transformada em trabalho (kcal/h)

C é a troca de calor por convecção (kcal/h)

R é a troca de calor por radiação (kcal/h)

f é a eficiência de resfriamento do suor (adimensional)

Em Givoni (1976), cada termo da equação acima é estimado separadamente. As condições climáticas cobertas pelo índice são:

- a) temperatura do ar: 20 – 50°C;
- b) vapor de pressão do ar: 5 – 40 mmHg;
- c) velocidade do vento: 0,10 – 3,5 m/s;
- d) radiação solar: série total de 600 kcal/h;
- e) nível metabólico: 100 – 600 kcal/h; e
- f) vestuário: semi-nu, roupa leve de verão e fardamento militar ou industrial.

O *ITS* representa o esforço climático psicológico total, mas não expressa claramente a sensação térmica e o desconforto devido à pele úmida, pois com uma mesma taxa de transpiração pode-se observar desconforto causado pela sensação de pele seca (combinação de elevada temperatura, baixa umidade e elevada velocidade do vento) e pela sensação de pele úmida (combinação de temperatura média, elevada umidade e calmaria). No entanto, ele permite determinar o nível metabólico resultante de uma taxa de transpiração sob dadas condições de temperatura, umidade e movimento do ar (GIVONI, 1964; 1976; 1998; KASTRI, 2001).

Segundo Tromp (1980 *apud* TAESLER, 1987), o *ITS* é adequado para analisar a contribuição individual de fatores metabólico e ambiental e para prever a taxa de transpiração esperada no caso de pessoas em repouso ou trabalhando. É viável numa série de condições entre conforto e estresse severo até o ponto em que é possível a manutenção do equilíbrio térmico, acima desse limite o índice não deve ser aplicado. Uma das limitações práticas atribuídas por Deosthali (1999) consiste no fato de alguns dos termos da fórmula serem de difícil mensuração.

B12 Voto Médio Estimado (*Predicted Mean Vote – PMV*)

O *PMV* representa a sensação térmica média de uma população exposta por um longo período de tempo a um dado conjunto de condições ambientais e taxa metabólica

constante. É o índice térmico resultante da resolução da equação de conforto desenvolvida por Fanger em 1972 (KASTRI, 2001; ANDRADE, 2003a).

Por definição, o *PMV* é um modelo estático derivado da relação empírica entre o balanço térmico humano e o seu voto numa escala de sensação térmica. Essa relação indica o nível de esforço térmico que, por sua vez, representa o conforto térmico associado a uma dada sensação térmica (MAYER; HÖPPE, 1987; ALI-TOUDERT, 2005).

Os limites de aplicabilidade recomendáveis do índice *PMV* são:

- a) velocidade do ar entre 0 e 1,0m/s;
- b) *PMV* calculado entre -2 e +2, ambientes moderados;
- c) taxa metabólica entre 46 e 232W/m²;
- d) isolamento térmico do vestuário entre 0 e 2clo;
- e) temperatura do ar entre 10 e 30°C; e
- f) pressão parcial do vapor d'água entre 0 e 2700Pa.

Segundo McGregor *et al.* (2002), para solucionar a equação de conforto é necessário estimar um valor inicial para a temperatura do vestuário, em seguida os coeficientes de transferência de calor são calculados e, posteriormente, determina-se uma nova temperatura do vestuário. As interações entre os coeficientes de transferência de calor e a temperatura do vestuário são mantidas até que ambos alcancem o equilíbrio térmico. Enquanto ele não é atingido, a equação do balanço térmico é calculada em função da carga térmica imposta ao corpo (*L*):

$$L = H - D - S_w - R_w - R_d - R - C \quad (\text{W/m}^2) \quad (\text{B17})$$

onde:

L é a carga térmica no corpo

H é a produção de calor interno

D é a perda de calor latente devido à difusão de vapor d'água através da pele (transpiração insensível)

S_w é a perda de calor latente devido à transpiração

R_w é a perda de calor latente devido à respiração

R_d é a perda de calor sensível pela respiração

R é a perda de calor por radiação

C é a perda de calor por convecção

O esforço térmico é medido em função da carga térmica (*L*) e da taxa metabólica (*met*). Quando todas as variáveis são mantidas constantes com exceção da temperatura do ar

(t_a) e do metabolismo (met), os votos originados de experimentos em câmaras climáticas são usados para expressar a tensão térmica em função da temperatura do ar e de uma variedade de nível metabólico.

$$PMV = \exp (met)L$$

onde:

$$L = f(p_a, t_a, t_{mrt}, I_{cl})$$

A temperatura média da pele e a taxa de transpiração assumem valores de conforto e têm uma relação linear com a produção interna de calor. Na sua forma completa, todos os termos da equação de Fanger estão em função da produção interna de calor junto com a temperatura do ar (t_a) (°C), a temperatura média radiante (t_{mrt}) (°C), pressão parcial do vapor d'água (p_a) (kPa), a velocidade do ar (v) (m/s) e o isolamento do vestuário (I_{cl}) (clo) conforme a equação abaixo (BARBIERO, 2004; ALI-TOUDERT, 2005; LAMBERTS *et al.*, 2011).

$$PMV = (0,303 e^{-0,036M} + 0,028)\{(M - W) - 3,05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6,99(M - W) - p_a] - 0,42[(M - W) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} \times M(5867 - p_a) - 0,0014M(34 - t_a) - 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\} \quad (B18)$$

onde:

M é a taxa metabólica (W/m²)

W é o trabalho mecânico (W/m²)

f_{cl} corresponde ao aumento na área de superfície do corpo devido ao vestuário, portanto:

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 0,2I_{cl} & \text{para } I_{cl} \leq 0,5\text{clo} \\ 1,05 + 0,1I_{cl} & \text{para } I_{cl} > 0,5\text{clo} \end{cases} \quad (B19)$$

$$(B19a)$$

h_c é o coeficiente de transferência de calor por convecção calculado segundo a velocidade do ar (v) (m/s):

$$h_c = \begin{cases} 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} & \text{para } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1\sqrt{v} \\ 10,4\sqrt{v} & \text{para } 2,05(t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1\sqrt{v} \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{(B20)} \\ \text{(B20a)} \end{matrix}$$

t_{cl} é a temperatura superficial da roupa, é calculada em função de si mesma e através de interações dadas pela equação:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{cl}\{3,96 \times 10^{-8}f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] + f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)\} \quad \text{(B21)}$$

O relacionamento estatístico entre o balanço térmico de mais de 1300 indivíduos e os seus votos numa escala de sensação térmica permite que a resposta fisiológica estimada seja interpretada através da escala de sensação térmica de sete pontos da ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers*) (ASHRAE, 2004; BARBIERO, 2004). O Quadro 31 apresenta o voto de conforto esperado com seus respectivos níveis de estresse e efeito fisiológico. O *PMV* indica conforto em torno do zero e estresse térmico à medida que se distancia para -3 (estresse devido ao frio) e $+3$ (estresse devido ao calor).

Quadro 31 - Percentagem de Pessoas Insatisfeitas (*PPD*), Voto Médio Predito (*PMV*), sensação térmica e níveis de estresse.

<i>PPD</i> (%)	<i>PMV</i>	Sensação humana	Nível de estresse	Efeito fisiológico
> 80	- 3	Frio	Forte	Estresse devido ao frio
> 50	- 2	Fresco	Moderado	Estresse devido ao frio
> 10	- 1	Levemente fresco	Leve	Estresse devido ao frio
< 10	0	Neutro (confortável)	Sem estresse	Estresse devido ao frio
>10	+ 1	Levemente aquecido	Leve	Estresse devido ao calor
>50	+ 2	Aquecido	Forte	Estresse devido ao calor
> 80	+ 3	Quente	Extremo	Estresse devido ao calor

Fonte: Becker (2000); ASHRAE (2004); Thorsson, Lindqvist e Lindqvist (2004).

No desenvolvimento do índice, Fanger (1982 *apud* ALMEIDA; SILVA, 2010) sugere que a percentagem de pessoas insatisfeitas devido ao frio ou calor, está relacionada com o voto médio e, a partir desse relacionamento, define o índice Percentagem Preditada de Insatisfeitos (*Predicted Percentage of Dissatisfied – PPD*) como:

$$PPD = 100 - 95e^{-(0,00353PMV^4+0,2179PMV^2)} \quad (\%) \quad (B22)$$

De acordo com ASHRAE (2004), a definição do *PPD* parte de duas suposições: primeira, como a zona de conforto do *PMV* é definida entre os votos -1 e +1, as pessoas que votam -3, -2, +2 ou +3 na escala de sensação térmica, encontram-se insatisfeitas com o meio; e segundo, o *PPD* é simétrico em torno do valor neutro. Segundo o modelo, é impossível satisfazer a todas as pessoas, por isso, mesmo na neutralidade térmica, espera-se que exista um número mínimo, aproximadamente 5%, de pessoas insatisfeitas (ALMEIDA; SILVA, 2010).

Quando o *PMV* situa-se entre -0,5 e +0,5, as pessoas encontram-se na zona de conforto. Esse valor corresponde a 10% de insatisfação com o meio, pois o índice exprime a sensação de desconforto com relação à totalidade do corpo. Conforme a ISO 7730 (1994 *apud* BARBIERO, 2004), para que um meio seja considerado termicamente aceitável, é necessário que ele satisfaça, no mínimo, 80% das pessoas.

Segundo McGregor *et al.* (2002), fora da zona de conforto o *PMV* pode ser sub ou super-estimado visto que ele prediz a sensação térmica de uma população e não a individual. Skinner e De Dear (2001) também o consideram satisfatório em ambientes térmicos próximos à neutralidade, mas impreciso em condições moderadamente quentes ou frias.

Andrade (2003a) contesta a sua sensibilidade às variações de umidade atmosférica em condições de calor. Silva (1999 *apud* GIRALT, 2006), por sua vez, indica uma tendência que o índice tem de refletir condições de ambientes mais frios, atribuindo à descrição da vestimenta uma das razões para isto. Segundo o autor, os valores usados para descrever a vestimenta em climas tropicais podem diferir dos usados para a mesma vestimenta em climas frios.

Outra questão levantada é o fato de ter sido desenvolvido com base na média das respostas de habitantes de latitudes médias sem considerar o fator de aclimatização quando aplicado a um contexto diferente; e embora os critérios de formulação do *PMV* tenham grande fundamentação experimental, diversos estudos realizados através das respostas diretas de indivíduos expostos no seu ambiente normal de atividade e com a roupa apropriada têm mostrado a importância da adaptação às regiões, às estações do ano e aos hábitos culturais de cada local (ALMEIDA; SILVA, 2010).

Humphreys e Nicol (2002), ao estudarem a aplicabilidade do índice, constatam a existência de viés, resultantes de diferenças individuais, medições ou cálculo, que somados, justificam as diferenças encontradas entre as respostas analíticas e as reais. Segundo os

autores, os principais erros se referem aos métodos de estimação da taxa metabólica e vestuário, à omissão de alguns fatores que contribuam sistematicamente com o voto de conforto e ao fato da equação do *PMV* ter sido desenvolvida para um estado estático que nunca é encontrado na vida real.

B13 Nova Temperatura Efetiva (*New Effective Temperature - ET)**

Com o tempo, o índice de temperatura efetiva é melhorado e passa a incorporar a modelização do balanço energético do corpo humano no seu cálculo, dando origem aos índices: *New Effective Temperature (ET*)*, *Normal Effective Temperature (NET)* e *Standard Effective Temperature (SET*)* (ANDRADE, 2003a).

A Nova Temperatura Efetiva (*ET**) corresponde à temperatura de um ambiente padrão com $UR = 50\%$, $t_{mrt} = t_a$ e $v = 0,15\text{m/s}$, onde um indivíduo em atividade sedentária e com vestuário leve tem a mesma resposta fisiológica que em um ambiente atual (MOCHIDA; SAKOI, 2003). No cálculo do *ET**, a perda de calor por evaporação da superfície da pele da Equação do Balanço Energético, é melhorada através da introdução de um gradiente de umidade dentro da camada limite da pele, o que na prática é impossível de se medir diretamente.

Mochida e Sakoi (2003) têm questionado a contradição existente entre a definição de um meio isotérmico equivalente derivado do *ET** e a reação fisiológica humana ou a determinação do grau dos efeitos da temperatura e umidade.

Os autores concluem em seus estudos que o índice envolve dois aspectos: a avaliação de meios térmicos e o desenho de meios térmicos. No primeiro caso, os erros tornam-se mais elevados, afetando o controle e o gerenciamento do meio térmico no que concerne à correção do desvio do nível de conforto. Entretanto, quando empregado no desenho de meios térmicos, é possível encontrar uma combinação de variáveis que represente condições confortáveis.

B14 Voto Médio Predito modificado (*Modified Predicted Mean Vote - PMV)**

Gagge, Fobelets e Berglund (1986) propõem um novo índice que pode ser aplicado a qualquer meio seco ou úmido sem que o efeito da umidade seja superestimado, o Voto Médio Predito modificado (*PMV**). Consiste na substituição da Temperatura Operativa (T_{op}) usada no cálculo da Equação de Conforto de Fanger pela Temperatura Efetiva Padrão (*SET**). Segundo os autores ele passa a ser aplicado a uma faixa mais extensa de temperaturas

e umidades, podendo ser aplicado no meio externo. O valor resultante é expresso em uma escala de 11 pontos, variando de +5 (intoleravelmente quente) a -5 (intoleravelmente frio). A faixa de conforto situa-se entre os valores -2 e +2, tendo o zero como neutro.

Becker, Potchter e Yaakov (2003), em um estudo realizado no Kibbutz Yotvata, Israel, a fim de verificar o nível de estresse térmico sob condições extremamente quentes e secas, constatam que tanto o *PMV* original como o modificado são inadequados para avaliar a percepção térmica humana em condições extremamente quentes e em curtos períodos de tempo. Segundo os autores, o *PMV* original superestima o nível de estresse térmico atual e o *PMV**, o subestima.

B15 Temperatura Efetiva Padrão (*Standard Effective Temperature - SET)**

O *SET** é considerado um dos índices térmicos humanos mais sofisticados e destaca-se por sua habilidade em representar reações térmicas fisiológicas e psicológicas dos seres humanos a partir da introdução da transpiração do suor. Através dele é possível expressar o grau de efeito da umidade nas sensações térmicas, avaliar os efeitos combinados de diversos parâmetros e estimar quantitativamente as sensações térmicas (MOCHIDA; SAKOI, 2003).

Tem sua origem no índice de Temperatura Operativa, passando por diversas modificações até chegar à definição atual (GONZALEZ; NISHI; GAGGE, 1974). Nessas transformações, Gagge introduz a troca de calor por evaporação, dando origem ao *SET**. Assim, ele descreve a troca de calor em termos de um gradiente de temperatura e da secreção de suor, sendo uma medida do esforço térmico do sistema regulatório humano frente ao estresse térmico do meio (GONZALEZ; NISHI; GAGGE, 1974).

O índice é definido como a temperatura do ar de um meio isotérmico a 50% de umidade relativa no qual um indivíduo, vestindo roupa padronizada e de acordo com a atividade desenvolvida, tem o mesmo estresse térmico (temperatura da pele) e esforço termorregulatório (taxa de secreção de suor) que no ambiente atual (BLAZEJCZYK *et al.*, 2012).

No meio de referência, a pessoa está em pé, com taxa metabólica de 1,2Met e vestida com uma roupa que proporciona um isolamento térmico de 0,6clo (GONZALEZ; NISHI; GAGGE, 1974; PICKUP; DE DEAR, 2000). O ambiente de referência é definido como:

- a) temperatura média radiante (t_{mrt}) = Temperatura do ar (t_a);
- b) velocidade do vento é de 0,15m/s; e

c) umidade relativa é correspondente a 50%.

De acordo com Gagge, Fobelets e Berglund (1986) e Parsons (2006), para que ele possa ser aplicado a uma ampla série de condição (do quente ao frio), a sua definição requer uma padronização do isolamento térmico do vestuário com relação à atividade, e do coeficiente de transferência de calor por convecção com relação ao movimento do ar (Equações B23 e B24 ou B24a).

$$I_{cls} = \frac{1,33}{(M-W+0,74)-0,095} \quad (\text{clo}) \quad (\text{B23})$$

$$h_{cs} = 8,6v_s^{0,53} \quad \text{para condição de repouso} \quad (\text{B24})$$

$$h_{cs} = 5,66(M - 0,85)^{0,39} \quad \text{para demais níveis de atividade} \quad (\text{B24a})$$

onde:

M é a taxa metabólica (Met)

W é o trabalho mecânico (Met)

h_{sc} é o coeficiente padrão de transferência de calor por convecção, nunca é inferior à velocidade do vento padrão de 0,15m/s na condição de repouso

Nas evoluções sofridas pelo índice de Temperatura Operativa até que resultasse em SET^* são desenvolvidos dois índices necessários ao seu cálculo, a Temperatura Operativa Padrão (T_{so}) e o Vapor de Pressão Operativo Padrão (P_{so}), ambos definidos em função de um meio de referência.

A relação atividade-vestuário é satisfeita quando se alcança a neutralidade. Nesse caso, o valor do SET^* pode ser obtido a partir do cruzamento dos valores de T_{so} e P_{so} na Carta Psicrométrica do SET^* elaborada por Gonzalez e Gagge (1973 *apud* MOCHIDA; SAKOI, 2003). Quando isso não acontece, o valor de SET^* é calculado analiticamente por interação através da equação abaixo.

$$(T_{so} - SET^*) + \left(\frac{wh'_{es}}{h'_s}\right) (P_{so} - 0,5P_{sSET^*}) = 0 \quad (\text{B25})$$

$$T_{so} = \left(\frac{h'}{h'_s}\right) T_o + \left(1 - \frac{h'}{h'_s}\right) T_{sk} \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{B26})$$

$$P_{so} = \left(\frac{h'_e}{h'_{es}}\right) P_a + \left(1 - \frac{h'_e}{h'_{es}}\right) P_{ssk} \quad (\text{kPa}) \quad (\text{B27})$$

onde:

h' é o coeficiente combinado de transferência de calor sensível

h'_s é o coeficiente combinado de transferência de calor sensível no meio padrão

wh'_{es} é o coeficiente combinado de transferência de calor latente no meio padrão

T_{sk} é a temperatura da pele

P_{ssk} é pressão de saturação do vapor d'água na superfície da pele

P_{sSET^*} é pressão de saturação do vapor d'água do ar na temperatura SET^*

P_a é a pressão do vapor d'água do ar

O SET^* usa a temperatura da pele e a taxa de secreção de suor como condições limites. Esses valores são calculados através do modelo de dois-nós (*Pierce Two-Node Model*) de Pierce. No modelo, o corpo humano é representado como dois cilindros, um interno que refere-se ao núcleo do corpo e um externo, correspondente à camada da pele. Os dois cilindros são conectados pelo fluxo sanguíneo (DOHERTY; ARENS, 1988; ALI-TOUDERT, 2005).

Pickup e De Dear (2000) e Parsons (2006) sintetizam o cálculo do SET^* dizendo que, primeiramente, se determina a temperatura da pele (t_{sk}), a sudorese (w) e a perda de calor pela pele (H_{sk}) para uma pessoa sob a condição atual de interesse. Em seguida, os valores encontrados são usados como dados de entrada a fim de encontrar a nova temperatura do ar, a qual corresponde ao valor do SET^* . O Quadro 32 apresenta a relação entre os níveis do SET^* e a sensação térmica manifestada.

Quadro 32 - Níveis de Temperatura Efetiva Padrão (SET^*) e sensação térmica.

SET^* (°C)	Sensação térmica	Estado fisiológico para pessoa em atividade sedentária
> 37,5	Muito quente, muito desconfortável	Insuficiência na regulação térmica
34,5 - 37,5	Quente, muito inaceitável	Abundante transpiração
30,0 - 34,5	Aquecido, desconfortável e inaceitável	Transpiração ativa
25,6 - 34,5	Levemente aquecido, ligeiramente inaceitável	Leve transpiração ativa e vasodilatação
22,2 - 25,6	Confortável e inaceitável	Neutralidade
17,5 - 22,2	Levemente frio, ligeiramente inaceitável	Vasoconstrição
14,5 - 17,5	Frio e inaceitável	Lento resfriamento do corpo
10,0 - 14,5	Muito frio, muito inaceitável	Calafrio

Fonte: Parsons (2006).

Katzschner *et al.* (1999), na análise do clima urbano de Salvador, BA, Brasil, estabelecem uma comparação entre os valores dos índices PMV , SET^* e PET conforme apresentado no Quadro 33.

Quadro 33 - Comparação entre os índices *PMV*, *SET** e *PET*.

<i>PMV</i>	<i>SET*</i> (°C)	<i>PET</i> (°C)	Sensação térmica clima temperado	Sensação térmica clima tropical	Grau de estresse fisiológico
- 3,5	10	4	Muito frio	Frio extremo	Estresse frio extremo
- 2,5	15	8	Frio	Muito frio	Estresse frio forte
- 1,5	20	12	Fresco	Frio	Estresse frio moderado
- 0,5		16	Levemente fresco	Fresco	Estresse frio leve
+ 0,5	25	20	Neutro		Sem estresse térmico
+ 1,5	30	24	Levemente aquecido	Neutro	Estresse quente moderado
+ 2,5	35	28	Aquecido	Levemente aquecido	Estresse quente forte
+ 3,5	40	32	Muito quente	Aquecido	
		36		Quente	
		40		Muito quente	

Fonte: Katzschner *et al.* (1999).

Apesar de difícil cálculo, o *SET** tem mostrado coerência e eficiência na avaliação do desconforto devido ao calor (GONZALEZ; NISHI; GAGGE, 1974). Zhu *et al.* (2007) ressaltam que, mesmo sendo um índice de aplicação ao meio interno, ele pode ser usado em simulações dinâmicas externas porque relaciona satisfatoriamente todas as variáveis ambientais com o senso térmico do ser humano. Segundo Parsons (2006) é o índice de conforto mais abrangente, podendo ser aplicado a todas as condições térmicas.

Contudo, Auliciems e De Dear (1997 *apud* ANDRADE, 2003a) o consideram aplicável somente até o limite da transpiração e Tanabe *et al.* (1993) observaram que com velocidades do ar superiores a 0,5m/s, os votos de sensação térmica são bem menores que os valores do *SET**. A razão atribuída pelos autores consiste na provável redução na resistência do vestuário e na alteração da difusão do vapor d'água pela pele na presença de elevado movimento do ar, extremamente importante em climas quente e úmido.

Para Andrade e Alcoforado (2008), o *SET** é frequentemente referenciado como um índice com elevada sensibilidade a variações na umidade. Almeida e Silva (2010) analisando os valores gráficos do *SET** observam que a influência da umidade sobre o conforto é tanto maior quanto maior for a temperatura do ar e, considerando-se uma mesma temperatura ambiente, um aumento na umidade é traduzida em uma variação da sensação térmica no sentido do “mais quente”. Por outro lado, mantendo o *SET** constante, à medida que se aumenta a umidade, a temperatura do ar é reduzida.

Mochida e Sakoi (2003) advertem que o *SET** deve ser usado com cuidado em climas quente e de baixa umidade porque os resultados da avaliação tendem a se localizarem próximos do valor neutro desviando-se das sensações térmicas atuais. Mas, o consideram como um dos índices predominantes para quantificar o nível de calor e frio.

B16 Temperatura Aparente (*Apparent Temperature - AT*)

Nos primeiros estudos realizados por Steadman (1979a), o termo Temperatura Aparente é usado para identificar os efeitos combinados de elevada temperatura e umidade nas respostas fisiológicas humanas. Mais precisamente, é equivalente a uma temperatura ambiente ajustada a variações no vapor de pressão acima ou abaixo de algum valor base. Inicialmente, o índice foi desenvolvido sob as seguintes condições meteorológicas e metabólicas básicas:

- a) vapor de pressão do ar correspondente a 1,6 kPa;
- b) velocidade do vento de 2,5 m/s;
- c) pressão barométrica ao nível do mar de 101,3 kPa;
- d) radiação extra equivalente a zero; e
- e) nível metabólico de 180W/m^2 correspondente ao de uma pessoa caminhando a 1,4 m/s no meio externo.

Por não considerar o efeito da radiação no seu desenvolvimento, o índice de Temperatura Aparente era considerado como um índice aplicado a ambientes internos. Posteriormente, passaram a ser considerados os efeitos da altitude, da velocidade do vento e da radiação na elevação ou redução da Temperatura Aparente, fazendo com que seu uso fosse ampliado a condições externas amenas ($20^\circ\text{C} < t_a \leq 25^\circ\text{C}$) e severas ($26^\circ\text{C} \leq t_a < 50^\circ\text{C}$) (STEADMAN, 1979b).

Em 1984, é feita uma tentativa de integrar uma escala de Temperatura Aparente que pudesse ser aplicada a todos os tipos climáticos. Para tanto, o modelo anterior sofreu diversas modificações, melhoramentos e correções. As condições meteorológicas e metabólicas básicas sofrem algumas alterações e a avaliação de um conjunto de condições meteorológicas passa a ser feita no meio externo na presença vento, no sol ou à sombra, e no meio interno, quando a radiação e a velocidade do vento são iguais a zero.

Dessa forma, a *AT* passou a ser definida como a temperatura que a um determinado nível de umidade produz o mesmo desconforto que o experimentado nas condições atuais de temperatura, umidade e radiação solar (STEADMAN, 1984). O nível de umidade adotado como referência é a umidade absoluta à temperatura do ponto de orvalho de

14°C. Se a umidade é mais elevada que a de referência, então AT será maior que a temperatura do ar (t_a); se for menor, AT será inferior a t_a .

Originalmente, a determinação da Temperatura Aparente é feita a partir da resolução de algoritmos ou através da leitura direta em tabelas. Posteriormente, são estabelecidas fórmulas simplificadas que facilitam o seu cálculo (STEADMAN, 1984). No meio externo à sombra, a Temperatura Aparente é identificada segundo a equação abaixo e avaliada em função das categorias de perigo (Quadro 34).

$$AT = -2,7 + 1,04 t_a + 2,0 p_a - 0,65 v_{10} \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{B28})$$

onde:

t_a é a temperatura do ar ($^\circ\text{C}$)

p_a é o vapor de pressão do ar (kPa)

v_{10} é a velocidade do vento medida a 10m acima do nível do solo (m/s)

Quadro 34 - Escala de apreciação da Temperatura Aparente.

Categoria de perigo	AT ($^\circ\text{C}$)	Sensação de desconforto
IV. Extremo perigo	> 54	Insolação e Acidente Vascular Cerebral eminente.
III. Perigo	41 – 54	Elevada probabilidade de ocorrência de insolação, câimbra e exaustão. Possibilidade de dano cerebral para exposições prolongadas com atividade física.
II. Muito cuidado	32 – 41	Possibilidade de câimbras, insolação e esgotamento para exposições prolongadas e atividade física.
I. Atenção	27 – 32	Possível fadiga em casos de exposição prolongada e atividade física.

Fonte: Kastri (2001).

Segundo Jendritzky *et al.* (2000) o índice de Temperatura Aparente, em geral, dá resultados similares aos de outros modelos de balanço energético do corpo humano, exceto quando o indivíduo está exposto à radiação solar direta. Steadman (1979a; 1979b; 1984) tem usado o índice de Temperatura Aparente para mapear a sua variação sobre o território dos Estados Unidos da América e de parte do Canadá, mostrando também o efeito da umidade, da velocidade do vento e da radiação extra no conforto térmico.

B17 Voto Médio Predito calculado pelo modelo KMM (*Predicted Mean Vote – PMV / Klima-Michel Model*)

Com o objetivo de estender a aplicação do PMV para condições externas, Jendritzky, Sönning e Swantes (1979 *apud* MATZARAKIS, 1995) introduziram o meio

radiativo (fluxos de radiação de onda longa e curta) por meio do modelo conhecido como *Klima-Michel Model (KMM)*.

O modelo requer a entrada de quatro parâmetros climáticos (temperatura do ar, vapor de pressão, temperatura média radiante e velocidade do vento) e dois subjetivos (produção de calor metabólico e isolamento do vestuário) para a avaliação do conforto. Os parâmetros subjetivos referem-se a um alemão de 35 anos, 1,75m de altura, 75kg de peso, caminhando a 4km/h, com vestuário entre 0,5 e 1,75clo (THORSSON; LINDQVIST; LINDQVIST, 2004; MONTEIRO; ALUCCI, 2007).

Os valores do *PMV* calculados através do modelo *KMM* representam a avaliação média do meio térmico para uma grande amostra de seres humanos de acordo com a escala de conforto modificada por Jendritzky *et al.* (1990 *apud* MATZARAKIS; MAYER, 1997) e conforme apresentados no Quadro 35.

Quadro 35 - Sensação térmica e nível de estresse fisiológico do *PMV* segundo o modelo *KMM*.

<i>PMV</i>	Sensação térmica	Nível de estresse fisiológico
	Muito frio	Estresse extremo devido ao frio
- 3,5	Frio	Estresse forte devido ao frio
- 2,5	Fresco	Estresse moderado devido ao frio
- 1,5	Levemente fresco	Estresse leve devido ao frio
- 0,5	Confortável	Nenhum estresse térmico
+ 1,5	Levemente aquecido	Estresse leve devido ao calor
+ 2,5	Aquecido	Estresse moderado devido ao calor
+ 3,5	Quente	Estresse forte devido ao calor
	Muito quente	Estresse extremo devido ao calor

Fonte: Matzarakis e Mayer (1997).

Em termos absolutos, a sobrecarga térmica do ser humano com relação aos valores do *PMV*, é dada no Quadro 36. Aproximadamente, isso significa dizer que para um *PMV* = 0 existe uma quantidade de pessoas em torno de 5% que não sente neutralidade térmica, mas esse valor pode alcançar o percentual de 25% quando *PMV* = ± 1,0 e 75% quando *PMV* = ± 2,0 (JENDRITZKY; SÖNNING; SWANTES, 1979 *apud* MATZARAKIS, 1995).

Quadro 36 - Classificação da sobrecarga térmica do ser humano com relação aos valores do *PMV* segundo o modelo *KMM*.

Valores absolutos do <i>PMV</i>	Grau de sobrecarga
0,0 – 0,5	Nenhuma sobrecarga
0,6 – 1,2	Sobrecarga leve
1,3 – 2,0	Sobrecarga média
2,1 – 3,0	Grande sobrecarga
> 3,0	Sobrecarga muito grande

Fonte: Jendritzky, Sönning e Swantes (1979 *apud* MATZARAKIS, 1995).

Segundo Matzarakis (1995), a equação para o cálculo do *PMV* através do modelo *KMM* é aparentemente a mesma do *PMV* original, a diferença consiste da introdução dos complexos fluxos de radiação que ocorrem no meio externo (ALI-TOUDERT, 2005; HONJO, 2009; CARFAN, 2011). Essa extensão do *PMV* também pode ser calculada através do modelo RayMan (MATZARAKIS; MAYER, 2000).

Ali-Toudert (2005) aponta como vantagem, a presença das variáveis subjetivas, pois indicam que, além do meio térmico, o comportamento adaptativo também é considerado. Para Matzarakis e Mayer (1997; 1998), o *PMV*, calculado pelo modelo *KMM* é sutil a estudos realizados a curto prazo dentro de diferentes estruturas urbanas e à construção de mapas bioclimáticos para toda uma cidade, sendo, na prática, considerado satisfatório. Por outro lado, Rudel, Matzarakis e Koch (2005) apontam como vantagem o fato dos valores resultantes serem médias e dessa forma, podem ser calculados para cada dia e período do ano.

B18 Skin Temperature Energy Balance Index (STEBIDEX) e Heat Budget Index (HEBIDEX)

Os índices baseiam-se no modelo do balanço energético do organismo humano, têm o objetivo de avaliar a relação entre a componente térmica do clima e as respostas fisiológicas e sensoriais dos seres humanos.

A situação considerada na elaboração dos índices corresponde a indivíduos vestidos em roupas de banho, sentados na areia da praia à beira-mar (DE FREITAS, 1985). Seu cálculo envolve a identificação das áreas do corpo efetivamente vestidas e descobertas, os termos de transferência de calor, a operação dos modelos *STEBIDEX* e *HEBIDEX*, e o relacionamento entre eles a fim de estimar a sensação térmica. Maiores detalhes podem ser obtidos através de De Freitas (1985).

No modelo *STEBIDEX*, o estado térmico líquido expressa o excedente ou o déficit líquido de calor, sendo, dessa forma, usado como uma medida de perda ou ganho de energia em condições estáticas sob um dado conjunto de condições térmicas. A fim de se identificar a temperatura da pele que satisfaça às condições de estado estático, o modelo sofre sucessivas interações.

O *HEBIDEX* baseia-se no conceito da eficiência de resfriamento do índice *ITS* de Givoni. Assim, são identificados dois valores para estado térmico líquido, um com a temperatura da pele no estado de neutralidade térmica (33°C) e o outro com a temperatura da pele durante a transpiração ativa (35°C). Portanto, os valores de saída do modelo representam o ganho de calor líquido pelo corpo humano ou o déficit de calor. O valor assumido depende da relação entre o estado térmico líquido na neutralidade térmica (S_1^*) e na transpiração ativa (S_1^{**}), ou seja:

Se $S_1^* \leq 0$, então $HEBIDEX = S_1^*$

Se $S_1^{**} > 0$, então $HEBIDEX = S_1^{**}$

Se $S_1^* > 0$ e $S_1^{**} \leq 0$, então $HEBIDEX = \frac{S_1^* + S_1^{**}}{2}$

A estimativa dos índices em termos de sensação térmica (*TSN*) é obtida a partir das equações descritas abaixo em função do *STEBIDEX* (*STEB*) e do *HEBIDEX* (*HEB*). Os resultados são interpretados em escalas verbais padronizadas, conforme mostra o Quadro 37.

$$TSN = -33,9 + 3,687STEB - 0,1537STEB^2 + 0,0022481STEB^3 \quad (B29)$$

$$TSN = 0,258 + (9,467 \times 10^{-3})HEB - (0,026 \times 10^{-4})(0,8606HEB)^2 - (0,016 \times 10^{-6})(0,8606HEB)^3 \quad (B30)$$

Quadro 37 - Interpretação dos valores dos índices *STEBIDEX* e *HEBIDEX* em termos de categorias de sensação térmica.

Série <i>STEBIDEX</i> (°C)	Série <i>HEBIDEX</i> (W)	Sensação térmica	
		Código	Descrição
> 35,23	> 523	+ 4	Muito quente
34,40 a 35,22	275 a 522	+ 3	Quente
33,36 a 34,39	143 a 274	+ 2	Aquecido
32,26 a 33,35	29 a 142	+ 1	Levemente Aquecido
30,82 a 32,25	- 84 a 27	0	Indiferente
28,99 a 30,81	- 187 a - 83	- 1	Levemente Fresco
25,91 a 28,98	- 312 a - 186	- 2	Fresco
21,09 a 25,90	- 479 a - 311	- 3	Frio
< 21,08	< - 478	- 4	Muito Frio

Fonte: De Freitas (1985).

B19 Método Comfa (*Comfort Formula Method - Comfa*)

Desenvolvido para avaliar a paisagem, o *Comfa* expressa o armazenamento energético de uma pessoa no meio externo. Basicamente, é descrito pela relação:

$$Budget = M + R_{abs} - Conv - Evap - TR_{emitted} \quad (W/m^2) \quad (B31)$$

onde:

M é a energia metabólica (W/m^2)

R_{abs} é a radiação solar e terrestre absorvida (W/m^2)

$Conv$ é a perda ou ganho de calor sensível por convecção

$Evap$ é a perda de calor evaporativo

$TR_{emitted}$ é a radiação terrestre emitida

O armazenamento energético inclui diversos componentes e o detalhamento das equações envolvidas pode ser obtido em Gaitani, Mihalakakou e Santamouris (2007). Basicamente, o modelo requer a temperatura do ar, a radiação solar horizontal, a velocidade média do ar, a umidade relativa, a temperatura de superfície do solo circunvizinho, os fatores visíveis dos edifícios, suas frações iluminadas pelo sol e suas temperaturas de superfície (LATINI; GRIFONI; TASCINI, 2010).

O sentimento de conforto é avaliado através do valor do armazenamento térmico, o qual fornece as condições de conforto em função da troca energética entre o ser humano e o meio. O Quadro 38 mostra o sentimento de conforto decorrente dessa relação.

Quadro 38 - Sensação térmica segundo o método *Comfa*.

Budget (W/m ²)	Sensação
Budget < - 150	Muito frio
- 150 < Budget < - 50	Frio
- 50 < Budget < 50	Confortável
50 < Budget < 150	Quente
150 < Budget	Muito quente

Fonte: Gaitani, Mihalakakou e Santamouris (2007).

Assim, quando o armazenamento é próximo de zero, uma pessoa pode esperar sentir-se termicamente confortável. Se o armazenamento apresentar um elevado valor positivo, a pessoa está recebendo mais energia que perdendo, provocando um superaquecimento e, conseqüentemente, a pessoa se sente desconfortável devido ao calor. Por outro lado, se o valor for negativo, a pessoa se sentirá com frio (GAITANI; MIHALAKAKOU; SANTAMOURIS, 2007).

O *Comfa* pode ser usado na avaliação dos efeitos da presença de vegetação no meio urbano, do sombreamento, da posição das edificações com relação às pessoas, do albedo de materiais de pavimentação, dentre outros. Uma versão atualizada tem sido usada por Latini, Grifoni e Tascini (2010) para simular a performance térmica de diferentes sugestões de sombreamento na restauração de espaços abertos na cidade de Ascoli Piceno, Itália.

B20 Temperatura Equivalente Fisiológica (*Physiological Equivalent Temperature – PET*)

O índice *PET* é definido como a temperatura fisiológica equivalente à temperatura do ar na qual, num meio interno típico, o balanço térmico do corpo humano, em atividade leve (metabolismo de 80W) e resistência térmica do vestuário de 0,9clo, é mantido com temperaturas do núcleo e da pele iguais àquelas sob as quais as condições estão sendo avaliadas (Andrade, 1998). Assume-se que o clima interno de referência tem:

- temperatura média radiante igual a temperatura do ar ($t_{mrt} = t_a$);
- velocidade do vento (v) fixa a 0,1 m/s; e
- vapor de pressão da água (p_a) igual a 12hPa (aproximadamente equivalente a uma umidade relativa de 50% e temperatura do ar de 20°C) (HÖPPE, 1999).

O cálculo do índice é baseado no modelo de balanço térmico *MEMI* (*Munich Energy Balance Model for Individuals*). Höppe (1999), Ali-Toudert e Mayer (2006) e Alucci (2011) descrevem o procedimento para o cálculo do *PET* e a fundamentação teórica do modelo *MEMI*. De acordo com os autores, o modelo baseia-se na equação do balanço energético do corpo humano e em alguns dos parâmetros do modelo *Two-node model*

utilizado por Gagge para a estimação dos processos fisiológicos de termorregulação. Portanto, é calculado em função:

$$PET = f(t_a, t_{mrt}, p_a, v)$$

Na equação do balanço energético do corpo humano, os termos são afetados diretamente pela:

- a) temperatura do ar (C e R_d);
- b) umidade do ar (D , S_w e R_w);
- c) velocidade do ar (C e S_w); e
- d) temperatura média radiante (R).

Alguns desses termos são dependentes da temperatura média da superfície da roupa, da temperatura média da pele e da taxa de transpiração. A taxa de transpiração, por sua vez, depende da temperatura do núcleo do corpo e, portanto, depende tanto das condições ambientais quanto do nível de atividade.

A fim de avaliar a temperatura média da superfície da roupa (t_{cl}), a temperatura da pele (t_{sk}) e a temperatura do núcleo (t_c), são introduzidas duas equações na equação do balanço energético do corpo humano. A primeira descreve os fluxos de calor do núcleo do corpo para a superfície da pele (F_{cs}) e a segunda, da superfície da pele à superfície externa da roupa (F_{sc}):

$$F_{cs} = v_b \rho_b c_b (t_c - t_{sk}) \quad (\text{B32})$$

$$F_{sc} = \frac{1}{I_{cl}} (t_{sk} - t_{cl}) \quad (\text{B33})$$

onde:

v_b representa o fluxo sanguíneo do núcleo do corpo para a pele ($\text{ls}^{-1}\text{m}^{-2}$), dependendo das temperaturas da pele e do núcleo

ρ_b é a densidade do sangue (kg/l)

c_b é o calor específico do sangue ($\text{WsK}^{-1}\text{kg}^{-1}$)

I_{cl} é a resistência térmica do vestuário (Km^2W^{-1})

A partir de então, é possível calcular o estado térmico resultante para qualquer combinação de parâmetros climáticos, atividade e tipo de vestuário. Portanto, o cálculo do PET baseado no modelo $MEMI$ requer:

- a) o cálculo das condições térmicas do corpo através do $MEMI$ para uma dada combinação de parâmetros meteorológicos;

- b) a inserção dos valores calculados para a temperatura média da pele e temperatura do núcleo do corpo no modelo *MEMI*; e
- c) a resolução do sistema de equação para a temperatura do ar (t_a), pressupondo-se que $v = 0,1\text{m/s}$, $p_a = 12\text{hPa}$ e $t_{mrt} = t_a$.

Assim, a temperatura do ar resultante é equivalente ao valor do índice *PET*.

No seu cálculo, os fluxos de calor são estimados separadamente para os membros do corpo que estão vestidos e os que estão expostos. Também são levados em consideração os parâmetros do corpo, a idade, o sexo e o volume de secreção de suor. Em princípio, é tido como um índice aplicado ao meio interno, mas o seu cálculo através dos modelos *MEMI* e *RayMan* expandiu sua aplicação ao meio externo (MATZARAKIS; MAYER, 2000; KASTRI, 2001).

Posteriormente, para avaliar o efeito térmico de alterações climáticas rápidas ou mudanças no nível de atividade, aumentando ou reduzindo o fluxo de calor e a temperatura do corpo, Höppe (1989 *apud* HÖPPE, 1997) desenvolve um modelo de balanço térmico dinâmico, chamado *IMEM (Instationary Munich Energy-balance Model)*. É capaz de determinar em quanto tempo a temperatura do corpo e da pele e a taxa de secreção do suor alcançam níveis críticos sob condição de estresse térmico.

Originalmente, o *PET* não apresenta faixas de referência para a sua interpretação, pois seu objetivo é avaliar em relação ao ambiente de referência (PRATA; MONTEIRO; FROTA, 2008 *apud* HIRASHIMA, 2010). Entretanto, Matzarakis e Mayer (1996 *apud* MATZARAKIS, 2007) identificam os valores de *PET* que correspondem aos níveis de percepção térmica e graus de estresse fisiológico do índice *PMV*. Essa escala de apreciação é apresentada no Quadro 39, mas os autores advertem que devem ser observadas a produção interna de calor de 80W e a resistência à transferência de calor da roupa de 0,9clo para que essa correlação seja válida.

O *PET* permite a avaliação das condições térmicas de uma maneira fisiologicamente significativa e seus valores finais podem ser apresentados na forma de mapas bioclimáticos, distribuições de frequências ou variações anuais e diárias (MATZARAKIS; MAYER; RUTZ, 2002). Outra vantagem atribuída ao *PET* é a sua unidade de medida em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), o que torna seus resultados mais compreensíveis para os planejadores e o público em geral (SVENSSON; ELIASSON, 2002; MATZARAKIS, 2007; ALI-TOUDERT; MAYER, 2006).

Quadro 39 - Grau de percepção térmica e estresse fisiológico humano correspondente aos valores do índice *PET*.

<i>PMV</i>	<i>PET</i>	Percepção térmica	Grau de estresse fisiológico
- 3,5	4°C	Muito frio	Estresse extremo devido ao frio
- 2,5	8°C	Frio	Forte estresse devido ao frio
- 1,5	13°C	Fresco	Estresse moderado devido ao frio
- 0,5	18°C	Levemente fresco	Estresse mínimo devido ao frio
+ 0,5	23°C	Confortável	Nenhum estresse
+ 1,5	29°C	Levemente aquecido	Estresse mínimo devido ao calor
+ 2,5	35°C	Aquecido	Estresse moderado devido ao calor
+ 3,5	41°C	Quente	Forte estresse devido ao calor
		Muito quente	Estresse extremo devido ao calor

Fonte: Matzarakis, Mayer e Iziomon, 1999.

Entretanto, segundo Ali-Toudert (2005) e Johansson e Emmanuel (2006), sua aplicabilidade depende do objetivo do estudo. Seu emprego pode ser limitado em análises de um nível de conforto térmico exato, pois o vestuário e a atividade física são considerados valores constantes. Dessa forma, ele não é uma medida absoluta de esforço ou conforto térmico, mas é uma ferramenta de avaliação do meio térmico, permitindo que o indivíduo compare o efeito integral das condições térmicas externas com a sua própria experiência interna. Além desse aspecto, o indivíduo tipo utilizado no modelo é do sexo masculino, com 35 anos de idade, 1,75 m de altura e 75 kg de peso.

Segundo Andrade e Alcoforado (2008), algumas vezes o *PET* tem sido referenciado como um índice que tem baixa sensibilidade a variações na umidade no que diz respeito à perda de calor da pele por evaporação (S_w). De acordo com eles, até 66% o *PET* é altamente correlacionado com S_w , mas acima desse valor, a correlação cai e com 88%, o *PET* não apresenta nenhuma alteração com a umidade, influenciando as respostas humanas.

Höppe (1999), Matzarakis, Mayer e Iziomon (1999) e Jendritzky e Havenith (2005) o consideram como um índice de aplicação universal, podendo ser usado em todos os climas, regiões, estações e escalas. Entretanto, Matzarakis e Mayer (1998) ressaltam a necessidade de maiores investigações no que se refere à sua validade e aplicação em condições externas em regiões subtropicais e tropicais.

De acordo com Höppe (2002), McGregor *et al.* (2002) e Thorsson, Lindqvist e Lindqvist (2004), o uso do *PET*, assim como o de todos os índices baseados em modelos de balanço energético humano sob um estado estático, é confinado a situações em que as pessoas permanecem no meio externo por um longo período de tempo.

Contudo, tem apresentado bons resultados quando aplicado em estudos comparativos e em análises da variação espacial e temporal das condições bioclimáticas (MATZARAKIS; MAYER; IZIOMON, 1999; ANDRADE, 2003a; HUANG, 2007) e, apesar das limitações, é um dos índices mais aplicados na verificação do(a)(s):

- a) Efeito fisiológico decorrente de alterações climáticas provocadas pela urbanização (MAYER; HÖPPE, 1987; MATZARAKIS; MAYER, 1998; SVENSSON; ELIASSON, 2002; ANDRADE, 2003b; MATZARAKIS; MAYER, 2003; STREILING; MATZARAKIS, 2003; SVENSSON; THORSSON; LINDQVIST 2003; ALI-TOUDERT, 2005; ANDRADE; OLIVEIRA; ALCOFORADO, 2006; GULYÁS; UNGER; MATZARAKIS, 2006; KATZSCHNER, 2006; ZANINOVIC; MATZARAKIS, 2006; ANDRADE; ALCOFORADO, 2007; MAYER *et al.*, 2008; NG; CHENG, 2012; NG; REN; KATZSCHNER, 2012);
- b) Influência das alterações climáticas na carga térmica imposta aos seres humanos ao longo de uma série temporal (MATZARAKIS; MAYER, 1997; ANDRADE, 1998; MCGREGOR *et al.*, 2002; CEGNAR; MATZARAKIS, 2004; ZANINOVIC; MATZARAKIS, 2004; 2005; MATZARAKIS; KARATARAKIS; SARANTOPOULOS, 2005; RUDEL; MATZARAKIS; KOCH, 2005; MATZARAKIS; ENDLER, 2010); e
- c) Condições meteorológicas e eventos extremos (MATZARAKIS; MAYER, 2000; MORABITO *et al.*, 2002; MATZARAKIS *et al.*, 2004; MATZARAKIS, 2007).

B21 Índice de Calor (*Heat Index – HI*)

O Índice de Calor é comumente referenciado como índice de Temperatura Aparente, pois, de acordo com Blazejczyk *et al.* (2012), sua equação é derivada de análises de regressão múltipla, em termos de temperatura e umidade relativa do ar, a partir da primeira versão do índice de Temperatura Aparente de Steadman (1979a).

O *HI* descreve como o ser humano sente as várias combinações de elevada temperatura e umidade do ar, tendo em vista que quanto maior é a umidade mais difícil é a perda de calor por evaporação (KUSCH *et al.*, 2004). É válido para temperaturas do ar superiores a 20°C, seu valor é calculado conforme a equação abaixo e caracterizado em função das prováveis desordens causadas pelo calor, seguindo a mesma escala de apreciação do índice de Temperatura Aparente (KASTRI, 2001; BLAZEJCZYK *et al.*, 2012).

$$\begin{aligned}
HI = & 16,923 + [(1,85212 \times 10^{-1})t_a] + (5,37941 \times UR) - [(1,00254 \times 10^{-1})t_a \times \\
& UR] + [(9,41695 \times 10^{-3})t_a^2] + [(7,28898 \times 10^{-3})UR^2] + [(3,45372 \times 10^{-4})t_a^2 \times UR] - \\
& [(8,14971 \times 10^{-4})t_a \times UR^2] + [(1,02102 \times 10^{-5})t_a^2 \times UR^2] - [(3,8646 \times 10^{-5})t_a^3] + \\
& [(2,91583 \times 10^{-5})UR^3] + [(1,42721 \times 10^{-6})t_a^3 \times UR] + [(1,97483 \times 10^{-7})t_a \times UR^3] - \\
& [(2,18429 \times 10^{-8})t_a^3 \times UR^2] + [(8,43296 \times 10^{-10})t_a^2 \times UR^3] - [(4,81975 \times 10^{-11})t_a^3 \times \\
& UR^3] \qquad \qquad \qquad (^\circ F) \qquad \qquad \qquad (B34)
\end{aligned}$$

onde:

UR é a umidade relativa do ar (%)

t_a é a temperatura de bulbo seco do ar ($^\circ F$)

O HI é utilizado na previsão do tempo e alertas de risco de ondas de calor pelo serviço de tempo americano (*US National Weather Service – NWS*). Sempre que a previsão indica que seu valor máximo é igual ou excede $105^\circ F$ ($40,6^\circ C$) durante o dia e o mínimo é igual ou superior a $80^\circ F$ ($26,7^\circ C$) durante a noite, por dois ou mais dias consecutivos, o *NWS* emite sinais de alerta à população (*KUSCH et al.*, 2004).

Apesar de sob condições normais, a temperatura e a umidade serem consideradas os elementos que mais influenciam o conforto térmico, *Kalkstein et al.* (1996) questiona o seu uso na previsão meteorológica durante a ocorrência de ondas de calor, pois, segundo o autor, somente as duas variáveis não são suficientes para predizer o impacto negativo do estresse térmico, além disso, falta um embasamento empírico na definição dos critérios de periculosidade à saúde humana.

O Índice de Calor (HI) foi aplicado no estudo realizado por *Repelli et al.* (1997) na cidade de Fortaleza-Ce, Brasil sob a denominação de Temperatura Aparente. Com o objetivo de avaliar as flutuações diárias e sazonais da sensação térmica a fim de identificar níveis de aquecimento perigosos aos seres humanos, os autores observam que a sensibilidade térmica do corpo é muito maior que as variações mostradas pelos termômetros e que a umidade relativa pode ser um bom regulador da sensação térmica.

B22 Índice de Carga Térmica (*Heat Load - HL*)

O Índice de Carga Térmica é um dos índices calculados através do modelo termofisiológico *MENEX* (*Man-ENVironment heat EXchange model*), proposto por *Blazejczyk* em 1994. O modelo utiliza o balanço térmico do corpo humano, considerando a produção de calor metabólico e as trocas com o meio (*MONTEIRO; ALUCCI*, 2007).

A resolução da equação do balanço térmico envolve duas fases. Na primeira, são calculadas as componentes básicas que se alteram assim que entram em contato com as condições ambientais, Os sinais dos receptores térmicos ativam as reações fisiológicas do organismo para mantê-lo em homotermia. No frio, o processo de adaptação não altera significativamente a temperatura da pele, mas no calor, a evaporação do suor lidera durante os 15 a 20 minutos de adaptação para resfriar a superfície da pele.

A segunda fase visa solucionar a equação do balanço energético do corpo humano, levando em consideração a temperatura da pele que é afetada pelo processo de termorregulação. As componentes resultantes do balanço energético representam o nível de troca de calor depois de 15 a 20 minutos do processo de adaptação.

Blazejczyk (2006) apresenta todo o procedimento e equações envolvidos no seu cálculo e os índices resultantes do modelo. Além do *HL*, o modelo calcula: a Temperatura Subjetiva (*STI*, °C), o Esforço Fisiológico (*PhS*, adimensional), a Temperatura Subjetiva Fisiológica (*PST*, °C), a Perda Hídrica (*SW*, g/horas), o Risco de Desidratação (*DhR*, escala descritiva), o Risco de Superaquecimento (*OhR*, minutos) e o Risco de Congelamento (*OcR*, minutos).

O *HL* ilustra a carga térmica do sistema central de termorregulação devido ao processo de adaptação envolvido num organismo e, por isso, expressa a neutralidade térmica do usuário e avalia se ele está fisiologicamente em equilíbrio ou não. É aplicado a espaços externos e calculado a partir da combinação de três fluxos principais de calor: calor acumulado (*S*), radiação solar absorvida (*R*) e perda evaporativa pela pele (*E*) (BLAZEJCZYK, 2006; ALUCCI, 2011).

Para cada combinação entre *S* e *E* aplica-se uma equação específica. Portanto:

Se $S < 0\text{W/m}^2$ e $E \geq -50\text{W/m}^2$, então

$$HL = \left[\frac{(S+1000)}{1000} \right]^{\left[\frac{5}{(1+R)} \right]} \quad (\text{B35})$$

Se $S \geq 0\text{W/m}^2$ e $E \geq -50\text{W/m}^2$, então

$$HL = \left[\frac{(S+1000)}{1000} \right]^{\left[\frac{(2-1)}{(1+R)} \right]} \quad (\text{B35a})$$

Se $S < 0\text{W/m}^2$ e $E < -50\text{W/m}^2$, então

$$HL = \left(\frac{E}{-50} \right) \left[\frac{(S+1000)}{1000} \right]^{\left[\frac{5}{(1+R)} \right]} \quad (\text{B35b})$$

Se $S \geq 0\text{W/m}^2$ e $E < -50\text{W/m}^2$, então

$$HL = \left(\frac{E}{-50} \right) \left[\frac{(S+1000)}{1000} \right]^{\left[\frac{(2-1)}{(1+R)} \right]} \quad (\text{B35c})$$

Todos os componentes do *MENEX* e suas variáveis de saída podem ser calculados através do BioKlima 2.4, disponível no site de domínio público: <www.igipz.pan.pl/geooklimat/blaz/bioklima.htm>. Os valores correspondentes à carga térmica estão descritos no Quadro 40.

Quadro 40 - Escala de apreciação do índice *HL* (adimensional).

HL	Carga térmica no ser humano
≤ 0,250	Extremo estresse devido ao frio
0,251 – 0,820	Forte estresse devido ao frio
0,821 – 0,975	Moderado estresse devido ao frio
0,976 – 1,025	Neutralidade térmica
1,026 – 1,180	Moderado estresse devido ao calor
1,181 – 1,750	Forte estresse devido ao calor
≥ 1,751	Extremo estresse devido ao calor

Fonte: Blazejczyk (2006).

Posteriormente, através do *MENEX*, Blazejczyk (2011) desenvolve o Índice de Contraste Bioclimático (*Bioclimatic Contrast Index – BCI*) com o objetivo de avaliar os contrastes de condições bioclimáticas. O seu cálculo consiste de uma média diferenciada de indicadores de adaptação ao clima: Perda Hídrica (*SW*), Isolamento Predito (*Iclp*), Temperatura Subjetiva Fisiológica (*PST*) e Índice Climático Térmico Universal (*UTCI*).

B23 Temperatura Percebida (*Perceived Temperature – PT*)

O índice *PT* tem o objetivo de comparar as condições externas atuais com a temperatura que prevaleceria em um meio padrão de referência para que o indivíduo venha a experimentar o mesmo sentimento de aquecimento, conforto ou frio. O indivíduo padronizado é do sexo masculino, tem 35 anos de idade, 1,75m de altura e 75kg.

O meio padrão de referência é extremamente sombreado, a temperatura das superfícies circunvizinhas é igual à temperatura do ar e existe somente uma leve brisa de ar de 0,1m/s. O nível de atividade corresponde ao de uma pessoa caminhando a 4km/h (\cong 172,5W/m² ou 2,3Met). Considera dois tipos de vestuário: 0,5clo para o verão e 1,75clo para o inverno, mas subtende-se que existe uma adaptação do mesmo de modo que o indivíduo continue a sentir-se confortável (JENDRITZKY *et al.*, 2000; JENDRITZKY; HAVENITH, 2005).

É o índice térmico usado no procedimento de rotina do Serviço Meteorológico Alemão (*DWD*) (*KUSCH et al.*, 2004). O calor ou o frio percebido é calculado através do modelo *Klima-Michel-Model (KMM)*.

O *KMM* é um modelo de armazenamento energético para o ser humano, desenvolvido dentro de um estado estático (*JENDRITZKY et al.*, 2000; *JENDRITZKY; MAAROUF; STAIGER*, 2001). Consiste das equações de conforto de Fanger com um modelo de radiação para condições externas e um termo de correção para condições quentes e úmidas (*KIM et al.*, 2008). Segundo Huang (2007) o modelo calcula a Temperatura Percebida através de interações para a resistência térmica do vestuário entre 0,50 a 1,75clo até alcançar o conforto térmico.

O resultado do índice é dado em graus Celsius (°C), o que facilita a sua compreensão. A avaliação do *PT* é feita por meio do *PMV* seguindo as diretrizes alemãs (*VDI 3787/1998*) e a percepção térmica corresponde aos sete pontos da escala de *ASHRAE* conforme apresentado no Quadro 41.

Quadro 41 - Temperatura Percebida e estresse térmico.

Temperatura percebida (°C)	Percepção térmica	Estresse fisiológico
< - 39	Muito frio	Extremo estresse devido ao frio
- 39 a - 26	Frio	Forte estresse devido ao frio
- 26 a - 13	Fresco	Moderado estresse devido ao frio
- 13 a 0	Levemente fresco	Fraco estresse devido ao frio
0 a + 20	Confortável	Possível conforto
+ 20 a + 26	Aquecido	Leve sobrecarga de calor
+ 26 a + 32	Aquecido	Moderada sobrecarga de calor
+ 32 a + 38	Quente	Forte sobrecarga de calor
> + 38	Muito quente	Extrema sobrecarga de calor

Fonte: *VDI (1998 apud JENDRITZKY et al.*, 2000).

Os dados de entrada para o cálculo do *PT* através do modelo *KMM* são providos de observações sinópticas ou de previsões numéricas que contenham informações sobre a cobertura de nuvens ou fluxos radiantes de onda longa e curta. As observações sinópticas requeridas são:

- a) temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho a 2m acima do nível do solo, a partir dos quais é definida a pressão do vapor d'água;
- b) velocidade do vento e altura do anemômetro a fim de que seja possível a transformação do seu valor para a altura de 1m acima do nível do solo; e
- c) quantidade total de nuvens, quantidade de nuvens baixas, médias e altas e correspondentes tipos, juntamente com as coordenadas geográficas, dia e hora

para que os fluxos radiantes de onda longa e curta possam ser parametrizados e, assim, identificada a temperatura média radiante (t_{mrt}).

De acordo com Kusch *et al.* (2004), em condições quente e úmida, com pouca ventilação, o *PT* se eleva mais rapidamente que a temperatura do ar e, em casos extremos, a diferença pode chegar a 15°C na Europa Central. Em condições moderadas, seu valor é inferior ao da temperatura do ar, podendo diminuir ainda mais, à medida que se considera a velocidade do caminhar e a adaptação do vestuário. No frio e em meios ventilados, o *PT* pode chegar a ser 15°C inferior à temperatura do ar, entretanto, o sol e a redução da ventilação podem elevá-lo acima da temperatura do ar.

Sabe-se que, fisiologicamente, existem variações consideráveis entre os seres humanos, portanto, os resultados dos modelos baseados no balanço energético têm sido válidos para um maior número de pessoas em ambientes com condições semelhantes que entre indivíduos (JENDRITZKY *et al.*, 2000).

Com relação a outros índices o *PT* tem apresentado uma boa correlação, com a vantagem de permitir variações no vestuário, ao contrário do *PET*. Tem sido usado na avaliação térmica de *canyons*, no planejamento das cidades, mapas bioclimáticos em micro e macroescala, na simulação de cenários, em estudos epidemiológicos e previsões do tempo, dentre outras aplicações (JENDRITZKY *et al.*, 2000).

B24 Índice de Verão (*Summer Simmer Index – SSI*)

O *SSI* objetiva descrever o sentimento de desconforto gerado por elevadas temperaturas e umidades (KASTRI, 2001). Ele visa corrigir a superestimação do efeito da umidade em temperaturas moderadas e a subestimação dos efeitos de elevada umidade, usando a secreção do suor para prever o estresse térmico e o conforto (PEPI, 2000). Seu valor pode ser obtido através de tabela ou por meio da equação abaixo. O valor encontrado indica o nível de estresse e a zona de conforto conforme apresenta o Quadro 42.

$$SSI = 1,98[t_a - (0,55 - 0,0055UR)(t_a - 58)] - 56,83 \quad (^\circ F) \quad (B36)$$

onde:

t_a é a temperatura do ar (°F)

UR é a umidade relativa (%)

Quadro 42 - Escala de apreciação do índice *Summer Simmer Index, SSI*.

SSI (°F)	Nível de conforto e estresse térmico
70 – 77	Conforto com leve sensação de frescor
77 – 83	Conforto
83 – 91	Conforto com leve sensação de calor
91 – 100	Leve sensação de desconforto devido ao calor
100 – 112	Sintomas de insolação e exaustão térmica em prolongada exposição e atividade
112 – 125	Grande risco de insolação e, virtualmente, todos se sentem desconfortáveis
125 - 150	Extremo perigo de insolação, especialmente, para idosos e crianças

Fonte: Pepi (2000).

B25 Temperatura Efetiva Normal (*Normal Effective Temperature - NET*)

O *NET* é utilizado no monitoramento do tempo pelo observatório de Hong Kong, leva em consideração o efeito da temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa nos seres humanos. Quanto mais elevada é a temperatura do ar, maior é o valor do *NET*, mas com elevadas velocidade do vento e umidade relativa, o índice assume valores inferiores (KUSCH *et al.*, 2004). O índice é calculado pela equação abaixo e interpretado conforme as categorias dispostas no Quadro 43, estabelecidas para a Europa Central.

$$NET = 37 - \frac{37 - t_a}{0,68 - 0,0014 \times UR + \frac{1}{1,76 + 1,4v^{0,75}}} \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{B37})$$

onde:

t_a é a temperatura do ar (°C)

v é a velocidade do vento a 1,2m acima do nível do solo (m/s)

UR é a umidade relativa do ar (%)

Quadro 43 - Escala de avaliação do índice *NET*.

NET (°C)	Sensação térmica
< 1	Muito frio
1 – 9	Frio
9 – 17	Moderadamente frio
17 – 21	Confortável
21 – 23	Levemente quente
23 – 27	Quente
> 27	Muito quente

Fonte: Blazejczyk *et al.* (2012).

B26 Temperatura Efetiva Padrão Externa (*OUT-SET)**

A princípio, é definido para aplicações no meio interno. A fim de estender a aplicação do índice *SET** ao meio externo, Pickup e De Dear (2000) e Pickup e De Dear (2000) introduzem as componentes individuais dos fluxos de radiação que alcançam o corpo humano descritas no modelo *OUT_MRT* e as introduz no cálculo do *SET**, passando a chamá-lo de *OUT_SET**. Dessa forma, o índice provê representações fisiologicamente válidas do conforto e estresse térmico humano externo sobre uma infinidade de combinações de temperaturas médias radiantes, umidade, velocidade do vento, isolamento térmico do vestuário e taxa metabólica.

Para Spagnolo e De Dear (2003), é o índice que melhor avalia a sensação térmica no meio externo, pois inclui o isolamento térmico do vestuário como uma variável e não como um valor constante. Entretanto, segundo Pickup e De Dear (2000) e Monteiro e Alucci (2007), seu cálculo é bastante complexo e requer um programa específico.

Segundo Ali-Toudert (2005), o índice inclui o comportamento adaptativo humano, pois considera o isolamento causado pela roupa e o nível de atividade como variáveis. Também leva em consideração a termorregulação do corpo humano, o que o torna mais preciso na avaliação de condições extremas (tipicamente externas). Mas, por outro lado, a interdependência entre a umidade relativa de 50% e a temperatura do ar inibe parcialmente a avaliação do estresse térmico.

O *OUT_SET** pode ser usado na maioria das aplicações biometeorológicas em todos os climas, regiões, estações e escalas, pois é um dos modelos que considera todos os mecanismos de troca de calor (JENDRITZKY; HAVENITH, 2005). Entretanto, Höppe (2002) ressalta que o *OUT_SET**, assim como a maioria dos índices térmicos, é baseado num modelo de balanço energético humano estático, o que faz com que seu uso se restrinja a situações em que as pessoas permanecem por muito tempo no meio externo.

B27 Índice de Sensação Térmica (*Thermal Sensation - TS*)

Através do monitoramento da sensação térmica e do conforto total num parque urbano de Yokohama – Japão, Noguchi e Givoni (2000 *apud* GIRALT, 2006) e Givoni *et al.* (2003) determinam o efeito quantitativo no conforto durante as quatro estações do ano. O experimento considera diversas características de praças e parte do princípio de que as pessoas entrevistadas se vestem de acordo com cada estação.

A fim de identificar a sensação térmica (em uma escala de um, muito frio, a sete, muito quente) e o nível de conforto total (um, muito desconfortável a sete, muito confortável), os autores aplicam questionários em três condições ambientais distintas (na sombra, ao sol e ao sol com proteção contra o vento). Paralelamente, os parâmetros climáticos são medidos para cada área.

A análise dos dados permite o desenvolvimento de uma fórmula para prever a sensação térmica no meio externo, considerando o processo de aclimatização e os diferentes vestuários de cada estação. Os dados experimentais também permitem demonstrar a relação entre a sensação térmica e o conforto total, onde a sensação térmica passa a ser expressa como:

$$TS = 1,7 + 0,1118 t_a + 0,0019 SR - 0,322 v - 0,0073 UR + 0,0054 t_s \quad (B38)$$

onde:

t_a é a temperatura do ar (°C)

SR é a radiação solar horizontal (W/m²)

v é a velocidade do vento (m/s)

UR é a umidade relativa (%)

t_s é a temperatura de superfície do solo (°C)

O nível de conforto está relacionado com a sensação térmica, mas pode não indicar, necessariamente, uma sensação agradável com o meio. Assim, os níveis de TS iguais a cinco, seis e sete (pouco confortável, mais confortável e muito confortável) indicam conforto e podem ser considerados uma única categoria. Valores superiores a sete indicam uma situação de “super-conforto”, que deve ser compreendida como um estímulo térmico provocando uma sensação de prazer, fora da análise específica de conforto. Valores inferiores a quatro são considerados uma situação de desconforto (GIVONI *et al.*, 2003).

O TS tem sido usado na análise do desenho e aplicação de diversas técnicas baseadas nos princípios de arquitetura bioclimática, resfriamento passivo e conservação energética a fim de melhorar as condições de conforto no meio externo (GAITANI; MIHALAKAKOU; SANTAMOURIS, 2007).

B28 Voto Real de Sensação (*Actual Sensation Vote - ASV*)

A fim de examinar o desenho de áreas livres a partir de princípios bioclimáticos, Nikolopoulou (2004) coordena um projeto denominado RUROS (*Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces*) ao longo de dezessete cidades europeias.

Nesse projeto, a sensação térmica das pessoas, sob a denominação de Voto Real de Sensação, é avaliada numa escala de cinco pontos, variando de muito frio a muito quente. Na análise estatística dos parâmetros climáticos e dos votos reais de sensação térmica, verifica-se a existência de discrepâncias entre as condições de conforto atuais e as analíticas. Isso proporciona o desenvolvimento de modelos que estimem as condições de conforto térmico externo, levando em consideração os parâmetros pessoais e os efeitos de adaptação física e psicológica.

Os modelos para o cálculo do ASV são elaborados para diferentes cidades em diferentes zonas climáticas. O modelo combinado para a Europa é dado pela equação:

$$ASV = 0,049 t_a + 0,001Q_g - 0,051v + 0,014 UR - 2,079 \quad (B39)$$

onde:

t_{ar} é a temperatura do ar (°C)

Q_g é a radiação solar global (W/m²) cujos valores de 100, 400 e 800 W/m² correspondem, respectivamente à baixa insolação (céu encoberto), média (parcialmente encoberto) e elevada (céu claro)

v é a velocidade do vento (m/s) cujos valores de 0,1m/s, 1m/s, 3m/s e 5m/s correspondem a condições de leve brisa a vento forte (acima de 5m/s o efeito mecânico do vento é superior ao térmico)

UR é a umidade relativa (%) cujos valores de 20, 40 e 80% correspondem a condições muito seca, média e úmida

O ASV na sua forma combinada é um dos modelos que tem sido usado por Monteiro e Alucci (2007) na verificação da aplicabilidade de modelos empíricos e racionais em estudos de caso na cidade de São Paulo, Brasil. Também tem sido aplicado por Thorsson, Lindqvist e Lindqvist (2004) na determinação da relação entre o meio térmico, o uso de parque urbano em Göteborg, Suécia e padrões comportamentais. Uma das suas maiores vantagens é a possibilidade de utilização de dados extraídos diretamente de estações meteorológicas. Em sua apreciação, adota-se a mesma escala desenvolvida para o *PMV* original.

B29 Índice Climático Térmico Universal (*Universal Thermal Climate Index - UTCI*)

O *UTCI* começou a ser desenvolvido em 1999 por uma comissão estabelecida pela *International Society of Biometeorology*. A ideia principal era desenvolver um índice termo-fisiologicamente significativo dentro de uma vasta série de troca de calor no meio externo, sendo válido em diversos climas e estações, escalas espaciais e temporais e que pudesse ser aplicado nos estudos de biometeorologia humana (JENDRITZKY; MAAROUF; STAIGER, 2001; JENDRITZKY *et al.*, 2002). Em 2005, recebeu a contribuição da *European COST (Cooperation in Science and Technical Development) Action 730* e, em 2009, começou a ser implementado (BLAZEJCZYK *et al.*, 2013).

Em seu processo de validação, a sensibilidade do *UTCI* é testada para a umidade e radiação no calor e vento no frio e tem dado respostas fisiologicamente válidas ao estresse térmico dentro de uma série que varia do extremo frio ao extremo calor e em condições de trabalho externo (BRÖDE *et al.*, 2010; 2013).

Comparado a outros índices, o *UTCI* apresenta uma boa correlação com todos os índices derivados do modelo de armazenamento de calor humano, destacando-se dentre eles, o *SET**, o *PT*, o *PhS* e o *PMV*. Além disso, é considerado muito sensível à variabilidade temporal das condições térmicas, pois reflete pequenas alterações na intensidade dos elementos climáticos, especialmente, a velocidade do vento (BLAZEJCZYK *et al.*, 2012).

O *UTCI* é definido como a temperatura do ar de uma condição de referência, na qual é produzida a mesma reação fisiológica que a predita pela resposta dinâmica do índice. No meio de referência, a velocidade do ar é 0,5m/s à 10m de altura, a temperatura média radiante é igual à temperatura do ar, e o vapor de pressão do ar é equivalente a uma umidade relativa de 50%, não ultrapassando o valor de 20hPa. A atividade externa representativa corresponde à taxa metabólica de uma pessoa caminhando em uma superfície plana à 4km/h ($\cong 135\text{W/m}^2$) (BLAZEJCZYK *et al.*, 2013).

Foi desenvolvido com base no modelo termoregulatório multinodal desenvolvido por Fiala, Lomas e Stohrer (2001) em associação com o modelo de vestuário desenvolvido por Havenith *et al.* (2012) para este fim. O modelo representa uma pessoa de 73,5kg de peso, 14% de gordura corporal e 1,86m² de área de Dubois, e indica os processos fisiológicos e termoregulatórios que são significantes à reação humana nas condições neutra, moderada e extrema.

Através do modelo multinodal, é possível prever características locais como as temperaturas da pele de partes individuais do corpo humano, reproduzindo o seu

comportamento térmico dinâmico sobre uma ampla série de circunstâncias térmicas. Para tanto, o organismo humano é separado em dois sistemas de termorregulação que interagem entre si: o ativo, controlando e o passivo, controlado.

O sistema ativo de controle prediz as reações termorregulatórias do sistema nervoso central (vasoconstrição, vasodilatação, calafrio e secreção de suor), cobrindo o estado estático e transiente de condições de extremo estresse devido ao frio e ao calor e níveis de atividade entre 0,8 – 10Met. O sistema passivo de controle é segmentado em diversas camadas representando o corpo humano e modela os mecanismos de troca de calor entre as diferentes partes do corpo e o meio, levando em consideração a transferência de calor e massa através de roupas não uniformes. O modelo de vestuário define, em detalhes, o isolamento e a resistência térmica e evaporativa da roupa para cada segmento do corpo sob uma ampla série de condições climáticas.

Dessa forma, o cálculo do *UTCI* leva em consideração: o comportamento adaptativo em relação ao isolamento térmico, a distribuição da roupa em diferentes partes do corpo e as alterações causadas no isolamento térmico e resistência evaporativa da roupa devido ao vento e à movimentação do corpo, além da alteração devida à velocidade do vento com relação à altura acima do solo (BRÖDE *et al.*, 2013).

O *UTCI* pode ser calculado através de uma sub-rotina escrita na linguagem *Fortran* ou através do *software BioKlima 2.6* (<http://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>) a partir da inserção da temperatura do ar, da velocidade do vento, da temperatura média radiante e do vapor de pressão da água como dados de entrada.

A resposta fisiológica dada pelo índice é representada dentro de uma escala de temperatura. Os diferentes valores são categorizados em termos de estresse térmico conforme apresentado no Quadro 44. Entretanto, os primeiros estudos realizados têm revelado que, apesar do índice ter uma boa capacidade preditiva, há uma necessidade de calibração, também são observadas algumas diferenças culturais com relação ao vestuário (BRÖDE *et al.*, 2011; MATEEVA, 2011; KRÜGER *et al.*, 2012a; ROSSI, 2012).

As limitações atribuídas ao *UTCI* dizem respeito aos valores fixos da taxa metabólica e do isolamento térmico do vestuário vinculados a determinantes físicos do meio térmico (BRÖDE *et al.*, 2013). Para os autores, numa análise mais profunda das condições de trabalho, é necessário considerar diversas cargas de trabalho, tempos de exposição e características do vestuário. Entretanto, consideram o *UTCI* uma ferramenta útil na avaliação da influência combinada da temperatura ambiente, vento, umidade e fluxos de radiação em

condições de trabalho externo, provendo respostas fisiologicamente válidas ao estresse térmico dentro de uma série que varia do extremo frio ao extremo calor.

Quadro 44 - Temperatura equivalente do *UTCI* categorizada em termos de estresse térmico.

<i>UTCI</i> (°C)	Categoria de estresse
Superior a + 46	Extremo estresse devido ao calor
+ 38 a + 46	Muito forte estresse devido ao calor
+ 32 a + 38	Forte estresse devido ao calor
+ 26 a + 32	Moderado estresse térmico
+ 9 a + 26	Nenhum estresse térmico
+ 9 a 0	Leve estresse devido ao frio
0 a - 13	Moderado estresse devido ao frio
- 13 a - 27	Forte estresse devido ao frio
- 27 a - 40	Muito forte estresse devido ao frio
Inferior a - 40	Extremo estresse devido ao frio

Fonte: Blazejczyk *et al.* (2013).

APÊNDICA C – MODELO DO QUESTIONÁRIO APLICADO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

CENTRO DE TECNOLOGIA – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Tese: Estudo dos parâmetros bioclimáticos na região litorânea do Estado do Ceará, Brasil.

Autora: Kety Vasconcelos Petalas

Professor Orientador: Francisco Suetônio Bastos Mota

Data: ____/____/____ Hora: _____ Local: _____ Questionário Número: _____

Por favor, responda as informações solicitadas abaixo:

1. Naturalidade: () Ceará () Outra. Qual Estado ou País? _____.
Há quanto tempo mora em Fortaleza? _____ anos.

2. Em qual Bairro de Fortaleza o(a) senhor(a) mora? _____.

3. Idade: _____ anos.

4. Sexo: () Feminino () Masculino

Peso: _____ Altura: _____ IMC = _____ (_____)

5. Fisicamente, como o(a) senhor(a) está se sentindo hoje?

() muito bem () normal () indisposto
() bem () levemente indisposto () muito indisposto

6. Qual a sua atividade profissional? _____.

7. Aproximadamente, já tem quanto tempo que o(a) senhor(a) se encontra aqui, nesse local?

() 5 a 10 minutos () 30 minutos a 1 hora
() 10 a 30 minutos () Mais de 1 hora

8. O que o(a) senhor(a) está vestindo nesse momento? Resistência do conjunto: _____.

camisa regata		saia de tecido pesado	
camisa de malha de mangas curtas		vestido s/ mangas	
camisa de malha de mangas longas		vestido c/ mangas curtas	
camisa de tecido de mangas curtas		jaqueta de tecido fino s/ mangas	
camisa de tecido de mangas longas		jaqueta de tecido leve c/ mangas curtas	
agasalho esportivo de algodão		jaqueta de tecido pesado c/ mangas longas	
gravata		paletó simples	
shorts		paletó transpassado	
bermuda		roupa íntima	
calça comprida de tecido fino		meia	
calça comprida de tecido pesado		sandália	
calça de agasalho esportivo de algodão		chinelos	
macacão		sapato ou tênis	
saia de tecido fino		botas	

9. Que atividade o(a) senhor(a) estava desenvolvendo antes de começar a responder esse questionário?

- | | | |
|---|--|--|
| <input type="checkbox"/> caminhando lentamente | <input type="checkbox"/> dirigindo | <input type="checkbox"/> em pé, relaxado |
| <input type="checkbox"/> caminhando moderadamente | <input type="checkbox"/> digitando | <input type="checkbox"/> fazendo ginástica |
| <input type="checkbox"/> caminhando rapidamente | <input type="checkbox"/> escrevendo | <input type="checkbox"/> limpando a casa |
| <input type="checkbox"/> correndo | <input type="checkbox"/> lendo | <input type="checkbox"/> cozinhando |
| <input type="checkbox"/> caminhando em terreno inclinado (5%) | <input type="checkbox"/> sentado, relaxado | <input type="checkbox"/> dormindo |
| <input type="checkbox"/> circulando | <input type="checkbox"/> trabalhando sentado | <input type="checkbox"/> outra_____. |
| | <input type="checkbox"/> trabalhando em pé | |

10. Como o(a) senhor(a) está se sentindo nesse momento?

- | | | | | |
|---|---|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> com muito frio | <input type="checkbox"/> fresco | <input type="checkbox"/> neutro | <input type="checkbox"/> com calor | <input type="checkbox"/> com calor extremo |
| <input type="checkbox"/> frio | <input type="checkbox"/> levemente fresco | <input type="checkbox"/> levemente com calor | <input type="checkbox"/> com muito calor | |

11. Como o(a) senhor(a) gostaria de estar se sentindo agora?

- | | | |
|--|---|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> bem mais fresco | <input type="checkbox"/> como está | <input type="checkbox"/> com calor |
| <input type="checkbox"/> levemente mais fresco | <input type="checkbox"/> com um pouco mais de calor | |

12. Como o(a) senhor(a) avalia o nível de umidade da sua pele nesse momento?

- | | |
|--|---|
| 1. A testa e o corpo estão secos | 5. As roupas estão parcialmente molhadas |
| 2. A pele está pegajosa, mas sem umidade visível | 6. As roupas estão quase completamente molhadas |
| 3. A umidade sobre a pele é visível | 7. As roupas estão encharcadas de suor |
| 4. A testa e o corpo estão suados | |

13. Considerando o clima nesse exato momento, como o(a) senhor(a) está se sentindo?

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> muito desconfortável | <input type="checkbox"/> nem desconfortável nem confortável | <input type="checkbox"/> muito confortável |
| <input type="checkbox"/> desconfortável | <input type="checkbox"/> confortável | |

14. Para melhorar seu nível de conforto térmico, o(a) senhor(a) costuma usar algum equipamento em casa?

- Não
- Sim. Qual? ventilador ar condicionado climatizador umidificador exaustor

E no trabalho?

- Não
- Sim. Qual? ventilador ar condicionado climatizador umidificador exaustor

15. O(a) senhor(a) costuma se proteger do sol e da claridade?

- Não
- Sim. Como? Usando chapéu protetor solar caminhando pela sombra sombrinha boné óculos escuros mangas longas outro_____.

16. O que mais lhe incomoda?

- | | | | |
|--|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> sol forte | <input type="checkbox"/> vento forte | <input type="checkbox"/> céu nublado | <input type="checkbox"/> nada |
| <input type="checkbox"/> claridade intensa | <input type="checkbox"/> tempo abafado | <input type="checkbox"/> chuva forte | <input type="checkbox"/> outro_____. |

17a. Com relação ao clima, qual o mês que o(a) senhor(a) se sente mais confortável? _____.

Por quê?

- | | | |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> o clima está mais fresco | <input type="checkbox"/> não faz nem calor nem frio | <input type="checkbox"/> o sol está fraco |
| <input type="checkbox"/> a temperatura mais baixa | <input type="checkbox"/> chove | <input type="checkbox"/> o céu está nublado |
| <input type="checkbox"/> está mais ventilado | <input type="checkbox"/> não chove muito | <input type="checkbox"/> _____. |

17b. E qual o mês que o(a) senhor(a) se sente mais desconfortável? _____.

Por quê?

- | | | |
|---|--|--|
| <input type="checkbox"/> está muito quente | <input type="checkbox"/> venta muito | <input type="checkbox"/> o ar está muito úmido |
| <input type="checkbox"/> o tempo está abafado | <input type="checkbox"/> chove muito | <input type="checkbox"/> o ar está seco |
| <input type="checkbox"/> o sol está forte | <input type="checkbox"/> não chove | <input type="checkbox"/> o céu está nublado |
| <input type="checkbox"/> não venta | <input type="checkbox"/> tempo fica instável | <input type="checkbox"/> _____. |

18. De maneira geral, como o(a) senhor(a) prefere se sentir?

- mais fresco mais aquecido neutro

19. Qual o turno do dia que o(a) senhor(a) considera termicamente mais agradável?

- | | | | |
|--|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> Manhã | <input type="checkbox"/> Tarde | <input type="checkbox"/> Noite | <input type="checkbox"/> Madrugada |
| <input type="checkbox"/> 06:00 – 08:00 | <input type="checkbox"/> 12:00 – 14:00 | <input type="checkbox"/> 18:00 – 20:00 | <input type="checkbox"/> 00:00 – 02:00 |
| <input type="checkbox"/> 08:00 – 10:00 | <input type="checkbox"/> 14:00 – 16:00 | <input type="checkbox"/> 20:00 – 22:00 | <input type="checkbox"/> 02:00 – 04:00 |
| <input type="checkbox"/> 10:00 – 12:00 | <input type="checkbox"/> 16:00 – 18:00 | <input type="checkbox"/> 22:00 – 24:00 | <input type="checkbox"/> 04:00 – 06:00 |

Por quê?

- | | | |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> o clima está mais fresco | <input type="checkbox"/> não faz nem calor nem frio | <input type="checkbox"/> o sol está fraco |
| <input type="checkbox"/> a temperatura mais baixa | <input type="checkbox"/> corre uma brisa fresca | <input type="checkbox"/> o ar está mais úmido |
| <input type="checkbox"/> está mais ventilado | <input type="checkbox"/> não tem sol | <input type="checkbox"/> _____. |

20. O que o(a) senhor(a) considera mais agradável no clima de Fortaleza?

- as brisas os ventos as temperaturas a baixa amplitude térmica diária e anual
 o céu limpo a umidade do ar as chuvas a quantidade de sol nada

Atenciosamente agradecemos por sua colaboração

APÊNDICE D – PLANILHAS DE MEDIÇÃO

Relatório das medições referentes aos questionários: _____

Período: _____ Data: _____ Local: _____

Horários	Velocidade do ar (m/s)	Escala de Beaufort	T _a (°C)	T _w (°C)	UR (%)	T _g (°C)	Nebulosidade (0/8)
09:00							
09:15							
09:30							
09:45							
10:00							
10:15							
10:30							
10:45							
11:00							
11:15							
11:30							
12:00							
12:15							
12:30							
12:45							
13:00							
13:15							
13:30							
13:45							
14:00							
14:15							
14:30							
14:45							
15:00							
15:15							
15:30							
15:45							
16:00							

Dados de referência da Estação Meteorológicas do Campus do Pici/UFC.

Horários	09:00h	15:00h
Temperatura do ar do termômetro de bulbo seco (°C)		
Temperatura do ar do termômetro de bulbo úmido (°C)		
Temperatura média		
Umidade relativa		
Velocidade do vento		
Insolação		
Nebulosidade		
Precipitação		

**APÊNDICE E – RELAÇÃO DOS BAIRROS QUE COMPÕEM CADA REGIONAL
SEGUNDO A PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA, CE**

Secretaria Regional do Centro de Fortaleza - SERCEFOR

Centro 34 pessoas entrevistadas

Secretaria Regional I – SER I

Álvaro Weyne 21 pessoas entrevistadas
 Barra do Ceará 43
 Carlito Pamplona 20
 Cristo Redentor 13
 Farias Brito 05
 Floresta 00
 Jacarecanga 20
 Jardim Guanabara 11
 Jardim Iracema 09
 Monte Castelo 10
 Moura Brasil 03
 Pirambu 08
 São Gerardo 11
 Vila Ellery 06
 Vila Velha 08

Secretaria Regional II – SER II

Aldeota 37 pessoas entrevistadas
 Cais do Porto 02
 Cidade 2000 03
 Cocó 06
 Dionísio Torres 31
 Guararapes 06
 Joaquim Távora 23
 Luciano Cavalcante 06
 Manuel Dias Branco 00
 Meireles 40
 Mucuripe 21
 Nossa Senhora de Lourdes 00
 Papicu 29
 Praia de Iracema 06
 Praia do Futuro 13
 Salinas 00
 São João do Tauape 21
 Varjota 11
 Vicente Pinzón 06

Secretaria Regional III – SER III

Amadeu Furtado	01 pessoa entrevistada
Antônio Bezerra	28
Autran Nunes	03
Bela Vista	10
Bonsucesso	07
Dom Lustosa	00
Henrique Jorge	16
João XXIII	15
Jóquei Clube	09
Padre Andrade	01
Parque Araxá	02
Parquelândia	17
Pici	14
Presidente Kennedy	08
Quintino Cunha	12
Rodolfo Teófilo	11

Secretaria Regional IV – SER IV

Aeroporto	00 pessoa entrevistada
Benfica	14
Bom Futuro	01
Couto Fernandes	00
Damas	11
Demócrito Rocha	05
Dendê	00
Fátima	29
Gentilândia	00
Itaoca	00
Itaperi	16
Jardim América	08
Montese	04
Pan Americano	36
Parangaba	07
Parreão	23
São José Bonifácio	00
Serrinha	16
Vila Pery	04
Vila União	06

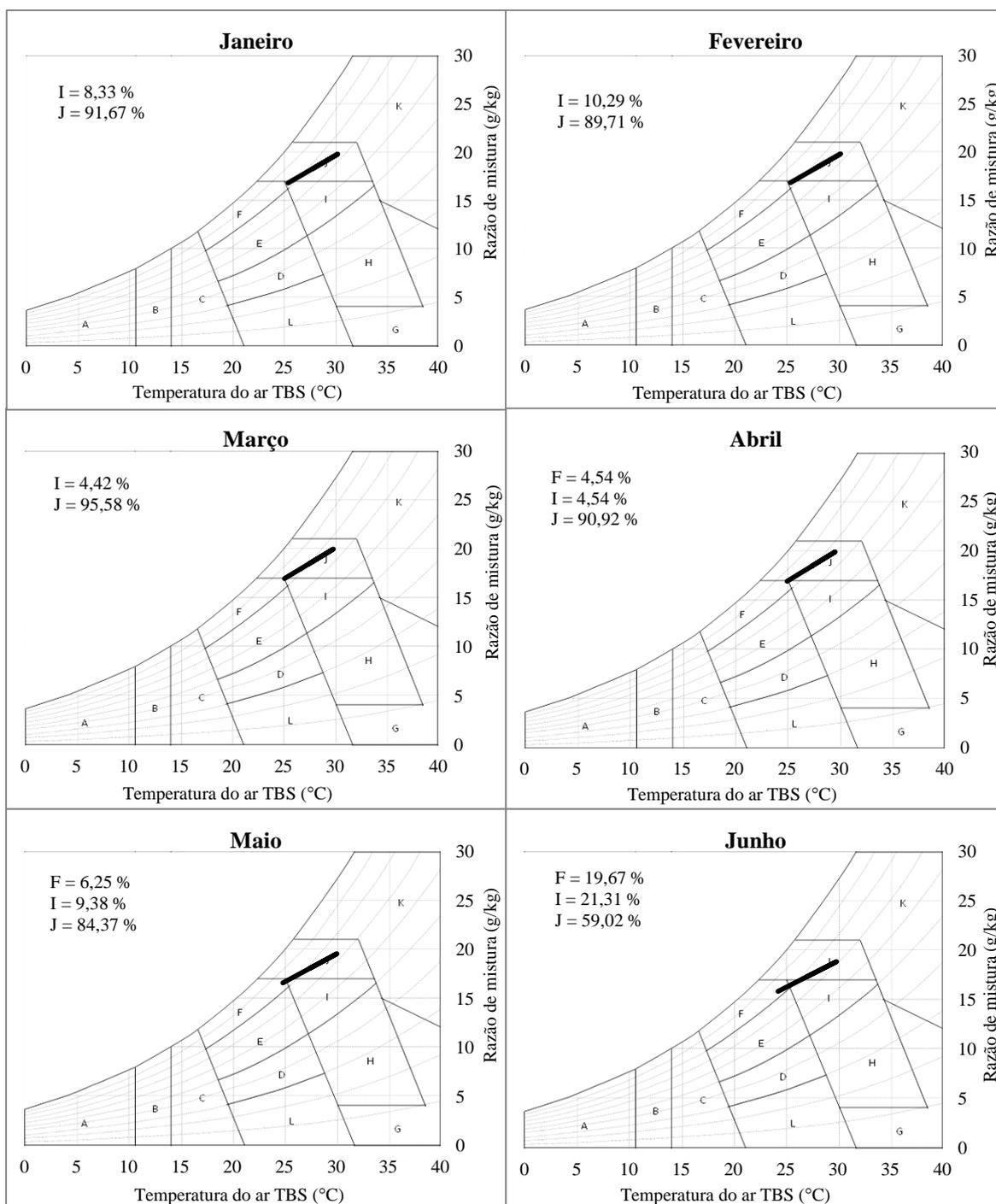
Secretaria Regional V – SER V

Bom Jardim	17 pessoas entrevistadas
Canindezinho	06
Conjunto Ceará	29
Conjunto Esperança	09
Genibaú	04
Granja Lisboa	03
Granja Portugal	11
Jardim Cearense	00
Maraponga	19
Mondubim	20
Parque Presidente Vargas	05
Parque Santa Rosa	05
Parque São José	00
Planalto Ayrton Senna	00
Prefeito José Walter	21
Siqueira	17
Vila Manoel Sátiro	07

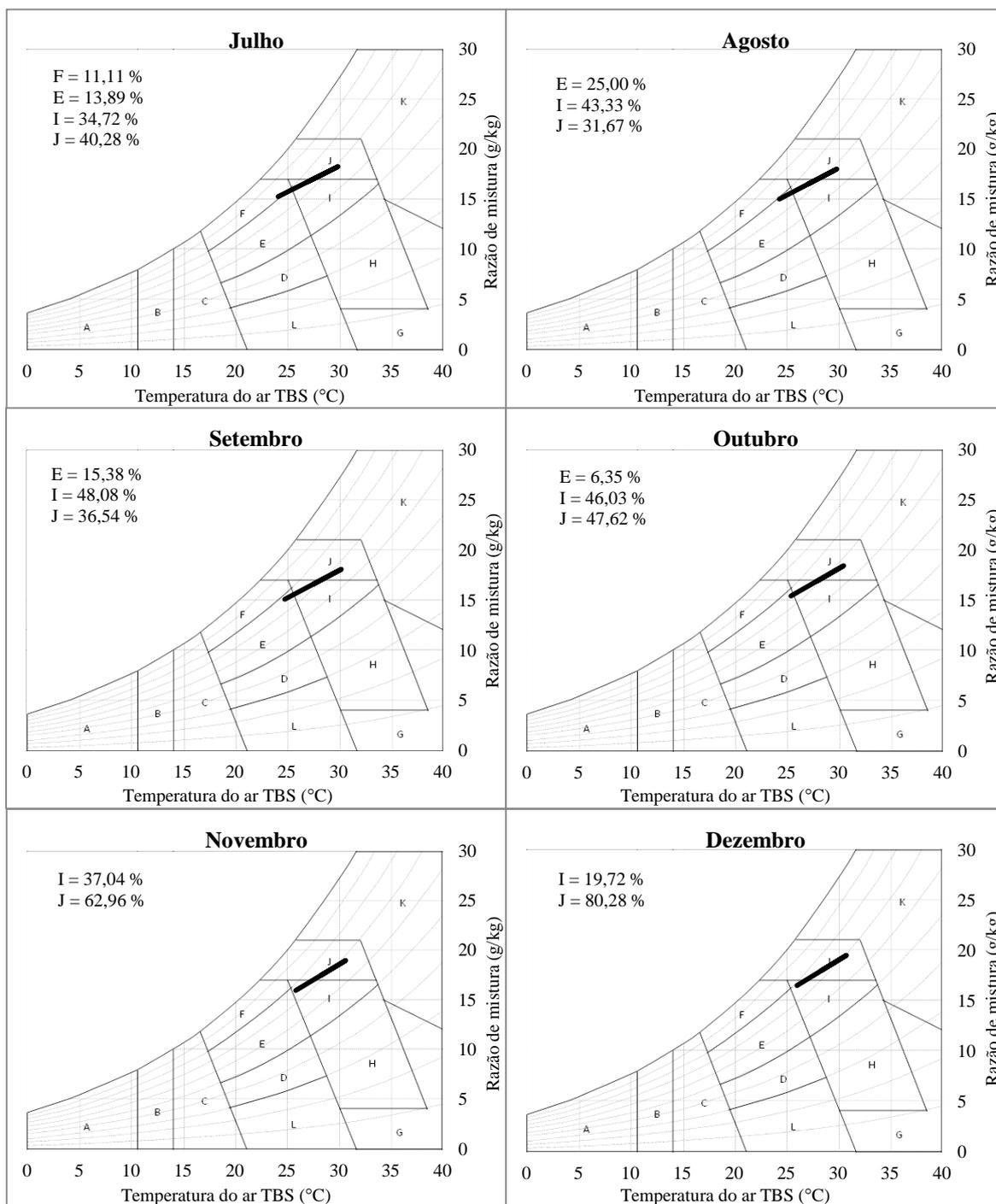
Secretaria Regional VI – SER VI

Aerolândia	13 pessoas entrevistadas
Alagadiço Novo	02
Auto da Balança	01
Ancuri	00
Barroso	04
Cajazeiras	03
Cambeba	04
Castelão	10
Cidade dos Funcionários	15
Coaçu	00
Conjunto Palmeiras	06
Curió	00
Dias Macêdo	04
Edson Queiroz	15
Guajerú	00
Jangurussu	09
Jardim das Oliveiras	05
Lagoa Redonda	04
Mata Galinha	00
Messejana	57
Parque Dois Irmãos	02
Parque Iracema	01
Parque Manibura	04
Passaré	15
Paupina	02
Pedras	01
Sabiaguaba	01
Sapiranga	01
São Bento	00

APÊNDICE F – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA CARTA BIOCLIMÁTICA DE FORTALEZA PARA CADA MÊS DO ANO



A – Zona de aquecimento artificial; B – Zona de aquecimento solar da edificação; C – Zona de massa térmica para aquecimento; D – Zona de conforto térmico (baixa umidade); E – Zona de conforto térmico; F – Zona de desumidificação (renovação do ar); G + H – Zona de resfriamento evaporativo; H + I – Zona de massa térmica de refrigeração; I + J – Zona de ventilação; K – Zona de refrigeração artificial; L – Zona de umidificação do ar.



A – Zona de aquecimento artificial; B – Zona de aquecimento solar da edificação; C – Zona de massa térmica para aquecimento; D – Zona de conforto térmico (baixa umidade); E – Zona de conforto térmico; F – Zona de desumidificação (renovação do ar); G + H – Zona de resfriamento evaporativo; H + I – Zona de massa térmica de refrigeração; I + J – Zona de ventilação; K – Zona de refrigeração artificial; L – Zona de umidificação do ar.

Fonte dos dados: Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional Pinto Martins.

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

**APÊNDICE G – TABELAS DE CONTINGÊNCIA DAS RELAÇÕES EM QUE
FORAM IDENTIFICADAS DEPENDÊNCIA ENTRE VARIÁVEIS**

Tabela G1 - Disposição Física x Sensação Térmica Atual.

Disposição Física		Sensação Térmica Atual						Total	
		Fresco	Levemente fresco	Neutro	Levemente aquecido	Quente	Muito quente		Calor extremo
Muito bem	F _{abs}	26	23	31	35	25	7	0	147
	F _{rel}	17,7%	15,6%	21,1%	23,8%	17,0%	4,8%	0,0%	100,0%
Bem	F _{abs}	89	75	143	185	112	30	2	636
	F _{rel}	14,0%	11,8%	22,5%	29,1%	17,6%	4,7%	,3%	100,0%
Normal	F _{abs}	19	24	49	88	51	26	3	260
	F _{rel}	7,3%	9,2%	18,8%	33,8%	19,6%	10,0%	1,2%	100,0%
Levemente indisposto	F _{abs}	19	26	39	64	57	27	0	232
	F _{rel}	8,2%	11,2%	16,8%	27,6%	24,6%	11,6%	0,0%	100,0%
Indisposto	F _{abs}	1	2	5	6	5	2	1	22
	F _{rel}	4,5%	9,1%	22,7%	27,3%	22,7%	9,1%	4,5%	100,0%
Total	F _{abs}	154	150	267	378	250	92	6	1297
	F _{rel}	11,9%	11,6%	20,6%	29,1%	19,3%	7,1%	,5%	100,0%

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Tabela G2 - Umidade da Pele x Sensação Térmica Atual.

Umidade da Pele		Sensação Térmica Atual						Total	
		Fresco	Levemente fresco	Neutro	Levemente aquecido	Quente	Muito quente		Calor extremo
Testa e corpo secos	F _{abs}	114	98	170	127	62	14	0	585
	F _{rel}	19,5%	16,8%	29,1%	21,7%	10,6%	2,4%	0,0%	100,0%
Pele pegajosa, mas s/umidade visível	F _{abs}	24	22	40	76	56	16	1	235
	F _{rel}	10,2%	9,4%	17,0%	32,3%	23,8%	6,8%	,4%	100,0%
Umidade visível	F _{abs}	12	13	40	114	64	21	1	265
	F _{rel}	4,5%	4,9%	15,1%	43,0%	24,2%	7,9%	,4%	100,0%
A testa e o corpo estão suados	F _{abs}	3	10	14	36	41	22	1	127
	F _{rel}	2,4%	7,9%	11,0%	28,3%	32,3%	17,3%	,8%	100,0%
Roupas parcialmente molhadas	F _{abs}	1	5	3	24	27	16	2	78
	F _{rel}	1,3%	6,4%	3,8%	30,8%	34,6%	20,5%	2,6%	100,0%
Roupas quase completamente molhadas	F _{abs}	0	2	0	1	0	3	1	7
	F _{rel}	0,0%	28,6%	0,0%	14,3%	0,0%	42,9%	14,3%	100,0%
Total	F _{abs}	154	150	267	378	250	92	6	1297
	F _{rel}	11,9%	11,6%	20,6%	29,1%	19,3%	7,1%	,5%	100,0%

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Tabela G3 - Umidade da Pele x Nível de Conforto.

Umidade da Pele		Nível de Conforto					Total
		Muito desconfortável	Desconfortável	Neutro	Confortável	Muito confortável	
Testa e corpo secos	F _{abs}	12	84	204	279	6	585
	F _{rel}	2,1%	14,4%	34,9%	47,7%	1,0%	100,0%
Pele pegajosa, mas s/umidade visível	F _{abs}	4	85	80	63	3	235
	F _{rel}	1,7%	36,2%	34,0%	26,8%	1,3%	100,0%
Umidade visível	F _{abs}	10	85	113	56	1	265
	F _{rel}	3,8%	32,1%	42,6%	21,1%	,4%	100,0%
A testa e o corpo estão suados	F _{abs}	9	47	53	16	2	127
	F _{rel}	7,1%	37,0%	41,7%	12,6%	1,6%	100,0%
Roupas parcialmente molhadas	F _{abs}	5	39	24	10	0	78
	F _{rel}	6,4%	50,0%	30,8%	12,8%	0,0%	100,0%
Roupas quase completamente molhadas	F _{abs}	3	1	2	1	0	7
	F _{rel}	42,9%	14,3%	28,6%	14,3%	0,0%	100,0%
Total	F _{abs}	43	341	476	425	12	1297
	F _{rel}	3,3%	26,3%	36,7%	32,8%	,9%	100,0%

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Tabela G4 - Sensação Térmica Atual x Sensação Térmica Desejada.

Sensação Térmica Atual		Sensação Térmica Desejada				Total
		Bem mais fresco	Levemente mais fresco	Como está	Pouco mais de calor	
Fresco	F _{abs}	26	15	109	4	154
	F _{rel}	16,9%	9,7%	70,8%	2,6%	100,0%
Levemente fresco	F _{abs}	61	12	75	2	150
	F _{rel}	40,7%	8,0%	50,0%	1,3%	100,0%
Neutro	F _{abs}	95	57	115	0	267
	F _{rel}	35,6%	21,3%	43,1%	0,0%	100,0%
Levemente aquecido	F _{abs}	240	103	35	0	378
	F _{rel}	63,5%	27,2%	9,3%	0,0%	100,0%
Quente	F _{abs}	207	30	13	0	250
	F _{rel}	82,8%	12,0%	4,8%	,4%	100,0%
Muito quente	F _{abs}	81	10	1	0	92
	F _{rel}	88,0%	10,9%	1,1%	0,0%	100,0%
Calor extremo	F _{abs}	5	0	1	0	6
	F _{rel}	83,3%	0,0%	16,7%	0,0%	100,0%
Total	F _{abs}	715	227	349	6	1297
	F _{rel}	55,1%	17,5%	26,9%	0,5%	100,0%

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

Tabela G5 – Índice de Massa Corpórea (IMC) x Sensação Térmica Desejada.

Classificação IMC		Sensação Térmica Desejada				Total
		Bem mais fresco	Levemente mais fresco	Como está	Pouco mais de calor	
Abaixo do Peso	F _{abs}	33	6	5	2	46
	F _{rel}	71,74%	13,04%	10,87%	4,35%	100,00%
Peso Normal	F _{abs}	341	121	157	4	623
	F _{rel}	54,74%	19,42%	25,20%	0,64%	100,00%
Acima do Peso	F _{abs}	237	77	133	0	447
	F _{rel}	53,02%	17,23%	29,75%	0,00%	100,00%
Obesidade classe I	F _{abs}	79	18	47	0	144
	F _{rel}	54,86%	12,50%	32,64%	0,00%	100,00%
Obesidade severa	F _{abs}	18	4	5	0	27
	F _{rel}	66,67%	14,81%	18,52%	0,00%	100,00%
Obesidade mórbida	F _{abs}	7	1	2	0	10
	F _{rel}	70,00%	10,00%	20,00%	0,00%	100,00%
Total	F _{abs}	715	227	349	6	1297
	F _{rel}	55,13%	17,50%	26,91%	0,46%	100,00%

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

APÊNDICE H – DADOS DAS MEDIÇÕES UTILIZADAS NAS ANÁLISES *PROBIT*

Tabela H1 – Dados das medições utilizadas nas análises *probit*.

Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio	Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio
6711_1	1,0	0,0	0,0	7711_11	3,0	1,5	3,0
6711_2	2,0	0,0	1,5	7711_12	1,0	0,0	1,0
6711_3	2,0	0,0	2,0	7711_13	1,0	0,5	1,0
6711_4	1,0	0,0	1,0	7711_14	1,0	1,0	1,0
6711_5	2,0	0,0	1,0	7711_15	1,0	0,0	1,0
6711_6	2,0	1,0	2,0	7711_16	2,0	2,0	2,0
6711_7	1,0	0,0	1,0	7711_17	1,0	0,5	1,0
6711_8	3,0	2,0	3,0	7711_18	1,0	0,0	0,0
6711_9	1,0	0,0	1,0	13711_1	2,0	0,0	0,0
6711_10	1,0	0,0	0,0	13711_2	2,0	0,0	1,5
6711_11	1,0	1,0	1,0	13711_3	2,0	0,0	0,5
6711_12	1,0	0,0	1,0	13711_4	2,0	1,5	2,0
6711_13	1,0	0,0	1,0	13711_5	2,0	0,5	1,5
6711_14	2,0	0,5	1,0	13711_6	1,0	0,5	1,0
6711_15	1,0	0,0	0,0	13711_7	1,0	0,0	0,5
6711_16	1,0	0,0	0,0	13711_8	1,0	0,5	1,0
6711_17	1,0	0,0	0,0	13711_9	1,0	0,0	1,0
6711_18	1,0	0,0	1,0	13711_10	1,0	0,5	1,0
6711_19	1,0	0,0	1,0	13711_11	2,0	1,0	2,0
6711_20	1,0	0,0	1,0	13711_12	2,0	1,5	2,0
6711_21	1,0	0,5	1,0	13711_13	1,0	0,0	0,5
6711_22	2,0	1,0	1,5	13711_14	2,0	1,0	1,0
6711_23	1,0	0,0	0,0	13711_15	2,0	0,0	2,0
6711_24	2,0	0,0	2,0	13711_16	2,0	0,0	1,5
6711_25	1,0	0,0	0,5	13711_17	1,0	0,5	1,0
7711_1	3,0	2,0	3,0	13711_18	2,0	0,5	2,0
7711_2	3,0	0,5	1,0	13711_19	2,0	0,5	1,5
7711_3	1,0	1,0	1,0	13711_20	2,0	1,0	2,0
7711_4	3,0	0,5	2,0	13711_21	2,0	0,5	1,5
7711_5	1,0	0,5	1,0	13711_22	1,0	0,0	1,0
7711_6	3,0	0,0	3,0	13711_23	1,0	0,5	1,0
7711_7	4,0	1,5	3,5	19711_1	3,0	1,0	3,0
7711_8	3,0	1,5	3,0	19711_2	2,0	0,0	1,0
7711_9	1,0	0,0	0,5	19711_3	1,0	0,5	1,0
7711_10	4,0	1,5	4,0	19711_4	1,0	0,5	1,0

(continua)

Tabela H1 – Dados das medições utilizadas nas análises *probit* (continuação).

Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio	Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio
19711_5	1,0	0,5	1,0	20711_16	3,0	0,0	3,0
19711_6	2,0	1,5	2,0	20711_17	2,0	2,0	2,0
19711_7	1,0	0,0	1,0	20711_18	2,0	2,0	2,0
19711_8	1,0	1,0	1,0	20711_19	1,0	0,0	1,0
19711_9	1,0	1,0	1,0	21711_1	2,0	1,0	1,5
19711_10	2,0	0,0	1,0	21711_2	1,0	0,0	1,0
19711_11	1,0	0,5	1,0	21711_3	2,0	0,0	1,5
19711_12	1,0	0,5	1,0	21711_4	2,0	0,5	2,0
19711_13	2,0	1,5	2,0	21711_5	1,0	0,5	1,0
19711_14	1,0	0,0	0,0	21711_6	1,0	0,0	1,0
19711_15	1,0	0,0	0,5	21711_7	2,0	0,0	1,0
19711_16	2,0	0,0	1,0	21711_8	1,0	0,5	1,0
19711_17	1,0	0,5	1,0	21711_9	2,0	0,0	1,0
19711_18	1,0	0,0	0,5	21711_10	2,0	1,0	1,5
19711_19	1,0	0,0	0,5	21711_11	2,0	0,5	1,5
19711_20	1,0	0,0	0,5	21711_12	1,0	0,5	1,0
19711_21	2,0	0,0	2,0	21711_13	1,0	0,0	0,5
19711_22	3,0	3,0	3,0	21711_14	2,0	1,0	1,5
19711_23	1,0	1,0	1,0	21711_15	2,0	1,0	1,0
19711_24	3,0	1,0	3,0	21711_16	1,0	0,0	0,0
19711_25	2,0	0,5	1,0	21711_17	2,0	1,0	2,0
19711_26	1,0	0,0	0,5	21711_18	2,0	0,0	1,0
20711_1	2,0	0,0	0,0	21711_19	2,0	1,5	2,0
20711_2	1,0	0,0	0,5	21711_20	3,0	0,0	3,0
20711_3	2,0	1,0	2,0	21711_21	3,0	0,5	2,5
20711_4	1,0	0,5	1,0	21711_22	2,0	1,0	1,0
20711_5	1,0	0,0	1,0	21711_23	3,0	0,5	2,0
20711_6	1,0	0,0	1,0	22711_1	1,0	0,0	1,0
20711_7	1,0	0,0	0,5	22711_2	2,0	0,5	1,5
20711_8	2,0	0,5	1,0	22711_3	2,0	0,5	1,5
20711_9	1,0	0,5	1,0	22711_4	2,0	1,0	2,0
20711_10	1,0	0,5	1,0	22711_5	3,0	0,0	1,5
20711_11	3,0	1,5	3,0	22711_6	1,0	0,0	0,0
20711_12	1,0	0,5	1,0	22711_7	2,0	0,5	1,0
20711_13	2,0	0,0	2,0	22711_8	2,0	2,0	2,0
20711_14	1,0	0,0	1,0	22711_9	1,0	0,0	1,0
20711_15	2,0	1,0	2,0	22711_10	1,0	0,0	1,0

(continua)

Tabela H1 – Dados das medições utilizadas nas análises *probit* (continuação).

Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio	Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio
22711_11	1,0	0,5	1,0	31811_3	1,0	0,5	1,0
22711_12	1,0	0,5	1,0	31811_4	2,0	1,5	2,0
22711_13	2,0	0,5	1,5	31811_5	1,0	1,0	1,0
22711_14	1,0	0,5	1,0	31811_6	2,0	1,0	2,0
22711_15	3,0	1,5	2,0	31811_7	1,0	0,0	0,0
22711_16	2,0	1,0	1,0	31811_8	3,0	2,0	3,0
22711_17	1,0	0,5	1,0	31811_9	1,0	0,5	1,0
22711_18	1,0	0,5	1,0	31811_10	2,0	2,0	2,0
22711_19	1,0	0,0	1,0	31811_11	1,0	0,5	1,0
22711_20	3,0	0,5	2,5	31811_12	1,0	0,5	1,0
22711_21	2,0	1,0	1,0	31811_13	1,0	1,0	1,0
22711_22	1,0	1,0	1,0	31811_14	2,0	0,5	2,0
22711_23	2,0	1,5	2,0	31811_15	2,0	1,0	2,0
26711_1	1,0	0,0	0,0	31811_16	1,0	1,0	1,0
26711_2	2,0	0,0	1,0	31811_17	2,0	0,0	2,0
26711_3	1,0	1,0	1,0	31811_18	1,0	0,0	0,5
26711_4	1,0	0,0	0,0	31811_19	2,0	1,0	2,0
26711_5	2,0	0,0	1,0	31811_20	1,0	0,5	1,0
26711_6	1,0	0,0	1,0	31811_21	2,0	1,5	2,0
26711_7	1,0	0,0	0,0	31811_22	1,0	0,0	1,0
26711_8	1,0	0,0	1,0	31811_23	1,0	1,0	1,0
26711_9	2,0	1,0	1,0	2911_1	2,0	0,5	1,0
26711_10	1,0	0,0	1,0	2911_2	1,0	0,0	1,0
26711_11	1,0	1,0	1,0	2911_3	2,0	1,0	2,0
26711_12	1,0	0,5	1,0	2911_4	2,0	0,0	1,0
26711_13	2,0	1,5	2,0	2911_5	3,0	1,0	2,0
26711_14	2,0	1,0	1,5	2911_6	1,0	0,5	1,0
26711_15	1,0	0,0	0,5	2911_7	2,0	0,0	0,5
26711_16	2,0	1,5	2,0	2911_8	1,0	0,0	0,5
26711_17	2,0	1,0	2,0	2911_9	1,0	0,0	0,0
26711_18	2,0	0,0	2,0	2911_10	1,0	1,0	1,0
26711_19	2,0	1,0	1,5	2911_11	2,0	0,5	1,5
26711_20	3,0	2,5	3,0	2911_12	1,0	0,5	1,0
26711_21	1,0	0,5	1,0	2911_13	2,0	0,5	1,5
26711_22	1,0	0,0	0,5	2911_14	1,0	1,0	1,0
26711_23	1,0	1,0	1,0	2911_15	2,0	1,0	2,0
31811_1	3,0	0,5	2,5	2911_16	1,0	1,0	1,0
31811_2	3,0	0,5	2,5	2911_17	2,0	1,0	2,0

(continua)

Tabela H1 – Dados das medições utilizadas nas análises *probit* (continuação).

Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio	Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio
2911_18	1,0	1,0	1,0	8911_8	2,0	1,0	2,0
2911_19	1,0	0,0	0,5	8911_9	1,0	0,5	1,0
2911_20	1,0	0,0	0,0	8911_10	3,0	1,5	2,5
2911_21	1,0	0,0	0,5	8911_11	1,0	0,0	1,0
2911_22	2,0	1,0	2,0	8911_12	2,0	1,5	2,0
2911_23	1,0	0,0	0,0	8911_13	2,0	0,0	1,0
6911_1	1,0	1,0	1,0	8911_14	2,0	0,0	2,0
6911_2	1,0	0,0	1,0	8911_15	1,0	0,0	0,5
6911_3	2,0	0,5	1,5	8911_16	2,0	0,5	1,5
6911_4	2,0	0,0	1,5	8911_17	1,0	0,0	1,0
6911_5	2,0	1,0	2,0	8911_18	2,0	1,0	1,5
6911_6	1,0	0,5	1,0	8911_19	1,0	0,0	1,0
6911_7	2,0	0,5	2,0	8911_20	2,0	0,0	1,5
6911_8	1,0	0,5	1,0	8911_21	1,0	0,0	1,0
6911_9	1,0	0,0	0,5	8911_22	1,0	0,0	0,5
6911_10	2,0	1,0	1,0	8911_23	1,0	0,0	1,0
6911_11	1,0	0,0	0,5	8911_24	1,0	0,0	1,0
6911_12	1,0	0,5	1,0	8911_25	1,0	0,0	0,0
6911_13	1,0	1,0	1,0	9911_1	2,0	0,5	1,0
6911_14	2,0	0,5	2,0	9911_2	2,0	0,5	1,0
6911_15	1,0	0,5	1,0	9911_3	1,0	0,0	1,0
6911_16	1,0	1,0	1,0	9911_4	1,0	0,0	1,0
6911_17	2,0	1,0	1,5	9911_5	2,0	0,0	1,5
6911_18	1,0	1,0	1,0	9911_6	2,0	0,0	2,0
6911_19	2,0	1,5	2,0	9911_7	1,0	0,5	1,0
6911_20	1,0	0,5	0,5	9911_8	3,0	1,0	2,5
6911_21	2,0	1,0	2,0	9911_9	2,0	1,5	2,0
6911_22	1,0	0,0	1,0	9911_10	1,0	0,5	1,0
6911_23	1,0	1,0	1,0	9911_11	2,0	0,0	0,5
6911_24	2,0	1,0	2,0	9911_12	2,0	0,0	2,0
6911_25	1,0	0,5	1,0	9911_13	1,0	0,5	1,0
8911_1	1,0	0,0	0,0	9911_14	1,0	0,0	0,5
8911_2	2,0	0,0	1,0	9911_15	2,0	0,5	1,0
8911_3	1,0	0,5	1,0	9911_16	2,0	0,5	2,0
8911_4	3,0	2,0	3,0	9911_17	2,0	1,0	1,0
8911_5	1,0	1,0	1,0	9911_18	1,0	0,5	1,0
8911_6	2,0	0,5	2,0	9911_19	1,0	0,0	1,0
8911_7	2,0	0,0	0,5	9911_20	1,0	0,0	1,0

(continua)

Tabela H1 – Dados das medições utilizadas nas análises *probit* (continuação).

Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio	Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio
9911_21	2,0	1,5	2,0	14911_7	2,0	0,0	0,5
9911_22	1,0	0,5	1,0	14911_8	1,0	1,0	1,0
9911_23	1,0	0,0	0,0	14911_9	2,0	0,0	1,5
9911_24	1,0	0,0	1,0	14911_10	1,0	0,0	1,0
9911_25	2,0	0,0	1,5	14911_11	1,0	1,0	1,0
9911_26	1,0	0,0	1,0	14911_12	2,0	1,0	2,0
13911_1	1,0	1,0	1,0	14911_13	2,0	0,0	0,0
13911_2	1,0	0,0	0,5	14911_14	1,0	1,0	1,0
13911_3	1,0	0,0	1,0	14911_15	2,0	0,5	2,0
13911_4	1,0	0,0	1,0	14911_16	2,0	1,5	2,0
13911_5	2,0	0,5	1,5	14911_17	1,0	0,5	1,0
13911_6	1,0	0,0	0,5	14911_18	1,0	0,5	1,0
13911_7	1,0	0,0	1,0	14911_19	2,0	1,0	2,0
13911_8	1,0	0,0	1,0	14911_20	1,0	1,0	1,0
13911_9	1,0	0,0	0,5	14911_21	2,0	1,5	2,0
13911_10	1,0	0,0	0,0	14911_22	1,0	0,5	1,0
13911_11	2,0	0,5	2,0	14911_23	2,0	1,5	2,0
13911_12	1,0	0,0	1,0	14911_24	1,0	1,0	1,0
13911_13	2,0	2,0	2,0	14911_25	1,0	0,5	1,0
13911_14	1,0	0,0	1,0	14911_26	1,0	0,0	1,0
13911_15	2,0	1,0	1,0	14911_27	2,0	0,5	1,5
13911_16	2,0	0,0	1,0	15911_1	2,0	0,0	0,5
13911_17	2,0	0,5	2,0	15911_2	1,0	0,0	1,0
13911_18	1,0	0,5	1,0	15911_3	2,0	0,5	2,0
13911_19	2,0	0,5	1,5	15911_4	1,0	1,0	1,0
13911_20	1,0	0,0	0,0	15911_5	3,0	0,5	3,0
13911_21	1,0	0,0	1,0	15911_6	2,0	0,0	2,0
13911_22	2,0	1,0	2,0	15911_7	1,0	0,5	1,0
13911_23	1,0	0,0	1,0	15911_8	1,0	1,0	1,0
13911_24	2,0	1,0	2,0	15911_9	3,0	1,5	2,5
13911_25	1,0	0,0	1,0	15911_10	1,0	0,0	1,0
13911_26	1,0	0,5	1,0	15911_11	2,0	1,0	2,0
14911_1	2,0	0,0	1,5	15911_12	1,0	1,0	1,0
14911_2	1,0	0,0	1,0	15911_13	2,0	1,5	2,0
14911_3	1,0	0,0	1,0	15911_14	1,0	0,0	1,0
14911_4	1,0	0,0	1,0	15911_15	2,0	1,0	1,5
14911_5	2,0	0,0	2,0	15911_16	1,0	0,0	1,0
14911_6	2,0	0,0	1,0	15911_17	2,0	2,0	2,0

(continua)

Tabela H1 – Dados das medições utilizadas nas análises *probit* (continuação).

Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio	Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio
15911_18	1,0	0,5	1,0	6112_10	2,0	1,0	1,0
15911_19	2,0	0,0	2,0	6112_11	1,0	0,0	1,0
15911_20	1,0	0,0	0,0	6112_12	1,0	1,0	1,0
15911_21	1,0	0,5	1,0	6112_13	2,0	0,0	1,0
15911_22	1,0	0,5	1,0	6112_14	1,0	0,5	1,0
5112_1	2,0	1,5	2,0	6112_15	1,0	0,0	0,5
5112_2	1,0	0,5	1,0	6112_16	2,0	1,0	2,0
5112_3	1,0	0,0	1,0	6112_17	2,0	1,0	1,5
5112_4	1,0	0,5	1,0	6112_18	2,0	1,0	2,0
5112_5	1,0	0,0	1,0	6112_19	2,0	0,5	1,0
5112_6	2,0	2,0	2,0	6112_20	1,0	0,0	0,0
5112_7	2,0	1,5	2,0	6112_21	3,0	2,0	3,0
5112_8	2,0	0,5	1,5	6112_22	1,0	0,0	0,0
5112_9	1,0	0,0	0,0	6112_23	2,0	1,0	1,0
5112_10	2,0	1,0	2,0	6112_24	2,0	1,0	1,5
5112_11	1,0	0,5	1,0	6112_25	2,0	0,0	1,0
5112_12	2,0	2,0	2,0	6112_26	1,0	0,0	0,0
5112_13	2,0	0,5	2,0	11112_1	1,0	0,5	1,0
5112_14	1,0	1,0	1,0	11112_2	2,0	1,5	2,0
5112_15	1,0	0,5	1,0	11112_3	2,0	0,0	1,0
5112_16	3,0	1,5	3,0	11112_4	3,0	2,5	3,0
5112_17	2,0	0,5	1,5	11112_5	1,0	0,0	0,5
5112_18	1,0	1,0	1,0	11112_6	1,0	0,5	1,0
5112_19	1,0	1,0	1,0	11112_7	1,0	0,0	1,0
5112_20	1,0	1,0	1,0	11112_8	2,0	0,0	1,0
5112_21	1,0	0,0	0,0	11112_9	2,0	2,0	2,0
5112_22	1,0	0,5	1,0	11112_10	1,0	1,0	1,0
5112_23	3,0	2,0	3,0	11112_11	1,0	0,0	1,0
5112_24	1,0	0,5	1,0	11112_12	1,0	1,0	1,0
6112_1	1,0	0,5	1,0	11112_13	1,0	1,0	1,0
6112_2	1,0	0,0	0,0	11112_14	1,0	1,0	1,0
6112_3	3,0	0,5	2,5	11112_15	3,0	2,0	3,0
6112_4	2,0	0,0	2,0	11112_16	2,0	1,0	2,0
6112_5	2,0	2,0	2,0	11112_17	2,0	1,5	2,0
6112_6	2,0	0,0	1,5	11112_18	1,0	0,0	0,0
6112_7	1,0	0,0	0,5	11112_19	2,0	1,0	1,0
6112_8	1,0	0,0	0,5	11112_20	1,0	0,0	0,5
6112_9	2,0	1,5	2,0	12112_1	1,0	0,0	1,0

(continua)

Tabela H1 – Dados das medições utilizadas nas análises *probit* (continuação).

Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio	Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio
12112_2	1,0	0,5	1,0	13112_13	2,0	1,5	2,0
12112_3	2,0	0,5	2,0	13112_14	1,0	1,0	1,0
12112_4	2,0	0,5	1,5	13112_15	2,0	2,0	2,0
12112_5	1,0	0,5	1,0	13112_16	2,0	2,0	2,0
12112_6	1,0	0,0	1,0	13112_17	1,0	0,5	1,0
12112_7	3,0	0,5	2,5	13112_18	1,0	0,5	1,0
12112_8	1,0	1,0	1,0	13112_19	2,0	0,0	2,0
12112_9	1,0	0,0	0,0	13112_20	1,0	1,0	1,0
12112_10	2,0	0,5	2,0	13112_21	1,0	1,0	1,0
12112_11	1,0	0,5	1,0	13112_22	2,0	0,5	2,0
12112_12	1,0	0,0	0,0	16112_1	4,0	1,0	3,0
12112_13	1,0	0,5	1,0	16112_2	2,0	0,0	2,0
12112_14	2,0	1,5	2,0	16112_3	6,0	2,0	4,5
12112_15	1,0	0,0	1,0	16112_4	3,0	1,0	2,5
12112_16	1,0	0,5	1,0	16112_5	2,0	0,0	1,5
12112_17	1,0	0,0	0,0	16112_6	2,0	0,5	2,0
12112_18	2,0	0,5	1,5	16112_7	5,0	2,5	4,5
12112_19	1,0	1,0	1,0	16112_8	1,0	0,0	1,0
12112_20	2,0	0,5	2,0	16112_9	3,0	1,0	2,5
12112_21	1,0	0,0	1,0	16112_10	2,0	0,0	2,0
12112_22	1,0	1,0	1,0	16112_11	2,0	1,5	2,0
12112_23	1,0	0,0	0,0	16112_12	1,0	1,0	1,0
12112_24	1,0	0,5	1,0	16112_13	1,0	0,0	0,5
12112_25	1,0	0,5	1,0	16112_14	2,0	1,0	2,0
12112_26	1,0	1,0	1,0	16112_15	1,0	0,0	1,0
12112_27	1,0	0,0	1,0	16112_16	2,0	1,0	2,0
13112_1	2,0	0,5	2,0	16112_17	4,0	2,0	4,0
13112_2	1,0	0,5	1,0	16112_18	2,0	1,0	1,0
13112_3	3,0	1,5	3,0	16112_19	4,0	2,5	4,0
13112_4	4,0	1,0	3,0	16112_20	1,0	1,0	1,0
13112_5	6,0	1,5	4,5	16112_21	1,0	0,0	0,5
13112_6	2,0	0,5	1,5	17112_1	4,0	1,5	2,0
13112_7	2,0	1,5	2,0	17112_2	4,0	1,5	3,0
13112_8	2,0	1,0	2,0	17112_3	5,0	3,5	5,0
13112_9	4,0	4,0	4,0	17112_4	3,0	0,5	3,0
13112_10	2,0	2,0	2,0	17112_5	4,0	2,5	4,0
13112_11	3,0	2,0	3,0	17112_6	3,0	1,0	2,0
13112_12	2,0	1,5	2,0	17112_7	4,0	0,5	2,5

(continua)

Tabela H1 – Dados das medições utilizadas nas análises *probit* (continuação).

Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio	Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio
17112_8	2,0	0,0	0,5	23312_11	1,0	1,0	1,0
17112_9	5,0	3,0	4,0	23312_12	4,0	2,5	4,0
17112_10	2,0	0,5	1,0	23312_13	1,0	0,5	1,0
17112_11	4,0	3,5	4,0	23312_14	5,0	4,0	5,0
17112_12	3,0	0,5	2,0	23312_15	2,0	0,5	1,5
17112_13	3,0	1,5	2,5	23312_16	2,0	2,0	2,0
17112_14	1,0	0,0	1,0	23312_17	2,0	1,5	2,0
17112_15	1,0	0,5	1,0	23312_18	5,0	3,5	5,0
17112_16	3,0	0,5	1,0	23312_19	2,0	2,0	2,0
17112_17	2,0	0,5	1,0	23312_20	3,0	2,0	3,0
17112_18	3,0	2,0	2,5	23312_21	1,0	1,0	1,0
17112_19	3,0	2,5	3,0	26312_1	2,0	1,0	2,0
17112_20	2,0	1,0	1,5	26312_2	2,0	0,0	1,0
17112_21	3,0	0,5	3,0	26312_3	4,0	3,0	4,0
17112_22	1,0	1,0	1,0	26312_4	4,0	2,0	4,0
17112_23	1,0	0,5	1,0	26312_5	4,0	0,5	3,5
17112_24	1,0	0,5	1,0	26312_6	3,0	3,0	3,0
20112_1	2,0	0,5	2,0	26312_7	1,0	1,0	1,0
20112_2	5,0	1,5	5,0	26312_8	4,0	2,0	3,0
20112_3	3,0	2,0	3,0	26312_9	2,0	0,0	1,0
20112_4	4,0	2,0	4,0	26312_10	2,0	1,5	2,0
20112_5	3,0	1,0	3,0	26312_11	3,0	1,0	3,0
20112_6	4,0	2,0	4,0	26312_12	2,0	1,5	2,0
20112_7	3,0	1,5	3,0	26312_13	6,0	2,5	4,5
20112_8	3,0	1,0	2,5	26312_14	2,0	0,5	2,0
20112_9	4,0	1,0	3,5	26312_15	7,0	4,5	6,0
20112_10	3,0	2,5	3,0	26312_16	3,0	1,5	3,0
20112_11	1,0	0,0	1,0	26312_17	6,0	3,5	6,0
23312_1	2,0	0,5	2,0	26312_18	3,0	1,5	2,5
23312_2	3,0	2,0	3,0	17412_1	1,0	0,0	0,5
23312_3	2,0	0,5	1,5	17412_2	6,0	1,0	1,5
23312_4	5,0	3,5	5,0	17412_3	3,0	1,0	2,0
23312_5	1,0	0,0	0,0	17412_4	5,0	2,5	5,0
23312_6	4,0	1,5	3,0	17412_5	3,0	1,0	2,0
23312_7	4,0	1,5	3,0	17412_6	7,0	2,0	5,0
23312_8	3,0	2,5	3,0	17412_7	2,0	0,0	0,0
23312_9	3,0	2,0	2,5	17412_8	4,0	1,5	3,5
23312_10	5,0	4,5	5,0	17412_9	2,0	0,5	2,0

(continua)

Tabela H1 – Dados das medições utilizadas nas análises *probit* (continuação).

Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio	Medição	Total de pessoas	Pessoas com calor	Pessoas com ausência de frio
17412_10	6,0	1,5	5,5	25412_16	6,0	2,0	4,5
17412_11	4,0	2,5	4,0	25412_17	3,0	0,5	2,0
17412_12	3,0	1,0	2,5	25412_18	5,0	2,0	4,5
17412_13	2,0	0,5	1,0	25412_19	3,0	1,0	3,0
17412_14	4,0	3,0	4,0	25412_20	5,0	1,5	4,0
17412_15	1,0	0,0	0,5	25412_21	4,0	0,0	2,5
17412_16	3,0	1,0	1,0	25412_22	4,0	2,0	3,0
17412_17	1,0	0,5	1,0	25412_23	3,0	1,0	2,5
18412_1	2,0	2,0	2,0	25412_24	4,0	1,5	3,5
18412_2	7,0	5,0	7,0	25412_25	3,0	1,0	2,5
18412_3	2,0	2,0	2,0				
18412_4	7,0	4,5	7,0				
18412_5	2,0	2,0	2,0				
18412_6	6,0	5,5	6,0				
18412_7	3,0	2,5	3,0				
18412_8	6,0	3,5	5,0				
18412_9	3,0	2,5	3,0				
18412_10	6,0	4,0	6,0				
18412_11	4,0	3,0	4,0				
18412_12	4,0	2,5	4,0				
18412_13	1,0	1,0	1,0				
18412_14	8,0	5,0	7,5				
18412_15	4,0	3,5	4,0				
25412_1	1,0	1,0	1,0				
25412_2	8,0	5,5	8,0				
25412_3	1,0	0,0	0,0				
25412_4	7,0	6,0	7,0				
25412_5	3,0	2,0	3,0				
25412_6	5,0	2,5	4,5				
25412_7	3,0	2,0	2,5				
25412_8	4,0	2,5	3,5				
25412_9	3,0	2,0	3,0				
25412_10	5,0	3,0	4,0				
25412_11	3,0	2,0	3,0				
25412_12	4,0	1,5	3,0				
25412_13	3,0	2,0	2,5				
25412_14	3,0	1,0	1,5				
25412_15	2,0	1,5	2,0				

Fonte: Elaborada pela autora (2015).

(conclusão)