

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Ciências Atmosféricas

Rafael Jonas Righi Batista

Climatologia e previsão climatológica, via modelo RegCM3, de índices de conforto térmico para a região metropolitana de São Paulo

São Paulo
2012

Rafael Jonas Righi Batista

Climatologia e previsão climatológica, via modelo RegCM3, de índices de conforto térmico para a região metropolitana de São Paulo

Dissertação apresentada ao Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Meteorologia

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Teixeira Gonçalves

São Paulo

2012

*Às pessoas que me ajudaram na conclusão desta importante
etapa e compartilharam dos bons e maus momentos.
À minha Mãe Loeci, Pai Ítalo e irmãos Rodrigo e Junior;
à namorada Juliana e inseparável amigo Gláuber;
por tornarem isso possível.*

Agradecimentos

Primeiramente à força maior que tudo rege e a qual alguns costumam chamar de destino, universo, Allah, coincidência, Senhor ou simplesmente... *Deus*.

À minha Mãe *Loeci Righi Karolkzak*, pelo apoio constante e amor infinito dedicados desde a madrugada de 30 de novembro de 1982.

Ao meu Pai *Ítalo Humberto Colaço Batista*, por ser um Pai de verdade.

Aos meus irmãos *Ítalo* e *Rodrigo*, cuja convivência tanto me faz falta.

Ao meu amigo *Gláuber Camponogara*, que acabei adotando como irmão nessa vida paulistana.

À namorada *Juliana de Oliveira Maia*, pessoa presente nos bons e maus momentos, que faz com que eu não me desligue tanto do mundo.

Aos amigos colorado, nerd e baiano, *Diogo Arsego*, *Diogo Custódio* e *Joaquim Cecei*, respectivamente.

Aos colegas e ex-companheiros de moradia *Juliano V. Ribeiro* e *Bruno Anghinoni*.

À *Marta*, *Rafael* e *Cláudia Turra*, pelo auxílio fundamental durante a graduação.

Aos demais *colegas do IAG-USP*, pelo auxílio e companheirismo fundamental.

Aos professores do IAG-USP, pela postura solícita e conhecimentos passados. Agradecimento em especial à *Profa. Dra. Rosmeri Porfírio da Rocha*.

Ao GrEC (Grupo de Estudos Climáticos) do IAG-USP e seus integrantes, em especial *Luiz Fernando Krüger* e *Érico Leiva*.

Ao LabHidro, em especial ao *Prof. Dr. Augusto José Pereira Filho e Felipe Vemado*.

Ao meu orientador *Prof. Dr. Fábio Luiz Teixeira Gonçalves*, pela confiança, paciência e compartilhamento de idéias.

Aos *Profs. Humberto Ribeiro Rocha e Leonardo M. Monteiro* pelas pontuais e valiosas observações.

Ao pessoal da *estação meteorológica do IAG-USP*, por fornecerem parte dos dados utilizados nesse trabalho e se mostrarem sempre simpáticos e prestativos.

Ao CORDEX (*COordinated Regional climate Downscaling Experiment*), pelo restante dos dados utilizados.

Ao *IAG-USP* (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo) pela oportunidade de realização do curso de Mestrado.

À *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES* – pela bolsa concedida sem a qual o trabalho não teria acontecido.

À *FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo)*, pelo apoio financeiro através do processo nº 2010/10189-5.

Resumo

BATISTA, R. J. R. **Climatologia e previsão climatológica, via modelo RegCM3, de índices de conforto térmico para a região metropolitana de São Paulo**. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Como o tempo e o clima influenciam o homem e a sociedade são alvos de estudo desde que Hipócrates, 400 a.C., escreveu "Ares, águas e lugares". A partir do século XX, desenvolveram-se índices de conforto térmico (CT) que, apesar de apresentarem limitações, mostraram-se capazes de quantificar essas interações através de uma aplicação maleável e acessível. Observa-se que apesar de parte dos estudos biometeorológicos abordarem as mudanças climáticas, poucos tratam da projeção de índices para cenários futuros. Assim, o objetivo geral desse trabalho foi avaliar o comportamento climatológico do Índice de Desconforto (ID), Temperatura Resultante (TR) e Temperatura Resultante com o vento (TRv) na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e projetá-los para o futuro, através das simulações do modelo regional climático (MCR) RegCM3, para os anos de 1960 a 1990, 2010 a 2040 e 2070 a 2100. O MCR foi forçado pelo Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) ECHAM5, de acordo com o cenário de emissões A1B, estabelecido pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Assim, é realizada uma avaliação dos meses de maior desconforto na RMSP com base nos dados da estação meteorológica do IAG através dos quantis. Maior foco é dado nos quantis superiores e inferiores (QS e QI) que representam as situações de maior desconforto e exercem influência em populações vulneráveis, como a dos idosos. A Raíz Quadrada do Erro Médio elevado ao Quadrado (RMSE) e o Erro Médio (EM, viés) das séries de dados, simuladas e observadas, demonstram uma subestimativa da temperatura para todo o ano, por parte do modelo. Já o RMSE e EM, da umidade relativa e vento, variam de acordo com a época do ano, possuindo períodos de maior e menor precisão. A título comparativo, também foram obtidos o RMSE e EM dos índices de conforto térmico simulados e observados. No período de 1960-1990, ID passa de 17,4°C para 20,1°C em 2070-2100, representando um aumento de 2,8°C; enquanto que TRv vai de 11,8°C para 14,7°C no mesmo período, tendo aumento de 2,9°C. Nota-se que o aumento de ID ocorre de forma gradativa com o passar dos anos, diferentemente de TRv, que aumenta de forma significativa a partir de 2070. Observa-se também que as médias diárias de ID e TRv tendem

a se distribuir em quantis intermediários e superiores, indicando que ao longo dos anos, a RMSP tende a ter noites e tardes mais quentes, traduzindo em invernos menos desconfortáveis (em relação ao frio) e verões mais desconfortáveis (em relação ao calor). Os resultados obtidos corroboram IPCC (2007b), que também aponta para uma redução dos dias frios em regiões de médias e baixas latitudes, associado a um aumento na ocorrência de ondas de calor, de forma a oferecer grandes riscos à populações vulneráveis.

Palavras-chave: biometeorologia, índices de conforto térmico, climatologia, modelagem.

Abstract

BATISTA, R. J. R. *Climatology and climatological forecasting of thermal comfort indexes by RegCM3 model for the metropolitan region of São Paulo*. São Paulo: Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences, University of São Paulo, 2012, 115 p. Masters Dissertation in Meteorology.

How weather and climate influence man and society, are main targets since Hippocrates wrote "Airs, waters and places", 400 BC. Thermal comfort indices, in development since the twentieth century, are able to quantify these interactions by flexible and accessible applications, despite their own limitations. Although part of the biometeorological studies address climate change, only few deals with future scenarios. Therefore, the main objective is to evaluate the climatological behavior of thermal comfort indices, such as the Discomfort Index (ID), Resultant Temperature (TR) and the Resultant Temperature with the wind (TRv) in the Metropolitan Region of São Paulo (MRSP). Climatological behavior is analyzed for three time slices (1960 to 1990, 2010 to 2040 and 2070 to 2100) through the Regional Climate Model (RCM) RegCM3. The RCM is forced by General Circulation Model (GCM) ECHAM5, according to the A1B emissions scenario, established by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). More attention is given to the superior and inferior quantiles (QS and QI) representing the situations of greater thermal discomfort because of their influence on vulnerable populations such as elderly people. An initial assessment about the months of greatest discomfort in MRSP was made based on data from the meteorological station of IAG. The Root Mean Square Error (RMSE) and the Mean Error (EM, related to bias) of the time series from observed and simulated data show a model's underestimation of the temperature throughout the year. The RMSE and EM for relative humidity and wind vary with the season containing periods of higher and lower accuracy. The RMSE and EM for simulated and observed indices were obtained as well due to comparison reasons. In 1960-1990 period, ID presents an average of 17.4°C and in 2070-2100, an average of 20.1°C, representing an increasing of 2.8°C; meanwhile TRv goes from 11.8°C to 14.7°C over the same period, an increasing of 2.9°C. It is show that ID is increased gradually over the years, unlike TRV, which significantly increases from 2070. It is also observed that daily means of ID and TRv in future tends to be distributed in middle and upper quantiles, indicating that the MRSP tends to have nights and afternoons that will be warmer over the years, translating into

less uncomfortable winters (cold related) and more uncomfortable summers (heat related). The results corroborate IPCC (2007b) which also points to a reduction of cold days in regions of middle and low latitudes, associated with an increased occurrence of heat waves providing great risks to vulnerable populations.

Keywords: biometeorology, thermal comfort indexes, climatology, modeling.

Lista de figuras

FIGURA 1 – COMPARAÇÃO ENTRE A POPULAÇÃO URBANA EM 2000 E ESTIMATIVA PARA 2050 (RETIRADO DE HTTP://WWW.UNICEF.ORG/SOWC2012/URBANMAP/).....	18
FIGURA 2 – REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO E SEUS 39 MUNICÍPIOS (ADAPTADO DO OBSERVATÓRIO DE POLÍTICAS URBANAS E GESTÃO AMBIENTAL, IPPUR/UFRJ-FASE, 2002).....	20
FIGURA 3 – PRECIPITAÇÃO MÉDIA DIÁRIA DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG DE 1960 A 1990.....	21
FIGURA 4 – TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG DE 1960 A 1990.....	22
FIGURA 5 – VENTO E DIREÇÃO MÉDIOS DIÁRIOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG EM 2010.	24
FIGURA 6 – MUDANÇAS OBSERVADAS EM (A) NA TEMPERATURA MÉDIA GLOBAL DA SUPERFÍCIE DO MAR; (B) NO NÍVEL MÉDIO DO MAR COM DADOS DE BÓIAS (AZUL) E DE SATÉLITE (VERMELHO); (C) NA COBERTURA DE NEVE NO HEMISFÉRIO NORTE EM MARÇO-ABRIL. CURVAS SUAVIZADAS REPRESENTAM VALORES DE MÉDIAS DECADAIS, ENQUANTO CÍRCULOS MOSTRAM VALORES ANUAIS. ÁREAS SOMBREADAS SÃO INTERVALOS ESTIMADOS COM BASE EM UMA ANÁLISE ABRANGENTE DAS INCERTEZAS CONHECIDAS (A E B) E DAS SÉRIES TEMPORAIS (C). FONTE: IPCC (2007).....	27
FIGURA 7 – REPRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DAS VARIÁVEIS INDIVIDUAIS E AMBIENTAIS RELACIONADAS AO CONFORTO TÉRMICO. ADAPTADA DE EGAN (1975).....	29
FIGURA 8 – CONFORTÍMETRO DE FABRICAÇÃO NACIONAL.....	35
FIGURA 9 – NOMOGRAMA DA TEMPERATURA RESULTANTE POR MISSENARD.....	36
FIGURA 10 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DESENVOLVIDAS NO TRABALHO.....	41
FIGURA 11 – DOMÍNIO DAS SIMULAÇÕES DO REGCM3 COBRINDO TODO O CONTINENTE SUL AMERICANO.....	44
FIGURA 12 - REGIÃO CONSIDERADA PARA EXTRAÇÃO DAS VARIÁVEIS MÉDIAS ATRAVÉS DA FUNÇÃO <i>AIVE()</i>	45
FIGURA 13 – CATEGORIAS DELIMITADAS PELOS QUANTIS APLICADA À PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DO AR. FONTE: XAVIER, SILVA E REBELLO (2002).	47
FIGURA 14 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO MOSTRANDO AS VARIÁVEIS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA USADAS PARA OBTENÇÃO DE ID, TRV E POSTERIOR DISTRIBUIÇÃO NOS QUANTIS.	49

FIGURA 15 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO MOSTRANDO AS VARIÁVEIS DA ESTAÇÃO E DO MCR USADAS PARA OBTENÇÃO DE ID, TRV, DISTRIBUIÇÃO NOS QUANTIS E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.	49
FIGURA 16 – (A) DISTRIBUIÇÃO DE TMAX E (B) DE TMIN NO QI.	55
FIGURA 17 – (A) DISTRIBUIÇÃO DE TMAX E (B) DE TMIN NO QS.....	56
FIGURA 18 – DISTRIBUIÇÃO DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS MEDIDAS PELA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG DE 1960 A 1990 EM (A) NO QI, (B) Q10-20, (C) Q20-Q30, (D) Q30-Q40, (E) Q40-Q50, (F) Q50-Q60, (G) Q60-Q70, (H) Q70-Q80, (I) Q80-Q90 E (J) NO QS.....	59
FIGURA 19 – DISTRIBUIÇÃO DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS MEDIDAS PELA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG DE 1960 A 1990 EM (A) NO QI, (B) Q10-20, (C) Q20-Q30, (D) Q30-Q40, (E) Q40-Q50, (F) Q50-Q60, (G) Q60-Q70, (H) Q70-Q80, (I) Q80-Q90 E (J) NO QS.....	61
FIGURA 20 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA NO QS PARA AS TARDES DE 1960 A 1990 DOS ÍNDICES: (A) ID ($\geq 26,1^{\circ}\text{C}$), (B) TRV ($\geq 28,8^{\circ}\text{C}$) E (C) TMAX ($\geq 30,4^{\circ}\text{C}$).	65
FIGURA 21 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA NO QI PARA AS NOITES DE 1960 A 1990 DOS ÍNDICES: (A) ID ($< 10^{\circ}\text{C}$), (B) TRV ($< -0,4^{\circ}\text{C}$) E (C) TMIN ($< 9,9^{\circ}\text{C}$).	66
FIGURA 22 – ID MÉDIO HORÁRIO PARA 1960-1990 (EM $^{\circ}\text{C}$).	68
FIGURA 23 – TRV MÉDIO HORÁRIO PARA 1960-1990 (EM $^{\circ}\text{C}$).	69
FIGURA 24 – ID MÉDIO HORÁRIO PARA 1960-1990 COM ESCALA FIXA (EM $^{\circ}\text{C}$).	71
FIGURA 25 – TRV MÉDIO HORÁRIO PARA 1960-1990 COM ESCALA FIXA (EM $^{\circ}\text{C}$).	72
FIGURA 26 – RMSE E VIÉS MÉDIOS MENSIS DAS VARIÁVEIS TEMPERATURA, UMIDADE RELATIVA E MAGNITUDE DO VENTO, DE 1960 A 1990.	74
FIGURA 27 – RMSE E VIÉS MÉDIOS MENSIS DE ID E TRV, DE 1960 A 1990.	75
FIGURA 28 – DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE ID PARA 1960-1990 (A) NO QI, (B) NO QS, PARA 2010-2040 (C) NO QI, (D) NO QS E PARA 2070-2100 (E) NO QI E (F) NO QS.	79
FIGURA 29 – CALENDÁRIO CLIMÁTICO DE ID PARA 1960-1990.	80
FIGURA 30 – CALENDÁRIO CLIMÁTICO DE ID PARA 2010-2040.	81
FIGURA 31 – CALENDÁRIO CLIMÁTICO DE ID PARA 2070-2100.	82
FIGURA 32 – DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE TRV PARA 1960-1990 (A) NO QI, (B) NO QS, PARA 2010-2040 (C) NO QI, (D) NO QS E PARA 2070-2100 (E) NO QI E (F) NO QS.....	85
FIGURA 33 – CALENDÁRIO CLIMÁTICO DE TRV PARA 1960-1990.....	86

FIGURA 34 – CALENDÁRIO CLIMÁTICO DE TRV PARA 2010-2040.....	87
FIGURA 35 – CALENDÁRIO CLIMÁTICO DE TRV PARA 2070-2100.....	88

Lista de tabelas

TABELA 1 – TAXAS DE PRODUÇÃO DE CALOR METABÓLICO PARA SERES HUMANOS.....	30
TABELA 2 – CRITÉRIOS DETERMINADOS POR FANGER (1970) DADO INTERVALOS DE TEMPERATURA.	33
TABELA 3 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE CONFORTO TÉRMICO DE SANTOS (2008).	34
TABELA 4 – LIMIARES PARA OS DECIS DAS TEMPERATURAS DIÁRIAS MÁXIMA E MÍNIMA DA ESTAÇÃO DO IAG.	53
TABELA 5 – LIMIARES DOS PERCENTIS DOS ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO ID, TR E TRV.....	63
TABELA 6 – ORDENS QUANTÍLICAS OBTIDAS DAS SÉRIES TEMPORAIS DE ID E TRV DE 1960-1990.	76
TABELA 1A – ESTIMATIVA POPULACIONAL DOS MUNICÍPIOS QUE COMPÕE A RMSP (CENSO 2010).....	100
TABELA 2A – VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS DE T_OBS E T_MOD DE 1960 A 1990, EM °C.....	101
TABELA 3A – VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS DE UR_OBS E UR_MOD DE 1960 A 1990, EM %.....	102
TABELA 4A – VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS DE V_OBS E V_MOD DE 1960 A 1990, EM M/S.	103
TABELA 5A – VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS DE ID_OBS E ID_MOD DE 1960 A 1990, EM °C.....	104
TABELA 6A – VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS DE TRV_OBS E TRV_MOD DE 1960 A 1990, EM °C...	105
TABELA 7A – VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS DE ID_MOD E TRV_MOD DE 1960 A 1990, EM °C.....	106
TABELA 8A – VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS DE ID_MOD E TRV_MOD DE 2010 A 2040, EM °C.....	107
TABELA 9A – VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS DE ID_MOD E TRV_MOD DE 2070 A 2100, EM °C.....	108
TABELA 10A – LIMIARES QUANTÍLICOS DE ID PARA TODOS OS PERÍODOS, EM °C.....	109
TABELA 11A – LIMIARES QUANTÍLICOS DE TRV PARA TODOS OS PERÍODOS, EM °C.....	109

Lista de abreviaturas e siglas

CT	Conforto térmico
ECHAM5	<i>European-Hamburg Global Circulation Model, v. 5</i>
GEE	Gases de efeito estufa
ICU	Ilha de calor urbano
ISB	<i>International Society of Biometeorology</i>
M	Metabolismo
MCGAs	Modelos de Circulação Geral da Atmosfera
MCR	Modelo Climático Regional
OMS	Organização Mundial da Saúde
RegCM3	<i>Regional Climate Model, v. 3</i>
RMSE	Root Mean Square Error
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
Tmax	Temperatura Máxima
Tmed	Temperatura Média Diária
Tmin	Temperatura Mínima
URmax	Umidade Relativa Máxima
URmed	Umidade Relativa Média Diária
URmin	Umidade Relativa Mínima

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 <i>Motivação</i>	<i>16</i>
1.2 <i>RMSP e o clima</i>	<i>19</i>
1.3 <i>Mudanças climáticas.....</i>	<i>25</i>
1.4 <i>Tópicos relacionados ao conforto térmico humano</i>	<i>28</i>
1.4.1 <i>O balanço térmico humano</i>	<i>28</i>
1.4.2 <i>Mecanismos de termogênese e termólise</i>	<i>30</i>
1.5 <i>Índices de conforto térmico.....</i>	<i>33</i>
1.6 <i>Índices aplicados neste trabalho.....</i>	<i>38</i>
2. FERRAMENTAS E DADOS UTILIZADOS.....	40
2.1 <i>Etapas do trabalho.....</i>	<i>40</i>
2.2 <i>Dados da estação meteorológica do IAG-USP</i>	<i>41</i>
2.3 <i>O Modelo Climático Regional (versão 3) – RegCM3</i>	<i>42</i>
2.4 <i>A técnica do quantis.....</i>	<i>45</i>
2.5 <i>Mapas de calor.....</i>	<i>50</i>
2.5.1 <i>Mapa de calor horário.....</i>	<i>50</i>
2.5.2 <i>Calendário climático.....</i>	<i>50</i>
2.5.3 <i>Erro Médio (viés) e RMSE.....</i>	<i>51</i>
3. RESULTADOS	53
3.1 <i>Quantis de temperaturas máxima e mínima.....</i>	<i>53</i>
3.1.1 <i>Quantil inferior de temperatura (QI).....</i>	<i>54</i>
3.1.2 <i>Quantil superior de temperatura (QS)</i>	<i>55</i>
3.1.3 <i>Quantis intermediários de temperatura.....</i>	<i>57</i>
3.2 <i>Quantis dos índices de conforto térmico com dados da estação</i>	<i>61</i>
3.2.1 <i>Quantil superior dos índices de CT (tardes).....</i>	<i>63</i>
3.2.2 <i>Quantil inferior dos índices de CT (noites).....</i>	<i>65</i>
3.3 <i>Mapas de calor horários para ID e TRv.....</i>	<i>67</i>
3.4 <i>Comparação entre dados observados e simulados.....</i>	<i>72</i>
3.5 <i>Projeções de ID e TRvpara períodos futuros.....</i>	<i>75</i>
3.5.1 <i>Projeções de ID</i>	<i>77</i>
3.5.2 <i>Projeções de TRv</i>	<i>83</i>
3.6 <i>Índices de conforto térmico para população geriátrica.....</i>	<i>89</i>
4 CONCLUSÕES.....	93
4.1 <i>Sugestões para trabalhos futuros.....</i>	<i>98</i>
5. APÊNDICE	100
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110

1. INTRODUÇÃO

Em 1980, S. W. Tromp cunhou o termo “meteorotrópico”, referindo-se ao efeito causado por um ou mais fatores ambientais sobre um indivíduo ou grupo de indivíduos. Entretanto, os estudos relativos a esta temática interdisciplinar tiveram início muito antes, quando da escrita de “Ares, águas e lugares” por Hipócrates, 400 A.C., que tratava de associações entre o comportamento humano e as estações do ano. Com o passar dos anos a biometeorologia adquiriu importância culminando na fundação da Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB), existente até o hoje. De acordo com a ISB, define-se biometeorologia como a ciência interdisciplinar que estuda as interações entre os processos atmosféricos e os organismos vivos (plantas, animais e humanos) buscando responder a pergunta: **Como tempo e clima impactam o bem estar de todos os seres vivos?**

1.1 Motivação

Considerando o contexto das mudanças climáticas é natural pensarmos que parte dos estudos biometeorológicos sigam nesta mesma linha, conduzidos não apenas pela comunidade acadêmica, mas também pelas principais organizações de diferentes áreas relacionadas. A Organização Mundial da Saúde (OMS), por exemplo, possui um programa especial de proteção à saúde considerando as projeções climáticas que tem como objetivo identificar estratégias para proteger a saúde, compartilhar conhecimento e ações, além de fornecer apoio a sistemas que avaliem o impacto do clima na saúde. De acordo com esta organização, as mudanças climáticas representam uma significativa e emergente ameaça à saúde pública, de forma a mudar a maneira atualmente adotada de proteger populações vulneráveis.

Não há uma definição formal e sucinta para “população vulnerável”. Considerando especificamente os efeitos das mudanças climáticas, é possível afirmar que uma população é vulnerável quando estiver exposta aos efeitos de tais mudanças sem a

possibilidade de mitigá-los, ou de pelo menos, amenizá-los. Essa impossibilidade pode ter origem econômica (populações que não possuem o suporte financeiro para eventuais mudanças), geográfica (populações que possuem limitações físicas/geográficas para mudanças) e até mesmo fisiológica (grupos que sofrem um maior impacto quando sujeito à mudanças, como crianças e idosos), sendo que, muito comumente, um fator está relacionado ao outro. No Brasil, a população idosa residente em favelas constitui um exemplo adequado de população vulnerável às mudanças climáticas, pois encontra limitações físicas no local onde vive, dado o aglomerado de pequenas residências e não possui recursos financeiros para mudar de lugar, além de pertencer a uma faixa etária com maior sensibilidade à mudanças no tempo (pouco amenizadas em suas residências em função dos materiais de baixo custo utilizados em suas construções).

Porém, as constatações anteriores podem ser abordadas de forma menos negativa, no sentido em que servem de estímulo para pesquisas envolvendo estas populações. No campo da Biometeorologia, o Brasil se caracteriza como uma área de grande potencial para desenvolvimento de pesquisas, com grande extensão territorial e composta por distintas populações que vivem em climas diferentes. E é neste mosaico de fatores que a população idosa residente na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) está inserida.

A figura 1, elaborada pelo Departamento de Economia e Assuntos Sociais das Nações Unidas indica que o número de pessoas vivendo em centros urbanos no Brasil aumentará 27,7% de 2000 até 2050, passando de 141 milhões de pessoas, para 204 milhões. Além disso, as cores da figura também mostram que grande parte dessa população viverá em centros urbanos, pois em roxo designa-se uma população urbana maior que 75%, em amarelo entre 50%-75% e em azul 25%-50%. Somam-se a isso, os resultados do Censo Demográfico de 2010, que apontam para uma tendência anteriormente observada: a população está vivendo mais.

De acordo com o Observatório das Metrôpoles do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia, a população da RMSP está mais velha, seguindo a tendência nacional. O índice de envelhecimento¹ mudou de 20,7 em 2000 para 34,4 idosos a cada 100 jovens em 2010, sendo que o total de pessoas com 65 anos ou mais que compõe a população da RMSP aumentou de 5,5% para 7,1%. Esse aumento gradual do número de idosos trás consigo um impacto importante nas questões econômicas ligadas ao país e alerta para a

¹ De acordo com o IBGE, é o número de pessoas de 60 ou mais anos de idade, para cada 100 pessoas menores de 15 anos de idade, na população residente em determinado espaço geográfico, no ano considerado

falta de conhecimento relativo às interações existentes entre esse grupo etário e as mudanças do tempo e do clima.

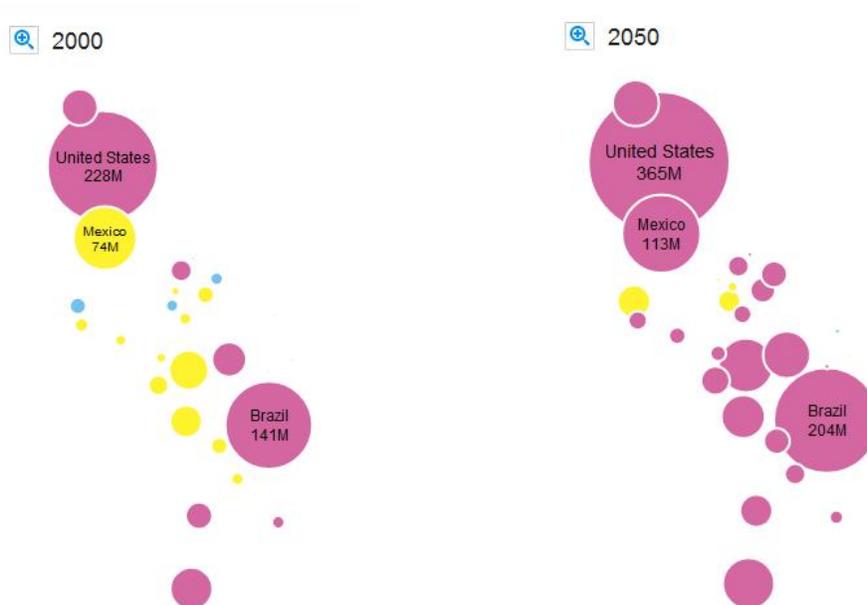


Figura 1 – Comparação entre a população urbana em 2000 e estimativa para 2050 (retirado de <http://www.unicef.org/sowc2012/urbanmap/>).

Uma das técnicas mais utilizadas para quantificar a interação entre variáveis meteorológicas e pessoas é através do uso de índices de conforto térmico (CT), que levam em conta duas ou mais variáveis, como temperatura do ar, umidade relativa e magnitude do vento (citando as mais comuns), na descrição de um valor que torne possível a classificação a respeito do quão estressante termicamente uma região é/está, em um dado período de tempo. Apesar de apresentar limitações, a evidente praticidade da utilização de tais índices abre margem para aplicação conjunta com modelos numéricos, de tal forma que os resultados obtidos desse acoplamento são passíveis de utilização para os mais diversos fins (nas áreas de saúde pública, arquitetura, medicina, meteorologia, entre outras) incluindo também a ótica de planejamentos voltados para populações vulneráveis afetadas pelas mudanças climáticas.

Desta forma, o presente trabalho trata do comportamento climatológico dos índices de conforto térmico ID e TRv, na Região Metropolitana de São Paulo; e através de simulações do modelo regional climático RegCM3 os projeta para períodos futuros

(2010-2040 e 2070-2100), de acordo com o cenário de emissões de gases de efeito estufa A1B do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), servindo como base para estudos mais específicos posteriores, que busquem relacionar os resultados aqui obtidos à crescente população idosa e demais populações vulneráveis dessa região. Maiores informações referentes à metodologia são obtidas no Capítulo 2 deste trabalho, referente às ferramentas e dados utilizados.

Os resultados aqui apresentados também subsidiam o Projeto Temático FAPESP processo 2010/10189-5, coordenado pelo Prof. Dr. Fábio Luiz Teixeira Gonçalves (IAG-USP), que envolve a Faculdade de Medicina (FM-USP), Escola Politécnica (POLI-USP) e a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP) e possui como objetivo estudar o impacto de variáveis meteorológicas associadas ao conforto térmico humano na população geriátrica através de testes cognitivos e físicos em câmara climática. O projeto temático contempla ainda o desenvolvimento de um índice de conforto térmico apropriado especificamente para esta população.

1.2 RMSP e o clima

De acordo com Freitas (2003) a RMSP constitui o maior pólo industrial da América Latina. Apresentando processo de conurbação² é constituída por 39 municípios (figura 2) e ocupa uma área de aproximadamente 8.000 km², com 19.822.572 habitantes, caracterizando um dos maiores conglomerados urbanos do mundo. A tabela 1A, contida no apêndice, trás a relação completa de municípios da RMSP e seus respectivos números de habitantes.

² Termo usado para designar um fenômeno urbano que acontece a partir da união de duas ou mais cidades/municípios, constituindo uma única malha urbana, como se fosse somente uma única cidade.

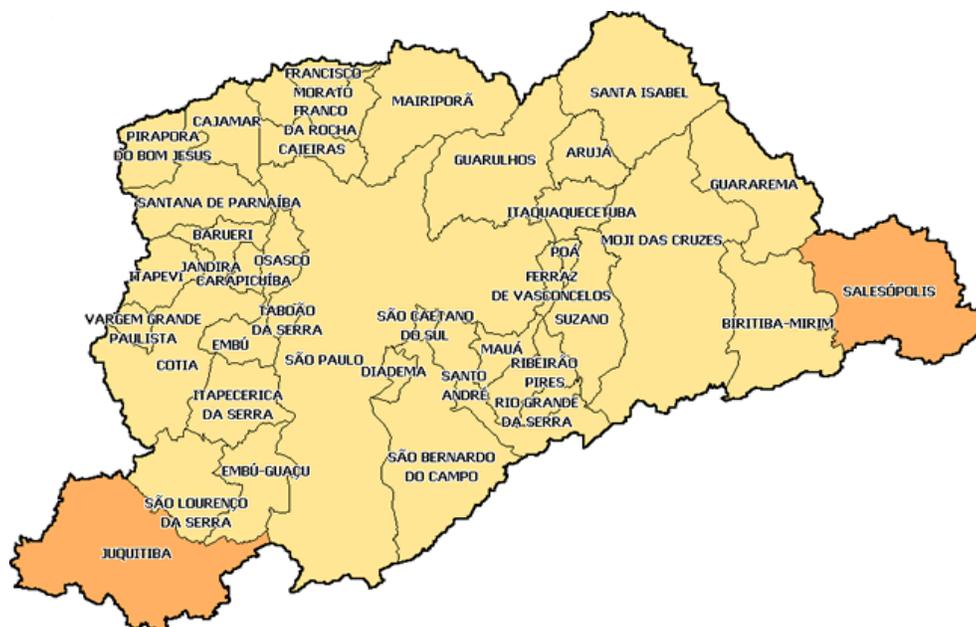


Figura 2 – Região Metropolitana de São Paulo e seus 39 municípios (adaptado do Observatório de Políticas Urbanas e Gestão Ambiental, IPPUR/UFRJ-FASE, 2002).

Sua população vive em um clima subtropical (Cfa de acordo com a classificação de Köppen) caracterizado por invernos secos e verões mais quentes e úmidos. De acordo com o Boletim Climatológico Anual da Estação do IAG-USP, a precipitação média anual na RMSP é de 1393,9 milímetros, para o período de 1933-2011. Na figura 3 observa-se a distribuição climatológica da precipitação, construída com dados da mesma estação, localizada no Parque de Ciência e Tecnologia da USP (CIENTEC-USP), para o período de 1960-1990. Neste calendário climático³ os dias com um maior volume de chuvas apresentam pixels em tons de azul em contrapartida aos com menor volume, que apresentam uma coloração clara acinzentada. Através da caracterização do regime pluvial anual evidenciam-se os períodos com mais e menos chuvas na RMSP, respectivamente representados pelos meses de janeiro, fevereiro e março (JFM) e junho, julho e agosto (JJA). A distribuição da precipitação ao longo do ano é determinada pela influência de sistemas meteorológicos, tais como: frentes frias, Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), linhas de instabilidade e brisa marítima.

³ Nome dado arbitrariamente para qualquer mapa de calor representado em forma de calendário que trate de variáveis relacionadas à meteorologia. Esta ferramenta é detalhada no Capítulo 2.5.2.

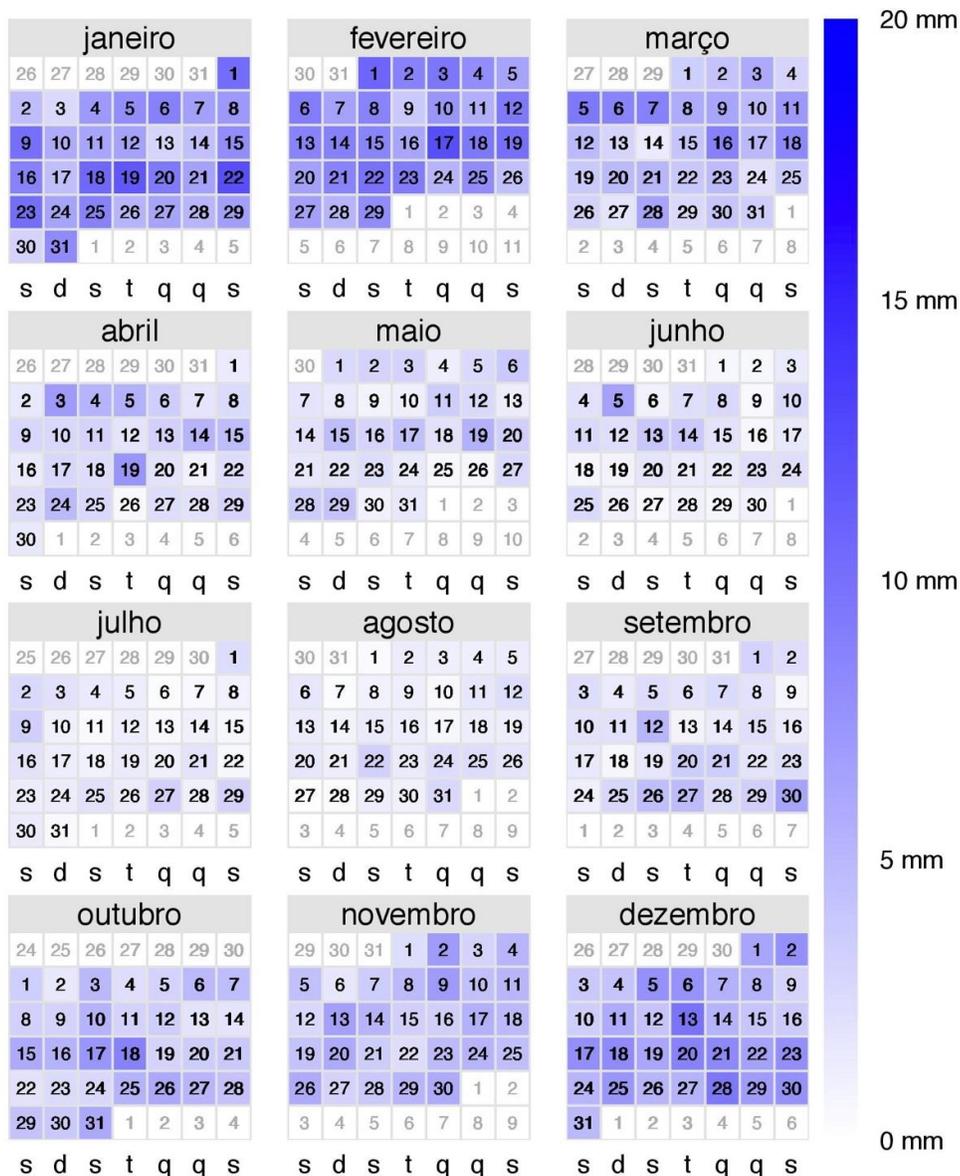


Figura 3 – Precipitação média diária da estação meteorológica do IAG de 1960 a 1990.

De acordo com o Boletim Climatológico Anual de 2011 da Estação Meteorológica do IAG, a temperatura do ar (variável central em estudos de CT) média anual para o período de 1933 a 2011 é de 18,6°C, considerada amena em termos médios. A figura 4 ilustra a distribuição de temperaturas médias diárias ao longo do ano da própria estação, também para os anos de 1960 a 1990. Nela é possível distinguir as épocas quentes, dada

pelos últimos dias de novembro e meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março; frias, representada pelo fim de maio, meses de junho julho, agosto e primeiros dias de setembro; bem como meses de transição entre estes períodos.

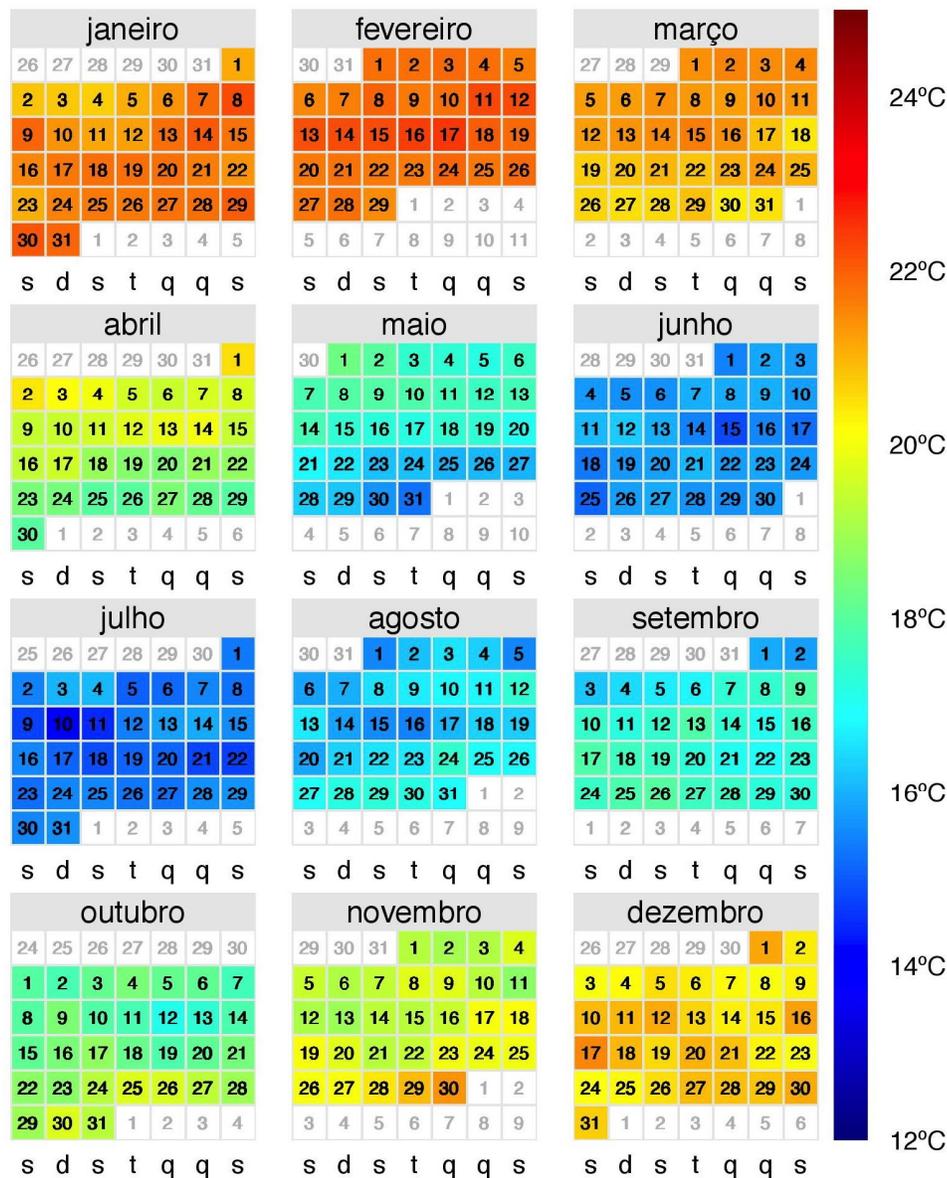


Figura 4 – Temperatura média diária da estação meteorológica do IAG de 1960 a 1990.

Entretanto ao longo do ano são registrados extremos de temperatura que chegam a valores inferiores a 10°C no inverno e superiores a 30°C no verão, condicionados por fenômenos das escalas sinótica (massas de ar, sistemas frontais, etc), meso (brisa

marítima, etc) e micro (efeito local). A heterogeneidade da malha urbana da RMSP provoca freqüentes situações no qual se verificam rotineiramente diferenças de aproximadamente 4°C entre localidades mais e menos urbanizadas, com temperaturas maiores e menores, respectivamente. Este é o caso, por exemplo, quando se comparam medidas de temperatura feitas no Parque de Ciência e Tecnologia da USP - CIENTEC (local extremamente arborizado) com medidas do Aeroporto de Congonhas (local primordialmente urbano). Em algumas ocasiões se observam diferenças ainda maiores, superiores à 10°C, decorrentes do fenômeno de Ilha de Calor Urbana (ICU).

A ICU é caracterizada por um contraste na temperatura entre o centro urbano e suas redondezas, originando uma circulação convectiva que, de acordo com Freitas (2003), contribui para a concentração de poluentes sobre as grandes cidades. Este fenômeno se tornou um dos maiores problemas ligados à urbanização e industrialização da sociedade moderna, na medida em que as temperaturas associadas à ICU tendem a provocar maior estresse térmico⁴, podendo causar danos à saúde humana. Como resultado, a ICU se tornou assunto central para diversos pesquisadores e é bem documentada em muitas áreas metropolitanas pelo mundo (OKE, 1973). É válido salientar que a ICU experimentada em várias cidades é mais significativa à noite do que de dia, mais pronunciada no inverno do que no verão e mais aparente quando os ventos são fracos (TAN et al., 2010).

De modo geral, o vento na RMSP é considerado fraco a moderado (figura 5), varia aproximadamente de 0 a 6 m/s, sofre alterações de acordo com a hora (mais intenso durante o dia e mais calmo à noite) e também devido por ação de sistemas meteorológicos (brisa marítima, aproximação de frentes frias, etc), sendo que, nestas ocasiões, podem ocorrer rajadas com potencial para destelhamento de casas, quedas de árvores e demais transtornos. Além disso, o vento se traduz como variável determinante nas condições de conforto térmico da população quando consideram-se ambientes externos, pois está ligado primordialmente a processos físicos de perda de calor pelo corpo humano, denominados termólise.

⁴Estresse térmico aqui será definido como a condição térmica o qual inflige algum dano ao organismo humano.

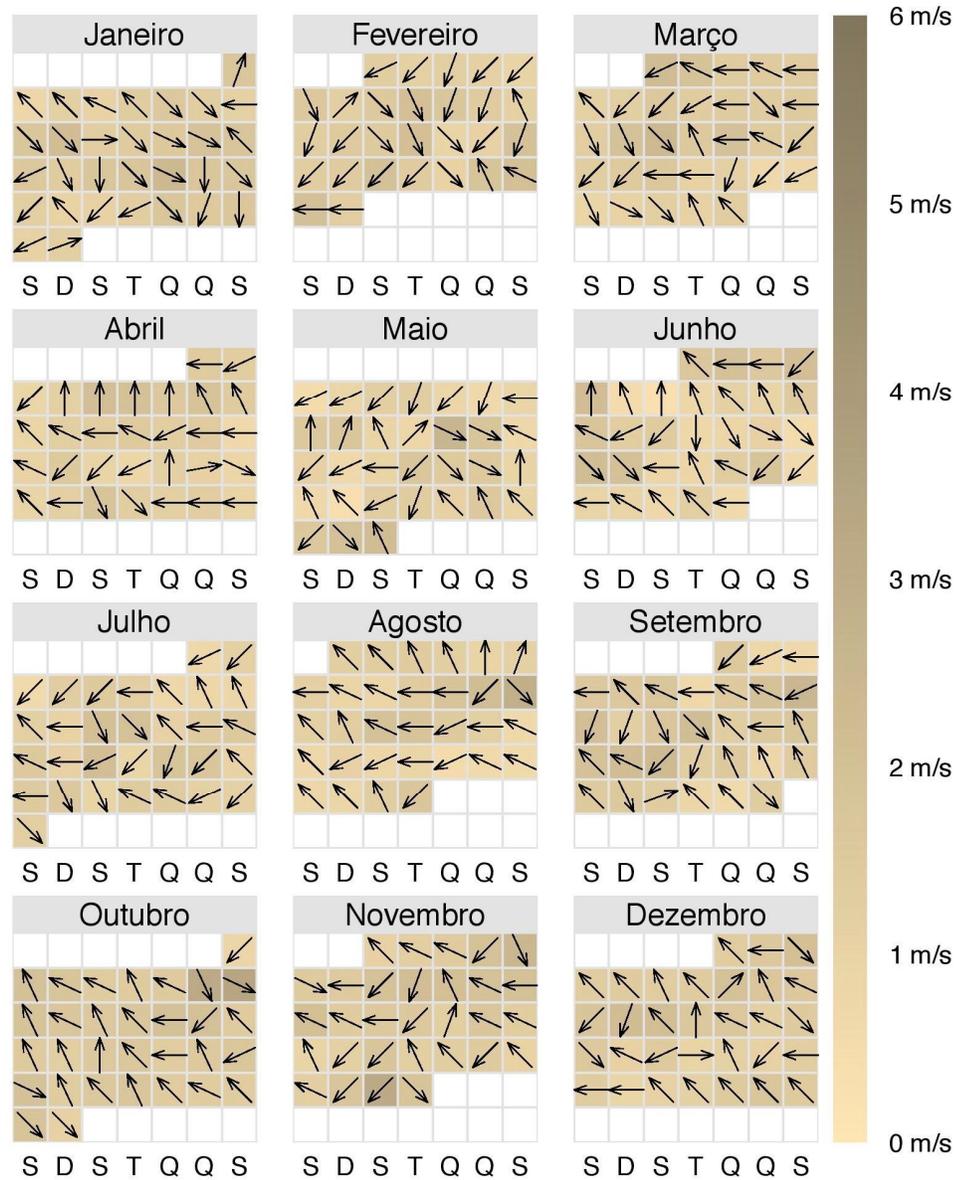


Figura 5 – Vento e direção médios diários da estação meteorológica do IAG em 2010.

1.3 Mudanças climáticas

De acordo com o Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), publicado em 2007, o aquecimento do sistema climático é inequívoco, como é também evidente a partir de observações do aumento das temperaturas médias globais do ar e do oceano, derretimento generalizado da neve e gelo e elevação do nível do mar médio global (IPCC, 2007). Estas observações estão representadas na figura 6, para o Hemisfério Norte e correspondente ao período de 1961-1990.

Em relação à América Latina, no Terceiro Relatório de Avaliação (TAR) foi publicado que em algumas áreas existem padrões nítidos de aquecimento (Amazônia) e de resfriamento (Chile). O mesmo relatório indica que as Geleiras da América Latina retrocederam significativamente nas décadas passadas e algumas até desapareceram. Também são relatadas mudanças no padrão de precipitação de algumas regiões, como no nordeste da Argentina, noroeste do México, sul do Brasil e partes da América Central.

Essas mudanças são atribuídas a um aumento nas concentrações dos gases de efeito estufa (GEE), sendo os três principais: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). A maior concentração destes gases altera as condições de temperatura natural da atmosfera e acaba favorecendo o aquecimento médio global. De acordo com o IPCC, a concentração atmosférica global de dióxido de carbono aumentou de 280 ppm (partes por milhão) no período pré-industrial, para 379 ppm em 2005; a de metano, passou de 715 ppb (partes por bilhão) para 1774, no mesmo período; e o óxido nitroso também aumentou de 270 ppb para 319 ppb.

As possíveis concentrações futuras dos GEE caracterizam os diferentes cenários elaborados pelo IPCC, definidos a partir de quatro famílias principais (A1, A2, B1 e B2) que possuem direções distintas em relação ao desenvolvimento da sociedade. De acordo com o IPCC (2007), A1 assume um mundo de rápido crescimento econômico, pico da população global sendo atingido no meio do século e rápida introdução de novas e mais eficientes tecnologias. Essa família é subdividida em três grupos que variam considerando aspectos tecnológicos, sendo eles:

- A1FI: conta com uso intensivo de combustíveis fósseis ("FI" significa *Fossil Intensive*);

- A1T: uso de fontes de energia não-fósseis, basicamente renováveis;
- A1B: utilizado neste trabalho, considera um balanço entre ambas as abordagens ("B" significa *Balance*).

A família A2 descreve um mundo bastante heterogêneo com foco na auto-suficiência e preservação das identidades locais, ou seja, com reduzida globalização. Neste cenário considera-se que o desenvolvimento econômico é basicamente regional e a mudança tecnológica é fragmentada e mais lenta que nos outros enredos.

O enredo e cenário da família B1 descreve um mundo convergente com a população global atingindo seu pico em meados do século, para então declinar, como no cenário A1. É considerada ainda rápida mudança na estrutura econômica, com ênfase em soluções globais para sustentabilidade econômica, social e ambiental, mas sem iniciativas climáticas adicionais.

O cenário B2 descreve um mundo com ênfase em soluções locais para desenvolvimento econômico, social e ambiental. O crescimento populacional é contínuo, mas inferior ao cenário A2. Também é considerada uma mudança tecnológica menos rápida, porém mais diversificada em relação à A1 e B1, com orientação para proteção ambiental e igualdade social (cenário otimista).

Estas mudanças nas concentrações, associadas à atividade humana, geram impactos em todas as áreas da sociedade, como economia, saúde, habitação e qualidade de vida. De acordo com o AR4, na América Latina é projetado um aumento no número de pessoas atingidas por doenças relacionadas ao clima, especialmente através de surtos de seus vetores que costumam se desenvolver em ambientes quentes e úmidos. Também é esperada uma diminuição no rendimento de diversas culturas, como milho, trigo e cevada. Além disso, a vegetação semi-árida tende a ser substituída por vegetação desértica, decorrente do aumento da temperatura e redução da umidade relativa do solo, o que pode acarretar em perda na biodiversidade animal.

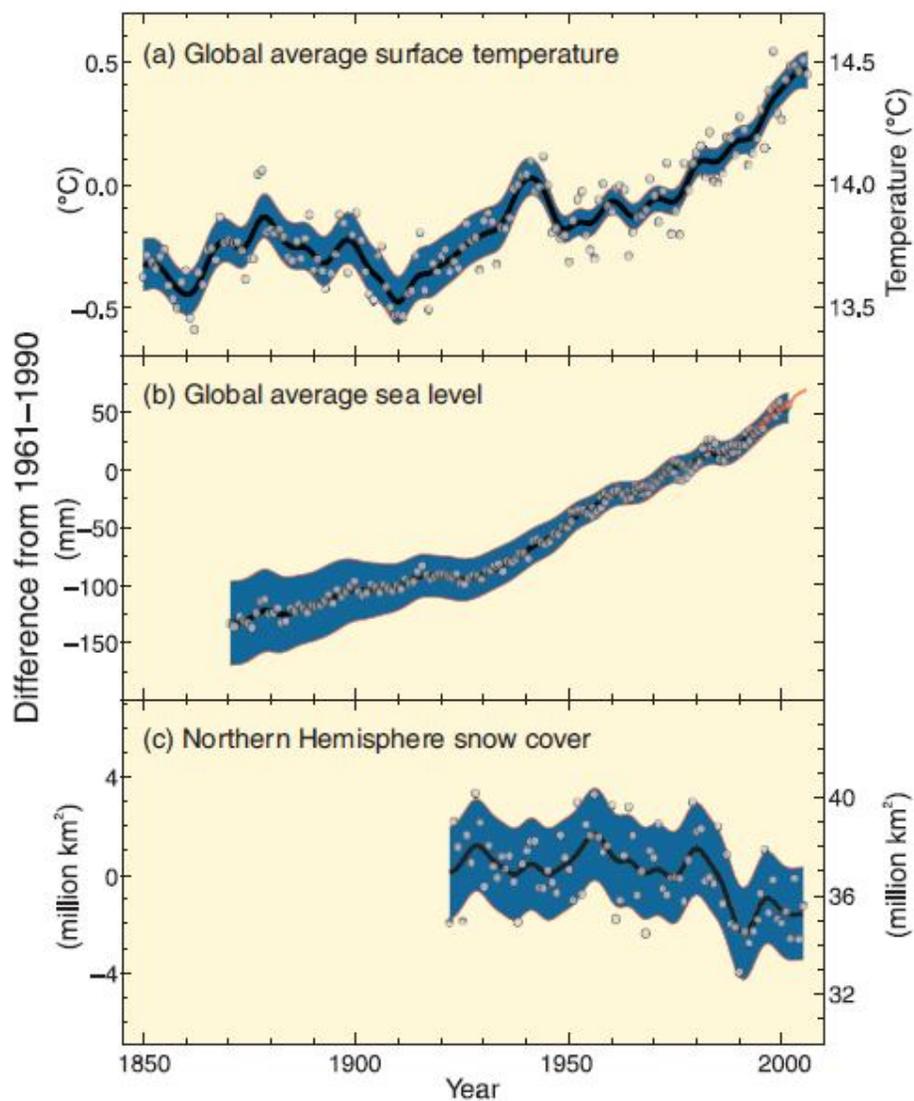


Figura 6 – Mudanças observadas em (a) na temperatura média global da superfície do mar; (b) no nível médio do mar com dados de bóias (azul) e de satélite (vermelho); (c) na cobertura de neve no Hemisfério Norte em março-abril. Curvas suavizadas representam valores de médias decadais, enquanto círculos mostram valores anuais. Áreas sombreadas são intervalos estimados com base em uma análise abrangente das incertezas conhecidas (a e b) e das séries temporais (c). Fonte: IPCC (2007).

1.4 Tópicos relacionados ao conforto térmico humano

A sensação de satisfação com o ambiente que caracteriza o conforto térmico humano no aspecto psicológico é diretamente relacionada aos processos físicos envolvidos. Os tópicos 1.4.1, 1.4.2, 1.4.2.1, 1.4.2.2, tratados a seguir, abordam tais processos culminando em uma revisão geral a respeito dos índices de conforto térmico (1.5) e àqueles selecionados para esse trabalho, definidos em 1.6.

1.4.1 O balanço térmico humano

De modo geral, a influência de variáveis meteorológicas em uma pessoa ou grupo de pessoas não se dá forma isolada, mas sim em ação conjunta com outras variáveis. Estas podem ser caracterizadas como variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa e absoluta, magnitude do vento e radiação solar), variáveis individuais (vestimentas e atividade física), variáveis fisiológicas (metabolismo e taxa de suor) e variáveis subjetivas (percepção ou preferência de sensações térmicas). Fanger (1972) define o conforto térmico (CT) como a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente ou a sensação de neutralidade térmica experimentada pelo ser humano, em determinado ambiente (interno ou externo), sendo que, esta neutralidade é verificada quando o calor produzido ou ganho pelo corpo é igual ao calor perdido para o ambiente.

No aspecto matemático, Campbell (1998) descreve a equação do Balanço Térmico (ou Balanço de Energia) (equação 1), que fornece a noção da interação das diferentes variáveis nos processos termodinâmicos envolvidos. Assim, se a soma de todos os termos for igual a zero, tem-se a representação do estado de conforto térmico, ou seja,

$$M + (as.Si) + (al.Li) - L - \lambda E - H - q - G = 0 \quad (1)$$

onde M é o fluxo de energia gerado pelo metabolismo (Wm^{-2}), as.Si o fluxo de energia ganho por absorção de onda curta (Wm^{-2}), al.Li o fluxo de energia ganho por absorção de onda longa (Wm^{-2}), L a emitância de onda longa (Wm^{-2}), λE é a perda de calor latente por evaporação de água do trato respiratório e pele (Wm^{-2}), H a taxa de perda de

calor convectivo (Wm^{-2}), q a taxa de estocagem de calor do organismo (Wm^{-2}) e G a perda de calor por condução (Wm^{-2}). De forma resumida, a sensação de CT implica no fato de o corpo humano não precisar utilizar nenhum dos seus mecanismos de termorregulação para que a temperatura interna seja mantida em torno de $37^{\circ}C$.

Todas estas variáveis estão representadas de forma simplificada na figura 7, adaptada de Egan (1975). Nesta figura as variáveis relativas ao estudo do conforto térmico estão separadas em duas categorias principais, sendo uma associada aos processos físicos de perda ou ganho de calor e outra às variáveis ambientais, ou meteorológicas. Assim, M representa o calor gerado pelo metabolismo, enquanto que as setas posicionadas para fora e para dentro do corpo estão relacionadas à perda e ganho de calor, respectivamente.

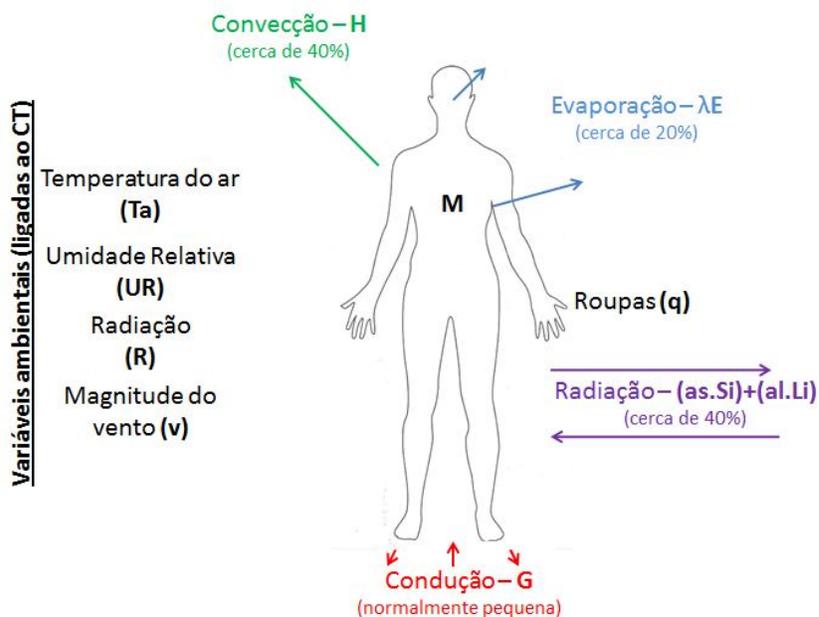


Figura 7 – Representação simplificada das variáveis individuais e ambientais relacionadas ao conforto térmico. Adaptada de Egan (1975).

1.4.2 Mecanismos de termogênese e termólise

Ao somatório de mecanismos relacionados à produção/ganho e perda de calor do corpo humano são dados os nomes de termogênese e termólise, sendo que o primeiro é primordialmente químico e o segundo físico.

1.4.2.1 Termogênese (Metabolismo)

Metabolismo é o nome dado ao conjunto de transformações/reações químicas que ocorrem dentro do organismo, responsável pela produção contínua de calor. A quantidade de calor produzida internamente é diretamente proporcional à taxa de metabolismo corporal. Por questões práticas ligadas à biometeorologia e ao conforto térmico, normalmente trabalha-se com tabelas de taxa de produção de calor metabólico associada a vários níveis de atividade. Este é o caso da tabela 1 elaborada por Landsberg (1969) e reproduzida por Campbell (1998).

Tabela 1 – Taxas de produção de calor metabólico para seres humanos.

Atividade	M (Wm^{-2})
Dormindo	50
Acordado, descansando	60
Em pé	90
Trabalhando em uma mesa ou dirigindo	95
Trabalho leve em pé	120
Caminhada de 4 km/h ou trabalho moderado	180
Caminhada de 5,5 km/h ou trabalho moderadamente forte	250
Caminhada de 5,5 km/h carregando 20 kg ou trabalho pesado	350
Ciclos curtos de atividades muito pesadas como escaladas e outros esportes	600

1.4.2.2 Termólise

A termólise trata dos mecanismos físicos ligados à perda de calor, sendo eles: evaporação, convecção, radiação e condução, detalhados a seguir.

a) Evaporação: Fisicamente definiu-se a evaporação pelo fenômeno no qual um líquido, ou sólido, como no caso da sublimação, ganha energia suficiente para passar ao estado de vapor. Ao evaporar, a temperatura do líquido remanescente declina, pelo fato de permanecerem apenas as moléculas com menor energia cinética média, processo definido como resfriamento evaporativo. Nos seres humanos, esse processo ocorre através do trato respiratório e da pele, sendo o segundo responsável pela maior taxa de resfriamento. Pela pele evapora-se água através dos processos de perspiração insensível e sensível: o primeiro relativo à perda de água de modo contínuo através de difusão, mesmo em situações termoneutras⁵ e o segundo através do suor. Biometeorologicamente associa-se a umidade relativa do ar à evaporação uma vez que, quanto maior a primeira, menor a eficiência da segunda. Este processo também está ligado à área “molhada” do corpo, de forma que uma pessoa com pequena taxa de suor apresenta uma perda de calor por evaporação inferior àquelas de taxa maior, pois possui menos líquido na superfície para evaporar. Neste sentido, a velocidade do vento destaca-se no trabalho de remoção da camada de ar mais próxima da pele, que já apresenta um conteúdo maior de vapor d'água.

b) Condução: A condução ocorre quando dois meios estão em contato físico direto, com calor fluindo do de maior temperatura para o de menor. De acordo com Campbell (1998), o transporte de calor e massa através da difusão molecular representa a menor escala espacial na qual a condução ocorre. Este processo tem sua influência reduzida drasticamente na termólise pelo fato da maioria das pessoas usarem calçados nos pés, que primariamente apresentam função isolante, reduzindo a transferência de calor com o solo. Entretanto, a condução aparece como etapa inicial no processo convectivo.

c) Convecção: A transferência de energia por convecção se dá inicialmente através da transferência de calor por condução entre uma superfície de maior temperatura que o meio e as partículas adjacentes do fluido. A energia transferida aumenta a temperatura das

⁵Um ambiente termoneutro é considerado confortável, no sentido em que o balanço de energia ocorre de forma equilibrada, sem que o corpo utilize outros mecanismos para manter a temperatura interna dentro dos limites normais.

partículas de fluido, que tendem a mover-se de acordo com o gradiente térmico para uma região de menor temperatura, compondo assim um movimento de mistura convectivo. De forma geral, a diferença de temperatura entre a superfície e a camada de fluido adjacente não é requisito único e obrigatório para que se verifique convecção, pois em alguns casos determinadas forçantes podem agir. Esses aspectos determinam os conceitos de convecção livre e forçada.

A convecção livre ocorre pela existência de gradientes de densidade no fluido, conforme este é aquecido ou resfriado pela superfície. A camada de ar mais próxima ao corpo e adjacente à pele também é chamada de camada limite, fazendo alusão à camada de ar mais próxima da superfície terrestre. Além das diferentes proporções, a camada limite corporal apresenta uma rugosidade "dinâmica", associada ao eriçamento dos pelos do corpo

Já a convecção forçada é relativa à condição na qual o um fluido qualquer é movido para além da superfície por uma dada força externa. O papel da forçante normalmente é assumido pelo vento, que ajuda a remover a camada de ar adjacente ao corpo.

d) Radiação: Os processos que envolvem radiação são muito importantes em estudos relativos ao conforto térmico e estão relacionados tanto à termólise, quanto à termogênese. Porém, essa evidente importância é acompanhada de um elevado grau de complexidade que faz com que estes processos sejam freqüentemente subutilizados no desenvolvimento de índices de CT. Na introdução do décimo capítulo de seu livro, Campbell (1998) argumenta que o transporte de energia radiativa não é tão intuitivo quando comparado aos outros processos físicos. O autor explica que para completa descrição da radiação que interage com determinado organismo, é necessário que se conheçam as relações entre vários termos que descrevem a transferência de radiação e energia, como hora do dia, área, comprimento de onda e direção.

A estimativa dos fluxos de radiação é necessária para a construção do balanço de energia humano, conforme visto na equação 1. Um método para obtê-los é através de modelagem, como pode ser visto em Matzarakis (2006), desenvolvedor do modelo RayMan. O modelo consegue estimar fluxos de radiação, bem como os efeitos de nuvens e morfologia urbana nestes, mostrando ser uma boa alternativa para utilização em índices de CT mais complexos.

1.5 Índices de conforto térmico

Conforme visto no Capítulo 1.1, desde aproximadamente 400 a.C. existe a idéia de que variáveis meteorológicas e mudanças no tempo exercem influência sobre as pessoas existe. Entretanto, o desenvolvimento e aplicação de metodologias capazes de quantificar essas interações surgiram muito mais tarde, conforme explica Araújo (1996, citado por MONTEIRO, 2008). De acordo com o autor, apenas no começo do século XX foram elaborados métodos de medição de variáveis e correlação com conforto térmico, motivados em sua grande maioria pelo advento do sistema de ar condicionado. Assim, estas pesquisas mantinham o foco basicamente no conforto de ambientes fechados, ditos climatizados. Naturalmente o interesse de aplicação em espaços abertos abrangendo um número maior de pessoas motivou a adaptação e o desenvolvimento de novos índices voltados para esse contexto.

Índices de conforto térmico nada mais são do que equações matemáticas que buscam relacionar variáveis ligadas ao conforto na tentativa de quantificar o desconforto, que por sua vez é associado a sensações térmicas e respostas fisiológicas. Um exemplo de associação entre faixas de temperatura e sensação térmica é dado na tabela 2, reproduzida de Fanger (1970) e com utilização voltada para ambientes internos.

Tabela 2 – Critérios determinados por Fanger (1970), para ambientes internos, dados intervalos de temperatura.

Sensação térmica percebida	Faixa de temperatura (°C)
Muito frio	< 13
Frio	13-16
Frio moderado	16-19
Ligeiramente frio	19-22
Confortável	22-25
Ligeiramente quente	25-28
Quente moderado	28-31
Quente	31-34
Muito quente	> 34

Na tabela 3, elaborada por Thom e Bosen (1959) e reproduzida em Santos (2008),

tem-se outro exemplo de inter-relação feita entre faixas de índices de CT e respostas da população. Neste caso, opta-se também por fazer uma estimativa em termos da porcentagem de pessoas desconfortáveis, agregando um caráter mais quantitativo e abrangente ao quadro de análise. O índice utilizado neste caso é denominado Temperatura Efetiva, de sigla TE.

Tabela 3 – Distribuição das classes de conforto térmico de Santos (2008).

Descrição	Classes de desconforto (TE)
Bem estar	$TE < 21^{\circ}\text{C}$
Menos de 50% da população possui um ligeiro desconforto	$21^{\circ}\text{C} \leq TE < 24^{\circ}\text{C}$
Outros 50% da população possui um crescente desconforto	$24^{\circ}\text{C} \leq TE < 27^{\circ}\text{C}$
A maioria da população um relativo desconforto e há um significativo deterioramento da condição psicofísica	$27^{\circ}\text{C} \leq TE < 29^{\circ}\text{C}$
Todos possuem um forte desconforto	$29^{\circ}\text{C} \leq TE < 32^{\circ}\text{C}$
Estado de emergência médica, um desconforto muito forte	$TE > 32^{\circ}\text{C}$

Além disso, Awbi (2003) explica que os índices são divididos em três categorias básicas: diretos, racionais e empíricos.

- a) Diretos: baseados nas medidas das variáveis realizadas por algum instrumento que se comporte de maneira semelhante ao ser humano. Como exemplo, o autor cita o termômetro de globo, que responde às variações da temperatura do ar, velocidade do ar e temperatura radiante. Na figura 8 tem-se a imagem de um confortímetro: termômetro de globo de fabricação nacional, composto de três sensores ligado a uma pequena placa que faz a leitura dos dados e o envia para um computador do tipo *tablet*⁶ acoplado.
- b) Racionais: baseados em modelos do balanço térmico humano (capítulo 1.3) e desta forma na troca de calor entre o corpo e o ambiente. A Temperatura Operativa de Campbell (1998) serve como exemplo de índice racional.
- c) Empíricos: baseados em um modelo de troca de energia entre o corpo humano e o

⁶ Computador pessoal de pequeno porte em forma de prancheta que dispõe de tela sensível ao toque, utilizado para tarefas básicas como acesso à internet, organização pessoal, visualização de fotos, vídeos, entre outros.

ambiente que é validada através de experimentos com uma determinada amostra da população, normalmente exposta a variáveis ambientais controladas por um determinado período de tempo (câmaras climáticas). Os autores citados a seguir enquadram-se nesta categoria de índice.



Figura 8 – Confortímetro de fabricação nacional.

No começo do século XX diversos pesquisadores contribuíram significativamente para o desenvolvimento de índices de CT, como Houghten e Yaglou (1923), que através da ASHVE (sigla em inglês de Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento e Ventilação, fundada em 1895) propuseram a Temperatura Efetiva (TE), após pesquisas envolvendo duas câmaras climáticas que permitiam o controle da temperatura e umidade relativa de forma independente. Registrando combinações de bulbo seco e úmido que provocavam a mesma sensação de conforto foi possível definir uma “zona de conforto”.

Vernon e Warner (1932) realizaram diversas medidas em dois sujeitos que desenvolviam trabalhos mecânicos por um período de três horas, em câmaras climatizadas. A fim de considerar os efeitos radiativos, substituíram a temperatura do bulbo seco pela de globo e propuseram dessa forma a Nova Temperatura Efetiva.

Missenard (1948), na França, propôs a Temperatura Resultante (TR) utilizando metodologia similar à de Houghten e Yaglou (1923), através da exposição de sujeitos em câmaras climáticas, utilizando um termômetro de globo de 90 mm de diâmetro para medidas. Givoni (1969) argumenta que este índice apresenta resultados mais coerentes em relação às respostas fisiológicas observadas, uma vez que as medidas e questionários

foram aplicados após 30 minutos do sujeito ter entrado na câmara, fornecendo assim tempo suficiente para ajustes corporais. Os três índices supracitados foram obtidos de modo empírico e eram utilizados a partir de nomogramas⁷, como o da figura 9, de Missenard.

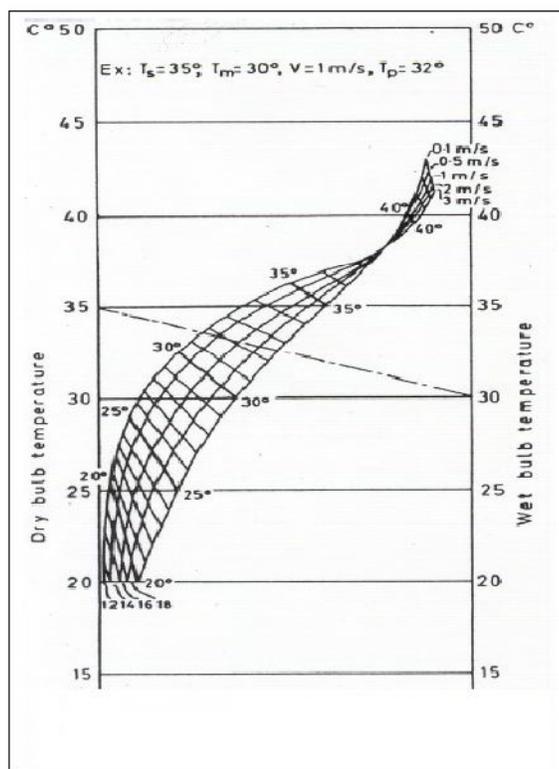


Figura 9 – Nomograma da Temperatura Resultante por Missenard.

Alguns índices mais elaborados levam em consideração aspectos fisiológicos e o balanço térmico humano. Tais índices são conhecidos como analíticos e possuem a vantagem de quantificar a troca de calor do corpo com o ambiente de modo mais preciso e real. Entretanto, na sua aplicação são requeridas variáveis de difícil mensuração, associadas a aspectos fisiológicos de conteúdo singular, que variam de pessoa para pessoa. Em virtude deste detalhe, apesar da boa representatividade dos mecanismos de trocas de calor, estes índices não apresentam grande potencial para aplicação, especialmente considerando o contexto operacional, permanecendo assim restrito ao uso

⁷Representação em um plano (bidimensional) de equações com diversas variáveis, de modo que a solução aproximada é obtida através da leitura no diagrama.

científico-acadêmico.

A dualidade entre índices simples e complexos norteou partes das discussões do 19º Congresso Internacional de Biometeorologia (19º ICB), que aconteceu na cidade de Auckland, Nova Zelândia. Nesta ocasião, foram expostos trabalhos que seguem estas linhas opostas e podem ser aqui sumarizados por Mader (2008) e Mader (2011), que propõe o Índice Climático Compreensivo para Humanos (CCIH), uma variação do Índice Climático Compreensivo (CCI), desenvolvido originalmente para uso em animais e que leva em conta apenas variáveis meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa, vento e radiação solar); e Jendritzky (2011), responsável pela Comissão 6 da Sociedade Internacional de Biometeorologia, desenvolvedora do Índice Termo-climático Universal (UTCI), possivelmente, o mais avançado e complexo da atualidade.

Diversos índices analíticos foram desenvolvidos anteriormente ao UTCI, como McArdle et al. (1947), que propuseram o índice de taxa de suor prevista para quatro horas (P4SR), através da avaliação das respostas fisiológicas dos sujeitos após quatro horas de exposição à determinadas combinações de temperatura do ar, umidade relativa, vento, temperatura média radiante, taxa metabólica e vestimentas.

Lee (1958) propôs o índice de esforço térmico (TSI), baseado tanto em observações quanto em análise dos mecanismos da transferência de calor. Sua utilização também se dava através de um nomograma.

Ionides, Plummer e Siple (1945) desenvolveram a taxa de aceitação térmica (TAR), que caracteriza a taxa de aceitação ao calor em determinado ambiente de uma pessoa nua a determinada taxa metabólica. Posteriormente esse índice serviu de base para o trabalho de Belding e Hatch (1955).

Belding e Hatch (1955) propuseram o índice de estresse por calor (HSI), definido como a razão entre a taxa de resfriamento evaporativo requerida para manter o balanço térmico e o máximo resfriamento evaporativo, dadas determinadas condições. Givoni (1969) questiona a adequação do índice à população em geral, uma vez que no desenvolvimento do mesmo foi considerada uma pessoa nua e não vestida, fato que pode levar a uma superestimativa do efeito de resfriamento provocado pelo vento.

Givoni (1969) propõe então o índice de estresse térmico (ITS), obtido através da taxa de resfriamento produzido pelo suor que manteria o equilíbrio térmico dada determinadas condições. Uma vez que é baseado na taxa de suor, esse índice pode ser utilizado em condições confortáveis e de calor apenas (não aplicável no frio).

1.6 índices aplicados neste trabalho

Os índices selecionados foram considerados, neste momento, os mais adequados para este trabalho, pois contam com uma aplicação acessível, além do fato de já terem sido utilizados previamente em estudos ligados à conforto térmico urbano, inclusive para a RMSP, vide Maia e Gonçalves (2002). Foram escolhidos três índices:

a) Índice de Desconforto (ID):

O Índice de Desconforto (ID) foi originalmente proposto por Thom (1959) e consiste de uma equação linear desenvolvida a partir da leitura do bulbo úmido e seco. Giles et al. (1990) desenvolveram uma versão alternativa desse índice, onde a umidade passa a ser descrita em função da umidade relativa e o resultado é dado em °C. Este índice é mais utilizado para descrever situações de estresse por calor excessivo, embora também possa ser utilizado em situações frias. Assim, ID é dado por

$$ID = T - 0,55.(1 - 0,01.UR).(T - 14,5) \quad (2)$$

onde ID é o índice de desconforto (°C), T a temperatura do bulbo seco (°C) e UR a umidade relativa (%).

b) Temperatura Resultante (TR):

Já a Temperatura Resultante (TR) foi proposta por Missenard (1937) e apresenta resultados muito semelhantes à ID. Embora estes índices tenham sido inicialmente pensados para ambientes internos (haja vista o fato de não considerarem a influência do vento) alguns autores o utilizam para ambientes externos, com o auxílio inclusive da classificação térmica proposta por Fanger (1970), representada na tabela 2. Desta forma, TR é dado por

$$TR = T - 0,4.(T - 10).(1 - UR/100) \quad (3)$$

onde TR é a temperatura efetiva (°C), T a temperatura do bulbo seco (°C) e UR a umidade relativa (%). Alguns autores dão o nome de Temperatura Efetiva (TE) a este índice, como em Nedel (2006) e Murara, Coelho-Zanotti e Amorim (2010).

c) Temperatura Resultante com Vento (TRv):

Krawczyk (1975) desenvolveu uma versão modificada do índice TR que leva em conta o vento e é chamado de TRv (o “v” no fim faz referência a vento). Esta equação, também utilizada por Suping et al. (1992), mostra que a influência do vento pode ser significativa na sensação térmica humana. Uma discussão sobre isso é feita em Batista, Camponogara e Gonçalves (2010). Assim, TRv é dado por

$$TRv = 37 - \frac{(37-T)}{[0,68-0,0014UR+\frac{1}{1,76+1,4v^{0,75}}]} - 0,29T \left(1 - \frac{UR}{100}\right) \quad (4)$$

onde TRv é a temperatura efetiva com o vento (°C), T a temperatura do bulbo seco (°C), v o vento (em m/s) e UR a umidade relativa (%).

2. FERRAMENTAS E DADOS UTILIZADOS

Neste capítulo são apresentados os detalhes referentes às etapas do trabalho, bem como às ferramentas utilizadas e metodologias adotadas em sua elaboração.

2.1 Etapas do trabalho

Este trabalho foi subdividido em diferentes etapas, que estão representadas de forma sucinta na figura 10. Inicialmente, foram obtidos dados da estação meteorológica do IAG (detalhes no capítulo 2.2) que coincidiram com o mesmo período simulado do modelo, ou seja, de 01 de janeiro de 1959 a 31 de dezembro de 1990, para as variáveis meteorológicas⁸ (ou meteorológicas) temperatura do ar, umidade relativa, vento, e precipitação. De imediato, o ano de 1959 foi descartado para que as duas séries (da estação e do modelo) ficassem iguais, já que o primeiro ano da série gerada no Modelo Climático Regional (MCR) foi considerado como de ajuste do mesmo e, portanto, excluído das análises.

O conjunto de dados da estação foi utilizado para caracterização inicial do clima referente à RMSP (exposta em 1.2) e também para comparação com os resultados gerados pela simulação do MCR RegCM3, considerando o período de 1960-1990.

Das simulações do MCR (detalhada no capítulo 2.3) foram utilizados três períodos de tempo distintos, a constar: 1960-1990, 2010-2040 e 2070-2100. Com base neles, calcularam-se os índices ID, TR e TRv diários, para posterior análise quantitativa através dos quantis e qualitativa através dos calendários climáticos.

⁸Variáveis meteorológico-ambientais que afetam um ou mais indivíduos de uma determinada população.

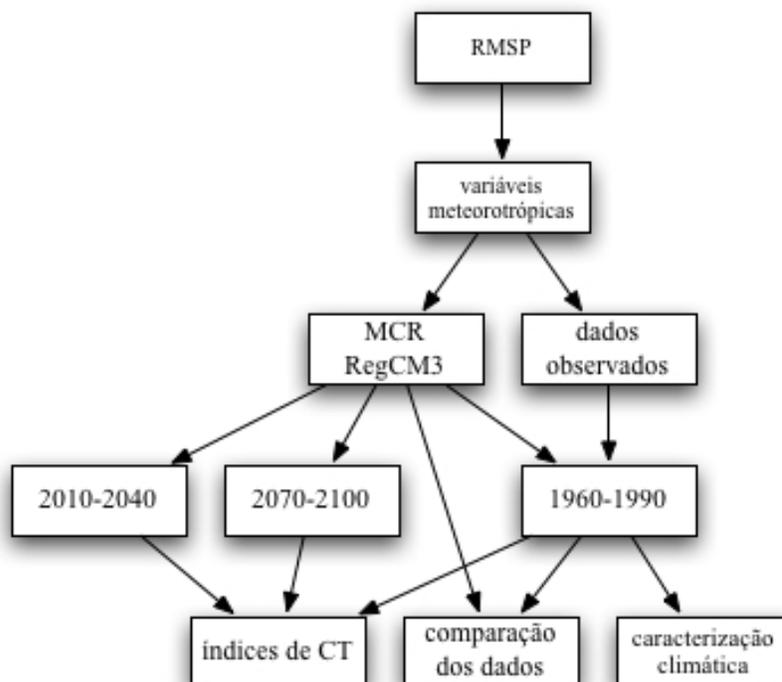


Figura 10 – Fluxograma das etapas desenvolvidas no trabalho.

2.2 Dados da estação meteorológica do IAG-USP

A estação meteorológica do IAG está localizada no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (antigo Parque do Estado), Bairro da Água Funda, Capital, SP, latitude de 23,6512°S e longitude de 46,6224°W, à uma altitude de 799,2 metros (BOLETIM CLIMATOLÓGICO ANUAL DA ESTAÇÃO DO IAG/USP, 2010).

A série de dados solicitada junto à estação para este trabalho contém as seguintes variáveis:

- Temperatura do ar: registrada a cada hora (exceto durante a madrugada); também máxima, mínima e média diária;
- Umidade relativa: registrada a cada hora (exceto durante a madrugada); também máxima, mínima e média diária;

- Vento: velocidade média diária e direção predominante; rajada máxima diária e direção da mesma;
- Precipitação: acumulados diários.

Primeiramente, as variáveis foram organizadas em colunas individuais abrangendo todo o período, de forma a facilitar o cálculo dos índices de CT no Microsoft Excel. Os pares de colunas eram organizados de forma a tornar possível a análise do desconforto encontrado nos períodos tanto da tarde, quanto da noite. Assim, para o cálculo dos índices referentes às tardes tem-se duas colunas, contendo respectivamente temperatura máxima (Tmax) e umidade relativa mínima (URmin) do dia. Da mesma forma, para obtenção dos índices noturnos utilizaram-se duas colunas contendo temperatura mínima (Tmin) e umidade relativa máxima (URmax) diária. Na necessidade do uso da variável vento para obtenção de TRv, optou-se sempre pela rajada máxima diária, dada a intenção de representar o máximo desconforto sentido na RMS. Esta combinação de variáveis também foi utilizada em Maia e Gonçalves (2002) para estudo de conforto térmico envolvendo a cidade de São Paulo. Ainda foi organizado outro par de colunas contendo temperatura e umidade relativa médias diárias (Tmed e URmed, respectivamente), a fim de se obterem os valores médios diários dos índices, para posterior aplicação da técnica dos quantis e comparação com os resultados da simulação do modelo.

Os dados horários de temperatura e umidade relativa da simulação foram submetidos ao mesmo procedimento de organização em colunas únicas contendo toda a série. Após cômputo dos índices, as planilhas foram exportadas no formato *csv* para então serem lidas por scripts desenvolvidos para linguagem e ambiente estatístico R (*R DEVELOPMENT CORE TEAM*, 2012), com a finalidade de gerar os dados estatísticos e mapas de calor horários, pelo pacote *Pheatmap* (KOLDE, 2012) (ver 2.5.1).

2.3 O Modelo Climático Regional (versão 3) – RegCM3

Os resultados obtidos dos Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs) podem ser aprimorados através da técnica do *downscaling* dinâmico, onde um modelo de maior resolução e área limitada é rodado para a região de interesse, sendo forçado pela circulação de larga escala e de menor resolução, do próprio MCGA. De acordo com

Giorgi e Marinucci (1991) apud Lima e Alves (2009), os Modelos Climáticos Regionais (MCRs) incorporam características não contidas nos modelos globais, tais como topografia, vegetação, solo, diferenças continente-oceano, entre outras, respondendo melhor às forçantes locais e de sub-escala dos MCGAs. No presente trabalho, as condições iniciais e de fronteiras são obtidas do modelo ECHAM5, que é baseado no modelo de previsão do tempo do *European Center for Medium Range Weather Forecasts* (ECMWF). Uma descrição detalhada sobre o ECHAM5 pode ser encontrada em Roeckner et al. (2003).

A extrapolação dos índices de CT para períodos futuros feita neste trabalho foi realizada a partir de simulações do MCR RegCM3, documentado por Pal et al. (2007). O RegCM3 é um modelo compressível, hidrostático, dado em coordenada vertical sigma e que usa diferenças finitas para resolver as equações. A descrição dos processos de troca turbulentas de momento, energia e vapor d'água entre solo, planta e atmosfera é feita utilizando o esquema BATS (Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme), descrito por Dickinson et al. (1993). Para transferência radiativa o RegCM3 usa o mesmo esquema contido no *Community Climate Model 3* (CCM3), Kiehl et al. (1996). Já nos processos úmidos é utilizado o esquema de Grell para convecção (GRELL, 1993). A versão do MCR utilizada incorpora alterações de parâmetros nos esquemas de BATS e Grell, para melhor prever a intensidade da chuva na parte Tropical da América do Sul (da ROCHA et al., 2012), uma vez que o mesmo tende a subestimá-la (FERNANDEZ et al. 2006, CUADRA e da ROCHA 2007, RAUSCHER et al. 2007, SETH et al. 2007, da ROCHA et al. 2009a), especialmente durante o verão.

O domínio da simulação foi definido de acordo com o CORDEX (*COordinated Regional climate Downscaling Experiment*), um programa internacional para *downscaling* de projeções climáticas de diversas partes do mundo usando MCRs (GIORGI et al. 2009) e no contexto do CLARIS-LPB, uma rede de cooperação entre Europa e América do Sul para avaliação das mudanças climáticas e respectivos impactos na Bacia do Prata. As simulações usaram a projeção Mercator-Rotacionada, com resolução horizontal de 50 km, contendo 1 nível vertical (apenas superfície), 559 pontos de grade na direção Leste-Oeste e 390 na Norte-Sul, abrangendo toda a América do Sul, conforme figura 11.

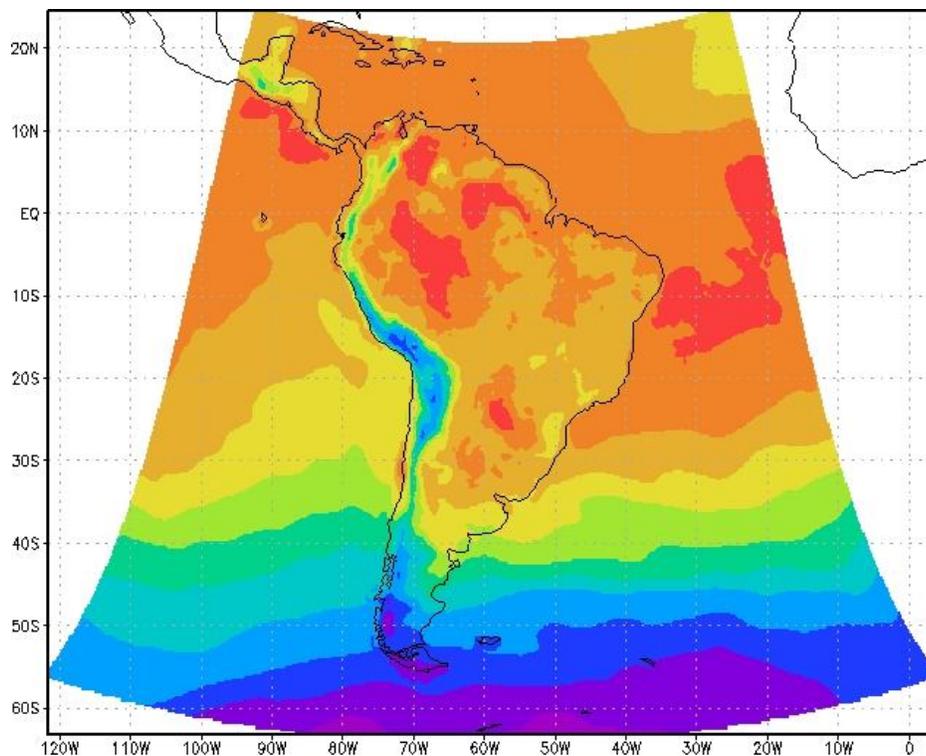


Figura 11 – Domínio das simulações do RegCM3 cobrindo todo o Continente Sul Americano.

As variáveis atmosféricas do ECHAM5 utilizadas nas simulações foram a altura geopotencial, temperatura, vento, umidade relativa, pressão atmosférica e temperatura da superfície do mar, integradas a partir do século XIX e forçadas pelo cenário de emissões A1B (*Special Report on Emissions Scenarios - SRES A1B*).

A partir das simulações do RegCM3 para os períodos de 1959-1990, 2009-2040 e 2069-2100, excluíram-se da análise os anos de 1959, 2009 e 2069, por terem sido considerados como tempo de ajuste (*spin up*) do modelo. Para cada período foram obtidas as variáveis médias diárias temperatura do ar, umidade relativa e vento, extraídas como média da área de tamanho 100 km por 100 km (um ponto de grade acima, abaixo, à esquerda e à direita da localização da estação), definida através da função *aave()* do software GrADS 2.0.1 e centrada na mesma latitude e longitude da estação (figura 12).

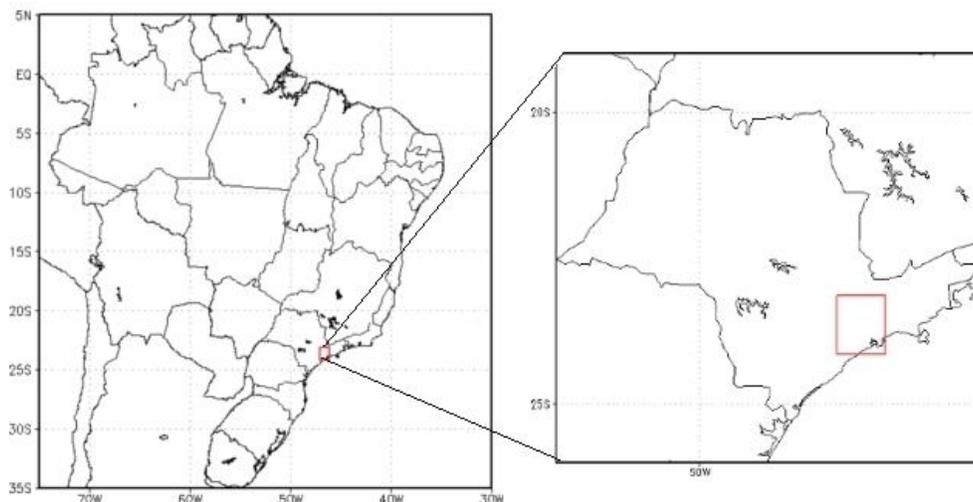


Figura 12 - Região considerada para extração das variáveis médias através da função *aave()*.

Neste caso optou-se pela utilização da média de uma pequena área ao invés de um único ponto da grade, com a intenção de evitar penalização ao modelo que poderia estar deslocando determinado sistema do seu lugar.

2.4 A técnica do quantis

Pode-se abordar a análise tanto das variáveis meteorológicas quanto dos índices de CT através da técnica dos quantis. Xavier, Silva e Rebello (2002) tratam esta ferramenta de forma bastante objetiva aplicada especificamente à chuvas no Nordeste do Brasil, entretanto deixa claro que este tipo de análise pode ser feita considerando outras variáveis meteorológico-climáticas, como por exemplo, temperatura e umidade relativa. Aqui, a técnica é utilizada em índices de CT como forma de quantificar o desconforto e proporcionar uma ferramenta de comparação entre os índices obtidos a partir de dados observados e simulados.

Em Xavier (1999, p. 66) encontra-se uma explicação detalhada referente a esta técnica, dada a seguir.

[...] suponha-se que a chuva em um determinado local, acumulada em

certo subintervalo do ano (mês, bimestre, trimestre, quadrimestre, semestre, etc.), com respeito a anos consecutivos, possa ser representada como uma variável aleatória contínua X . Qualquer que seja a lei apropriada aos dados, define-se o quantil Q_p , para cada número real p entre 0 (zero) e 1 (um), como o valor em milímetros de chuva (se esta for a unidade utilizada) que satisfaça a condição:

$$\text{Prob}(X \leq Q_p) = p \quad (5)$$

Uma interpretação simples para o quantil Q_p é a seguinte: supondo a “probabilidade” p expressa em termos percentuais, espera-se que em $p(\%)$ dos anos a medida da chuva X não deve ultrapassar o valor desse quantil Q_p , em milímetros, enquanto para $(100 - p)\%$ dos anos, tal valor será excedido.

Os quantis aparecem em diferentes denominações, ligadas ao número de ordens quantílicas (p) em questão. Quartis quando o conjunto de dados apresenta $p = 0,25, 0,50$ e $0,75$, de quantis respectivamente $Q_{0,25}, Q_{0,50}$ e $Q_{0,75}$. Quintis quando apresenta $p = 0,20, 0,40, 0,60$ e $0,80$, com quantis $Q_{0,20}, Q_{0,40}, Q_{0,60}$ e $Q_{0,80}$. Decis quando apresenta $p = 0,10, 0,20, 0,30, 0,40, 0,50, 0,60, 0,70, 0,80$ e $0,90$, com quantis equivalentes. Percentis quando apresenta $p = 0,01, 0,02, 0,03$, etc. A escolha das ordens quantílicas está relacionada ao número de subconjuntos no qual o conjunto de dados desta variável X será dividido. Se considerarmos uma análise sazonal, por exemplo, pode-se fazer uso dos quartis, para que seus dados sejam separados em 4 grupos. Por outro lado, para avaliação de eventos extremos é coerente utilizar-se dos decis ou até mesmo percentis e analisar os quantis inferiores e superiores.

Blank, Marques e Justino (2011), por exemplo, utilizam quantis de temperatura mínima para relacionar com a concentração de gelo marinho antártico. Os dados de temperatura mínima diária do ar foram obtidos de 6 estações meteorológicas distribuídas pelo estado do Rio Grande do Sul, pertencentes ao 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (8º DISME-INMET). Posteriormente, considerando a série de dados (X_1, X_2, \dots, X_n) , para cada mês foram calculados os quantis $Q_{0,30}$ e $Q_{0,70}$, de cada estação meteorológica e assim definir uma classe fria (correspondente a $X_i \leq 0,30$) e uma classe quente ($X_i \geq 0,70$).

Schneider et al. (2006) e Ito et al. (2006) também aplicaram a técnica dos quantis em séries históricas de precipitação, temperatura mínima e máxima, de estações automáticas espalhadas pelo estado de São Paulo para o período de 1943 a 2005. Nesta ocasião optou-se pelos quintis, sendo eles $Q_{0,15}, Q_{0,35}, Q_{0,65}$ e $Q_{0,85}$. O intuito da escolha por ordenar os dados em 5 categorias se deu pelo fato de querer avaliar a

variação sazonal dos extremos destas variáveis e evidenciar sua transição anual.

Xavier, Silva e Rebello (2002) demonstram através de exemplos que é possível utilizar as medidas separatrizes, ou ordens quantílicas, dos quantis na elaboração de categorias que definam grupos específicos pra análise, como ilustrado na figura 13, onde esta técnica foi aplicada à precipitação e temperatura do ar. Na figura observa-se que valores de precipitação e temperatura inferiores à $Q_{0,15}$ são categorizadas como “muito seco” e “muito frio”, respectivamente, enquanto que as contidas entre $Q_{0,15}$ e $Q_{0,35}$ são consideradas “seco” e “frio”, entre $Q_{0,35}$ e $Q_{0,65}$ “normal”, entre $Q_{0,65}$ e $Q_{0,85}$ “chuvoso” e “quente” e por fim valores acima de $Q_{0,85}$ são considerados “muito chuvoso” e “muito quente”.

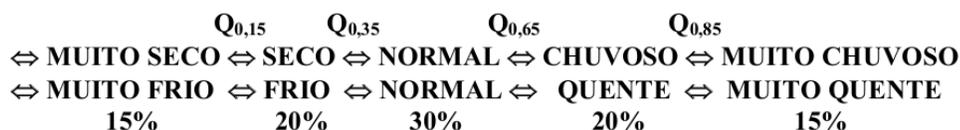


Figura 13 – Categorias delimitadas pelos quantis aplicada à precipitação e temperatura do ar. Fonte: Xavier, Silva e Rebello (2002).

No presente trabalho faz-se uso da técnica dos quantis em três situações distintas: uma para avaliar quantitativamente os extremos, dados pelos quantis superior e inferior, das variáveis T_{max} e T_{min} medidas pela estação meteorológica; outra para análise e comparação dos índices de CT obtidos através dos dados observados e do modelo; e por fim, como instrumento de comparação entre os índices de CT dos períodos de 1960-1990, 2010-2040 e 2070-2100.

Na obtenção das ordens quantílicas necessárias para distribuição de frequência nos quantis, fez-se uso da função *quantile()* para linguagem R (R, 2012). Em seguida, um script fazia leitura desses dados e os categorizava em seus respectivos quantis, definidos pelos limiares quantílicos extraídos da própria série.

Com a intenção de favorecer a análise das condições na qual se verifica maior desconforto térmico, neste trabalho é feita a opção pelo uso dos decis, ou seja, o conjunto de dados será distribuído dentro de 10 subconjuntos separados por 9 ordens quantílicas. Por questões de praticidade, a denominação "quantis" continuará sendo utilizada em detrimento de "decis". O significado das siglas QI e QS, bem como dos quantis intermediários, são dadas a seguir:

- QI: denominado decil inferior (ou Q0-Q10), porcentagem dos valores que ficaram entre os decis 0 e 0,10;
- Q10-Q20: porcentagem dos valores que ficaram entre os decis 0,10 e 0,20;
- Q20-Q30: porcentagem dos valores que ficaram entre os decis 0,20 e 0,30;
- Q30-Q40: porcentagem dos valores que ficaram entre os decis 0,30 e 0,40;
- Q40-Q50: porcentagem dos valores que ficaram entre os decis 0,40 e 0,50;
- Q50-Q60: porcentagem dos valores que ficaram entre os decis 0,50 e 0,60;
- Q60-Q70: porcentagem dos valores que ficaram entre os decis 0,60 e 0,70;
- Q70-Q80: porcentagem dos valores que ficaram entre os decis 0,70 e 0,80;
- Q80-Q90: porcentagem dos valores que ficaram entre os decis 0,80 e 0,90;
- QS: denominado decil superior (ou Q90-Q100), porcentagem dos valores que ficaram entre os decis 0,90 e 1,0.

De acordo com a metodologia supracitada, foi feita distribuição e análise das temperaturas máxima e mínima nos quantis superior e inferior, utilizando dados da estação. Nesta parte o foco foi mantido apenas nessa variável, pois ela caracteriza fator dominante no que se refere a desconforto por frio ou calor, durante as tardes e noites.

Em seguida, Tmax e Tmin deixam de ser tratadas de forma individual e são utilizadas em conjunto com URmin, URmax e vento para o cálculo e distribuição de frequência dos índices de CT nos quantis, que também são calculados considerando Tmed, URmed e vento, para posterior comparação com dados do RegCM3. O diagrama da figura 14 ilustra as variáveis envolvidas na aplicação dos quantis tanto para Tmax e Tmin, individualmente, quanto para os índices de CT. Já na figura 15, tem-se um esquema similar representativo das variáveis médias diárias, usadas para comparação com os quantis obtidos a partir dos dados de modelo.

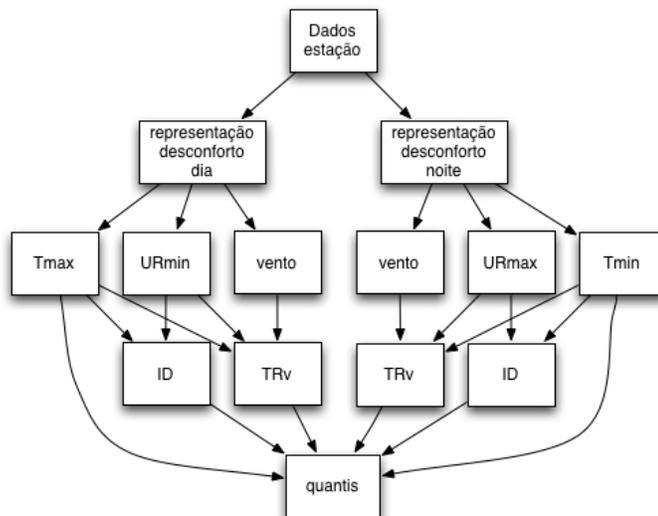


Figura 14 – Diagrama esquemático mostrando as variáveis da estação meteorológica usadas para obtenção de ID, TRv e posterior distribuição nos quantis.

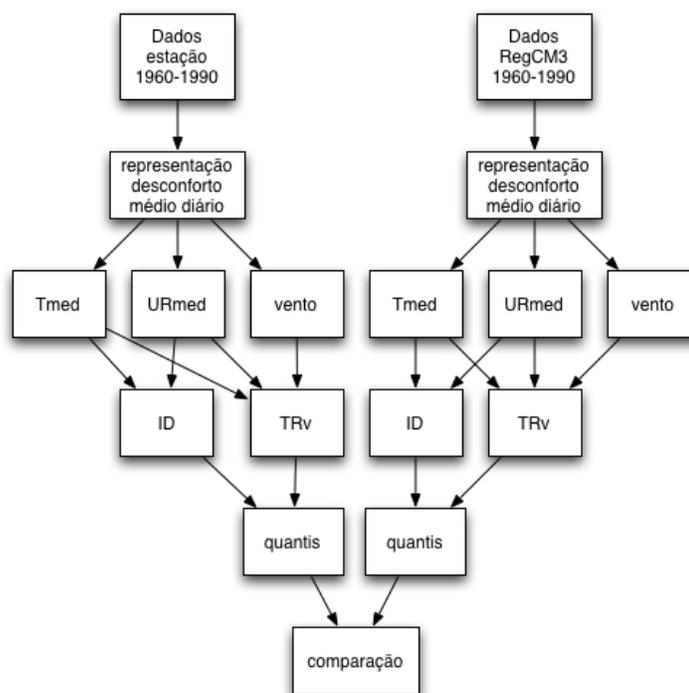


Figura 15 – Diagrama esquemático mostrando as variáveis da estação e do MCR usadas para obtenção de ID, TRv, distribuição nos quantis e comparação de resultados.

2.5 Mapas de calor

Mapas de calor são plotagens bi-dimensionais de uma matriz de dados, de forma que os maiores valores são freqüentemente representados por pixels mais escuros enquanto que os menores valores por pixels mais claros. Porém, isso não é uma regra e a paleta de cores pode ser alterada arbitrariamente. A palavra “calor” no nome desta ferramenta não torna regra básica a sua aplicação única e exclusivamente para estudos relacionados à termodinâmica. De fato, verificam-se utilizações nas mais diversas áreas, como informática, biologia, economia, entre outras.

2.5.1 Mapa de calor horário

Na construção dos mapas de calor horário apresentados neste trabalho são utilizados os 30 anos de dados obtidos da estação meteorológica, com objetivo de representar climatologicamente as horas mais confortáveis e desconfortáveis para a RMSP, usando como base a temperatura e umidade relativa de cada hora.

O primeira etapa consistiu da obtenção dos valores médios de temperatura e umidade relativa para cada hora de 01 de janeiro de 1960 a 31 de dezembro de 1990 (através de médias aritméticas). Assim, por exemplo, foi extraído um valor médio de todas as temperaturas registradas na estação as 13:00 dos dias 01 de janeiro de 1960 a 1990, dos dias 02 de janeiro, 03 de janeiro e assim consecutivamente.

Os valores médios resultantes são usados para o cálculo dos índices de CT, que posteriormente eram lidos pelo pacote *Pheatmap* (KOLDE, 2012), desenvolvido para R.

2.5.2 Calendário climático

O calendário climático é caracterizado como um tipo de mapa de calor, no qual a distribuição da série de dados é feita em formato de calendário, evidenciando o aspecto temporal. Por se tratar de uma ferramenta ainda incomum na representação de dados oriundos da meteorologia e climatologia, o nome "calendário climático" é estabelecido arbitrariamente neste trabalho.

Para elaboração dos calendários, foram utilizadas médias diárias de precipitação (acumulado diário), temperatura, umidade relativa e vento, além de índices de CT da

estação e do MCR. As figuras são geradas a partir do pacote para R *OpenAir* (CARSLAW e ROPKINS, 2012), um projeto financiado pelo NERC (*National Environment Research Council*) e Defra (*Department for Environment Food and Rural Affairs*) que busca prover ferramentas de código aberto (*open-source*) para análise de dados de poluição do ar. Atualmente, o projeto é liderado pelo *Environmental Research Group*, da Universidade de Leeds, na Inglaterra.

Para leitura do pacote, os dados precisam estar no formato requisitado, de forma que o arquivo a ser lido contenha pelo menos duas colunas, uma com datas e outra com os dados. Desta forma, antes do uso do *OpenAir*, foram elaborados arquivos de texto contendo a média aritmética das médias diárias das variáveis supracitadas (com exceção do vento) para cada um dos dias. Ou seja, os arquivos tinham de conter a média de todas as médias diárias dos dias 01 de janeiro, 02 de janeiro, 03 de janeiro e assim sucessivamente. O valor médio contido no dia 29 de fevereiro foi composto considerando os anos bissextos, ou seja, obtido a partir das 8 médias diárias dos dias 29 de fevereiro dos anos de 1960, 1964, 1968, 1972, 1976, 1980, 1984 e 1988.

2.5.3 Erro Médio (viés) e RMSE

A comparação entre as séries temporais dos índices geradas a partir dos dados simulados e observados é feita através dos índices estatísticos: Erro Médio e Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (*Root Mean Square Error – RMSE*).

a) Erro médio (EM): O viés do modelo é obtido através do erro médio, dado por (FREITAS et al., 2007):

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - o_i) \quad (6)$$

Onde EM é o erro médio, n o número de instantes da análise/observação, y_i o valor da variável simulada e o_i da observada. Mendonça (1999) ressalta que o erro médio fornece uma medida do desvio da simulação, permitindo a identificar se o modelo está superestimando (valores positivos) ou subestimando (negativos) determinada variável. Foram calculados os EMs para todos os meses de 1960 a 1990 através da linguagem/software R.

b) Raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE): O RMSE é definido em Pilke (2002), da seguinte forma:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - o_i)^2} \quad (7)$$

Onde RMSE é a raiz quadrada do erro médio elevado ao quadrado, n o número de instantes da análise/observação, y_i o valor da variável simulada e o_i da observada. Mendonça (1999) explica que o RMSE fornece uma medida da precisão (acurácia) do modelo, permitindo apurar o quanto o valor simulado é próximo do valor verdadeiro. Como o erro médio é elevado ao quadrado, os maiores erros são realçados, de modo que, quanto maior RMSE, menor a precisão do valor simulado. O cálculo do RMSE foi realizado através da função *rmse()* do pacote hydroGOF (BIGIARINI, 2012), para R.

Complementarmente foram obtidos para todos os meses valores máximos, mínimos, médios, desvios padrão e variâncias, das variáveis meteorológicas simuladas e observadas, através de funções intrínsecas do R, expostos nas tabelas 2A, 3A e 4A (apêndice). O mesmo procedimento foi realizado para os índices de CT simulados e observados, dados nas tabelas 5A e 6A. Já as tabelas 7A, 8A e 9A contêm estes mesmos parâmetros para os índices de CT dos três períodos de estudo (1960-1990, 2010-2040 e 2070-2100).

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos neste trabalho são apresentados nos capítulos seguintes.

3.1 Quantis de temperaturas máxima e mínima

Como parte da caracterização das condições extremas encontradas pelos habitantes da RMSP, as temperaturas máxima e mínima da estação meteorológica foram separadas nos quantis determinados pelas medidas separatrizes da tabela 4.

Tabela 4 – Limiares para os decis das temperaturas diárias máxima e mínima da estação do IAG.

Quantis	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
Q.I.	↑ 18,4	↑ 9,9
Q10-Q20	↕ 20,8	↕ 11,6
Q20-Q30	↕ 22,4	↕ 12,8
Q30-Q40	↕ 23,8	↕ 13,8
Q40-Q50	↕ 25	↕ 14,8
Q50-Q60	↕ 26,2	↕ 15,8
Q60-Q70	↕ 27,4	↕ 16,9
Q70-Q80	↕ 28,7	↕ 17,9
Q80-Q90	↕ 30,4	↕ 18,8
Q.S.	↓	↓

Dado o interesse em verificar o comportamento de extremos referentes à temperatura, maior atenção é fornecida ao Q.I. e Q.S., pois estes são representativos das situações nas quais esta variável provoca maior impacto nas populações vulneráveis da RMSP.

3.1.1 Quantil inferior de temperatura (QI)

Os quantis inferiores das temperaturas máximas e mínimas vão representar as situações na qual se tem maior desconforto por frio durante os períodos da tarde e da noite, respectivamente. Para tal, considera-se que a maior parte dos registros de Tmax ocorre durante a tarde e de Tmin durante a noite.

As figuras 16a-b apresentam as distribuições de temperaturas máximas e mínimas registradas pela estação meteorológica no QI, de 1960 a 1990. De acordo com a tabela 4 para a figura 16a foram enquadrados no QI os valores de Tmax inferiores a 18,4°C, enquanto que em 16b os inferiores a 9,9°C.

Considerando o período da tarde (16a), julho é o mês que apresentou maior incidência de temperaturas no QI, correspondendo a 23,8% das ocorrências, valor próximo das porcentagens de junho, agosto e setembro. Isto indica que no período da tarde, o número de ocorrências de Tmax pertencentes ao QI é estritamente relacionado à época do ano. Ou seja, durante as tardes, não é prudente eleger um único mês como o que apresenta maior desconforto por frio, pois, estatisticamente, junho, julho, agosto e setembro apresentaram porcentagens próximas em relação à quantidade de Tmax inclusa nesse quantil (junho com 19,5%, julho 23,8%, agosto 20,2% e setembro 21,3%).

Já no período da noite (16b), nota-se uma diferença significativa, variando de mês para mês, na porcentagem de ocorrências de Tmin no QI. Julho apresentou 36,5% de Tmin no QI, enquanto que junho obteve 27%, agosto 20,2%, maio 15,3% e setembro 11,8%. Assim, é possível afirmar que julho apresenta maior desconforto por frio durante as noites na RMSP.

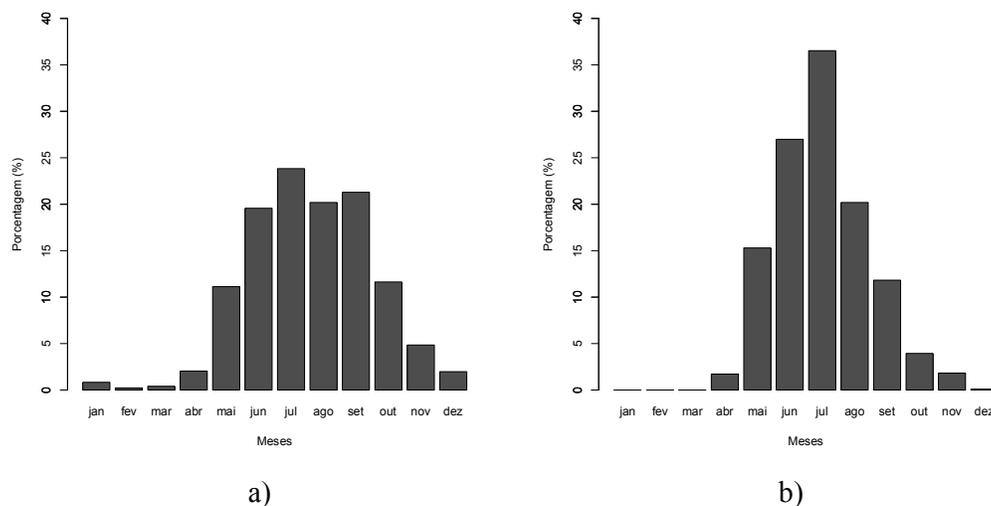


Figura 16 – (a) Distribuição de Tmax e (b) de Tmin no QI.

O comportamento distinto da distribuição de porcentagens nas figuras 16a-b é explicado pelo fato de que a inclusão de uma Tmax ou Tmin no QI depende, obviamente, do quanto o ar aquece e resfria. Dias com nebulosidade variável e totalmente encobertos, forte advecção negativa de temperatura, presença de massa de ar pós-frontal sobre a RMSP ou ocorrência de chuvas influenciam no quanto a temperatura do ar se eleva, interferindo, conseqüentemente, na inclusão (ou não) de Tmax no QI. Já para Tmin estar contida no QI, torna-se relevante o processo de resfriamento radiativo do período noturno, levando-se em conta fatores como: advecção de temperatura, cobertura de nuvens e precipitação.

3.1.2 Quantil superior de temperatura (QS)

O quantil superior das temperaturas máxima e mínima serve como indicação dos meses no qual houve maior desconforto por calor nas tardes e noites da RMSP. As figuras 17a-b apresentam as distribuições de Tmax e Tmin nos quantis superiores. Os valores limites das temperaturas para serem inclusas no QS também estão disponíveis na tabela 4. Desta forma, para pertencer ao QS, Tmax deve ser maior ou igual a 30,4°C, enquanto que Tmin maior ou igual a 18,8°C.

Na figura 17a tem-se a representação dos meses que tiveram as tardes mais quentes nestes 30 anos. Naturalmente, os meses de verão apresentam uma frequência maior de Tmax no QS, com a maior incidência em fevereiro (25,1%), janeiro (21,9%), março (16,2%) e dezembro (14,9%), respectivamente. Os três meses que antecedem dezembro apresentam 13% a 14% de suas Tmax medidas acima de 30,4°C, destacando-se setembro, com 14,4%. Esta porcentagem é explicada por se tratar de um período de transição entre inverno e verão, caracteristicamente seco e em processo de elevação de temperaturas.

Na figura 17b verifica-se um comportamento semelhante à 17a, dado que a distribuição das Tmin medidas ao longo dos meses apresenta forma semelhante a de Tmax. Além disso, observa-se um aumento gradual da porcentagem de Tmin no QS ao longo da transição entre inverno e verão, constatando-se que, durante o período noturno, fevereiro foi o mês de maior desconforto por calor, tendo 36,6% das Tmin registradas na estação pertencentes ao QS. Nos meses seguintes, essa porcentagem reduz gradativamente até a época de inverno, onde praticamente não são verificados registros de temperaturas superiores ou iguais à 18,8°C durante as noites (embora existam exceções pontuais, que podem ser explicadas por mecanismos como o da advecção de temperatura). O número de ocorrências torna a subir gradualmente a partir de outubro com ápice em fevereiro, fechando o ciclo anual noturno do QS.

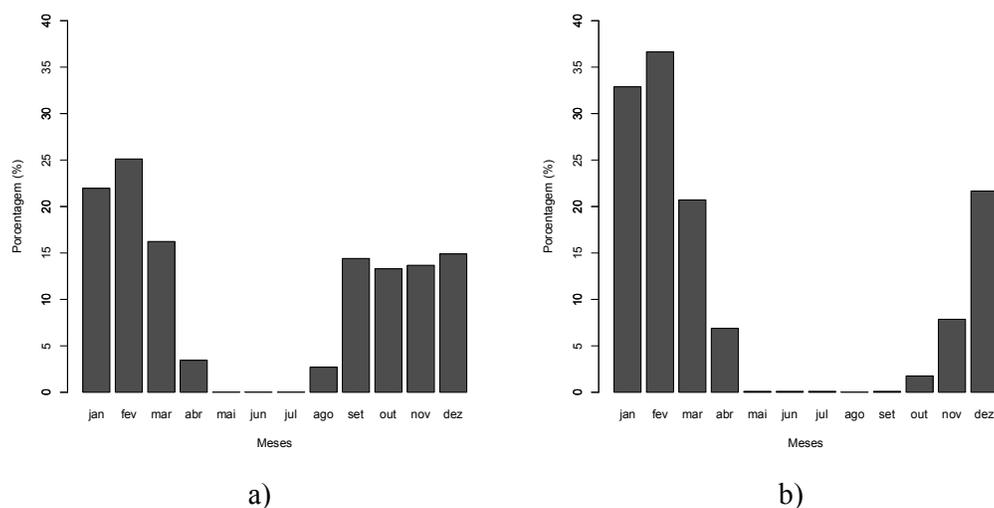
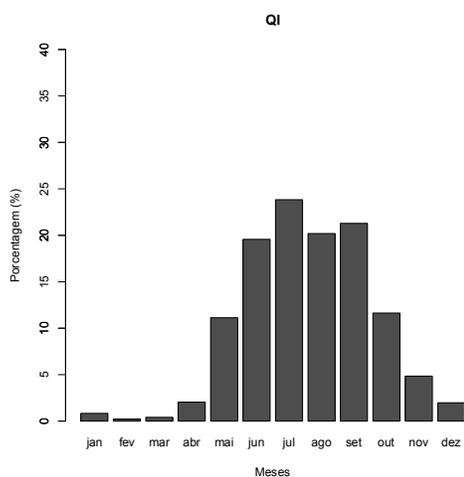


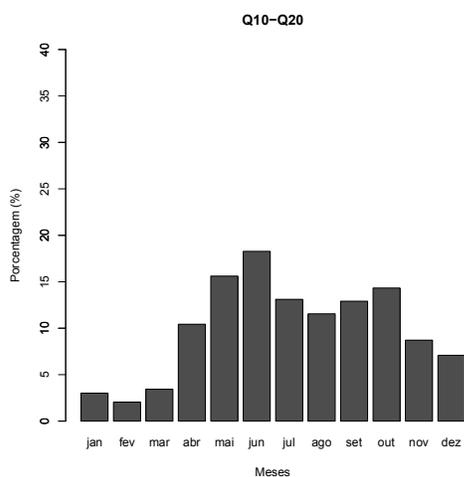
Figura 17 – (a) Distribuição de Tmax e (b) de Tmin no QS.

3.1.3 Quantis intermediários de temperatura

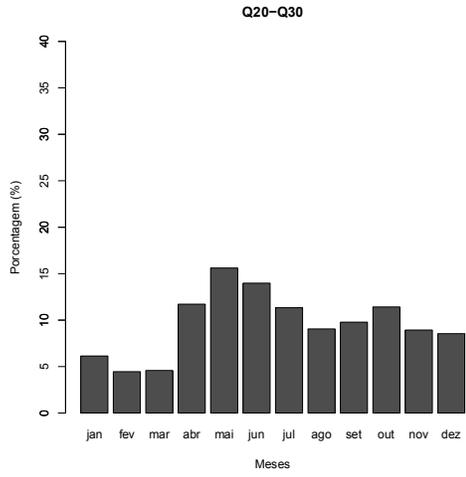
Nas figuras 18a-j e 19a-j são apresentados os quantis intermediários (bem como os extremos) das temperaturas máximas e mínimas, em caráter complementar à análise anterior. Nelas nota-se que para quantis intermediários, especificamente de Q20-Q30 a Q60-Q70, existe uma distribuição similar de Tmax ao longo dos meses, indicando que independentemente da estação do ano, grande parte dos dias apresenta temperaturas confortáveis na RMSP. Porém, quando se consideram as extremidades, observa-se que as épocas do ano passam a ser determinantes na sensação térmica, tanto relacionadas à Tmax quanto à Tmin (que por sua vez apresenta uma distribuição mais irregular ao longo do ano).



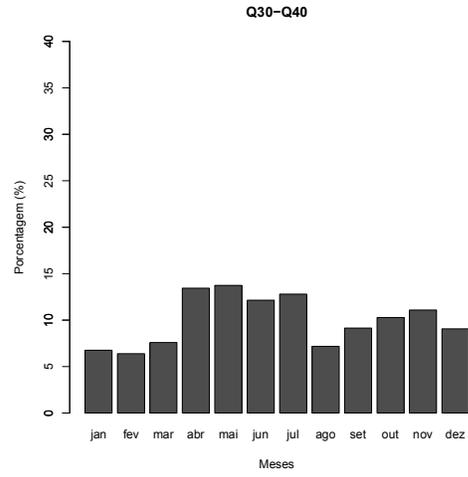
a)



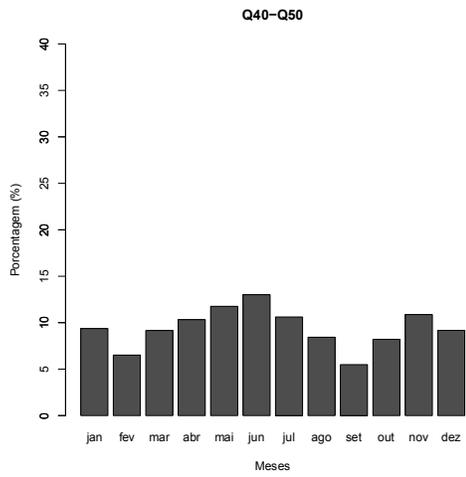
b)



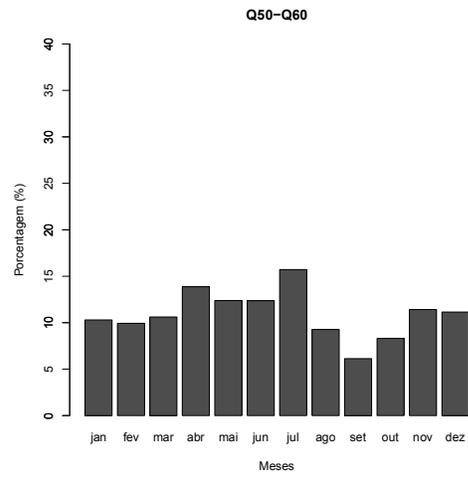
c)



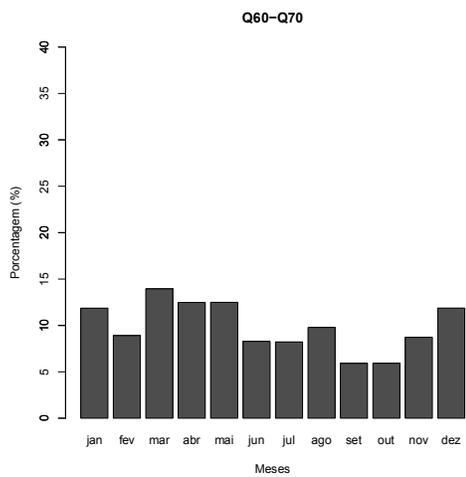
d)



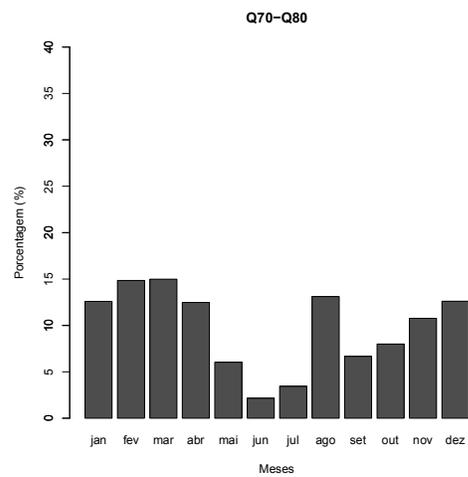
e)



f)



g)



h)

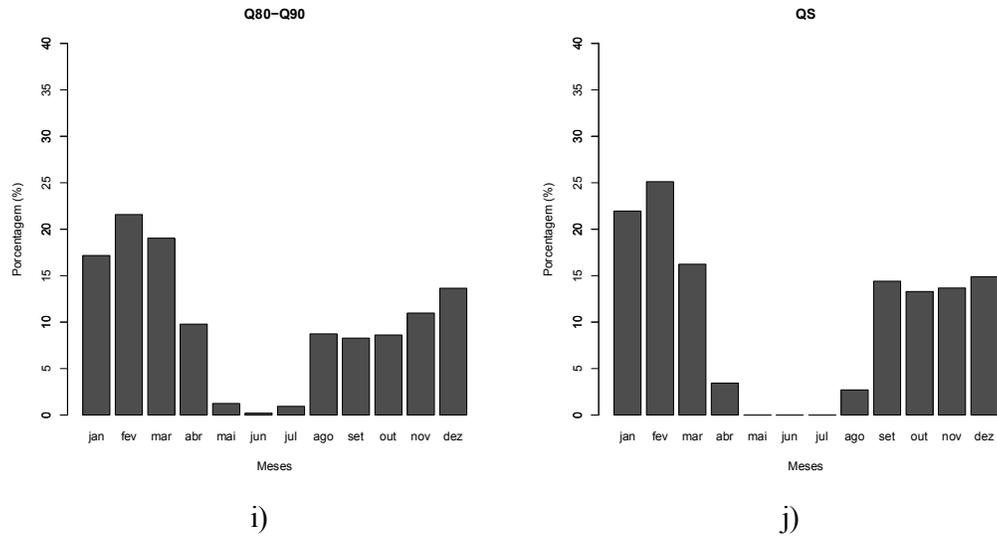
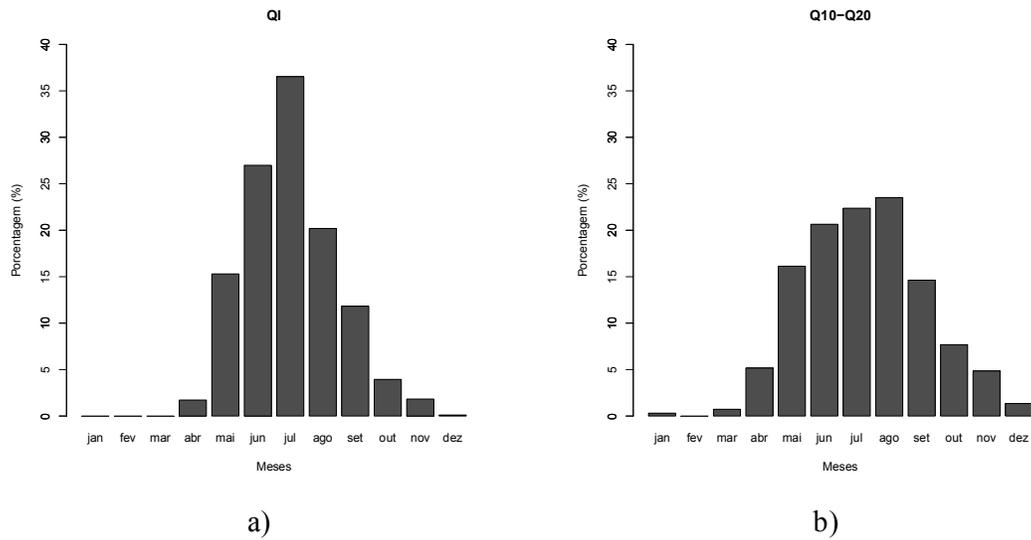
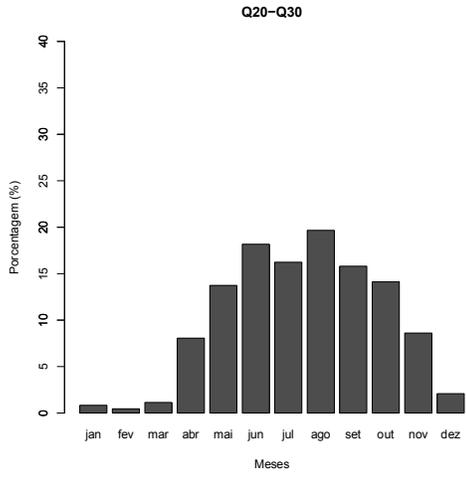
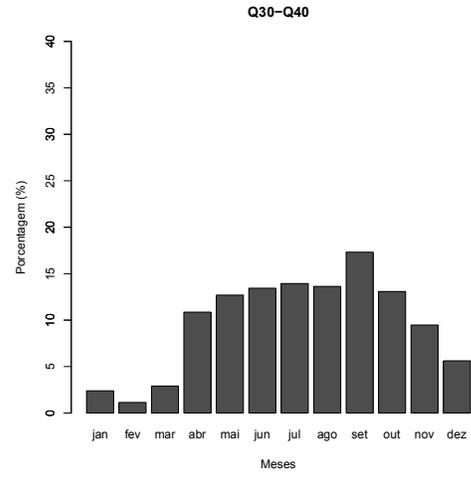


Figura 18 – Distribuição das temperaturas máximas medidas pela estação meteorológica do IAG de 1960 a 1990 em (a) no QI, (b) Q10-20, (c) Q20-Q30, (d) Q30-Q40, (e) Q40-Q50, (f) Q50-Q60, (g) Q60-Q70, (h) Q70-Q80, (i) Q80-Q90 e (j) no QS.

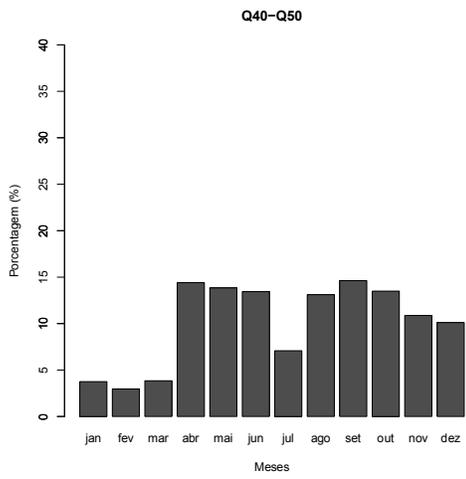




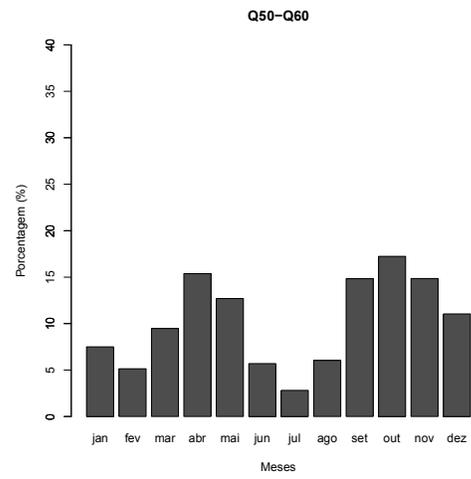
c)



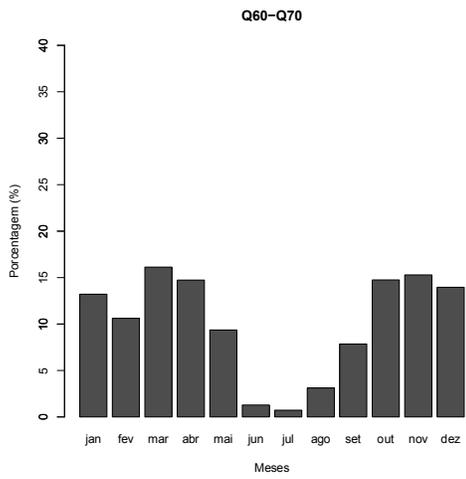
d)



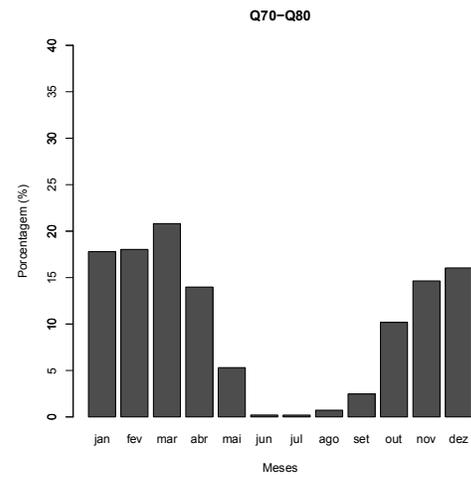
e)



f)



g)



h)

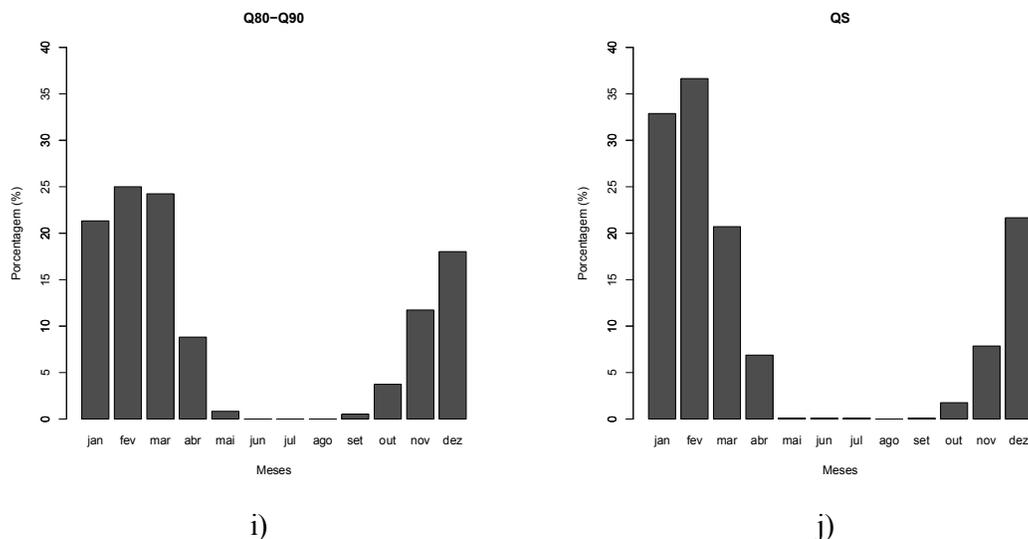


Figura 19 – Distribuição das temperaturas mínimas medidas pela estação meteorológica do IAG de 1960 a 1990 em (a) no Q1, (b) Q10-20, (c) Q20-Q30, (d) Q30-Q40, (e) Q40-Q50, (f) Q50-Q60, (g) Q60-Q70, (h) Q70-Q80, (i) Q80-Q90 e (j) no QS.

3.2 Quantis dos índices de conforto térmico com dados da estação

Quantis foram também utilizados para se obter a distribuição de frequência das temperaturas resultantes da aplicação de índices de CT. Assim, com o intuito de representar o desconforto nos períodos da tarde e noite, são elaboradas diferentes combinações de variáveis usadas no cálculo dos índices, sendo elas:

- 1^a. Tmax e URmin: Primeira combinação, representativa do período de maior desconforto à tarde;
- 2^a. Tmin e URmax: Segunda combinação, representativa do período de maior desconforto noturno;
- 3^a. Tmed e URmed: Terceira combinação de variáveis, representativa da média diária (utilizados no capítulo 3.4).

Nas circunstâncias em que se fez necessário o uso da magnitude do vento (TR_v) optou-se pelo valor máximo diário, pois assim se caracterizam as situações extremas de desconforto. Porém, é necessário fazer a ressalva de que esta escolha (apesar de ser padrão em estudos de CT) pode acarretar em superestimativas nos menores valores de TR_v , especialmente no período noturno, onde a velocidade do vento observada é menos intensa pelo fato da atmosfera apresentar um estado mais estável.

É possível notar na tabela 5 que os limiares de ID e TR são muito próximos, com uma diferença máxima de $0,4^{\circ}\text{C}$, evidenciando o fato de que apesar destes índices possuírem diferentes formulações, o valor final obtido em ambos é praticamente o mesmo. Tal similaridade permite manter o foco da análise em apenas um destes dois índices (ou em ID, ou em TR), sem alteração no resultado final do trabalho.

Neste trabalho fez-se a opção por ID (também encontrado sob nome de Índice de Temperatura e Umidade – ITU) devido sua ampla utilização no Brasil em estudos de clima urbano, como pode ser visto em Santos et al. (2011), Santos e Andrade (2008) e Nogueira et al. (2012). É muito comum também que a sua aplicação esteja acompanhada da escala de sensação térmica percebida em relação à faixa de temperatura, elaborada por Fanger (tabela 2), ou pela distribuição das classes de conforto térmico de Thom e Bosen (1959) (tabela 3).

Tabela 5 – Limiares dos percentis dos índices de conforto térmico ID, TR e TRv.

Quantis	Tarde			Noite			Média diária		
	ID (°C)	TR (°C)	TRv (°C)	ID (°C)	TR (°C)	TRv (°C)	ID (°C)	TR (°C)	TRv (°C)
Q1	↑ 17,6	↑ 17,2	↑ 13	↑ 10	↑ 9,9	↑ -0,4	↑ 14,1	↑ 13,8	↑ 6,2
Q10-Q20	↕ 19,4	↕ 19,1	↕ 16	↕ 11,6	↕ 11,6	↕ 2	↕ 15,6	↕ 15,3	↕ 8,5
Q20-Q30	↕ 20,6	↕ 20,4	↕ 18,3	↕ 12,8	↕ 12,7	↕ 3,7	↕ 16,7	↕ 16,4	↕ 10,1
Q30-Q40	↕ 21,5	↕ 21,4	↕ 20,2	↕ 13,8	↕ 13,7	↕ 5,1	↕ 17,5	↕ 17,3	↕ 11,4
Q40-Q50	↕ 22,4	↕ 22,3	↕ 21,8	↕ 14,8	↕ 14,7	↕ 6,4	↕ 18,4	↕ 18,2	↕ 12,7
Q50-Q60	↕ 23,2	↕ 23,2	↕ 23,3	↕ 15,8	↕ 15,7	↕ 7,7	↕ 19,2	↕ 19,1	↕ 13,9
Q60-Q70	↕ 24,1	↕ 24,2	↕ 24,8	↕ 16,8	↕ 16,7	↕ 9,2	↕ 20,1	↕ 20	↕ 15,1
Q70-Q80	↕ 25,1	↕ 25,3	↕ 26,6	↕ 17,8	↕ 17,7	↕ 10,5	↕ 21	↕ 20,9	↕ 16,5
Q80-Q90	↕ 26,1	↕ 26,4	↕ 28,8	↕ 18,7	↕ 18,7	↕ 11,9	↕ 22	↕ 21,9	↕ 18,2
Q5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

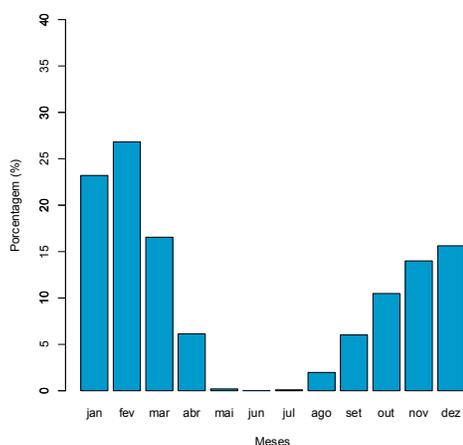
3.2.1 Quantil superior dos índices de CT (tardes)

De forma análoga à análise das temperaturas feitas no capítulo 3.1, a distribuição de frequência de índices de CT auxilia na avaliação quantitativa do desconforto térmico percebido na RMSP. Neste caso, considera-se a primeira combinação de variáveis (Tmax e URmin para ID; Tmax, URmin e vento para TRv) representativas do desconforto sentido à tarde. Nas figuras 20a-c tem-se a distribuição no quantil superior de ID, TRv e Tmax, respectivamente.

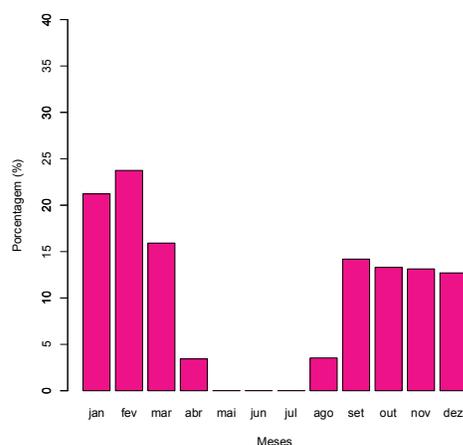
No primeiro semestre a distribuição de frequência é muito semelhante para ambos os índices, tendo uma maior representação em janeiro, fevereiro e março, respectivamente

com 23,2% de ocorrências (223 registros), 26,8% (235) e 16,5% (159) em ID; e 21,2% (204), 23,7% (208) e 15,9% (153) em TRv. A diferença de ocorrências no mês de fevereiro, entre ID e TRv, se deu pelo fato de TRv estabelecer um limite mais alto (em relação à ID) para que um dado valor do índice pertença ao QS. Ou seja, enquanto que em ID os valores obtidos maiores ou iguais a 26,1°C pertencem ao QS, em TRv enquadram-se somente os superiores ou iguais a 28,8°C.

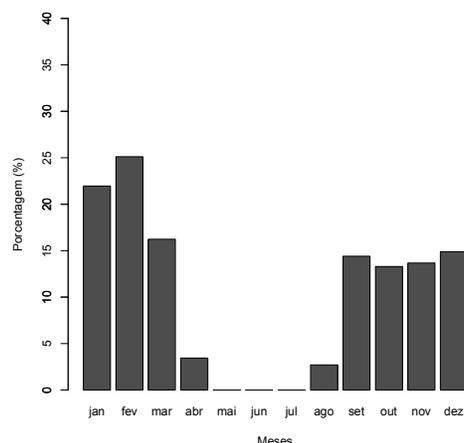
No segundo semestre, percebe-se uma grande diferença na distribuição dos quantis entre ID e TRv. ID (figura 20a) apresenta um aumento gradual no número de ocorrências no QS, que vai de julho até fevereiro, indicando que o número de tardes desconfortáveis aumenta gradativamente de nesse período. Essa constatação é condizente com o aumento do conteúdo de umidade relativa média do ar, que possui máximo nos meses de verão. Já em TRv (figura 20b), observa-se uma distribuição bastante similar àquela encontrada na figura 19c, representativa da distribuição de frequência de Tmax, indicando que, em relação ao segundo semestre, TRv evidencia mais o desconforto ocasionado por ação das temperaturas e do vento, subestimando os efeitos da umidade relativa. Assim, pelo aumento gradual do número de tardes desconfortáveis ao longo dos meses para o período da tarde em ID, é possível inferir que este índice apresenta resultados mais coerentes quando comparados à TRv, especialmente no segundo semestre do ano. Através do RMSE e EM (apresentados posteriormente), é possível fazer uma avaliação mais precisa a respeito dessa afirmação.



a)



b)



c)

Figura 20 – Distribuição de frequência no QS para as tardes de 1960 a 1990 dos índices: (a) ID ($\geq 26,1^{\circ}\text{C}$), (b) TRv ($\geq 28,8^{\circ}\text{C}$) e (c) T_{max} ($\geq 30,4^{\circ}\text{C}$).

3.2.2 Quantil inferior dos índices de CT (noites)

Os índices aqui distribuídos foram obtidos com base na segunda combinação (T_{min} e UR_{max}), para que assim fossem representados os períodos de maior desconforto por ação do frio, que ocorrem em grande parte durante a noite.

Observa-se de imediato nas figuras 21a-c, que a distribuição é muito semelhante para ambos os índices e que basicamente ela é um reflexo da classificação da T_{min}. Ou seja, considerando apenas uma distribuição quantílica, o número de eventos registrados no QI independe da utilização de ID ou TRv, pois ambos apresentam uma distribuição em conformidade com a T_{min} ao longo do ano. O número de porcentagem de noites desconfortáveis aumenta gradualmente de abril a julho, onde encontra seu ápice, para então decair e alcançar o mínimo no mês de dezembro. Em julho 36,3% das noites (349 ocasiões) apresentaram valores de ID inferiores a 10°C, enquanto que em TRv 34,5% (332 ocasiões), inferiores a -0,4°C.

Apesar da semelhança verificada na classificação, os limiares que definem os registros inclusos no QI são diferentes, visto que para ID são compreendidos os valores

menores que 10°C e para TRv inferiores a $-0,4^{\circ}\text{C}$. Esta significativa distinção ocorre porque TRv considera a velocidade de vento máxima registrada no dia, o que aumenta consideravelmente a sensação térmica de frio, assim obtendo-se sempre o valor máximo possível de desconforto para aquele dia. Todavia, se faz necessário adotar cautela nesse tipo de utilização, uma vez que, durante a noite comumente se verificam menores velocidades de vento, em decorrência da redução da força termodinâmica determinada pela radiação solar.

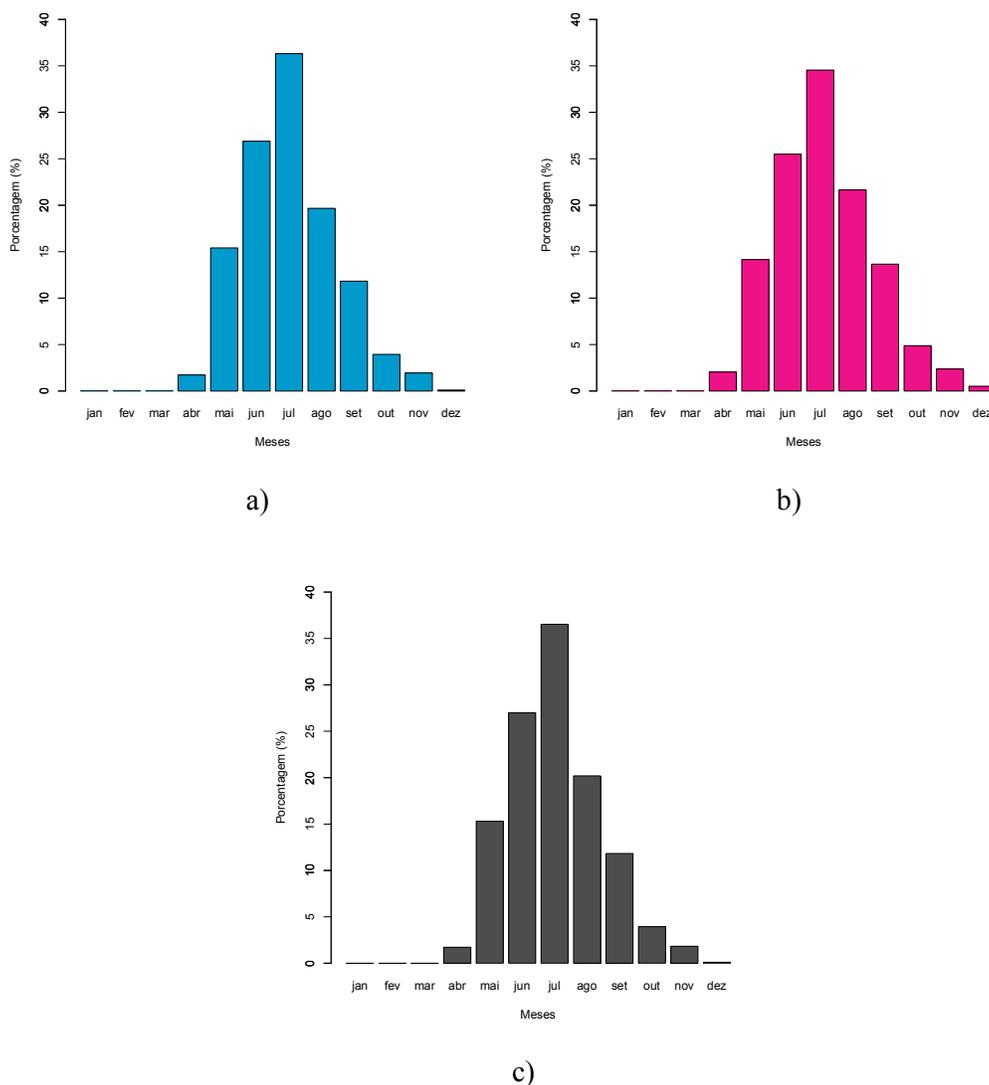


Figura 21 – Distribuição de frequência no QI para as noites de 1960 a 1990 dos índices: (a) ID ($<10^{\circ}\text{C}</math>), (b) TRv ($<-0,4^{\circ}\text{C}</math>) e (c) Tmin ($<9,9^{\circ}\text{C}</math>).$$$

3.3 Mapas de calor horários para ID e TR_v

As figuras 22 e 23 apresentam os mapas de calor médios horários de ID e TR_v, respectivamente. Nas suas construções foram utilizadas médias horárias dos índices de 1960 a 1990. Como exemplo, tem-se que o ID médio horário das 13:00 de janeiro engloba todas as médias das 13:00 de todos os janeiros de 1960 a 1990. As cores nos pixels vão do azul (para valores mais baixos), passam pelo verde (valores intermediários) e terminam no vermelho (valores mais altos do índice). Assim, as tonalidades de azul, facilmente visualizadas, podem ser associadas ao desconforto por frio, tonalidades de verde aos períodos confortáveis ou de menor desconforto, enquanto que pixels avermelhados ao desconforto por calor.

Em ambas as figuras é possível ver que os meses de inverno (junho, julho e agosto) apresentam os valores mais baixos, especialmente durante o período da 01:00 às 07:00, característico do resfriamento noturno. Já nos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro), observa-se que das 10:00 às 16:00 encontram-se os mais altos índices, indicando que estas são horas críticas no que se refere à estresse térmico provocado pela ação de altas temperaturas. A zona de conforto fica caracterizada pela região em forma de “x” composta pelos pixels na cor verde. Assim, para definirmos um mês que seja mais ou menos desconfortável, faz-se uso da simples contagem de células verdes em cada mês. Para ID (figura 22) abril apresenta horas termicamente mais confortáveis que os outros meses, pois possui maior quantidade total de pixels com tonalidade verde. Essa afirmação é corroborada pela distribuição de frequência ilustrada nas figuras 20a e 21a, visto que este é um dos meses com menor ocorrência de ID, tanto no QS (6,1%), quanto no QI (1,7%). Os outros onze meses restantes apresentam uma quantidade inferior de pixels na cor verde, bem como um significativo número de ocorrências no QS ou QI.

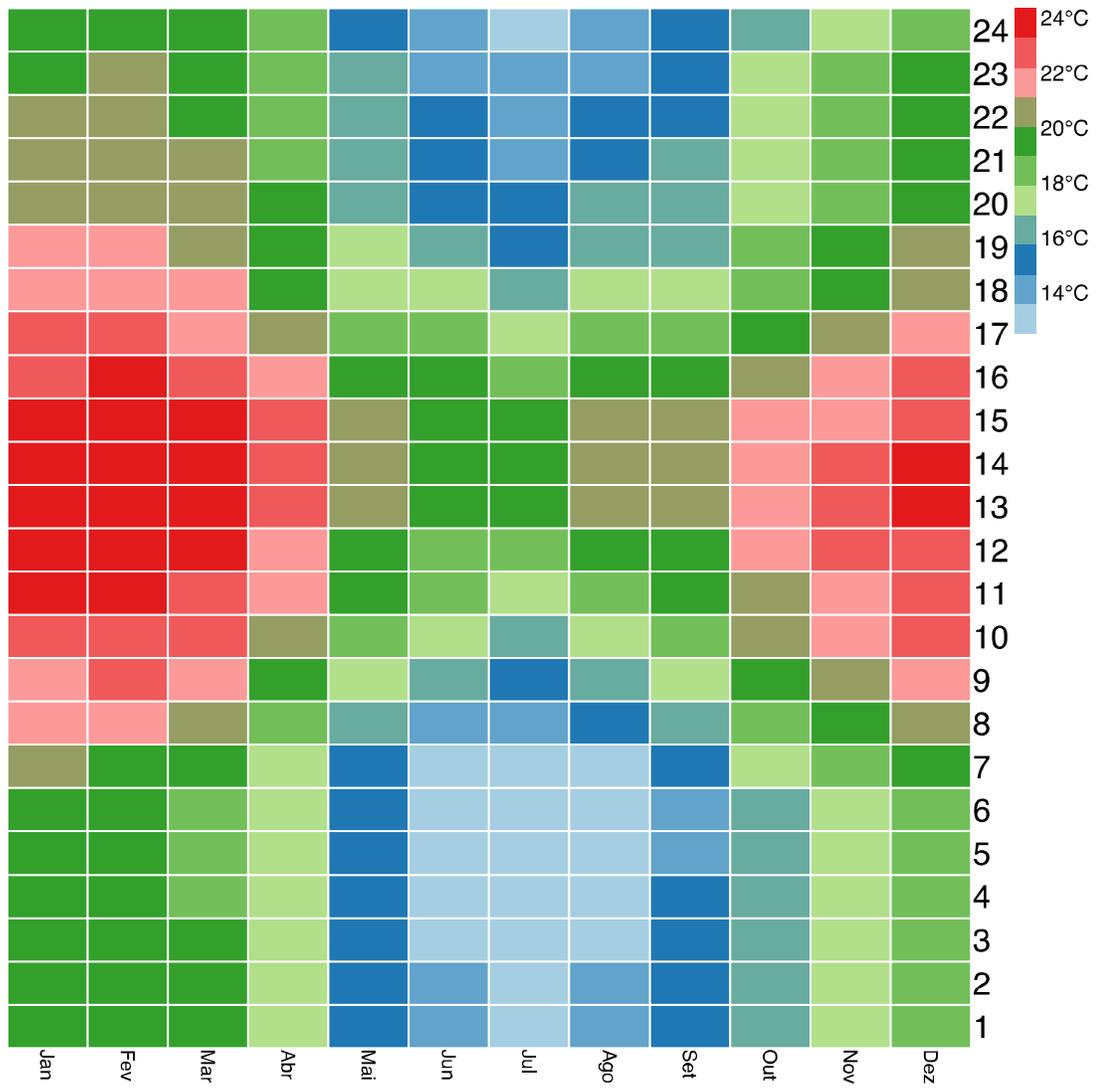


Figura 22 – ID médio horário para 1960-1990 (em °C).

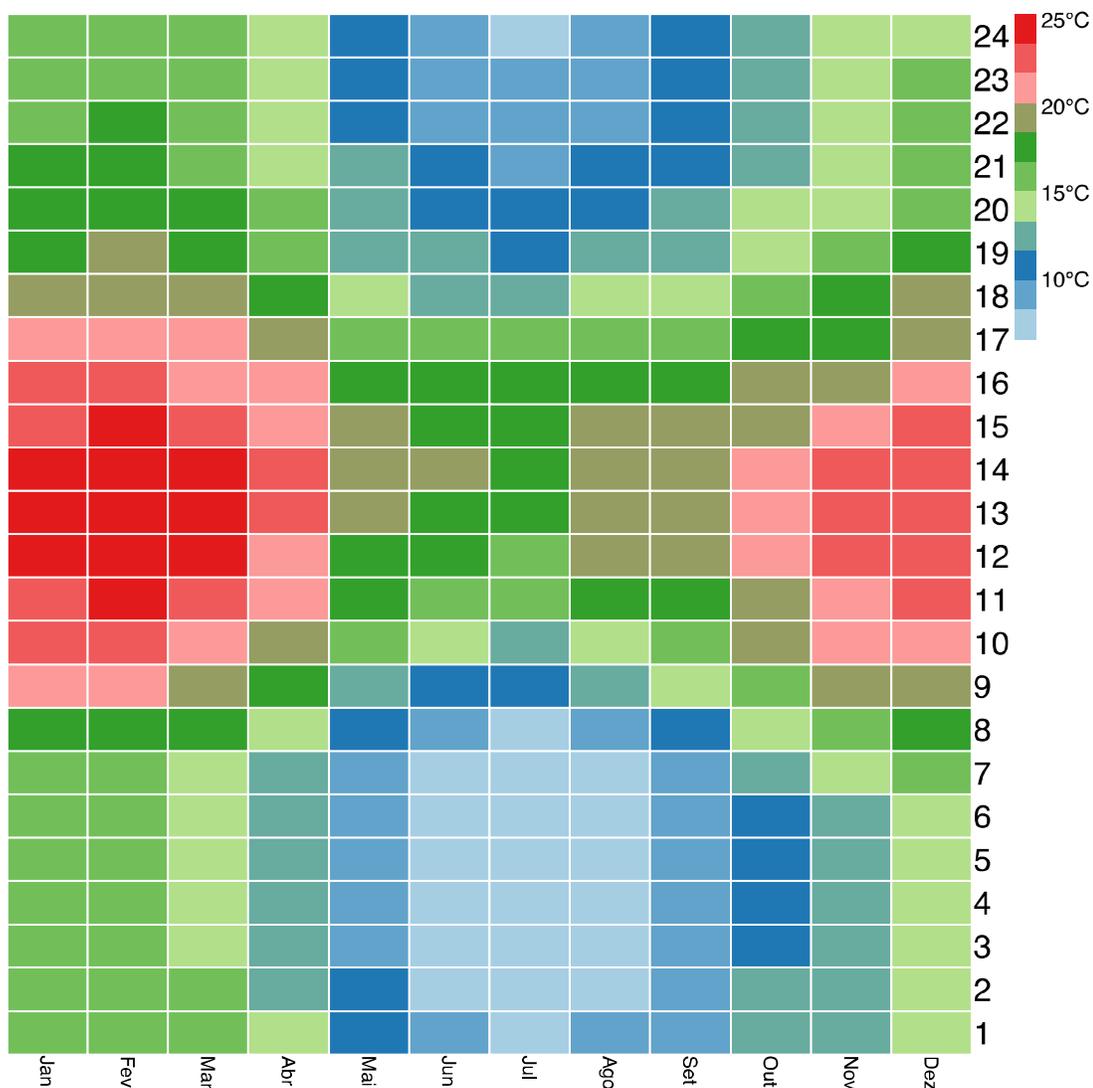


Figura 23 – TRv médio horário para 1960-1990 (em °C).

O mesmo raciocínio é válido para TRv quando consideram-se apenas os quantis das figuras 20b e 21b, com a ressalva de que na figura 23 o período das 02:00 às 07:00 de abril também apresenta células azuis, descaracterizando o mês como "mais confortável". Esta diferença é associada novamente ao aproveitamento do vento na obtenção de TRv e é refletida de forma significativa nas escalas que definem as cores das figuras 22 e 23.

Enquanto que nas figuras 22 e 23 a escala é definida de forma automática pelo pacote *Pheatmap* do R, em busca do melhor aproveitamento e visualização das cores, nas figuras 24 e 25 ela é definida de forma manual e mantida fixa, evidenciando ainda mais as diferenças entre os índices adotados.

Desta forma, a escala fixa definida a partir do mapa de ID é mantida na plotagem de TRv. Claramente a figura 24 apresenta mais células verdes em relação à figura 22, também de ID médio horário. Isto ocorre pela escolha manual dos valores da escala que não coincidem com os da figura 22, escolhidos automaticamente pelo pacote utilizado. De qualquer forma, isto não se traduz em um problema, uma vez que aqui objetiva-se apenas ressaltar a distinção entre os resultados de ambos os índices.

Mantendo a mesma escala nas duas figuras, nota-se que ID suaviza os efeitos do frio à noite e representa de forma satisfatória o calor correspondente às tardes. Já em TRv, tem-se tanto a representação do calor quanto do frio, que por sua vez, aparece superestimado em decorrência do uso do vento. Assim, a argumentação exposta em 3.2.2 a respeito da menor intensidade do vento noturno verificado, em contrapartida ao valor máximo diário usado no cálculo de TRv, é válida para estas duas figuras. No período compreendido entre 01:00 e 07:00 dos meses de junho a agosto, os valores de TRv ficam tão abaixo de 10°C, que não são inclusos na plotagem e aparecem, conseqüentemente, como pixels brancos.

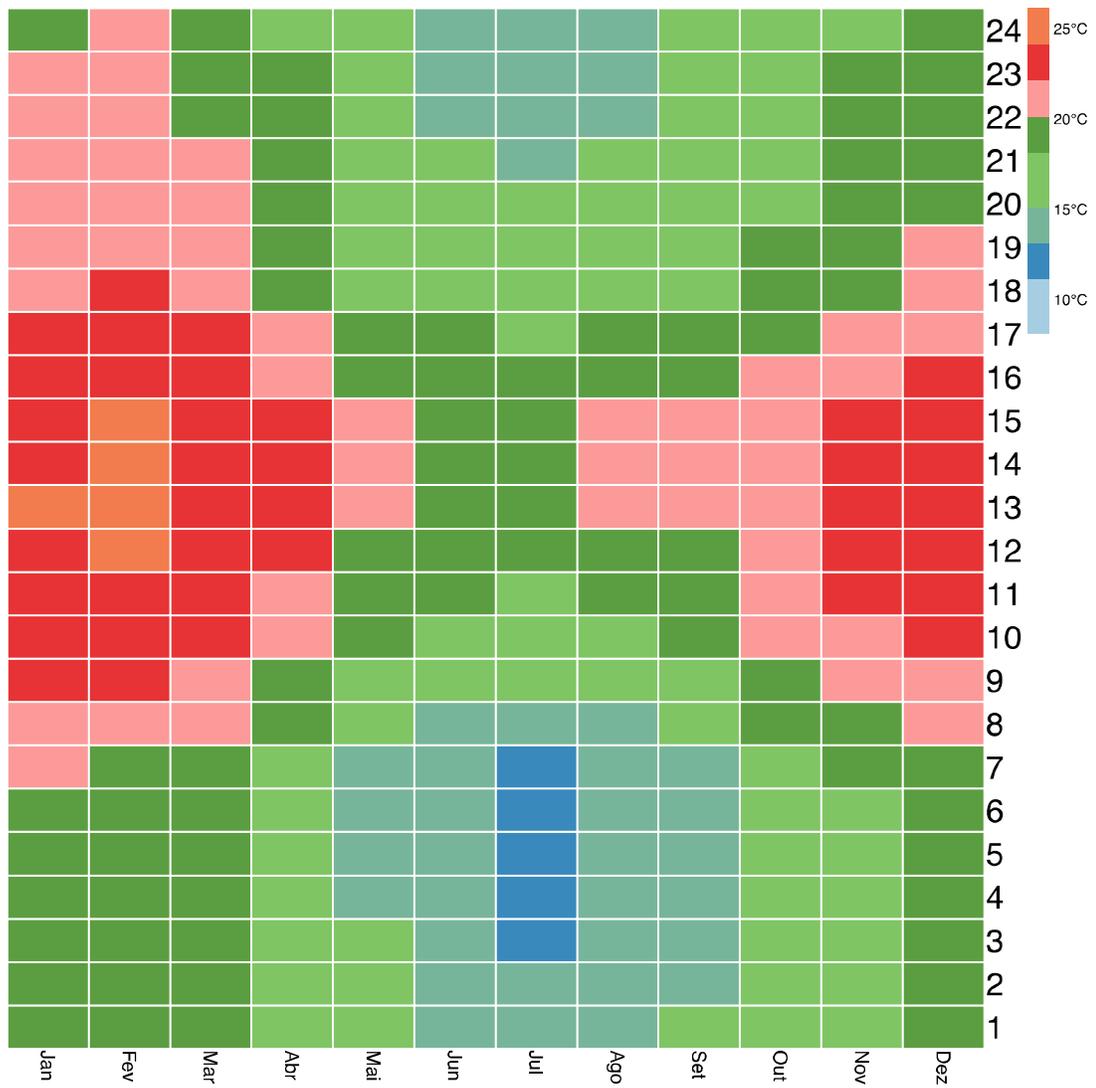


Figura 24 – ID médio horário para 1960-1990 com escala fixa (em °C).

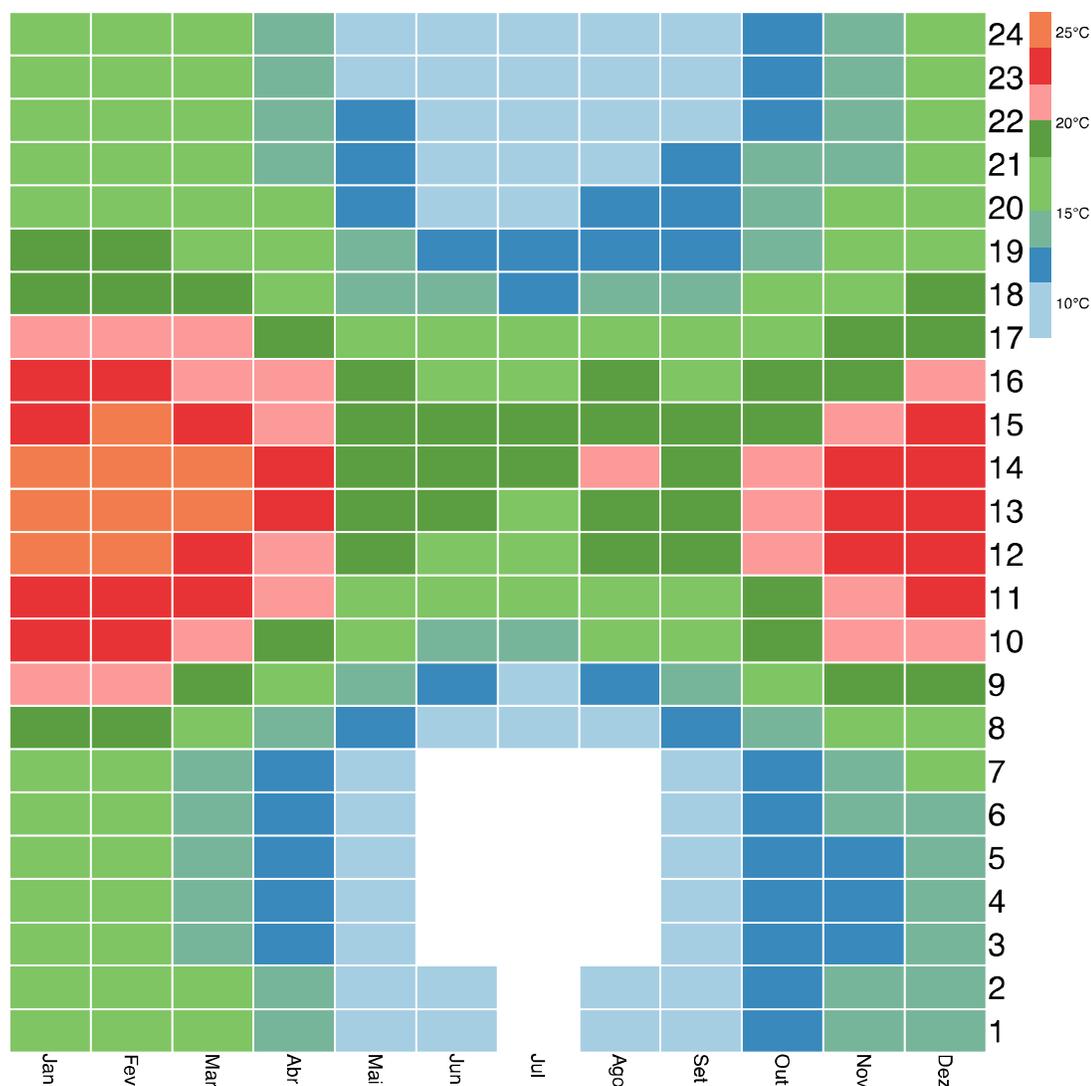


Figura 25 – TRv médio horário para 1960-1990 com escala fixa (em °C).

3.4 Comparação entre dados observados e simulados

Antes das projeções dos índices para períodos futuros, é feita a comparação entre as variáveis base e índices de CT obtidos via dados observados (da estação meteorológica) e via MCR (RegCM3), com o intuito de verificar sua representatividade e precisão. De modo geral, é esperado que as séries tenham comportamentos semelhantes no que diz respeito ao ciclo anual das variáveis envolvidas, de tal modo que, a ilustração

com ambas as séries temporais, lado a lado, seria de pouca relevância. Assim, o foco é mantido em determinados índices estatísticos que possibilitam a análise de modo quantitativo, sem estarem completamente desvinculados ou presos ao ciclo anual (como se estivessem no meio termo entre as duas situações).

Inicialmente foram plotados para cada mês os índices Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (em inglês *Root Mean Square Error*, sigla RMSE) das variáveis base, juntamente com o Erro Médio (viés) das mesmas, apresentados na figura 26. As linhas em vermelho, ilustrativas da temperatura, indicam um viés negativo que varia de $-0,1^{\circ}\text{C}$ a $-1,8^{\circ}\text{C}$ (vies_t), mais acentuado nos meses mais quentes do ano (dezembro a março) e menor em outubro. Assim, é possível afirmar que as simulações do modelo apresentam temperaturas mais baixas do que o observado, originadas pela sua não capacidade em simular fenômenos contidos em escalas menores que ocorrem na RMSP, como por exemplo, a ICU. Outros autores também ressaltam o viés negativo das temperaturas e o atribuem a uma combinação de deficiências nas parametrizações físicas do modelo, sendo elas convectiva, camada limite e terra-superfície (detalhes em da ROCHA, 2009). A magnitude média do erro da simulação, ou acurácia da mesma para temperatura, é dada pelo RMSE_t , que varia de 3°C a $4,9^{\circ}\text{C}$ e apresenta valores menores no primeiro semestre e maiores no segundo, com mínimo em março e pico em setembro. Observa-se assim uma relação oposta no sentido em que a simulação do RegCM3 possui maior (menor) precisão na época em que o viés negativo é mais (menos) acentuado. Assim, nos meses de verão o modelo representa de forma coerente os extremos de temperatura, resultando em uma menor magnitude média do erro, da ordem de $3,2^{\circ}\text{C}$, ao mesmo tempo em que a subestimativa da variável simulada em relação à observada é maior, da ordem média de $1,5^{\circ}\text{C}$.

O viés da umidade relativa (vies_{ur}) indica uma tendência de superestimativa de novembro à março, época no qual a magnitude média do erro dado pelo RMSE_{ur} é menor. O contrário também é válido, já que de maio à outubro observa-se um viés negativo (subestimativa na UR simulada) e valores mais altos de RMSE_{ur} . Considerando a magnitude do vento, não se verifica esse mesmo comportamento antagônico entre RMSE e viés. Os períodos de maior superestimativa do vento (vies_v) coincidem com os de menor exatidão dos extremos da variável simulada em relação à observada (RMSE_v).

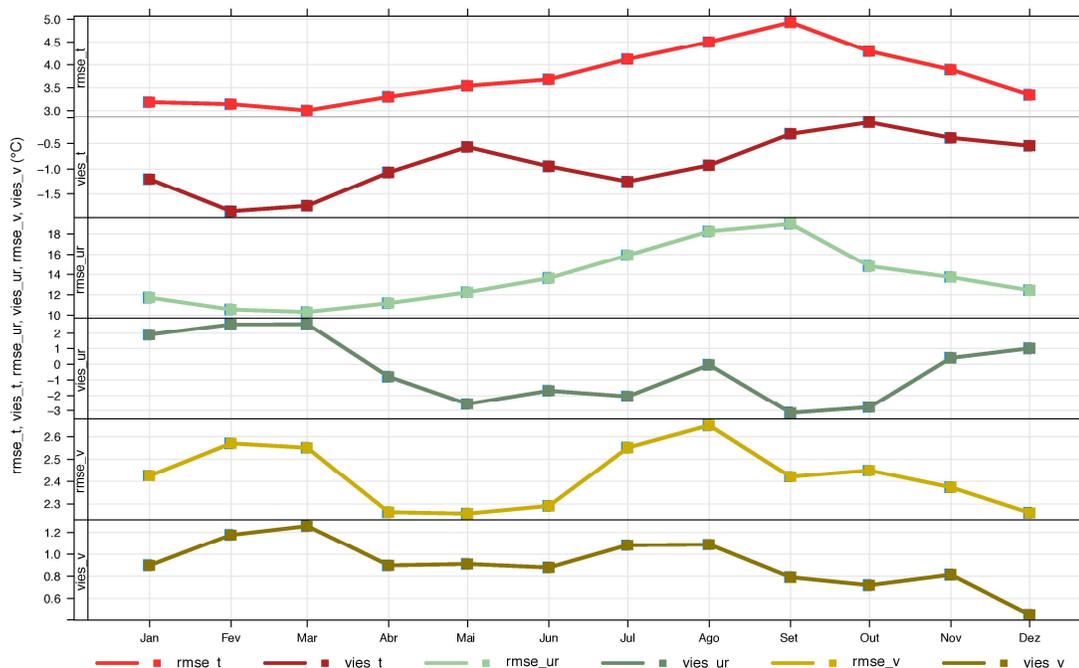


Figura 26 – RMSE e viés médios mensais das variáveis temperatura, umidade relativa e magnitude do vento, de 1960 a 1990.

A análise do RMSE e do viés nos índices de conforto térmico, ID (RMSE_id e vies_id) e TRv (RMSE_trv e vies_trv), ilustrados na figura 27, demonstra que as maiores incertezas entre ID_mod e ID_obs, bem como entre TRv_mod e TRv_obs, provêm da variável temperatura, tendo em vista as semelhanças existentes entre RMSE_id, vies_id, RMSE_trv, vies_trv e RMSE_t, vies_t. Com isso, verifica-se que o RegCM3 simulou melhor os extremos de ID e TRv para a RMSP durante o verão, ou, de forma menos rigorosa, nos primeiros semestres, tendo em vista os menores valores de RMSE obtidos neste período. Todavia, o acréscimo da magnitude do vento no cálculo de TRv, faz com que RMSE_trv seja significativamente maior que RMSE_id, variando de 4,9°C a 7,1°C, indicando menor precisão na representação dos extremos por parte de TRv. Este fato é explicado pelo caráter irregular da magnitude do vento, que sofre alterações rápidas e significativas de acordo com as condições do tempo e que muitas vezes não são corretamente representadas pelo modelo, mas que estão contidas nas medições da estação meteorológica.

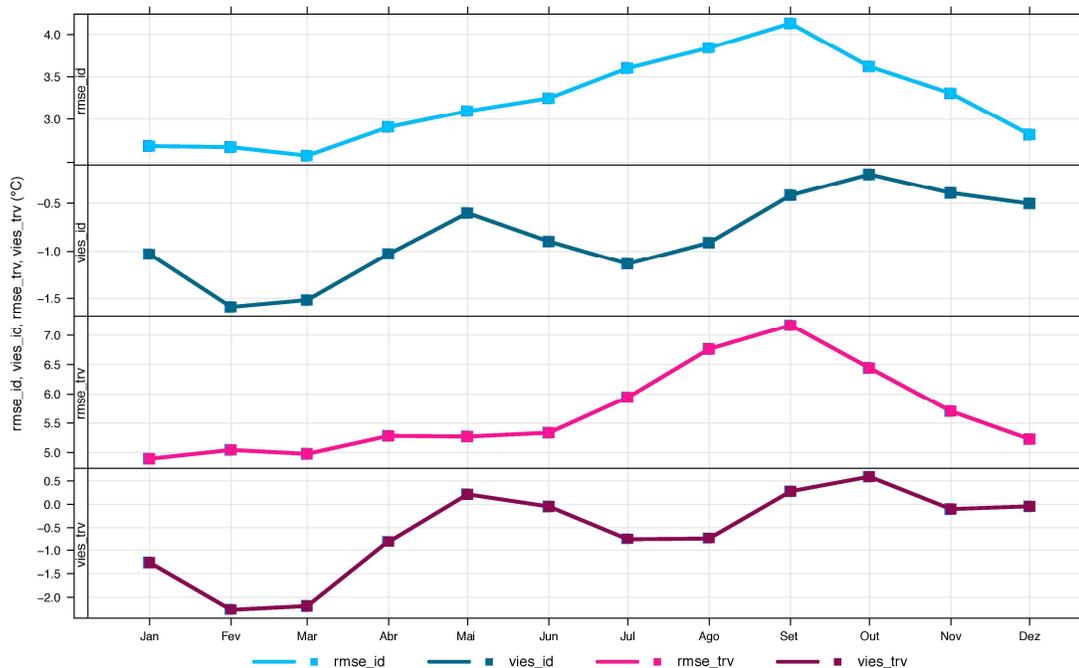


Figura 27 – RMSE e viés médios mensais de ID e TRv, de 1960 a 1990.

Em caráter complementar à análise do RMSE e viés, outras variáveis estatísticas como média aritmética, valor máximo, valor mínimo, desvio padrão e variância da temperatura, umidade relativa, vento, ID e TRv, observados e modelados, foram extraídos das séries e são apresentados nas tabelas 2A, 3A, 4A, 5A e 6A (apêndice).

3.5 Projeções de ID e TRv para períodos futuros

A projeção dos índices de conforto térmico para o futuro na RMSP é realizada a partir da extração das séries temporais simuladas no RegCM3, para os períodos de 1960-1990, 2010-2040 e 2070-2100. A técnica utilizada previamente, que trata da distribuição de frequências dos índices nos quantis, é usada novamente para se obter um parâmetro quantitativo na análise dos diferentes períodos, juntamente com os calendários climáticos, que possibilitam uma avaliação mais qualitativa das séries de dados.

As distribuições dos IDs e TRvs médios diários obtidos das simulações do RegCM3 foram realizadas de acordo com os limiares obtidos da série de 1960-1990,

dados na tabela 6. Desta forma, tanto para o intervalo de 2010-2040, quanto para 2070-2100, as distribuições foram feitas com uso destes limiares, para estabelecimento de um parâmetro de comparação. As ordens quantílicas extraídas das séries futuras servem de indicativo da magnitude das mudanças climáticas apontadas nas projeções e são apresentadas nas tabelas 10A e 11A (apêndice).

Tabela 6 – Ordens quantílicas obtidas das séries temporais de ID e TRv de 1960-1990.

Quantis	Limiares ID 1960-1990 (°C)	Limiares TRv 1960-1990 (°C)
QI	↑ 13,2	↑ 5,3
Q10-Q20	↕ 14,9	↕ 7,9
Q20-Q30	↕ 16	↕ 9,6
Q30-Q40	↕ 16,9	↕ 11
Q40-Q50	↕ 17,7	↕ 12,3
Q50-Q60	↕ 18,5	↕ 13,6
Q60-Q70	↕ 19,2	↕ 14,8
Q70-Q80	↕ 20	↕ 16,1
Q80-Q90	↕ 20,9	↕ 17,7
QS	↓	↓

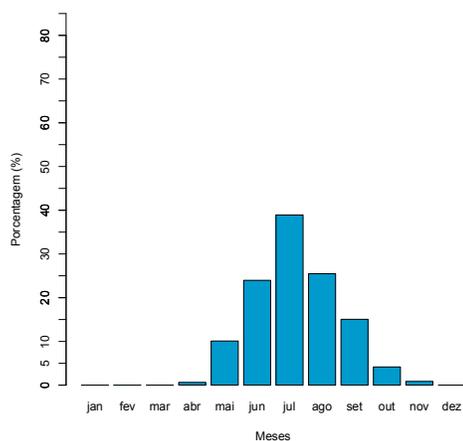
3.5.1 Projeções de ID

Nas figuras 28a-f são apresentadas as distribuições de frequência de ID nos quantis inferior e superior, para os três períodos simulados. A análise das figuras indica uma redução gradativa no número de ocorrências de ID no QI e um aumento no QS. Por exemplo, das figuras 28a, 28c e 28e, observa-se que o número de ocorrências de IDs médios diários inferiores a 13,2°C nos meses de julho, reduzem de 38,9% em 1960-1990, para 26,1% em 2010-2040 e apenas 7,5% em 2070-2100. Os valores de ID que não foram incluídos no QI acabaram distribuídos entre os outros 9 quantis, delimitados por ordens quantílicas mais elevadas, evidenciando que, de acordo com as simulações utilizadas, na RMSF existe uma tendência de que em média os meses mais frios apresentem situações mais amenas, menos estressantes do ponto de vista térmico. Essa constatação é verificada através dos calendários climáticos das figuras 29, 30 e 31, onde a época fria do ano representada nos pixels em tons de azul (período que vai aproximadamente da segunda quinzena de maio à metade de agosto) é substituído pelas cores verde e amarelo, indicando valores mais elevados de ID.

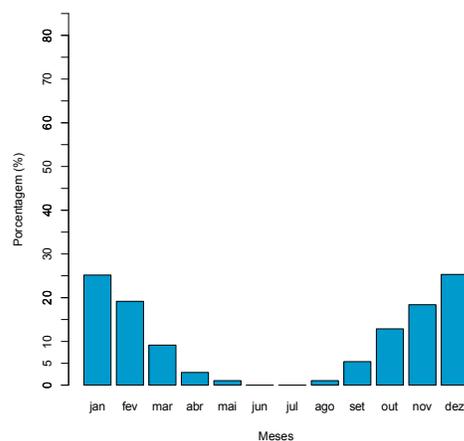
Em contrapartida, a análise para o QS dos IDs simulados indica um aumento significativo no número de ocorrências superiores ou iguais a 20,9°C. De fato, até mesmo os meses de junho e julho apresentam cerca de 7,5% de seus IDs médios diários no QS, em 2070-2100 (figura 28f). Os meses que já possuíam grande parte de seus IDs no QS tendem a apresentar porcentagens ainda maiores, como nos meses de setembro a março, que possuíam em 1960-1990 5,4%, 12,9%, 18,4%, 25,3%, 25,2%, 19,2% e 9,1%, respectivamente, passando para 39%, 50,5%, 58,7%, 70,6%, 84,2%, 79,6% e 63,7%. Tais resultados apontam para uma tendência muito significativa de aquecimento na RMSF, onde grande parte dos valores de ID médios diários serão iguais ou superiores a 20,9°C. Como aqui se consideram apenas médias diárias, para que se obtenha um valor igual ou superior a 20,9°C é necessário que tanto o período diurno, quanto o noturno apresentem temperaturas elevadas. A magnitude dessa mudança é melhor expressa através dos calendários climáticos, onde a tendência de aquecimento fica evidenciada não apenas pelos meses de inverno, mas também nos meses de verão, onde grande parte das células contém pixels vermelhos, indicativos de valores elevados de ID.

Maiores informações das mudanças previstas sob um aspecto quantitativo são obtidas das tabelas 7A, 8A e 9A, que contém a média aritmética, máximo, mínimo, desvio

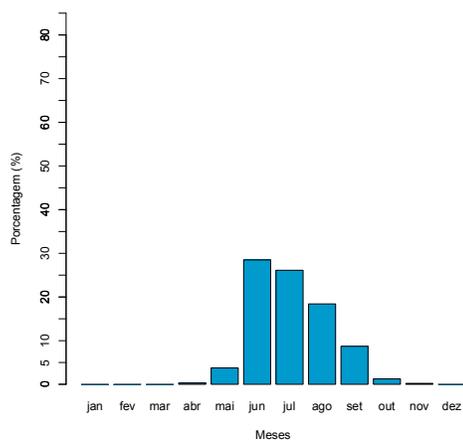
padrão e variância das séries de tempo para ID_mod e TRv_mod. Através delas, nota-se um aumento médio aproximado em ID_mod de 2,5°C (diferença entre a média de ID_mod 2070-2100 e a média ID_mod 1960-1990), sendo julho, agosto e setembro os meses com maior tendência de aquecimento, com 3,2°C, 3°C e 3,3°C a mais, respectivamente. Tais valores corroboram os resultados obtidos anteriormente através dos quantis e indicam que populações vulneráveis da RMSP tendem a sofrer menos por ação do frio e mais pelo calor excessivo. Resultados similares são encontrados em IPCC (2007b) e ressaltam que no futuro o número de ondas de calor tende a ser maior e haverá uma redução no número de dias frios, considerando regiões de médias e baixas latitudes.



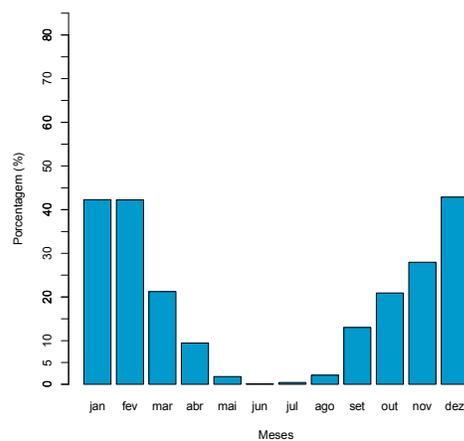
a) QI 1960-1990



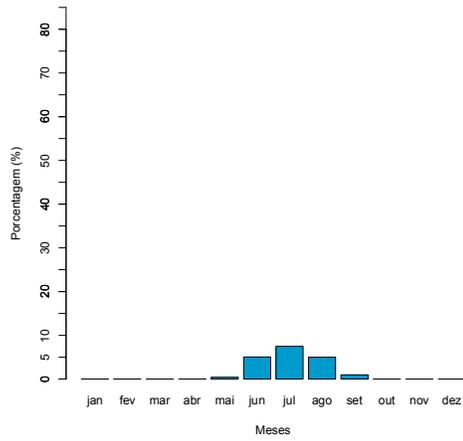
b) QS 1960-1990



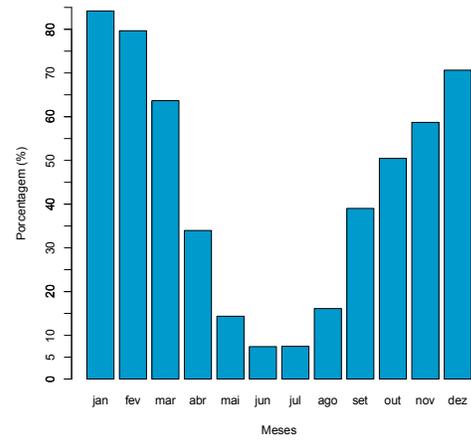
c) QI 2010-2040



d) QS 2010-2040



e) QI 2070-2100



f) QS 2070-2100

Figura 28 – Distribuições de frequência de ID para 1960-1990 (a) no QI, (b) no QS, para 2010-2040 (c) no QI, (d) no QS e para 2070-2100 (e) no QI e (f) no QS.

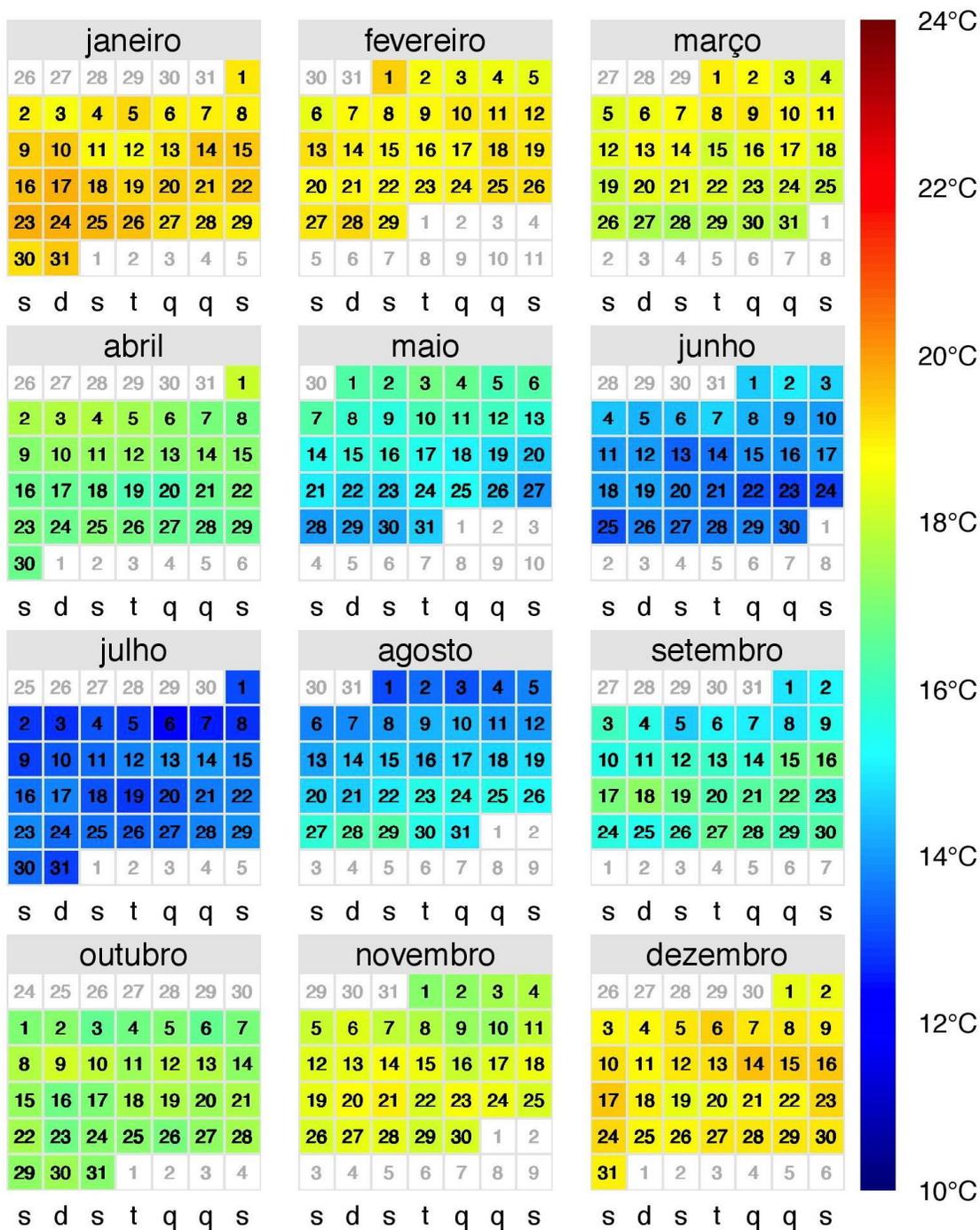


Figura 29 – Calendário climático de ID para 1960-1990.

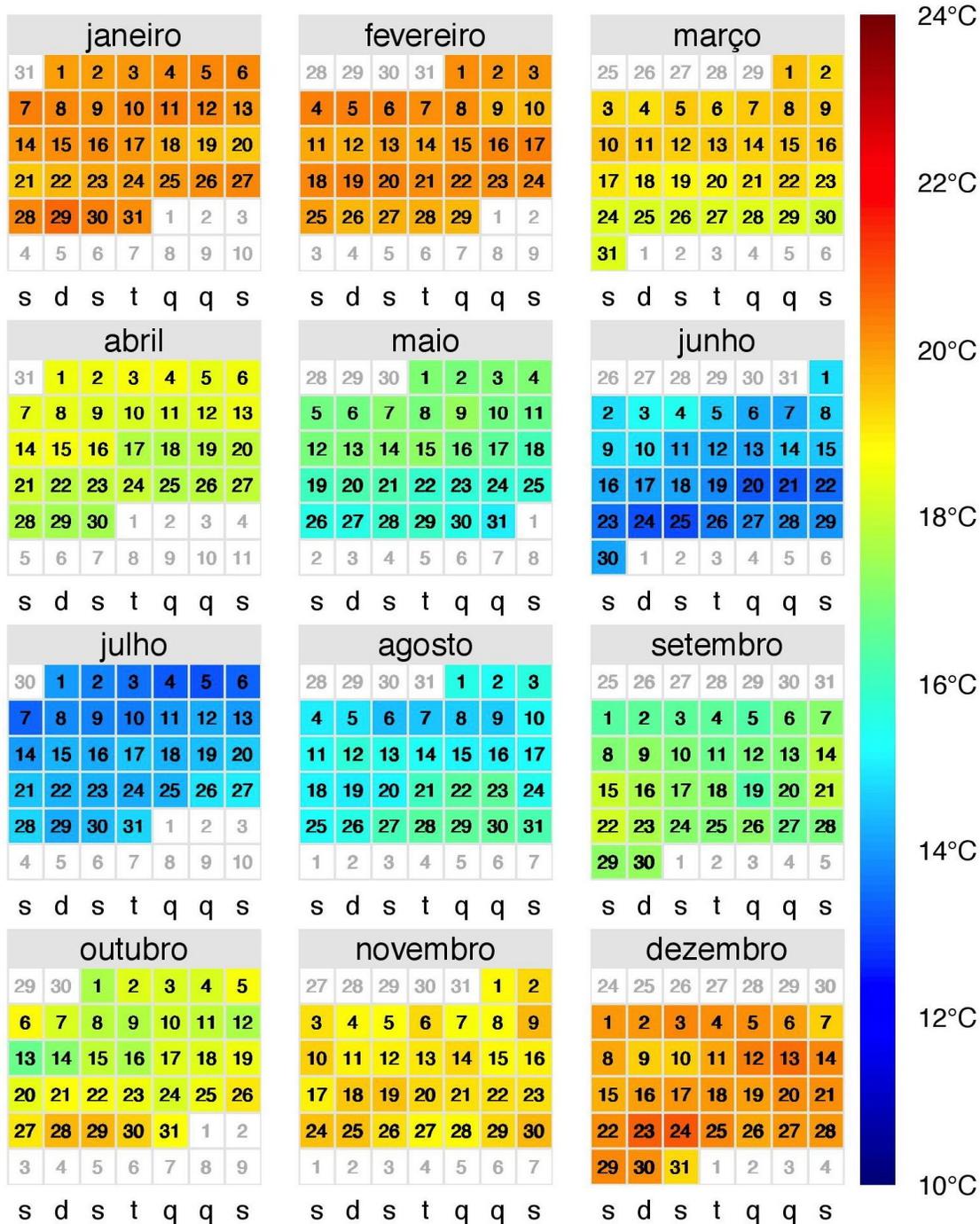


Figura 30 – Calendário climático de ID para 2010-2040.

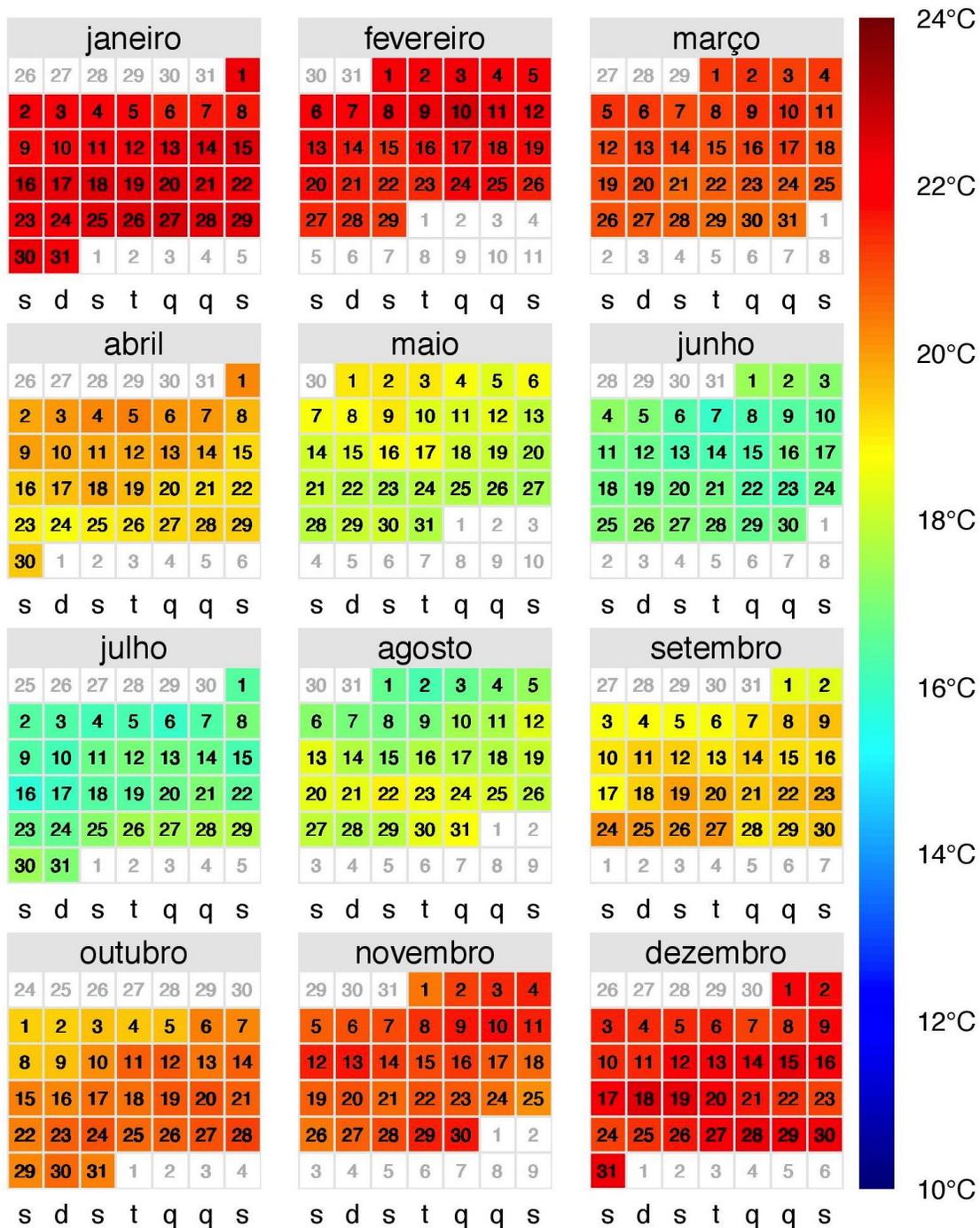


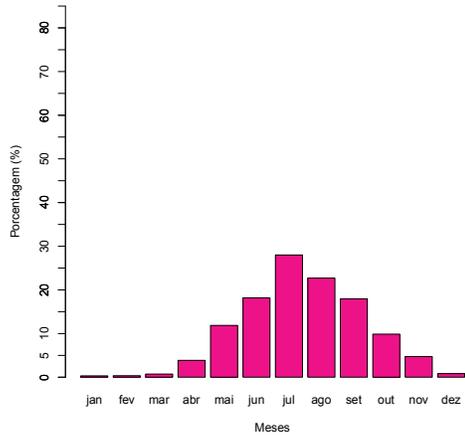
Figura 31 – Calendário climático de ID para 2070-2100.

3.5.2 Projeções de TRv

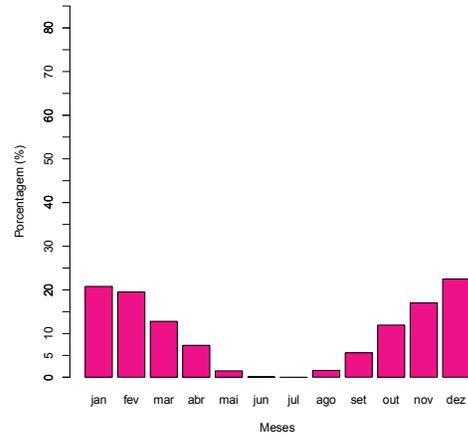
A distribuição de frequência dos dados simulados de TRv nos quantis inferior e superior são apresentadas nas figuras 32a-f. A tendência de aquecimento anteriormente verificada também aparece nos dados simulados de TRv, entretanto a transição se dá de forma mais brusca de 2010-2040 para 2070-2100. De acordo com o QS de TRv, até 2040 não serão observadas alterações significativas do ponto de vista de aumento nos valores deste índice, quando comparados à 1960-1990, tendo em vista a pequena diferença entre as distribuições. Como exemplo citam-se dezembro, janeiro e fevereiro, que apresentam uma diferença máxima de apenas 0,5%, ou seja, praticamente a mesma quantidade de TRv médios diários maiores ou iguais a 17,7°C registrados em 1960-1990 ocorrerá em 2010-2040.

Já em relação ao QI, observa-se uma alteração no mês de maio, que tende a ter menos ocorrências de TRv no QI, situação oposta à junho, que apresenta um aumento considerável de 18,1% para 35,3%. De acordo com estas projeções de TRv, até 2040 o frio tende a ser mais agudo a partir do mês de junho e se estender por julho e agosto, diferente do caráter de elevação e redução gradual observado em 1960-1990.

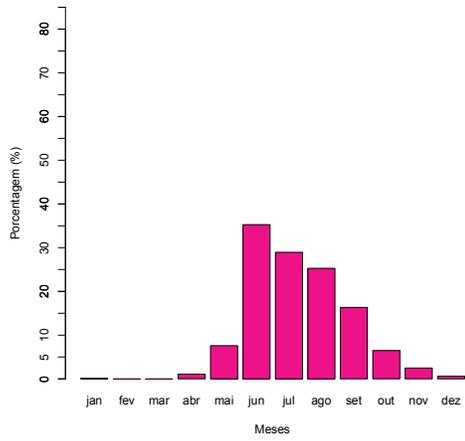
A partir de 2070-2100 a projeção de TRv passa a se assemelhar à de ID, com redução nas ocorrências no QI para todos os meses e aumento significativo no QS. De acordo com a figura 32f, de novembro a fevereiro, aproximadamente metade dos dias terão TRvs médios diários maiores ou iguais a 17,7°C. Qualitativamente os calendários climáticos contidos nas figuras 33, 34 e 35, referentes à TRv, ilustram o quão mais quente estes meses tendem a ser no futuro. Não se observa variação significativa entre as figuras 33 e 34, referentes aos períodos de 1960-1990 e 2010-2040, dados que os pixels possuem a mesma coloração; em contrapartida, na figura 35 nota-se que todos os meses apresentam um aquecimento, com maiores valores de TRv. A magnitude média dessa elevação pode ser retirada da comparação entre a tabela 9A com a 7A ou 8A, onde se verifica uma diferença média aproximada de 3°C.



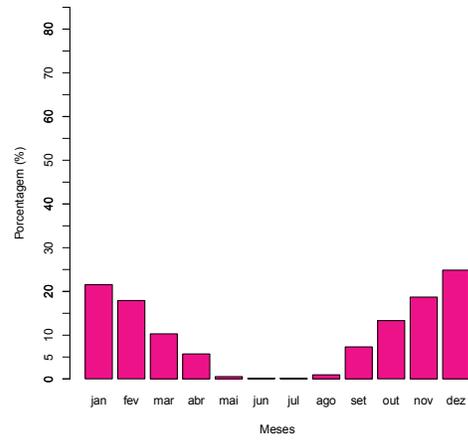
a) QI 1960-1990



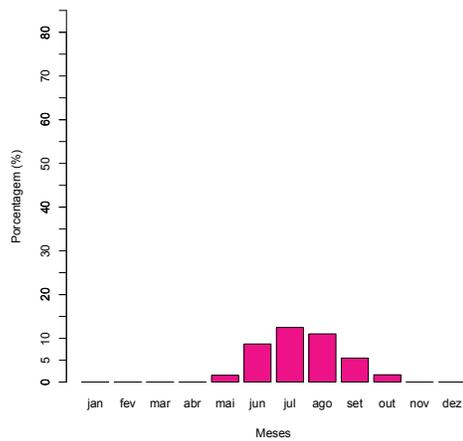
b) QS 1960-1990



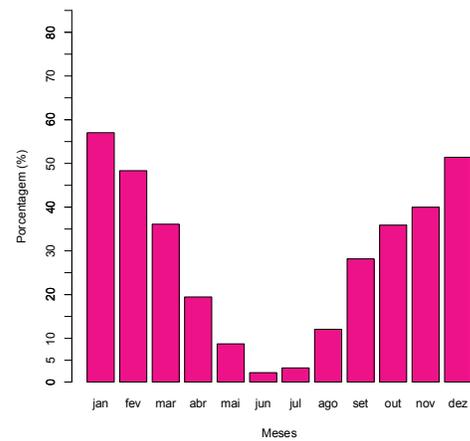
c) QI 2010-2040



d) QS 2010-2040



e) QI 2070-2100



f) QS 2070-2100

Figura 32 – Distribuições de frequência de TRv para 1960-1990 (a) no QI, (b) no QS, para 2010-2040 (c) no QI, (d) no QS e para 2070-2100 (e) no QI e (f) no QS.

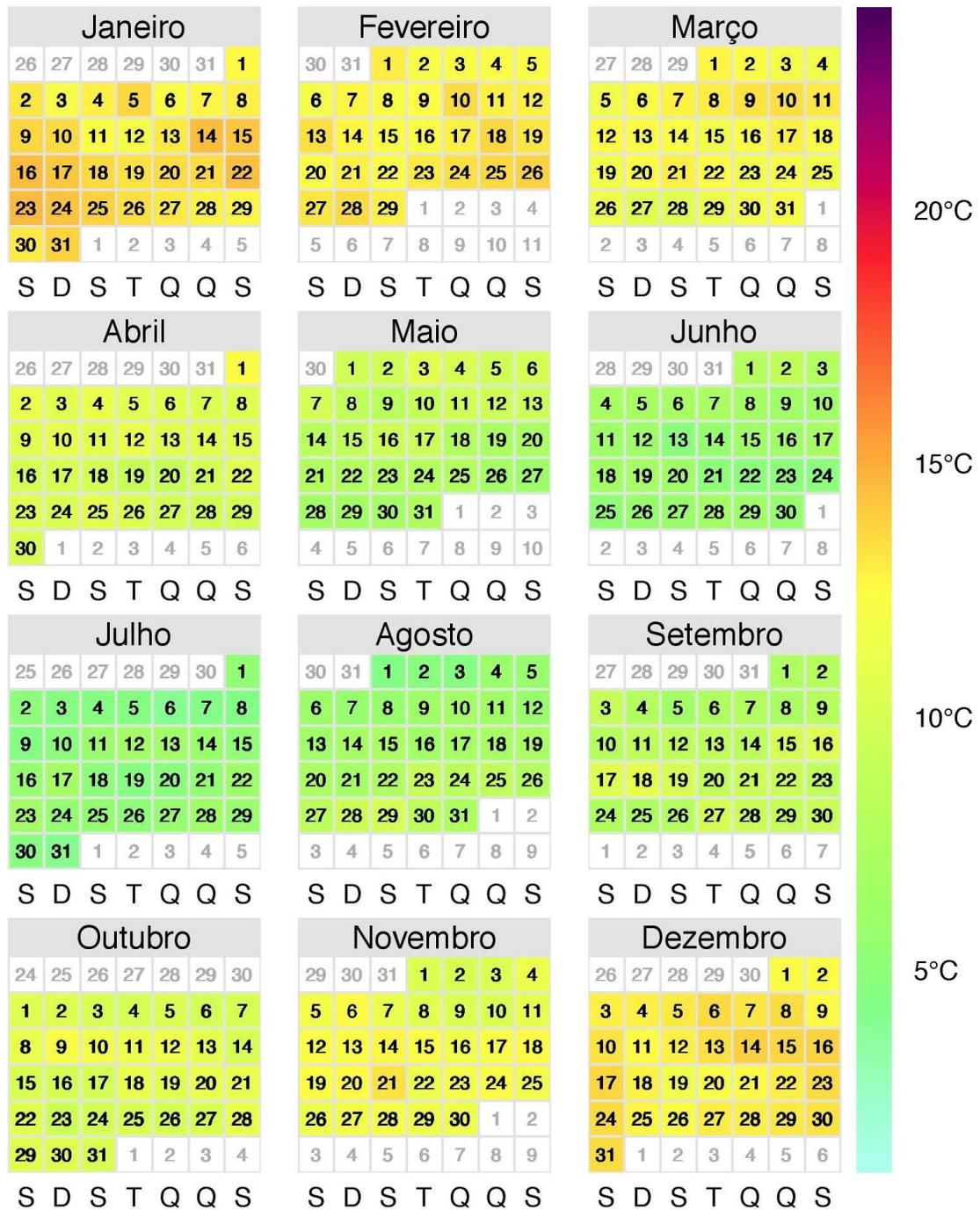


Figura 33 – Calendário climático de TRv para 1960-1990.

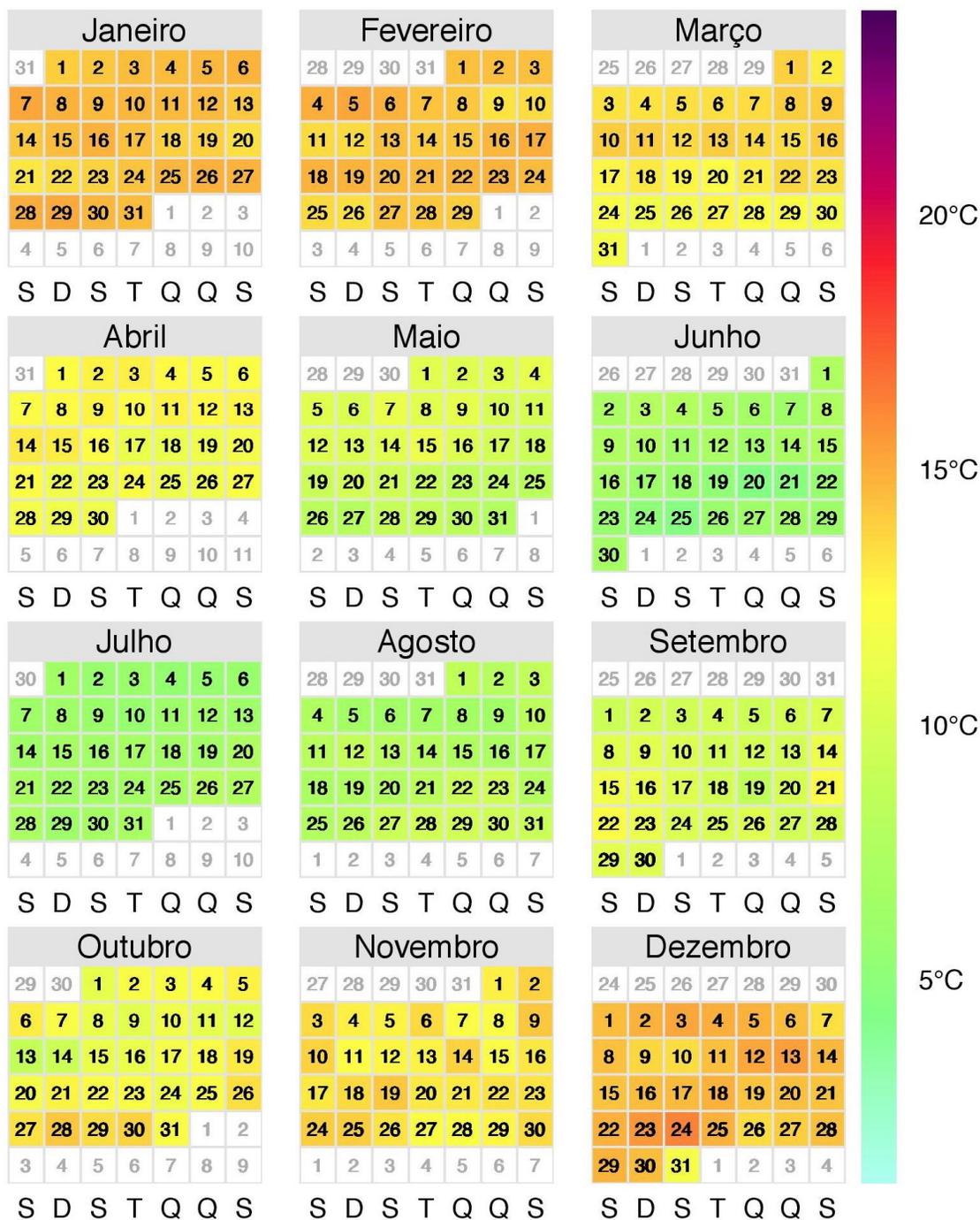


Figura 34 – Calendário climático de TRv para 2010-2040.

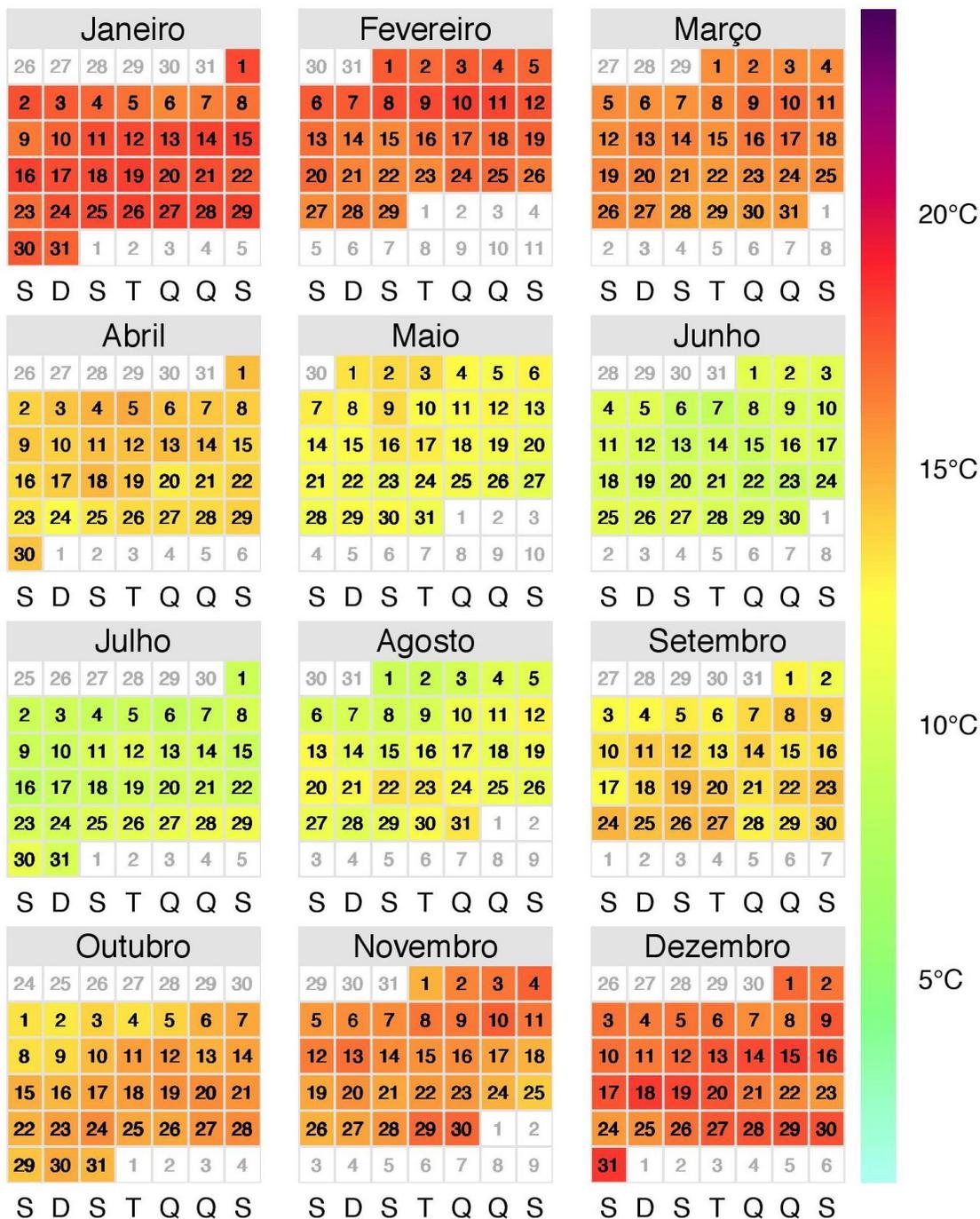


Figura 35 – Calendário climático de TRv para 2070-2100.

3.6 Índices de conforto térmico para população geriátrica

Parte do esforço dedicado a este trabalho diz respeito à criação ou adaptação de um índice de CT voltado especificamente para a população idosa e posterior projeção deste para o futuro. Existem, de imediato, duas formas de se fazer essa adaptação: 1) através do modo empírico, utilizando uma amostra da população e câmaras climáticas; e 2) identificando variáveis fisiológicas que sofram mudanças com a idade e as alterando nos índices do tipo racionais já existentes. Questões envolvendo amostras populacionais e câmaras climatizadas normalmente demandam um tempo significativo, praticamente inviabilizando a primeira abordagem no atual programa de Mestrado.

Como parte da segunda opção, foi realizado um levantamento bibliográfico a respeito das alterações na termorregulação e metabolismo decorrentes do envelhecimento. McIntyre (1980) explica que a principal função da termorregulação é o mantimento da temperatura interna do corpo dentro dos limites compatíveis com a vida. O centro de controle da temperatura está localizado no hipotálamo, parte do cérebro responsável por diversas funções autônomas, como a sensação de fome, sede, comportamento sexual e também termorregulação, cuja eficiência está associada à idade.

Alguns estudos demonstram (ver MATHEW et al., 1986 e SATO et al., 2010) que com o passar do tempo ocorre uma redução na eficiência termorregulatória de forma que os mecanismos associados respondem de forma mais lenta e menos eficaz às condições ambientais externas. Isto se traduz na tendência de que situações termicamente estressantes, como as identificadas pelas projeções do RegCM3, atingem mais as pessoas idosas do que jovens. Em outras palavras, o estresse térmico provocado por algum fator ambiental em determinado lugar, é o mesmo para pessoas de qualquer faixa etária deste local, entretanto, idosos tendem a perceber e responder menos aos seus efeitos, mesmo que algum dano esteja sendo causado à sua saúde.

De acordo com Boothby, Berkson e Dunn (1936), citado por Davson (1959), como aspecto do envelhecimento identifica-se também uma redução na Taxa Metabólica Basal (TMB), que é definida como a produção de energia mínima necessária para manter a temperatura interna do corpo em aproximadamente 36,5°C, mesmo na ausência de atividade muscular consciente (dormindo, por exemplo). A variação da TMB é passível de ser aplicada na equação da Temperatura Operativa (TO), definida em Campbell (1998), por

$$M - \lambda E = \frac{c_p(T_b - T_O)}{(r_{Hb} + r_{Hr})} \quad (7)$$

onde M é o fluxo de energia gerado pelo metabolismo (Wm^{-2}), que poderia ser substituído por TMB, λE a perda de calor latente por evaporação de água do trato respiratório e pele (Wm^{-2}), c_p o calor específico do ar ($Jmol^{-1}C^{-1}$), T_b a temperatura interna do corpo ($^{\circ}C$), T_O a temperatura operativa ($^{\circ}C$), r_{Hb} a resistência à transferência de calor pelo corpo (sm^{-1}) e r_{Hr} a resistência radiativa à transferência de calor (sm^{-1}).

Entretanto, a complexidade agregada às variáveis da T_O sugerem uma revisão bibliográfica mais extensa, dada uma série de dúvidas ainda existentes entre a forma como elas interagem e o quanto a TMB varia de acordo com a idade. Estes e outros assuntos serão abordados na continuidade do Projeto Temático FAPESP, processo 2010/10189-5, que apresenta os seguintes objetivos e justificativa:

OBJETIVOS:

O objetivo deste projeto é a averiguação do impacto em população geriátrica, i. e., acima de 65 anos, e de variáveis meteorológicas associadas ao conforto térmico humano, no que tange à atual climatologia e as mudanças climáticas na região metropolitana da cidade de São Paulo. A poluição atmosférica será estudada de forma indireta, no que concerne impacto de situações meteorológicas desfavoráveis versus favoráveis, descrito abaixo. Esta temática está dentro do âmbito de estudos biometeorológicos, na subdivisão humana, baseado na ISB (International Society of Biometeorology). De acordo com esta abordagem, os efeitos são considerados meteorotrópicos, onde uma ou mais variáveis ambientais (no caso, meteorológico ou climático e mesmo a poluição atmosférica) afetam um ou mais indivíduos de uma população. O foco do estudo será, portanto, o desempenho cognitivo e físico da população geriátrica em um grupo pré-selecionado de idosos considerados saudáveis. Os estudos de conforto térmico para a população geriátrica, dentro do escopo da FAU e da POLI, levam em conta também as questões de ergonomia, e serão realizados em uma câmara climatizada. Estes estudos levarão em conta a proposição de um índice de conforto térmico, baseado em pesquisas de campo, na literatura e na TEP – Temperatura Equivalente Percebida, já estabelecida para uma população jovem, em São Paulo (Monteiro, 2008). O impacto dos poluentes atmosféricos será visto de forma indireta, comparando as respostas da população geriátrica no verão (menos poluído, mais chuvoso) com o inverno (mais poluído, menos chuvoso) na mesma série de testes. A estes testes serão acrescentadas análises de coletores de PM10 individuais. As mudanças climáticas, por sua vez, serão baseadas em saídas de modelos globais GCMs que entram na proposição do índice de conforto térmico, nos testes médicos e ergonômicos. Este projeto tem como objetivo, igualmente, subsidiar o Instituto Nacional de Análise Integrada de Risco Ambiental, coordenado pelo Prof. Dr. Paulo

Hilário Saldiva, da Faculdade de Medicina, USP, dentro do âmbito da criação dos institutos aprovada pelo CNPq, em dezembro passado.

Resumo dos objetivos:

1. Levantar a climatologia da região metropolitana de São Paulo para verificar situações de extremos de variáveis meteorológicas em questão (temperatura, umidade relativa, vento e radiação ambiental);
2. Levantando-se em conta um idoso apto saudável, levantar as condições das habitações e localização para esta faixa etária. Dentro deste item temos:
 - Avaliar o impacto da variação da temperatura (ou estresse térmico) sobre a funcionalidade de indivíduos idosos, particularmente seu efeito na função cognitiva, equilíbrio e força muscular.
 - Aferir parâmetros utilizados como medida de estresse (cortisol, catecolaminas e indiretamente a variabilidade da frequência cardíaca) e correlacioná-los com a variação da temperatura
 - Correlacionar as medidas de estresse térmico à funcionalidade de indivíduos idosos;
3. Propor um índice de conforto térmico humano a ser desenvolvido durante este estudo para idosos aptos com os dados climáticos atuais (testes de desempenho mais questionário de conforto térmico) aplicados em câmara climatizada (ambiente interno);
4. Propor critérios de desempenho térmico para projeto arquitetônico habitacional, incluindo também requisitos de ergonomia, compatível com os itens 2 e 3;
5. Repetir os objetivos 1, 3 e 4 para os dados de cenários futuros produzidos pelos modelos utilizados no AR4 do IPCC;
6. Efetuar testes com os indivíduos idosos em dias mais poluídos (mais presentes no inverno) e menos poluídos (mais presentes no verão).

JUSTIFICATIVA:

A justificativa deste projeto se deve à importância que as alterações ambientais possuem em uma população mais sensível, como a geriátrica. A principal alteração ambiental que nos deparamos no começo deste século XXI se refere à mudança climática. Hoje não há mais dúvida de que ela vem ocorrendo, podendo alterar drasticamente o clima da Terra, mesmo em localidades próximas aos trópicos, como a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), local deste estudo. A região RMSP já sofreu um aquecimento de quase 2°C desde a década de 30 do século passado, em parte devido ao aquecimento local, da própria cidade, uma alteração significativa do padrão de garoas e chuvas pesadas e, segundo pesquisas mais recentes, o inverno pode passar a ser ainda mais seco que do presente momento, agravando o segundo fator relevante abordado por este estudo: a poluição atmosférica ainda que a variabilidade seja maior.

Grandes centros urbanos como a RMSP funcionam como um amplificador destas mudanças, por gerarem ambientes ainda mais hostis. A ilha de calor é um exemplo disto. Este fenômeno atinge principalmente noites de inverno na RMSP, fazendo com que a temperatura possa ser até 10°C mais quente que seus arredores. No entanto, com a mudança climática, noites quentes de verão podem também se tornar ainda mais quentes e abafadas, gerando uma sobrecarga em sistemas biológicos, particularmente, em idosos.

Outro fator vinculado aos centros urbanos é a poluição atmosférica.

Estudos têm mostrado (por exemplo, Gonçalves et al., 2007) que mesmo baixas concentrações de PM10 e SO2, combinado a fatores meteorológicos, geram morbidade em diferentes tipos de doenças. O ozônio, por outro lado, não está sendo controlado até o presente momento (CETESB 2007). Outros fatores como a poluição sonora e má qualidade de alimentos e água, em populações carentes, por exemplo, agravam ainda mais o problema.

Quanto ao impacto direto na saúde do idoso: os idosos são mais suscetíveis às sobrecargas que o clima/tempo impõe por motivos fisiológicos e comportamentais, os quais regulam a temperatura corporal. Os indivíduos com 60 anos ou mais têm um declínio na capacidade termo-regulatória, mesmo quando saudáveis. A sudorese em resposta ao aquecimento passivo está reduzida e ocorre em temperaturas mais altas, assim como está reduzida a resposta vascular ao aquecimento e resfriamento e o tremor como forma de produzir calor. Nos idosos, os impulsos termo-regulatórios dos nervos simpáticos para a pele estão reduzidos em 60% e o metabolismo basal é menor, onde gera má termorregulação. Devido a este fato, mudanças climáticas afetam primeiramente a saúde da população geriátrica.

Como exemplo recente, dia 10 de fevereiro de 2010, saíram reportagens em diversas mídias sobre a mortalidade de idosos devido às elevadas temperaturas (39°C) registradas na baixada santista. As reportagens salientam que a “sensação térmica” era de 45°C, sem entrar, em detalhes, como era calculado este valor e, provavelmente, é um índice para toda a população e não para nossa faixa etária de estudo.

Por fim, este projeto visa subsidiar o Instituto Nacional de Análise Integrada de Risco Ambiental, coordenado pelo Prof. Dr. Paulo Hilário Saldiva, da Faculdade de Medicina, USP. O Instituto se propõe a estudar o impacto da poluição atmosférica, entre outros, os quais estão dentro do escopo deste projeto de pesquisa. Deve-se ressaltar que as mudanças climáticas estão contempladas de forma indireta dentro do âmbito do Instituto⁹.

⁹ Extraído do Projeto Temático FAPESP 2010/10189-5, coordenado pelo Prof. Dr. Fábio Luiz Teixeira Gonçalves.

4 CONCLUSÕES

O objetivo geral desse trabalho foi avaliar o comportamento climatológico dos índices de conforto térmico ID e TRv na Região Metropolitana de São Paulo e projetá-los para o futuro, através da utilização de simulações do modelo regional climático RegCM3, para os anos de 1960 a 1990, 2010 a 2040 e 2070 a 2100, com foco nos períodos em que ocorrem os extremos destes índices, tendo em vista suas influências em populações vulneráveis da região.

Antes da aplicação dos índices de CT e como parte da caracterização das condições extremas encontradas pelos habitantes da RMSP, as temperaturas máxima e mínima da estação meteorológica do IAG (1960-1990) foram separadas em 10 grupos (decis) determinados pelas medidas separatrizes da tabela 5. A análise das temperaturas no QI representa as situações na qual se tem maior desconforto por frio tanto para a tarde (Tmax), quanto para noite (Tmin). Em relação à tarde, os resultados apontam que junho, julho, agosto e setembro apresentam uma pequena diferença na porcentagem relacionada ao número de Tmax no QI, indicando que, estatisticamente, para o período de 1960-1990, a probabilidade de ocorrerem tardes mais frias foi igualmente distribuída entre esses meses. Em relação à noite, nota-se uma diferença significativa na porcentagem de Tmin no QI em cada um dos meses. Neste caso, julho foi caracterizado como o mês de maior frio, apresentando uma porcentagem de 36,5%, ou seja, de todas noites de julho computadas de 1960-1990, 36,5% apresentaram Tmin suficientemente baixas a ponto de estarem contidas no QI.

Como indicação dos meses de maior desconforto por calor durante as tardes e noites na RMSP, é feita análise do quantil superior das temperaturas máxima e mínima. A maior incidência de Tmax no QS foi verificada em fevereiro, com 25,1%, seguida de janeiro, com 21,9%, porcentagens indicativas de que estes foram os meses nos quais as tardes ofereceram maior grau de desconforto à população da RMSP. Em relação ao período noturno, fevereiro também é caracterizado como o mês mais desconfortável, contendo 36,6% das noites no QS. Os quantis intermediários de Tmax e Tmin caracterizam, em média, situações confortáveis para os habitantes da RMSP, independentemente da época do ano. Porém, à medida em que se consideram quantis extremos (superiores e inferiores), as épocas do ano adquirem maior importância na determinação do desconforto percebido pelos habitantes da RMSP.

Dando continuidade na avaliação do desconforto ao longo dos meses, com base nos dados da estação meteorológica, foram utilizados os índices ID, TR e TRv, em três combinações envolvendo as variáveis Tmax, Tmin, Tmed, URmax, URmin, URmed e velocidade de vento máxima do dia. Esta metodologia é explicada pelo mesmo raciocínio adotado em 3.1.1 e 3.1.2, no qual se intenciona avaliar o desconforto das tardes e noites, de tal forma que, para representá-los se faz necessário o uso das variáveis corretas para o cálculo dos índices. Assim, a 1ª combinação de variáveis continha Tmax e URmin (tarde), a 2ª Tmin e URmax (noite) e a 3ª Tmed e URmed (índices médios diários). De imediato, foi observado que as ordens quantílicas de ID e TR eram muito próximas, evidenciando que, apesar da diferente formulação, ambos os índices apresentavam resultados bastante similares, explicado em partes pelo fato de ambos não considerarem o vento em seu cálculo. Como consequência, optou-se pela utilização de apenas um destes dois índices (ID), já que todas as outras avaliações entre eles apresentariam resultados muito próximos.

O QS dos índices de CT (tardes) mostra uma distribuição similar no primeiro semestre e diferente no segundo, onde ID apresenta um aumento gradual no número de ocorrências de julho até dezembro, indicando que o número de tardes desconfortáveis por calor também aumenta gradativamente nesses meses; a distribuição de TRv é similar à de Tmax no QS, evidenciando que o desconforto representado por este índice dá maior peso à temperatura do que à umidade relativa e vento.

O QI dos índices de CT (noites) mostra que tanto ID, quanto TRv, são determinados basicamente por Tmin, com ambas as distribuições tendo formato e porcentagens semelhantes. Isto quer dizer que, especificamente para o período noturno, a utilização de qualquer um dos índices é válida, pois ambos possuem o mesmo comportamento, com a diferença de que as ordens quantílicas que delimitam a distribuição de TRv são mais baixas do que as de ID, devido a utilização do vento em sua obtenção.

Os mapas de calor horários de ID e TRv mostram que o período entre 01:00 e 07:00 dos meses de inverno é o mais frio, ilustrado pelos pixels da cor azul. O oposto é representado pelos pixels vermelhos das 10:00 às 16:00 na época de verão, onde se dão os valores mais altos dos índices. As células em verde que adquirem um formato em "x" ilustram a zona de conforto. Adotando como forma de análise a contagem do número de pixels verdes chega-se à conclusão de que para ID, abril é tido como o mês que possui maior número de horas confortáveis. Tal afirmativa é corroborada pela distribuição de

frequência ilustrada nas figuras 12a e 13a, tendo em vista que o mês em questão apresenta menor ocorrência de ID no QS e no QI. Para TRv a afirmação anterior deixa de ser válida pela consideração do vento em seu cálculo, fazendo com que a área de pixels azuis, representativa do frio, seja maior, dado os valores baixos de TRv obtidos e que compõe o período das 02:00 às 07:00 de abril.

Com a intenção de estabelecer uma comparação entre os mapas de calor de ID e TRv é também adotada uma escala fixa, construída de forma arbitrária e determinada para ambos os índices. Através dela é possível observar que pelo uso do vento, TRv apresenta valores inferiores à ID, apesar de possuir uma boa representação dos extremos de calor e frio horários.

Antes de abordar as projeções dos índices de CT para o futuro, foi realizada uma breve comparação entre as variáveis base (temperatura, umidade relativa e vento) e os índices de CT utilizados nesse trabalho, obtidos via estação meteorológica e RegCM3. Para tal, fez-se uso do RMSE e erro médio (viés), além de variáveis estatísticas individuais a cada série de dados, como média aritmética, valor máximo, valor mínimo, desvio padrão e variância. O viés negativo da temperatura, que varia de $-0,1^{\circ}\text{C}$ a $-1,8^{\circ}\text{C}$, ilustra a tendência do modelo em subestimar essa variável, especialmente de janeiro a abril. Isto acontece por questões relativas à sua resolução, dada uma reduzida capacidade em simular fenômenos de micro e mesoescala, bem como a uma combinação de deficiências nas parametrizações físicas do modelo.

Como indicação de acurácia e do quão bem os extremos estão sendo simulados, é importante avaliar o RMSE da temperatura. Através dele verifica-se uma variação média de 3°C a $4,9^{\circ}\text{C}$ ao longo do período e um comportamento oposto em relação ao viés, ou seja, o período de maior precisão do modelo (janeiro, fevereiro e março) é também àquele no qual ocorre a maior subestimativa de temperatura. Conclui-se que projeções para tempos futuros tendem a apresentar valores subestimados em relação à realidade para todo o ano e mais evidentes em janeiro, fevereiro e março, mesmo que indiquem temperaturas mais altas.

O viés de umidade relativa indica que o modelo tende a superestimar essa variável nos meses mais quentes do ano, apesar de ser a época de maior acurácia em relação aos extremos. O contrário é válido e nos meses frios do ano, o RegCM3 perde precisão ao mesmo tempo em que subestima os valores de umidade relativa. Entretanto, deve-se observar que os valores de UR medidos na Estação Meteorológica são normalmente mais elevados em relação ao restante da RMSP, de forma que estas subestimativas são

compreensíveis, tendo em vista que os valores obtidos são referentes a uma área de 10.000 Km^2 .

Essa relação antagônica não é observada no RMSE e viés do vento, onde os períodos de menor precisão (fevereiro e março, julho e agosto) coincidem com os de maior superestimativa dessa variável. Entretanto vale ressaltar que o vento é, das três variáveis consideradas, a que apresenta mudanças mais bruscas em um menor espaço de tempo, agregando assim, maior incerteza em sua previsibilidade por parte do MCR.

A análise estatística do RMSE e erro médio de ID e TRv indica que as maiores incertezas entre os índices simulados e observados é proveniente da temperatura, tendo em vista as semelhanças existentes entre RMSE_id, vies_id, RMSE_trv, vies_trv e RMSE_t, vies_t (figuras 18 e 19). Conclui-se assim que ID e TRv tiveram seus extremos melhor simulados no primeiro semestre, especialmente durante o verão. A comparação direta entre RMSE de ID e TRv aponta para uma menor precisão no segundo, explicado pelo acréscimo da magnitude do vento em seu cálculo, que agrega uma incerteza a mais no valor final do índice. Apesar de ser mais complexo e considerar também o vento, em dados simulados o TRv possui uma representação inferior à ID, pois quanto maior o número de variáveis envolvidas, maior o erro embutido.

A parte final do trabalho trata da projeção dos índices de CT para os períodos de 2010-2040 e 2070-2100 (forçados de acordo com o cenário de emissões A1B do IPCC). O comportamento geral de ID aponta para redução gradual de sua ocorrência no QI, ao mesmo tempo em que se verifica um aumento no QS, representando uma situação de aquecimento na RMSP. Essa tendência é ainda mais evidente devido à constatação de que os valores de ID, não inclusos no QI, foram distribuídos entre os quantis intermediários, delimitados por ordens quantílicas maiores e compostos por maiores valores do índice. Isso acaba tendo um reflexo significativo no inverno da RMSP, que tende a ser mais ameno e descaracterizado no futuro, indicando menor desconforto por frio às populações vulneráveis. Em contrapartida, estas mesmas pessoas tendem sentir mais desconforto por calor, evidenciado pela análise do QS, onde se verifica maior número de dias com ID superiores ou equivalentes a 20,9°C.

Como se tratam de IDs médios diários, no qual o ciclo diário está embutido, vale a constatação de que, para atingir tal valor, tanto o dia quanto a noite precisam apresentar altas temperaturas. Assim, pode-se inferir que no futuro as noites também tendem a ser mais quentes, traduzindo-se em problemas para populações vulneráveis por estas serem afetadas de forma mais intensa, como no ano de 2003, no qual a Europa experimentou

uma onda de calor responsável pela morte de mais de 70.000 pessoas (grande parte idosas), sendo 14.974 apenas na França (POUMADERE et al., 2005). Resultados similares são encontrados em IPCC (2007b) e ressaltam que no futuro o número de ondas de calor tende a ser maior e haverá uma redução no número de dias frios, considerando regiões de médias e baixas latitudes.

As projeções de TRv apontam para a tendência de aquecimento verificada em ID, com a diferença de que a transição não é gradativa com o passar dos anos e sim mais brusca, sendo mais percebida apenas em 2070-2100. A comparação entre o QS das figuras 32b e d evidencia isso, além de apontar que até 2040 não serão observadas alterações significativas na elevação dos valores de TRv, quando comparados à 1960-1990. Em relação ao QI, nota-se uma menor ocorrência no mês de maio, indicando que até 2040 o frio mais intenso se dará a partir de junho. Em 2070-2100, a projeção de TRv passa a se assemelhar à de ID, com redução das ocorrências no QI para todos os meses e aumento significativo no QS. Neste período os meses novembro e fevereiro, por exemplo, apresentam aproximadamente metade dos dias com TRvs médios diários iguais ou superiores a 17,7°C.

Por fim, os calendários climáticos de ID e TRv dão uma visão qualitativa das alterações previstas. Neles é possível verificar que o verão tende a ser mais rigoroso, enquanto o inverno mais ameno. Em termos médios anuais, ID passa 17,4°C em 1960-1990 para 20,1°C em 2070-2100, aumento de 2,8°C; enquanto que TRv vai de 11,8°C para 14,7°C no mesmo período, tendo aumento de 2,9°C (médias aritméticas elaboradas com base nas tabelas 7A, 8A e 9A).

É importante salientar que a tendência de aquecimento verificada para a RMSP está ligada exclusivamente ao cenário de emissões de gases de efeito estufa utilizado, e não ao crescimento da malha urbana da cidade, pois o RegCM3 não possui um esquema que simulação do espaço e crescimento urbano ao longo do tempo.

Os resultados obtidos representam valores médios para períodos de 30 anos, de tal modo a não considerar efeitos locais que podem provocar alterações pontuais em variáveis meteorológicas, como, por exemplo, a interação entre brisa marítima e ICU, que costumeiramente provoca chuvas convectivas na RMSP.

4.1 Sugestões para trabalhos futuros

Tratando-se de algo recente, a aplicação de índices de conforto térmico em modelos atmosféricos é caracterizada por ser uma área relativamente inexplorada da biometeorologia. Existem diversos tópicos a serem abordados e que apesar de aparentemente representarem "barreiras" para o desenvolvimento dessas aplicações, se traduzem em possibilidades para desenvolvimento de trabalhos futuros, a citar:

- Desenvolvimento de índices próprios para a RMSP: Um aspecto relevante na aplicação de índices de CT é a adequabilidade deste para a região em questão. Ter um índice próprio significa obter resultados mais realistas em relação à percepção térmica da população, tanto para fins operacionais quanto acadêmicos. Todavia, a elaboração de um índice (considerando que seja empírico) requer realização de testes com uma amostra representativa da população alvo, aumentando de maneira significativa a complexidade da pesquisa.
- Índices individualizados para pequenos grupos: É bastante comum verificar hoje a tentativa de desenvolvimento de índices "universais", que sejam aplicáveis em qualquer região do globo. Entretanto, as adaptações das populações aos diferentes climas torna a tarefa praticamente impossível, de forma que, as soluções encontradas sempre convergem para modificações de determinados parâmetros, a fim de adequar tal índice a uma determinada região. Desta maneira, sugere-se que os índices sejam desenvolvidos desde a sua raiz buscando a adequação para pequenos grupos alvo. Tal tarefa poderia vir a ser facilitada se existisse uma metodologia comum adotada pelos pesquisadores na construção dos índices.
- Usar modelos com resolução adequada: O uso apenas de dados de MCGAs neste trabalho provocaria uma discrepância significativa entre as séries de tempo simuladas e observadas, o que de certa forma poderia comprometer os resultados finais. Assim, é relevante utilizar a técnica de *downscaling* para melhor simular os processos que contribuem para o controle do clima em escala local, como por exemplo, interações entre nuvem e radiação, superfície-solo e atmosfera e convecção em nuvens cumulus.

- Diferentes cenários de emissões: Para este trabalho fez-se uso apenas de um cenário de emissão de gases de efeito estufa, A1B. Entretanto, é aconselhável aplicar a mesma metodologia e projetar índices para outros cenários do IPCC (como A2, B1 e B2), cobrindo uma gama maior de situações futuras associadas às diferentes concentrações de GEE.
- Uso de modelos mais atuais: A versão 4 (atual) do Regional Climate Model (RegCM4) está disponível e deve ser utilizada em estudos posteriores. O ICTP (*International Centre for Theoretical Physics*), instituição que sustenta o desenvolvimento do modelo, esclarece que essa versão inclui diversas atualizações na estrutura do código e inclusão de novas parametrizações físicas. Além do MCR utilizado, é possível considerar para trabalhos futuros o uso de condições iniciais e de fronteira de distintos MCGAs, além do ECHAM5.

5. APÊNDICE

Tabela 1A – Estimativa populacional dos municípios que compõe a RMSP (CENSO 2010).

Municípios	População estimada
Arujá	76.112
Barueri	243.241
Biritiba Mirim	28.876
Caieiras	87.704
Cajamar	65.139
Carapicuíba	371.502
Cotia	205.154
Diadema	388.575
Embú	242.730
Embú-Guaçu	63.218
Ferraz de Vasconcelos	170.296
Francisco Morato	156.063
Franco da Rocha	133.406
Guararema	26.146
Guarulhos	1.233.436
Itapecerica da Serra	154.374
Itapevi	203.712
Itaquaquecetuba	325.518
Jandira	109.613
Juquitiba	28.912
Mairiporã	82.556
Mauá	421.184
Mogi das Cruzes	392.195
Osasco	667.826
Pirapora do Bom Jesus	15.989
Poá	106.797
Ribeirão Pires	113.725
Rio Grande da Serra	44.502
Salesópolis	15.733
Santa Isabel	50.968
Santana da Parnaíba	111.422
Santo André	678.485
São Bernardo do Campo	770.253
São Caetano do Sul	149.962
São Lourenço da Serra	14.109
São Paulo	11.316.149
Suzano	265.074
Taboão da Serra	248.127
Vargem Grande Paulista	43.789
Total	19.822.572

Tabela 2A – Variáveis estatísticas de t_obs e t_mod de 1960 a 1990, em °C.

	meses	media_t	maximo_t	minimo_t	dp_t	var_t	vies_t
t_obs	janeiro	21,6	27,1	15,2	2,2	4,9	-1,2
t_mod		20,4	27,6	14,7	1,8	3,4	-1,2
	fevereiro	21,9	27,6	16,2	1,9	3,7	-1,8
		20,1	26,3	14,8	1,7	3,0	-1,8
	março	21,2	25,7	14,9	1,9	3,5	-1,7
		19,4	25,9	14,9	1,7	2,8	-1,7
	abril	19,2	25,6	10,3	2,3	5,3	-1,1
		18,1	24,1	10,6	2,1	4,3	-1,1
	maio	17,0	23,2	5,5	2,5	6,3	-0,6
		16,4	24,0	7,4	2,7	7,4	-0,6
	junho	15,7	23,3	7,0	2,6	6,6	-0,9
		14,8	21,0	5,2	2,5	6,5	-0,9
	julho	15,3	23,3	4,5	2,8	7,8	-1,2
		14,0	22,3	3,7	2,9	8,7	-1,2
	agosto	16,5	23,9	6,6	3,0	9,0	-0,9
		15,5	25,6	4,5	3,5	12,0	-0,9
	setembro	17,2	25,8	7,3	3,2	10,3	-0,3
		16,9	26,7	7,2	3,5	12,4	-0,3
	outubro	18,4	28,0	11,3	2,9	8,4	-0,1
		18,3	27,7	10,2	3,2	10,0	-0,1
	novembro	19,6	26,5	12,2	2,7	7,1	-0,4
		19,2	28,2	12,2	2,9	8,4	-0,4
	dezembro	20,7	26,5	13,3	2,3	5,5	-0,5
		20,1	27,6	14,4	2,3	5,5	-0,5

Tabela 3A – Variáveis estatísticas de ur_obs e ur_mod de 1960 a 1990, em %.

	meses	media_ur	maximo_ur	minimo_ur	dp_ur	var_ur	vies_ur
ur_obs	janeiro	82,9	96,7	54,8	7,0	48,8	1,9
ur_mod		84,8	96,7	37,6	9,5	89,3	1,9
	fevereiro	82,9	96,9	59,3	6,7	44,9	2,6
		85,5	96,5	55,2	8,2	66,7	2,6
	março	83,5	97,1	59,6	6,0	36,2	2,6
		86,1	96,7	47,4	8,0	63,9	2,6
	abril	84,0	97,2	62,5	5,8	33,4	-0,8
		83,2	96,9	48,8	9,6	92,2	-0,8
	maio	83,1	97,5	56,5	6,7	45,4	-2,6
		80,6	97,3	40,7	10,4	109,0	-2,6
	junho	81,4	98,1	53,0	8,6	73,6	-1,7
		79,7	97,4	48,3	10,9	118,1	-1,7
	julho	79,4	97,1	49,0	10,0	100,0	-2,1
		77,3	97,3	42,3	12,0	145,0	-2,1
	agosto	77,7	97,4	42,4	11,6	135,4	0,0
		77,7	97,5	34,9	13,3	177,8	0,0
	setembro	80,1	97,7	34,6	11,9	141,4	-3,1
		76,9	97,2	33,4	14,1	197,9	-3,1
	outubro	82,7	99,3	47,9	8,7	75,8	-2,8
		79,9	97,2	32,6	11,9	141,9	-2,8
	novembro	81,8	96,9	43,6	8,3	68,2	0,4
		82,2	97,1	44,0	11,0	121,0	0,4
	dezembro	82,8	98,3	54,3	7,6	57,2	1,0
		83,9	97,0	47,1	10,1	101,4	1,0

Tabela 4A – Variáveis estatísticas de v_obs e v_mod de 1960 a 1990, em m/s.

	meses	media_v	maximo_v	minimo_v	dp_v	var_v	vies_v
v_obs	janeiro	2,2	5,5	0,8	0,7	0,5	0,9
v_mod		3,1	12,6	0,0	2,1	4,6	0,9
	fevereiro	2,0	5,7	0,3	0,6	0,4	1,2
		3,2	11,0	0,1	2,2	4,8	1,2
	março	1,9	4,1	0,6	0,5	0,3	1,3
		3,1	11,0	0,1	2,1	4,6	1,3
	abril	1,9	4,3	0,6	0,5	0,3	0,9
		2,8	10,9	0,0	2,0	3,9	0,9
	maio	1,7	4,5	0,3	0,6	0,4	0,9
		2,6	10,2	0,0	2,0	3,9	0,9
	junho	1,8	5,5	0,4	0,7	0,5	0,9
		2,7	10,0	0,0	2,0	4,1	0,9
	julho	1,9	6,0	0,5	0,7	0,6	1,1
		3,0	9,6	0,1	2,2	4,7	1,1
	agosto	2,0	6,0	0,5	0,7	0,5	1,1
		3,1	12,5	0,0	2,3	5,3	1,1
	setembro	2,2	5,1	0,5	0,6	0,4	0,8
		3,0	10,5	0,0	2,3	5,1	0,8
	outubro	2,2	4,5	0,9	0,6	0,4	0,7
		3,0	10,7	0,0	2,2	5,1	0,7
	novembro	2,3	5,1	0,9	0,6	0,4	0,8
		3,1	10,3	0,0	2,2	4,8	0,8
	dezembro	2,3	6,8	0,9	0,7	0,5	0,5
		2,8	11,1	0,0	2,1	4,2	0,5

Tabela 5A – Variáveis estatísticas de ID_obs e ID_mod de 1960 a 1990, em °C.

	Meses	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Variância
ID_obs	janeiro	20,9	25,3	15,1	1,9	3,5
ID_mod		19,8	24,5	14,7	1,5	2,3
	fevereiro	21,2	25,1	16,2	1,6	2,6
		19,6	23,5	14,8	1,4	2,1
	março	20,5	24,4	14,9	1,6	2,6
		19,0	23,5	14,9	1,4	2,0
	abril	18,7	24,2	10,5	2,1	4,3
		17,7	22,3	11,2	1,7	3,0
	maio	16,7	22,8	6,2	2,3	5,1
		16,1	21,6	8,5	2,3	5,3
	junho	20,5	24,4	14,9	1,6	2,6
		19,0	23,5	14,9	1,4	2,0
	julho	15,1	21,6	5,0	2,5	6,0
		14,0	20,2	5,4	2,5	6,4
	agosto	16,1	22,3	7,0	2,6	6,7
		15,2	22,1	6,0	2,9	8,5
	setembro	16,8	23,6	7,5	2,8	7,6
		16,4	23,4	7,8	2,9	8,2
	outubro	17,9	25,5	11,3	2,5	6,4
		17,7	24,6	10,6	2,6	6,7
	novembro	19,1	24,8	12,3	2,3	5,4
		18,7	24,6	12,4	2,4	5,7
	dezembro	20,0	24,4	13,3	2,0	4,1
		19,5	24,8	14,4	1,9	3,6

Tabela 6A – Variáveis estatísticas de TRv_obs e TRv_mod de 1960 a 1990, em °C.

	Meses	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Variância
TRv_obs	janeiro	16,1	24,0	6,3	3,1	9,9
TRv_mod		14,8	22,7	3,1	3,4	11,8
	fevereiro	16,6	24,3	7,9	2,8	7,7
		14,4	22,7	4,1	3,6	12,9
	março	15,8	22,0	6,6	2,7	7,4
		13,6	21,4	4,3	3,5	12,2
	abril	13,1	22,1	-0,8	3,2	10,5
		12,3	21,2	0,0	3,9	15,4
	maio	10,5	18,8	-5,7	3,5	12,3
		10,7	20,1	-4,6	4,2	17,6
	junho	8,8	17,4	-1,9	3,5	12,5
		8,7	19,3	-8,1	4,0	16,4
	julho	8,2	18,7	-7,1	4,0	16,1
		7,4	17,1	-9,4	4,5	20,3
	agosto	9,7	19,6	-4,8	4,3	18,5
		8,9	19,6	-7,7	5,3	28,2
	setembro	10,4	22,7	-5,3	4,5	20,5
		10,6	22,3	-6,5	5,3	27,9
	outubro	11,8	24,9	-0,2	4,1	16,9
		12,4	22,4	-3,3	4,8	23,2
	novembro	13,5	23,1	2,9	3,8	14,2
		13,4	24,5	0,9	4,4	19,5
	dezembro	14,9	22,9	3,6	3,3	10,9
		14,8	23,9	2,9	3,8	14,6

Tabela 7A – Variáveis estatísticas de ID_mod e TRv_mod de 1960 a 1990, em °C.

Índices	Meses	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Variância
ID_mod	janeiro	19,8	24,5	14,7	1,5	2,3
TRv_mod		14,8	22,7	3,1	3,4	11,8
	fevereiro	19,6	23,5	14,8	1,4	2,1
		14,4	22,7	4,1	3,6	12,9
	março	19,0	23,5	14,9	1,4	2,0
		13,6	21,4	4,3	3,5	12,2
	abril	17,7	22,3	11,2	1,7	3,0
		12,3	21,2	0,0	3,9	15,4
	maio	16,1	21,6	8,5	2,3	5,3
		10,7	20,1	-4,6	4,2	17,6
	junho	14,7	19,7	5,4	2,2	4,9
		8,7	19,3	-8,1	4,0	16,4
	julho	14,0	20,2	5,4	2,5	6,4
		7,4	17,1	-9,4	4,5	20,3
	agosto	15,2	22,1	6,0	2,9	8,5
		8,9	19,6	-7,7	5,3	28,2
	setembro	16,4	23,4	7,8	2,9	8,2
		10,6	22,3	-6,5	5,3	27,9
	outubro	17,7	24,6	10,6	2,6	6,7
		12,4	22,4	-3,3	4,8	23,2
	novembro	18,7	24,6	12,4	2,4	5,7
		13,4	24,5	0,9	4,4	19,5
	dezembro	19,5	24,8	14,4	1,9	3,6
		14,8	23,9	2,9	3,8	14,6

Tabela 8A – Variáveis estatísticas de ID_mod e TRv_mod de 2010 a 2040, em °C.

Índices	Meses	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Variância
ID_mod	janeiro	20,4	25,2	14,8	1,7	2,9
TRv_mod		14,8	23,7	4,8	3,3	11,0
	fevereiro	20,4	25,0	15,7	1,5	2,2
		14,8	23,1	7,0	2,9	8,7
	março	19,5	24,4	14,9	1,6	2,7
		13,7	21,2	5,4	3,1	9,6
	abril	18,6	23,2	11,7	1,7	3,0
		12,8	21,7	2,7	3,3	10,6
	maio	17,0	21,7	8,3	2,0	3,9
		10,6	21,7	-3,3	3,5	12,5
	junho	14,7	21,5	6,8	2,6	6,6
		7,2	20,2	-4,4	4,1	17,2
	julho	14,7	21,5	6,1	2,5	6,2
		7,4	17,8	-5,1	4,1	17,2
	agosto	16,0	22,4	7,1	2,8	8,0
		8,8	19,5	-7,3	4,8	23,2
	setembro	17,5	23,2	8,6	2,9	8,3
		11,0	22,5	-3,9	5,2	26,8
	outubro	18,7	25,1	12,2	2,5	6,3
		12,5	24,1	-0,3	4,6	21,4
	novembro	19,5	25,3	12,9	2,3	5,5
		13,6	23,3	2,0	4,3	18,2
	dezembro	20,4	25,4	13,2	2,0	3,9
		15,0	24,4	2,1	3,7	14,0

Tabela 9A – Variáveis estatísticas de ID_mod e TRv_mod de 2070 a 2100, em °C.

Índices	Meses	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Variância
ID_mod	janeiro	22,6	27,0	17,4	1,6	2,7
TRv_mod		18,1	25,9	8,0	3,2	10,0
	fevereiro	22,2	26,4	17,9	1,6	2,4
		17,5	24,8	9,0	3,0	9,2
	março	21,4	25,1	17,0	1,5	2,2
		16,5	24,3	8,6	2,9	8,4
	abril	20,1	24,9	15,0	1,7	3,0
		14,6	23,7	5,4	3,2	10,4
	maio	18,8	24,5	11,6	2,0	4,1
		13,0	21,8	0,5	3,5	12,6
	junho	17,3	23,9	9,3	2,5	6,3
		11,0	20,9	-1,7	4,0	16,2
	julho	17,2	23,7	7,7	2,7	7,1
		10,7	22,4	-4,5	4,4	19,1
	agosto	18,2	24,1	8,4	2,9	8,3
		12,0	21,8	-1,7	4,9	24,0
	setembro	19,7	25,6	11,3	2,9	8,4
		14,1	23,3	1,1	5,1	26,2
	outubro	20,7	26,8	13,4	2,7	7,6
		15,3	25,7	2,5	4,9	24,3
	novembro	21,4	26,8	15,6	2,3	5,4
		16,4	25,7	5,7	4,2	17,7
	dezembro	22,1	27,2	16,3	2,1	4,6
		17,5	25,8	6,8	3,9	14,9

Tabela 10A – Limiares quantílicos de ID para todos os períodos, em °C.

Ordens quantílicas	ID_1960-1990	ID_2010-2040	ID_2060-2100
Q.I	13,2	13,9	16,1
	14,9	15,6	17,7
	16,0	16,8	18,8
	16,9	17,7	19,7
	17,7	18,5	20,4
	18,5	19,2	21,1
	19,2	20,0	21,9
	20,0	20,7	22,7
Q.S	20,9	21,7	23,7

Tabela 11A – Limiares quantílicos de TRv para todos os períodos, em °C.

Ordens quantílicas	TRv_1960-1990	TRv_2010-2040	TRv_2060-2100
Q.I	5,3	5,2	8,3
	7,9	7,8	10,9
	9,6	9,6	12,5
	11	11	13,8
	12,3	12,3	15,1
	13,6	13,5	16,3
	14,8	14,8	17,5
	16,1	16,1	18,9
Q.S	17,7	17,8	20,6

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AWBI, H. Ventilation of buildings. [S.l.]: Spon Pr, 2003.
- BATISTA, R. J. R., CAMPONOGARA, G., GONÇALVES, F. L. T. Caracterização da variabilidade anual de índices de conforto térmico humano e comparação entre estes, para o Estado de São Paulo. Anais XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, Pará, 2010.
- BIGIARINI, M. Z. hydroGOF: Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and observed hydrological time series. R package version 0.3-4, 2012.
- BLANK, D.; MARQUES, J.; BARBOSA, F. Análise dos quantis da temperatura mínima no Rio Grande do Sul e ligações com os setores da concentração de gelo marinho antártico. Revista Brasileira de Meteorologia, SciELO Brasil, v. 26, n. 1, p. 41–52, 2011.
- BOOTHBY, W.; BERKSON, J.; DUNN, H. Studies of the energy of metabolism of normal individuals: a standard for basal metabolism, with a nomogram for clinical application. American Journal of Physiology–Legacy Content, Am Physiological Soc, v. 116, n. 2, p. 468, 1936.
- Boletim Climatológico Anual da Estação Meteorológica do IAG-USP/ Seção Técnica do Serviço Meteorológico – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo – v 14, 2010 – São Paulo: IAG-USP, 2010
- CAMPBELL, G.; NORMAN, J. Introduction to environmental biophysics. [S.l.]: Springer Verlag, 1998.
- CARSLAW, D.C.; ROPKINS, K. Openair - an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. v. 27-28, p. 52-61, 2012.
- CLARKE, A. Is there a universal temperature dependence of metabolism? Functional Ecology, Wiley Online Library, v. 18, n. 2, p. 252–256, 2004.

CLARKE, A.; FRASER, K. Why does metabolism scale with temperature? *Functional Ecology*, Wiley Online Library, v. 18, n. 2, p. 243–251, 2004.

DAVSON, H. *A textbook of general physiology. A textbook of general physiology.*, J. and A. Churchill, Ltd., 104 Gloucester Place. London, W. 1, n. ed. 2nd, 1959.

da ROCHA, R. P., RODRIGUES, C. A. M., CUADRA, S. V., AMBRIZZI, T. Precipitation diurnal cycle and summer climatology assessment over South America: An evaluation of Regional Climate Model version 3 simulations. *Journal of Geophysical Research*, v. 114, p. 1-19, 2009.

DICKINSON, R. E., HENDERSON-SELLERS, A., KENNEDY, P. J. Biosphere-atmosphere-transfer scheme (BATS) version 1E as coupled to NCAR Community Climate Model. NCAR Tech. Note, Natl. Cent. For Atmos. Res., Boulder, Colorado. 1993.

DUBOIS, D.; DUBOIS, E. The measurement of the surface area of man. *Arch Intern Med*, v. 15, p. 868–881, 1915.

DURNIN, J.; PASSMORE, R. *Energy, work and leisure. Energy, work and leisure.*, 1967.

EGAN, M. *Concepts in thermal comfort.* [S.l.]: Prentice-Hall, 1975.

FANGER, P. *Thermal comfort.* [S.l.]: McGraw-Hill book company, 1972.

FARIAS, J. *Previsão de chuva a curtíssimo prazo na área de abrangência do radar meteorológico de São Paulo.* Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP, 2011.

FREITAS, E. *Circulações locais em São Paulo e sua influência sobre a dispersão de poluentes.* São Paulo, 2003, 156p. Tese (Doutorado) - Tese de Doutorado do Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.

FREITAS, E.; ROZOFF, C. M.; COTTON, W. R.; SILVA DIAS, P. L. *Interactions of an*

urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of São Paulo, Brazil. *Boundary-Layer Meteorology*, v. 122, n. 1, p. 43-65, jan. 2007.

GIORGI, F.; MARINUCCI, M. R. Validation of a regional atmospheric model over Europe: Sensivity of wintertime and summertime simulations tom selected physics parameterizations and lower boundary conditions. *Quarterly Royal Journal of Meteorological Society*, Londres, v.117, p.1171-1207. 1991.

HANDBOOK, A. Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2001.

HOUGHTEN, F.; YAGLOU, C. Determining lines of equal comfort. *Transactions of the American Society of Heating and Ventilating Engineers*, v. 29, p. 163–176, 1923.

IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R. K. and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p., 2007.

ITO, E.; SCHNEIDER, M.; VILLELA, F.; MARQUARDT, F.; COELHO, M. Análise climática das estações meteorológicas do INMET no Estado de São Paulo utilizando a técnica dos quantis: Parte II. *Anais XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 2006.

KOLDE, R. *pheatmap: Pretty Heatmaps*. [S.l.], 2012. R package version 0.6.1. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=pheatmap>>.

LANDSBERG, H. *Weather and Health; an Introduction to Biometeorology*. [S.l.]: Doubleday, 1969.

LIDDELL, F. Estimation of energy expenditure from expired air. *Journal of Applied Physiology*, Am Physiological Soc, v. 18, n. 1, p. 25, 1963.

LIMA, J. P.; ALVES, J. M. B. Um estudo de downscaling dinâmico de precipitação intrasazonal acoplado a modelo chuva-vazão na bacia hidrográfica Alto-Médio São

Francisco. Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n.3, p.323-338, 2009.

LINDBERG, F.; HOLMER, B.; THORSSON, S. Solweig 1.0 - modelling spatial variations of 3d radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. International Journal of Biometeorology, Springer, v. 52, n. 7, p. 697–713, 2008.

MAIA, J. A., GONÇALVES, F. L. T. Uma análise do conforto térmico e suas relações meteorológicas na cidade de São Paulo – Parte 1. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu, Paraná, 2002.

MATHEW, L.; PURKAYASTHA, S.; SINGH, R.; GUPTA, J. S. Influence of aging in the thermoregulatory efficiency of man. International Journal of Biometeorology, Springer, v. 30, n. 2, p. 137–145, 1986.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - application of the Rayman Model. International Journal of Biometeorology, Springer, v. 51, n. 4, p. 323–334, 2007.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the Rayman Model. International Journal of Biometeorology, Springer, v. 54, n. 2, p. 131–139, 2010.

MCINTYRE, D. Indoor climate. [S.l.]: Elsevier, 1980.

MENDONÇA, A. M. Desempenho do modelo global CPTEC/COLA durante episódios de ZCAS, utilizando os esquemas de convecção profunda tipo Kuo e Arakawa-Schubert relaxada. 1999. 166 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.

MISSENARD, A. Equivalences thermiques des ambiances; equivalences de passage; equivalence de séjour. Chaleur et industrie, Juillet-Août, 1948.

MONTEIRO, L.; ALUCCI, M. 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, 2008.

MURARA, P. G.; COELHO-ZANOTTI, M. S. S.; AMORIM, M. C. C. T. Análise da influência meteorológica nas internações por doenças cardiovasculares. *Caderno Prudentino de Geografia*, n.32, vol.1, p.53-65, 2010.

NEDEL, A.; GONÇALVES, F. L. T.; CARDOSO, M. R. A.; Análise sazonal do conforto térmico humano na cidade de São Paulo/SP. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis, Santa Catarina, 2006.

OKE, T. City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* (1967), Elsevier, v. 7, n. 8, p. 769–779, 1973.

PAL, J.; SOLMON, F.; RAUSCHER, S.; ZAKAY, A.; ELGUINDI, N.; BI, X.; GIORGI, F. e NAGARAJAN, B. *RegCM Version 3.1 User's Guide*. Trieste Itália, 2007.

PILKE, R. A. *Mesoscale Meteorological Modeling*. 2. ed. Londres: Academic Press, 676 p, 2002.

POUMADERE, M.; MAYS, C.; LE MER, S.; BLONG, R. The 2003 Heat Wave in France: Dangerous climate change here and now. *Risk Analysis*, v. 25, n. 6, 2005.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>, 2012.

SATO, M.; KANIKOWSKA, D.; SUGENOYA, J.; INUKAI, Y.; SHIMIZU, Y.; NISHIMURA, N.; IWASE, S. Effects of aging on thermoregulatory responses and hormonal changes in humans during the four seasons in japan. *International Journal of Biometeorology*, Springer, v. 55, n. 2, p. 229–234, 2011.

SCHNEIDER, M.; ITO, E.; VILLELA, F.; MARQUARDT, F.; COELHO, M. Análise climática das estações meteorológicas do INMET no Estado de São Paulo utilizando a técnica dos quantis: Parte I. *Anais XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 2006.

TAN, J.; ZHENG, Y.; TANG, X.; GUO, C.; LI, L.; SONG, G.; ZHEN, X.; YUAN, D.; KALKSTEIN, A.; LI, F. et al. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in shanghai. *International Journal of Biometeorology*, Springer, v. 54, n. 1, p. 75–84, 2010.

TREDE, B. E. Assessment of mean radiant temperature in indoor environments. *Brit. J. Industr. Med.*, v. 22, 1965.

VERNON, H.; WARNER, C. The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures. *J. Hyg, Cambridge Univ Press*, v. 32, n. 3, p. 431–62, 1932.

WEIR, J. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *The Journal of Physiology, Physiological Soc*, v. 109, n. 1-2, p. 1, 1949.

XAVIER, T.; SILVA, J. *A Técnica dos Quantis e suas Aplicações em Meteorologia, Climatologia e Hidrologia, com ênfase para as Regiões Brasileiras*. [S.l.]: Thesaurus, 2002.

XAVIER, T.; XAVIER, A. Caracterização de períodos secos e ou excessivamente chuvosos no estado do Ceará através da técnica dos quantis: 1964-1998. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 63–78, 1999.