MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/11.27.13.10-TDI

EXTREMOS DE TEMPERATURA NO CENTRO-SUL DO BRASIL: CLIMATOLOGIA, PADRÕES SINÓTICOS E IMPACTOS AO CONFORTO TÉRMICO

Mariana Pallotta

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelos Drs. Dirceu Luis Herdies, e Marcelo Henrique Seluchi, aprovada em 17 de dezembro de 2018.

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3SA479H>

INPE
São José dos Campos
2019

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Gabinete do Diretor (GBDIR)
Serviço de Informação e Documentação (SESID)
CEP 12.227-010
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/7348
E-mail: pubtc@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

Membros:

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Murilo Luiz Silva Gino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/11.27.13.10-TDI

EXTREMOS DE TEMPERATURA NO CENTRO-SUL DO BRASIL: CLIMATOLOGIA, PADRÕES SINÓTICOS E IMPACTOS AO CONFORTO TÉRMICO

Mariana Pallotta

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelos Drs. Dirceu Luis Herdies, e Marcelo Henrique Seluchi, aprovada em 17 de dezembro de 2018.

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3SA479H>

INPE
São José dos Campos
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Pallotta, Mariana.

P179e Extremos de temperatura no Centro-Sul do Brasil: Climatologia, padrões sinóticos e impactos ao conforto térmico / Mariana Pallotta. – São José dos Campos : INPE, 2019.
xxxii + 226 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/11.27.13.10-TDI)

Tese (Doutorado em Meteorlogia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.
Orientadores : Drs. Dirceu Luis Herdies, e Marcelo Henrique Seluchi.

1. Extremo calor. 2. Extremo frio. 3. Regime térmico. 4. Conforto térmico. 5. Climatologia sinótica. I.Título.

CDU 551.583.16(81)

Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

Aluno (a): *Mariana Pallotta*

Título: "EXTREMOS DE TEMPERATURA NO CENTRO-SUL DO BRASIL: CLIMATOLOGIA, PADRÕES SINÓTICOS E IMPACTOS AO CONFORTO TÉRMICO"

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de *Doutor(a)* em *Meteorologia*

Dr. Nelson Jesuz Ferreira

Presidente / INPE / Cachoeira Paulista - SP

( ) Participação por Video - Conferência

(X) Aprovado *( ) Reprovado*

Dr. Dirceu Luis Herdies

Orientador(a) / INPE / Cachoeira Paulista - SP

( ) Participação por Video - Conferência

(X) Aprovado *( ) Reprovado*

Dr. Marcelo Enrique Seluchi

Orientador(a) / CEMADEN / Cachoeira Paulista - SP

( ) Participação por Video - Conferência

(X) Aprovado *( ) Reprovado*

Dr. Caio Augusto dos Santos Coelho

Membro da Banca / INPE / Cachoeira Paulista - SP

( ) Participação por Video - Conferência

(X) Aprovado *( ) Reprovado*

Dr. Mario Francisco Leal de Quadro

Convidado(a) / IFSC / Florianópolis - SC

( ) Participação por Video - Conferência

(X) Aprovado *( ) Reprovado*

Este trabalho foi aprovado por:

( ) maioria simples

(X) unanimidade

São José dos Campos, 17 de dezembro de 2018

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

A meu marido Philipp,

com amor e enorme gratidão

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por sempre me guiar e me proteger.

A meu marido Philipp, por caminhar ao meu lado durante esta jornada. Agradeço a paciência, o carinho e todas suas as contribuições para o sucesso deste trabalho.

A meus pais que tanto amo, Lidia e Sergio, aos quais devo todas as minhas conquistas. Por todo apoio que me deram a vida toda e a confiança que sempre puseram em mim.

A meus orientadores, Dr. Dirceu Luis Herdies e Dr. Marcelo Henrique Seluchi, pela dedicação que tiveram por mim ao longo destes anos, pela confiança e pelas oportunidades de aprendizado que me concederam.

Aos membros da banca do exame de proposta e de relatório científico, Professores Dr. Nelson Ferreira e Dr. Caio Coelho, pelas sugestões e críticas que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao amigo e padrinho Jojhy, pela ajuda e apoio.

Ao colega Dr. Mário Francisco Leal de Quadro pelas contribuições a esse trabalho.

Ao Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE), pela oportunidade de realização do curso de Doutorado em Meteorologia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES), concessão da bolsa de Doutorado e apoio financeiro.

RESUMO

O objetivo do estudo é determinar, através de uma análise climatológica, os eventos extremos de calor e frio em nove das principais capitais do Centro-Sul do Brasil e seus impactos a vida e saúde humana, de modo a identificar os principais padrões sinóticos associados. Os eventos extremos de temperatura são selecionados com base no regime térmico diário, utilizando dados observados INMET. Todos os períodos são considerados e analisados para relacioná-los ao impacto na vida e saúde humana por uma nova abordagem de análise de conforto térmico. Dados da reanálise MERRA-2 foram utilizados em uma validação, com o intuito de verificar a viabilidade de seu uso como substituição aos dados observados no regime térmico, e também para gerar campos médios de anomalias dos casos de extremo calor e de frio para cada cidade estudada. Os resultados mostram que a região Sul do Brasil é muito influenciada por temperaturas extremas, com alta frequência de casos de calor e frio. Na região Sudeste, São Paulo e Belo Horizonte apresentaram relativamente poucos casos nos dois extremos, enquanto o Rio de Janeiro se mostrou muito suscetível à ocorrência de casos de calor. Em Brasília e Goiânia a frequência de extremos frios foi baixa, porém os casos de calor se destacaram principalmente na capital goiana. Rio Branco foi a cidade em que mais houve eventos de extremo calor neste estudo e com uma frequência significativa de extremos frios. Para a maioria das cidades, foi encontrada uma tendência no aumento na quantidade de extremos de calor entre o final da década de 90 e início dos anos 2000, ao passo em que há uma diminuição dos extremos frios neste mesmo período, além de os casos mais longos e/ou extremos, de frio e calor, estarem concentrados na década vigente. A análise do conforto térmico trouxe um ponto de vista diferencial para este estudo, especialmente para os extremos quentes, destacando aquelas em que o impacto para o ser humano pode ser mais relevante. Todos os casos de extremo frio selecionados tiveram extremo desconforto térmico associado. De modo geral, a validação da reanálise MERRA-2 mostrou que esse conjunto de dados pode ser usado de forma confiável para representar as temperaturas máxima e mínima em cidades do Sul e Sudeste. Entre os principais sistemas responsáveis pela a formação e estabelecimento dos períodos de extremo calor na região de estudo estão o padrão de onda longa em altitude, estacionária ou de lento deslocamento, nos médios níveis um amplo anticiclone, e nos baixos níveis a advecção quente favorecida pelo Jato de Baixos Níveis, a borda do Anticiclone Subtropical do Atlântico e pré-frontais. A situação sinótica relacionada a ocorrência de extremo desconforto ao calor é favorecida por um incremento na advecção quente oriundo de situações pré-frontais. Por fim, os casos de extremo frio estão associados às intensas incursões de ar frio que penetram o continente sul americano durante o inverno austral, com potencial para penetrar até latitudes mais baixas e o fluxo anômalo de sul a ultrapassar a linha do Equador.

Palavras-chave: Extremo calor. Extremo frio. Regime térmico. Conforto térmico. Climatologia sinótica.

TEMPERATURE EXTREMES IN SOUTH CENTRAL BRAZIL: CLIMATOLOGY, SYNOPTIC PATTERNS AND IMPACTS TO THERMAL COMFORT

ABSTRACT

The objective this thesis is to determine, through a climatological analysis, extreme events of heat and cold in nine of the main capitals of the Center-South of Brazil and their impacts on human life and health, in order to identify the main associated synoptic patterns. The extreme temperature events are primarily assessed using the Daily Thermal Regime using observational data from Brazilian National Meteorological Service (INMET). All periods are considered and analyzed to relate them to the impact on human life and health by a new approach of thermal comfort analysis. Data from the MERRA-2 reanalysis were used in a validation, with the purpose of verifying the viability of its use as a substitution to the observed data in the daily thermal regime, and also to generate average and anomalies fields of extreme cases for each city studied. The results show that the southern region of Brazil is very influenced by extreme temperatures, with a high frequency of heat and cold waves. In the Southeast, both São Paulo and Belo Horizonte presented relatively few cases, while Rio de Janeiro was very susceptible to the occurrence of heat events. In Brasília and Goiânia the frequency of cold extremes was low, but the cases of heat stood out mainly in the capital of Goiás. Rio Branco was the city where there were more extreme events in this study and with a significant frequency of cold extremes. For most cities, a trend has been found in the increase in the amount of extremes of heat between the late 1990s and early 2000s, while there is a decrease in cold extremes over the same period. Additionally, the longest and most extreme cases of cold and heat were concentrated in the current decade. The thermal comfort analysis brought a different point of view to this study, especially for heat waves, highlighting those in which the impact to the human being might be more relevant. All cases of extreme cold selected had extreme thermal discomfort associated. In general, the MERRA-2 reanalysis validation showed that this dataset can be used reliably to represent the maximum and minimum temperatures in cities in the South and Southeast of Brazil. Among the main systems responsible for the formation and establishment of periods of extreme heat in the study region are the pattern of long wave at high altitude, stationary or slow displacement, at medium levels a wide anticyclone, and at low levels the hot advection favored by the Low Level Jet, the edge of the South Atlantic Subtropical Anticiclone and pre-frontal situations. The synoptic situation related to the occurrence of extreme heat discomfort is favored by an increase in hot advection from pre-frontal situations. Finally, cases of extreme cold are associated with the intense cold air incursions that penetrate the South American continent during the austral winter, with the potential to penetrate to lower latitudes and the anomalous flow of south to surpass the line of the Equator

Keywords: Extreme heat. Extreme cold. Thermal regime. Thermal comfort. Synoptic climatology

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 2.1 - Frequência de ondas de calor e crescimento da população vulnerável..... 11
Figura 2.2 – Modelo conceitual das incursões de ar frio na América do Sul..... 23
Figura 3.1 – Delimitação da área de estudo, representada pelo círculo vermelho, denominada como Centro-Sul do Brasil..... 26
Figura 3.2 - Fluxograma do método de tratamento de dados. 27
Figura 3.3 – Fluxograma do cálculo e implementação da anomalia ponderada..... 39
Figura 4.1 – Frequência de ocorrência (%) em cada grupo térmico para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre..... 44
Figura 4.2 - Frequência de ocorrência (%) em cada grupo de conforto/desconforto térmico para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre. 47
Figura 4.3 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para Curitiba entre 1961 e 2016. 48
Figura 4.4 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para Florianópolis entre 2002 e 2016..... 50
Figura 4.5 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para Porto Alegre entre 1988 e 2016. 51
Figura 4.6 - Distribuição dos casos de extremo calor para Porto Alegre entre 1988 e 2016 divididos nos tipos 1 (azul), 2 (vermelho) e 3 (verde)..... 52
Figura 4.7 - Total de casos de extremo calor (a) e frio (b) para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre, com quantidade de casos com extremo desconforto térmico associado.. 53
Figura 4.8 - Frequência de ocorrência (%) em cada grupo térmico para São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. 57
Figura 4.9 - Frequência de ocorrência (%) em cada grupo de conforto/desconforto térmico para São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. 61
Figura 4.10 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para São Paulo entre 1961 e 2016. 62
Figura 4.11 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para o Rio de Janeiro entre 2002 e 2016. 64

Figura 4.12 - Distribuição dos casos de extremo calor para o Rio de Janeiro entre 2002 e 2016 divididos nos tipos 1 (azul), 2 (vermelho) e 3 (verde). 64
Figura 4.13 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para Belo Horizonte entre 1988 e 2016. 66
Figura 4.14 - Total de casos de extremo calor (a) e frio (b) para São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, com a quantidade de casos com extremo desconforto térmico associado. 67
Figura 4.15 - Frequência de ocorrência (%) em cada grupo térmico para Brasília, Goiânia e Rio Branco. 72
Figura 4.16 - Frequência de ocorrência (%) em cada grupo de conforto/desconforto térmico para Brasília, Goiânia e Rio Branco. 76
Figura 4.17 – Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para Brasília entre 1961 e 2016. 77
Figura 4.18 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para Goiânia entre 1961 e 2016. 79
Figura 4.19 - Distribuição dos casos de extremo calor para Goiânia entre 1961 e 2016 divididos nos tipos 1 (azul), 2 (vermelho) e 3 (verde). 79
Figura 4.20 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para Rio Branco entre 1997 e 2016. 81
Figura 4.21 - Distribuição dos casos de extremo calor para Rio Branco entre 1997 e 2016 divididos nos tipos 1 (azul), 2 (vermelho) e 3 (verde). 81
Figura 4.22 - Total de casos de extremo calor (a) e frio (b) para Brasília, Goiânia e Rio Branco, com a quantidade de casos com extremo desconforto térmico associado. 83
Figura 5.1 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de temperatura (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para Curitiba. 86
Figura 5.2 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de umidade relativa e vento (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para Curitiba. 87
Figura 5.3 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de temperatura (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para São Paulo. 89
Figura 5.4 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de umidade relativa e vento (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para São Paulo. 90

Figura 5.5 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de temperatura (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para Goiânia. 92
Figura 5.6 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de umidade relativa e vento (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para Goiânia. 93
Figura 5.7 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de temperatura (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para Rio Branco. 95
Figura 5.8 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de umidade relativa e vento (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para Rio Branco. 96
Figura 5.9 – Diagrama de Taylor para a correlação anual média e desvio padrão entre a reanálise MERRA-2 e os dados observados do INMET para Curitiba, São Paulo, Goiânia e Rio Branco. 98
Figura 6.1 - Compostos da média de 36 casos de extremo calor de Curitiba entre 1980 e 2016. 102
Figura 6.2 – Campos de anomalias ponderadas de 36 casos de extremo calor em Curitiba de 1980 a 2016. 103
Figura 6.3 – Compostos da média de 14 casos de extremo calor de Florianópolis entre 2002 e 2016. 106
Figura 6.4 – Campos de anomalias ponderadas de 14 casos de extremo calor em Florianópolis de 2012 a 2016. 107
Figura 6.5 – Compostos da média de 87 casos de extremo calor de Porto Alegre entre 1988 e 2016. 110
Figura 6.6 – Campos de anomalias ponderadas de 87 casos de extremo calor em Porto Alegre de 1988 a 2016. 111
Figura 6.7 – Campos de anomalias ponderadas dos dias com extremo desconforto ao calor em Florianópolis de 2002 a 2016. 113
Figura 6.8 – Campos de anomalias ponderadas dos dias com extremo desconforto ao calor em Porto Alegre de 1988 a 2016. 114
Figura 6.9 – Compostos da média de 40 casos de extremo frio de Curitiba entre 1980 e 2016. 117
Figura 6.10 - Campos de anomalias ponderadas de 40 casos de extremo frio em Curitiba de 1980 a 2016. 118

Figura 6.11 – Compostos da média de 8 casos de extremo frio de Florianópolis entre 2002 e 2016. 120
Figura 6.12 - Campos de anomalias ponderadas de 8 casos de extremo frio em Florianópolis de 2002 a 2016. 121
Figura 6.13 – Compostos da média de 26 casos de extremo frio de Porto Alegre entre 1988 e 2016. 123
Figura 6.14 - Campos de anomalias ponderadas de 26 casos de extremo frio em Porto Alegre de 1988 a 2016. 124
Figura 6.15 – Compostos da média de 76 casos de extremo calor do Rio de Janeiro entre 2002 e 2016. 128
Figura 6.16 – Campos de anomalias ponderadas de 76 casos de extremo calor no Rio de Janeiro de 2002 a 2016. 129
Figura 6.17 – Compostos da média de 9 casos de extremo calor de São Paulo entre 1980 e 2016. 132
Figura 6.18 – Campos de anomalias ponderadas de 9 casos de extremo calor em São Paulo de 1980 a 2016. 133
Figura 6.19 – Compostos da média de 14 casos de extremo calor de Belo Horizonte entre 1988 e 2016. 135
Figura 6.20 – Campos de anomalias ponderadas de 14 casos de extremo calor em Belo Horizonte de 1988 a 2016. 136
Figura 6.21 – Campos de anomalias ponderadas dos dias com extremo desconforto ao calor no Rio de Janeiro de 2002 a 2016. 139
Figura 6.22 – Campos de anomalias ponderadas dos dias com extremo desconforto ao calor em São Paulo de 1980 a 2016. 140
Figura 6.23 – Compostos da média de 8 casos de extremo frio de São Paulo entre 1980 e 2016. 143
Figura 6.24 - Campos de anomalias ponderadas de 8 casos de extremo frio em São Paulo de 1980 a 2016. 144
Figura 6.25 – Compostos da média de 3 casos de extremo frio do Rio de Janeiro entre 2002 e 2016. 146
Figura 6.26 - Campos de anomalias ponderadas de 3 casos de extremo frio no Rio de Janeiro de 2002 a 2016. 147

Figura 6.27 – Compostos da média de 6 casos de extremo frio de Belo Horizonte entre 1988 e 2016. 149
Figura 6.28 - Campos de anomalias ponderadas de 6 casos de extremo frio em Belo Horizonte de 1988 a 2016. 150
Figura 6.29 – Compostos da média de 98 casos de extremo calor de Goiânia entre 1980 e 2016. 153
Figura 6.30 – Compostos da média de 30 casos de extremo calor de Brasília entre 1980 e 2016. 154
Figura 6.31 – Campos de anomalias ponderadas de 98 casos de extremo calor em Goiás de 1980 a 2016. 155
Figura 6.32 – Campos de anomalias ponderadas de 30 casos de extremo calor em Brasília de 1980 a 2016. 156
Figura 6.33 – Compostos da média de 140 casos de extremo calor de Rio Branco entre 1997 e 2016. 158
Figura 6.34 – Campos de anomalias ponderadas de 140 casos de extremo calor em Rio Branco de 1997 a 2016. 159
Figura 6.35 – Campos de anomalias ponderadas dos dias com extremo desconforto ao calor em Rio Branco de 1997 a 2016. 161
Figura 6.36 – Compostos da média de 3 casos de extremo frio de Goiânia entre 1980 e 2016. 165
Figura 6.37 - Campos de anomalias ponderadas de 3 casos de extremo frio em Goiânia de 1980 a 2016. 166
Figura 6.38 – Compostos da média de 2 casos de extremo frio de Brasília entre 1980 e 2016. 167
Figura 6.39 - Campos de anomalias ponderadas de 2 casos de extremo frio em Brasília de 1980 a 2016. 168
Figura 6.40 – Compostos da média de 9 casos de extremo frio de Rio Branco entre 1997 e 2016. 170
Figura 6.41 - Campos de anomalias ponderadas de 9 casos de extremo frio em Rio Branco de 1997 a 2016. 171
Figura 7.1 – Taxa de ocorrência (casos por ano) dos extremos de calor e frio em cada cidade estudada. 175

Figura 7.2 – Modelo conceitual para os extremos de calor nas regiões Sul e Sudeste do Brasil na baixa troposfera (a) e média e alta troposfera (b)..... 178
Figura 7.3 – Modelo conceitual para os extremos de calor no Brasil Central..... 179
Figura 7.4 – Modelo conceitual para o extremo desconforto ao calor para o Centro-Sul do Brasil. 179
Figura 7.5 – Modelo conceitual para os extremos de frio no Centro-Sul do Brasil. ... 180

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 2.1 - Distribuição das zonas de conforto/desconforto de acordo com o índice de Temperatura Efetiva, para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas. 13
Tabela 3.1 - Principais características do produto de reanálise MERRA-2. 29
Tabela 3.2 – Capitais que integram o estudo, período de dados considerado e altitude da estação. 30
Tabela 3.3 - Tabela de tipificação do regime térmico para uma determinada cidade da Espanha. A escala de cor associada a cada intervalo de interconexão é determinada de acordo com a Tabela 3.5. 32
Tabela 3.4 – Descrição dos grupos térmicos, com suas siglas e escala de cores associativa. 32
Tabela 3.5 – Tabela de tipificação do conforto térmico para os limiares de Florianópolis (SC). A escala de cor associada a cada intervalo de interconexão é determinada de acordo com a tabela 3.6. 34
Tabela 3.6 – Descrição dos grupos de conforto/desconforto térmico, com siglas (todas iniciada por C para identificação), escala de cor associativa e respectivas respostas fisiológicas. A categoria Impossível não é registrada por definição, enquanto que Especial é caracterizada pela alta amplitude térmica. 35
Tabela 4.1 - Tabela de tipificação do regime térmico para (a) Curitiba, (b) Florianópolis e (c) Porto Alegre com a frequência de ocorrência (%) em cada categoria. As categorias podem ser identificadas pela combinação da letra referente a Tmin (linhas) com o número referente a Tmax (colunas). A escala de cor associada a cada categoria é determinada de acordo com a Tabela 4.2. 43
Tabela 4.2 - Descrição dos grupos térmicos, com siglas e escala de cor associadas, e o total de dias em cada um deles para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre. As séries de dados somam, respectivamente, 19.861, 5390 e 10.318 dias. 44
Tabela 4.3 - Tabela de tipificação do conforto térmico para (a) Curitiba, (b) Florianópolis e (c) Porto Alegre com a frequência de ocorrência (%) em cada categoria. As categorias podem ser identificados pela combinação da letra referente a TEm min

(linhas) com o número referente a TEm max (colunas). A escala de cor associada a cada categoria é determinada de acordo com a Tabela 4.4. 46
Tabela 4.4 - Descrição dos grupos de conforto/desconforto térmico, com siglas (todas iniciada por C para identificação) e escala de cor associadas, e o total de dias em cada um deles para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre. As séries de dados somam, respectivamente, 19.861, 5390 e 10.318 dias. 47
Tabela 4.5 - Tabela de tipificação do regime térmico para (a) São Paulo, (b) Rio de Janeiro e (c) Belo Horizonte com a frequência de ocorrência (%) em cada categoria. As categorias podem ser identificadas pela combinação da letra referente a Tmin (linhas) com o número referente a Tmax (colunas). A escala de cor associada a cada categoria é determinada de acordo com a Tabela 4.6. 56
Tabela 4.6 - Descrição dos grupos térmicos, com siglas e escala de cor associadas, e o total de dias em cada um deles para São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. As séries de dados somam, respectivamente, 19.862, 4382 e 10.586 dias. 57
Tabela 4.7 - Tabela de tipificação do conforto térmico para (a) São Paulo, (b) Rio de Janeiro e (c) Belo Horizonte com a frequência de ocorrência (%) em cada categoria. As categorias podem ser identificados pela combinação da letra referente a TEm min (linhas) com o número referente a TEm max (colunas). A escala de cor associada a cada categoria é determinada de acordo com a Tabela 4.8. 60
Tabela 4.8 - Descrição dos grupos de conforto/desconforto térmico, com siglas (iniciada por C para identificação) e escala de cor associadas, e o total de dias em cada um deles para São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. As séries de dados somam, respectivamente, 19862, 4382 e 10586 dias. 61
Tabela 4.9 - Tabela de tipificação do regime térmico para (a) Brasília, (b) Goiânia e (c) Rio Branco com a frequência de ocorrência (%) em cada categoria. As categorias podem ser identificadas pela combinação da letra referente a Tmin (linhas) com o número referente a Tmax (colunas). A escala de cor associada a cada categoria é determinada de acordo com a Tabela 4.10..... 71
Tabela 4.10 - Descrição dos grupos térmicos, com siglas e escala de cor associadas, e o total de dias em cada um deles para Brasília, Goiânia e Rio Branco. As séries de dados somam, respectivamente, 20.023, 19.820 e 7263 dias..... 72

Tabela 4.11 - Tabela de tipificação do conforto térmico para (a) Brasília, (b) Goiânia e (c) Rio Branco com a frequência de ocorrência (%) em cada categoria. As categorias podem ser identificados pela combinação da letra referente a TEm min (linhas) com o número referente a TEm max (colunas). A escala de cor associada a cada categoria é determinada de acordo com a Tabela 4.12..... 75
Tabela 4.12 - Descrição dos grupos de conforto/desconforto térmico, com siglas (iniciada por C para identificação) e escala de cor associadas, e o total de dias em cada um deles para Brasília, Goiânia e Rio Branco. As séries de dados somam, respectivamente, 20.023, 19.820 e 7263 dias..... 76
Tabela 7.1 – Resumo da quantidade de casos de extremo calor e frio em cada cidade estudada..... 174
Tabela A.1 - Casos de extremo calor selecionados para Curitiba. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. * Os valores em parênteses são referentes à quantidade de dias no período em que há extremo desconforto térmico..... 191
Tabela A.2 - Casos de extremos de frio selecionados para Curitiba. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremo desconforto térmico..... 193
Tabela A.3. Casos de extremo calor selecionados para Florianópolis. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. * Os valores em parênteses são referentes à quantidade de dias no período em que há extremo desconforto térmico..... 196
Tabela A.4. Casos de extremos de frio selecionados para Florianópolis. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referentes à quantidade de dias no período em que há extremo desconforto térmico..... 197

Tabela A5. Casos de extremo calor selecionados para Porto Alegre. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. Na numeração dos casos o número após o ponto indica o tipo ao qual o caso pertence. * Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico. 198
Tabela A.6 - Casos de extremos de frio selecionados para Porto Alegre. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico. 202
Tabela A.7 - Casos de extremos de calor selecionados para São Paulo. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. * Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico. 204
Tabela A.8 - Casos de extremos de frio selecionados para São Paulo. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico. 205
Tabela A.9 - Casos de extremo calor selecionados para o Rio de Janeiro. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. Na numeração dos casos o número após o ponto indica o tipo ao qual o caso pertence. * Os valores em parênteses são referentes à quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico. 206
Tabela A.10 - Casos de extremos de frio selecionados para o Rio de Janeiro. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico. 209

Tabela A.11 - Casos de extremo calor selecionados para Belo Horizonte. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. * Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico. 210
Tabela A.12 - Casos de extremos de frio selecionados para Belo Horizonte. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico. 211
Tabela A.13 - Casos de extremo calor selecionados para Brasília. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. * Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico. 212
Tabela A.14 - Casos de extremos de frio selecionados para Brasília. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico. 214
Tabela A.15 - Casos de extremo calor selecionados para Goiânia. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. Na numeração dos casos o número após o ponto indica o tipo ao qual o caso pertence. * Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico. 215
Tabela A.16 - Casos de extremos de frio selecionados para Goiânia. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico. 219

Tabela A.17 - Casos de extremo calor selecionados para Rio Branco. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. Na numeração dos casos o número após o ponto indica o tipo ao qual o caso pertence. * Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico. 220
Tabela A.18 - Casos de extremos de frio selecionados para Rio Branco. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico. 225

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB	Alta da Bolívia
AC	Acre
ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
BCH	Baixa do Chaco
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
BH	Belo Horizonte
BSB	Brasília
CN	Cavado do Nordeste
CTB	Curitiba
DF	Distrito Federal
EN	El Niño
ENOS	El Niño Oscilação-Sul
FLP	Florianópolis
GO	Goiás
GOA	Goiânia
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LN	La Niña
MERRA	Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications
MG	Minas Gerais
MS	Mato Grosso do Sul
MT	Mato Grosso
OMS	Organização Mundial da Saúde
PNMM	Pressão ao Nível Médio do Mar
POA	Porto Alegre
PR	Paraná
RBC	Rio Branco
RJ	Rio de Janeiro
RS	Rio Grande do Sul
SC	Santa Catarina
SP	São Paulo
Ta	Temperatura de bulbo seco

TE	Temperatura Efetiva
TEm	Temperatura Efetiva média
TEv	Temperatura Efetiva em função do Vento
Tmax	Temperatura Máxima
Tmin	Temperatura Mínima
UR	Umidade relativa do ar
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

Pág.

1 INTRODUÇÃO 1
1.1 Motivação 2
1.2 Objetivos 3
1.2.1 Objetivos Específicos 3
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 5
2.1 Extremos de Temperatura e seus Impactos à Saúde e Sociedade 5
2.1.1 Extremos de Calor 6
2.1.2 Extremos de Frio 8
2.1.3 Eventos Extremos de Temperatura e seus Impactos Frente às Mudanças Climáticas 9
2.1.4 Conforto Térmico Humano e os Índices de Conforto Térmico 11
2.2 Aspectos Meteorológicos Gerais dos Eventos Extremos de Temperatura no Centro-Sul do Brasil 14
2.2.1 Ondas de Calor 14
2.2.1.1 Características Sinóticas e Sistemas Meteorológicos Atuantes 14
2.2.2 Ondas de Frio 17
2.2.2.1 Definições e Métodos de Detecção 17
2.2.2.2 Características Sinóticas e Sistemas Meteorológicos Atuantes 20
3 METODOLOGIA 25
3.1 Dados 26
3.1.1 Dados Observados 26
3.1.2 Dados de Reanálise 29
3.2 Cidades de Estudo 29
3.3 Etapa 1: Climatologia dos Extremos de Temperatura 31
3.3.1 Tipificação do Regime Térmico 31
3.3.2 Tipificação do Conforto Térmico 33
3.3.3 Critérios de Seleção dos Casos de Extremo Calor e Frio 35
3.4 Etapa 2: Validação da Reanálise MERRA-2 37
3.5 Etapa 3: Climatologia Sinótica dos Extremos de Temperatura 38

3.5.1 Composição de Casos 38
3.5.2 Anomalias Ponderadas 39
4 CLIMATOLOGIA DOS EXTREMOS DE TEMPERATURA 41
4.1 Região Sul 41
4.1.1 Tipificação do Regime Térmico 41
4.1.2 Tipificação do Conforto Térmico 45
4.1.3 Seleção dos Casos de Extremo Calor e Frio 48
4.1.3.1 Curitiba 48
4.1.3.2 Florianópolis 49
4.1.3.3 Porto Alegre 51
4.1.3.4 Avaliação do Extremo Desconforto Térmico 53
4.2 Região Sudeste 55
4.2.1 Tipificação do Regime Térmico 55
4.2.2 Tipificação do Conforto Térmico 58
4.2.3 Seleção dos Casos de Extremo Calor e Frio 62
4.2.3.1 São Paulo 62
4.2.3.2 Rio de Janeiro 63
4.2.3.3 Belo Horizonte 65
4.2.3.4 Avaliação do Extremo Desconforto Térmico 67
4.3 Brasil Central 69
4.3.1 Tipificação do Regime Térmico 69
4.3.2 Tipificação do Conforto Térmico 73
4.3.3 Seleção dos Casos de Extremo Calor e Frio 77
4.3.3.1 Brasília 77
4.3.3.2 Goiânia 78
4.3.3.3 Rio Branco 80
4.3.3.4 Avaliação do Extremo Desconforto Térmico 82
5 VALIDAÇÃO DA REANÁLISE MERRA-2 85
5.1 Comparação MERRA-2 e Dados Observados 85
5.2 Análise Estatística 97
6 CLIMATOLOGIA SINÓTICA DOS EXTREMOS DE TEMPERATURA 99
6.1 Região Sul 99

6.1.1 Extremos de Calor 99
6.1.1.1 Curitiba 99
6.1.1.2 Florianópolis 104
6.1.1.3 Porto Alegre 108
6.1.1.4 Análise do Extremo Desconforto Térmico 112
6.1.2 Extremos de Frio 115
6.1.2.1 Curitiba 115
6.1.2.2 Florianópolis 119
6.1.2.3 Porto Alegre 122
6.2 Região Sudeste 125
6.2.1 Extremos de Calor 125
6.2.1.1 Rio de Janeiro 125
6.2.1.2 São Paulo 130
6.2.1.3 Belo Horizonte 134
6.2.1.4 Análise do Extremo Desconforto Térmico 137
6.2.2 Extremos de Frio 141
6.2.2.1 São Paulo 141
6.2.2.2 Rio de Janeiro 145
6.2.2.3 Belo Horizonte 148
6.3 Brasil Central 151
6.3.1 Extremos de Calor 151
6.3.1.1 Goiânia e Brasília 151
6.3.1.2 Rio Branco 157
6.3.1.3 Análise do Extremo Desconforto Térmico 160
6.3.2 Extremos de Frio 162
6.3.2.1 Goiânia e Brasília 162
6.3.2.2 Rio Branco 169
7 CONCLUSÃO 173
7.1 TRABALHOS FUTUROS 181
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 183
APÊNDICE A – TABELAS DESCRITIVAS DOS EXTREMOS DE TEMPERATURA 191

1 INTRODUÇÃO

Os eventos extremos de tempo são, de forma geral, fenômenos que se destacam das séries de médias históricas das variáveis meteorológicas, por serem pouco frequentes ou ocorrerem fora da estação do ano propícia e, na maioria dos casos, estarem associados à severos impactos a sociedade e a vida humana. Os extremos de precipitação são geralmente mais estudados do que os extremos de temperatura, porém há um crescente interesse em avaliar sua variabilidade (RUSTICUCCI, 2012).

Na literatura os eventos extremos de temperatura são conhecidos por “Ondas de Calor” e “Ondas de Frio” e podem ser identificadas de forma básica como períodos anomalamente mais quentes ou frios em determinada localidade (RUSTICUCCI; VARGAS 2001; FIRPO et al. 2012). Basarin et al. (2015) citam que uma definição universal de onda de calor assim como a de frio ainda não foi empregada, enquanto Robinson (2001), em seu estudo sobre ondas de calor, comenta que na ausência de uma definição adequada é impossível avaliar as mudanças desses eventos em relação ao passado ou as possíveis consequências para o futuro.

Algumas definições, porém, podem ser citadas como aquela apresentada em Nairn e Fawcett (2013), que considera as ondas de calor como eventos onde há o acúmulo de calor sensível em excesso, resultando em uma alta “carga térmica”. Segundo os autores, ondas de calor identificadas desta maneira podem ser avaliadas em termos do pico e da carga térmica acumulada e sua evolução no espaço e no tempo, independentemente da localidade. No caso das ondas de frio, Escobar (2007) as define como consequência da passagem de sistemas frontais, associados a intensas massas de ar frio e seco que, em algumas ocasiões, tendem a persistir por vários dias consecutivos, contribuindo para uma importante perda de calor noturno por resfriamento radiativo.

A relação entre a ocorrência dos eventos extremos de temperatura aos potenciais efeitos à saúde é um aspecto citado em diversos estudos e pode fazer parte da classificação da intensidade da onda de calor ou frio, como é o caso de Robinson (2001) e Kalstein et al. (1995). O corpo humano tem a habilidade de responder as condições do ambiente e se adaptar a elas, mas a exposição ao calor ou frio extremo pode superar a sua resistência, causando prejuízos à saúde e, eventualmente, levando ao óbito (BASARIN et al. 2015). Segundo Robinson (2001) as ondas de calor são a maior causa de morte relacionada às

condições meteorológicas e, desta forma, não podem ser avaliadas sem referência aos impactos na vida humana.

Diversos setores de uma sociedade podem sofrer os impactos diretos ou indiretos dos episódios de ondas de calor/frio. Períodos anomalamente quentes tendem a aumentar a demanda por energia, devido principalmente ao maior uso de dispositivos para climatização, e também o consumo de água potável, o que pode levar ao colapso o sistema de fornecimento desses serviços, gerando transtornos ao dia a dia dos cidadãos, além de grandes prejuízos à empresas e governos. A agricultura e pecuária também são vastamente afetadas pelos eventos extremos de temperatura, por estes acarretarem danos ou perdas às lavouras, ocasionadas por geadas ou queimadas, e mortalidade de rebanhos por estresse térmico. Desta forma, estudos sobre as ondas de frio e calor e como estas influenciam o ser humano e a sociedade são importantes para um melhor entendimento dos mecanismos de formação e estabelecimento desses eventos, de modo a prognosticá-los de forma eficiente a fim de evitar perda de vidas e danos materiais.

1.1 Motivação

A identificação e caracterização das ondas de calor ou frio no Brasil, bem como os possíveis perigos inerentes a elas, ainda são temas pouco explorados na literatura. No caso das ondas de calor, a deficiência de estudos é ainda maior, já que mais da metade do país está sob influência do clima tropical, onde a ocorrência de temperaturas elevadas é frequente e, por conseguinte, a população é relativamente adaptada a tais condições. Porém, com a atual preocupação em relação às mudanças climáticas, é razoável supor que esse tipo de evento deva aumentar em frequência, severidade, duração e área de atuação no futuro (ROBINSON, 2001), atingindo inclusive as regiões tropicais (ESTELA et al. 2015). Alguns estudos, como o de Frich et al. (2002), apontam que houve um aumento em escala global nos extremos de calor e uma diminuição nos extremos de frio nas últimas décadas. Essa tendência também é indicada por Rusticucci (2012) em seu estudo sobre a variabilidade dos eventos extremos de temperatura na América do Sul, onde cita um aumento na ocorrência de temperaturas mínimas mais quentes e, consequentemente, uma diminuição de temperaturas mínimas mais baixas no continente de forma geral.

Com aumento da disponibilidade de conjuntos de dados de tempo e clima, torna-se viável o estudo dos eventos extremos de temperatura tanto de forma diagnóstica quanto prognóstica, dando condições para aplicações em modelos numéricos de alta resolução. Investigar a ocorrência das ondas de calor e frio no Brasil é de suma importância, de modo a entender e gerenciar o risco desses eventos extremos, melhorando as estratégias de adaptação e mitigação frente aos futuros efeitos das mudanças climáticas.

1.2 Objetivos

Determinar, através de uma análise climatológica, os eventos extremos de calor e frio no Centro-Sul do Brasil e seus impactos a vida e saúde humana, de modo a identificar os principais padrões sinóticos associados, com a finalidade de indicar modelos conceituais das condições que propiciam o estabelecimento deste tipo de fenômeno na região de estudo. Espera-se que os resultados sirvam de base para o desenvolvimento de um método de previsão que possa ser empregado no ambiente operacional, e que, alimentado pelas saídas de modelos numéricos, sirva como ferramenta de auxilio na elaboração de alertas antecipados para a população e a Defesa Civil.

1.2.1 Objetivos Específicos

O trabalho foi dividido em três etapas, sendo que cada uma delas possui objetivos específicos distintos, conforme descrito a seguir:

Etapa 1: Climatologia dos Extremos de Temperatura

- Definir o regime térmico e de conforto térmico das principais cidades do Centro-Sul do Brasil;
- Identificar os eventos extremos de calor e frio na região de estudo através de séries históricas de dados;
- Definir períodos de extremo desconforto térmico para o calor e frio e sua associação com os eventos.

Etapa 2: Validação da Reanálise MERRA-2

- Verificar a viabilidade do uso desse conjunto de dados para aplicação no regime térmico, definição dos eventos extremos de temperatura e avaliação do conforto térmico em estudos futuros;

Etapa 3: Climatologia Sinótica dos Extremos de Temperatura

- Avaliar as condições sinóticas médias predominantes nos eventos extremos de calor e frio;
- Identificar os principais padrões sinóticos associados à formação e estabelecimentos desses eventos.

No capítulo 2 é apresentada fundamentação teórica do tema, que abordará tanto os aspectos meteorológicos quanto os biometeorológicos a cerca dos eventos extremos de temperatura. A metodologia aplicada é descrita no capítulo 3. Os capítulos 4, 5 e 6 apresentam os resultados da Etapa 1, 2 e 3, respectivamente. Por fim, as conclusões deste trabalho estão resumidas no capítulo 7, onde também são listadas as sugestões de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho é apresentada a seguir e está dividida em duas partes. Na primeira discutem-se os impactos à saúde e sociedade associados aos extremos de temperatura, incluindo às expectativas em relação às mudanças do clima. A segunda parte apresenta os aspectos meteorológicos gerais dos eventos extremos de temperatura no Centro-Sul do Brasil através de uma breve revisão da literatura do tema.

2.1 Extremos de Temperatura e seus Impactos à Saúde e Sociedade

O efeito das condições meteorológicas sobre os seres humanos pode ser abordado sob dois pontos de vista: o fisiológico e o sociológico (ESTELA et al. 2015; ROBINSON, 2001). O aspecto fisiológico centra-se na termo regulação geral do corpo humano, a qual tem como função manter o balanço de calor, ou seja, que a taxa de geração de calor do corpo seja igual à taxa de calor perdida por ele, sendo que esse equilíbrio é a condição fundamental para a sobrevivência humana (BUTERA, 1998). Por outro lado, o aspecto sociológico aborda basicamente a capacidade de adaptação do ser vivo ao ambiente e/ou clima local, termo conhecido como aclimatação. Quando ocorrem eventos extremos de temperatura, seja de calor ou frio, o impacto do fator meteorológico externo ao ser humano é muito intenso, ultrapassando a sua capacidade de aclimatação e fazendo com que se manifestem efeitos fisiológicos específicos, que podem levar determinados indivíduos à óbito (ESTELA, 2013; COHEN et al. 2005).

Barnett et al. (2012) citam que a curva que descreve a mortalidade humana em função da temperatura é normalmente em formato U, ou seja, há aumento nos riscos tanto para o extremo quente quanto para o frio. Os autores também comentam que quando os eventos extremos de temperatura perduram por dias consecutivos, uma das condições que torna possível caracterizar as ondas de calor ou frio, o risco de morte se deve à sobrecarga nos sistemas de resfriamento ou aquecimento do corpo, o que por sua vez pode vir a prejudicar os sistemas cardiovascular e/ou respiratório dos indivíduos expostos a tais condições. Ressalta-se que isto resulta em uma demanda extra aos serviços de saúde, já que muitas pessoas ficam doentes simultaneamente, o que pode comprometer a qualidade e eficiência dos tratamentos médicos.

Os eventos extremos de temperatura afetam a saúde humana e a sociedade de maneira significativa, porém cada evento deste tem impactos e efeitos distintos, com

consequências que dependem tanto da localidade em que ocorrem quanto dos indivíduos que acometem. Portanto, nesta seção os aspectos específicos dos eventos extremos de calor e dos eventos extremos de frio são analisados de forma separada. Além disso, também é apresentada uma visão dos extremos de temperatura frente às mudanças climáticas, seguida de uma discussão sobre o conforto térmico humano, com definições e sua aplicabilidade nesses eventos.

2.1.1 Extremos de Calor

Os eventos extremos de calor, ou simplesmente ondas de calor, são uma ameaça frequente à saúde pública, de modo que para cada grau celsius acima de um limiar, a taxa de mortalidade populacional pode aumentar de 2 a 5% (WHO/WMO, 2012). Diversos estudos sobre o tema, principalmente para o Hemisfério Norte e Austrália, apontam o aumento da morbidade e mortalidade humana em situações de calor excessivo, principalmente em grandes áreas urbanas (KALKSTEIN et al. 1996; ROBINSON, 2001; BARNETT et al. 2012; NAIRN; FAWCETT, 2013). Recentemente, estudos semelhantes tem sido publicados para o Brasil, como Geirinhas et al. (2019) que identificaram um pico de mortalidade durante uma severa onda de calor na cidade do Rio de Janeiro.

A mortalidade relacionada ao calor pode ser definida, de modo geral, como decorrente de insolação (heat stroke) ou hipertermia, que acontece quando a temperatura do corpo supera os 40°C (BASARIN et al. 2015; HAJAT; KOSATY, 2010). Robinson (2001) descreve brevemente a fisiologia deste processo, comentando que se as condições atmosféricas forem tais que a remoção do calor interno gerado pelo metabolismo, que é transferido ao ambiente através da pele, seja impedida, a temperatura central do corpo começará a subir desencadeando problemas de saúde. O autor ainda cita que a combinação limítrofe das condições que impedem essa transferência de calor do corpo varia de individuo para individuo, mas dependem da idade, gênero, forma física e condicionamento prévio, sendo este definido tanto pela aclimatação quanto por recente exposição às temperaturas extremas.

Deste modo, ondas de calor que ocorrem no início da estação quente tendem a apresentar uma taxa de mortalidade maior do que aquelas que se estabelecem mais tardiamente (KALKSTEIN et al. 1996; ROBINSON, 2001; BARNETT et al. 2012;

BASARIN et al. 2015). Alguns argumentos justificam tal constatação, como a falta de preparo da população para as temperaturas extremas ou mesmo a possibilidade dos indivíduos mais vulneráveis falecerem já nos primeiros eventos da estação. Além disso, outras características de uma onda de calor que podem aumentar os riscos de morte são, segundo Barnett et al. (2012), sua intensidade e, principalmente, sua duração, de modo que dias contínuos de temperaturas extremamente altas impedem o sistema cardiovascular de descansar durante um ou dois dias de tempo mais fresco.

A Organização Mundial de Saúde (OMS), na publicação Atlas of Health and Climate em conjunto com a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) (WHO/WMO, 2012), aponta que idosos, doentes crônicos, indivíduos isolados socialmente, pessoas que trabalham ao ar livre e crianças são particularmente vulneráveis aos efeitos das ondas de calor, em especial aquelas que vivem em grandes cidades, tanto nos trópicos quanto nos subtrópicos. Apesar de também afetar regiões rurais, o estresse ao calor é mais severo nas áreas urbanas devido ao efeito da ilha de calor, que pode elevar a temperatura em mais de 5ºC, agravando também os efeitos nocivos do ozônio e dos poluentes. Além disso, a localização da cidade e condições de habitação influenciam a magnitude do impacto negativo à saúde associado à onda de calor (KALKSTEIN et al. 1996).

Ainda de acordo com WHO/WMO (2012), embora o calor extremo afete a população mundial tanto nos países desenvolvidos quanto nos em desenvolvimento, algumas das mais dramáticas ondas de calor ocorreram em regiões do mundo relativamente ricas, de clima temperado e, consequentemente, de temperaturas mais amenas. A extensa onda de calor que atingiu a Europa em 2003 é um exemplo, que causou um aumento de 4 a 5 vezes na taxa de mortalidade esperada no pico do evento em algumas cidades. Mesmo assim os efeitos das ondas de calor são sentidos nas regiões tropicais, como mostra o estudo de Estela et al. (2015), que apresenta o aumento da mortalidade em determinadas províncias de Cuba em períodos anomalamente mais quentes, mesmo a população local tendo uma resistência maior ao calor comparado àquelas que vivem em latitude médias ou altas. As ondas de calor ocorridas na região tropical da Ásia entre abril e junho de 2015 também são um exemplo, onde foram registradas ao menos 2500 mortes em decorrência das altas temperaturas na Índia, que ultrapassaram os 47°C em algumas províncias, e cerca de 1600 mortes no Paquistão (WMO, 2016).

2.1.2 Extremos de Frio

As ondas de frio contribuem para uma ampla gama de impactos na saúde pública, desde as mortes por hipotermia, que são de consequência direta e também as mais reportadas pela mídia, até as mortes em decorrência de doenças respiratórias e cardiovasculares (BARNETT et al. 2012). Porém são poucos os estudos que abordam as ondas de frio sob essa perspectiva, mesmo para o Hemisfério Norte onde boa parte dos países possuem invernos rigorosos.

Basarin et al. (2015) descrevem brevemente os efeitos do frio extremo no funcionamento do corpo humano, citando que o coração tem que trabalhar muito mais para ajudar o corpo a manter a temperatura normal, de modo a retornar ao balanço de calor fundamental. Além disso, nestas situações também ocorre a vasoconstrição, que é o estreitamento das veias que conduzem o sangue, causando o aumento da pressão sanguínea e sobrecarregando o ainda mais o coração.

Os problemas respiratórios também são uma séria preocupação associada a períodos prolongados de frio, devido ao agravamento de doenças crônicas como asma e bronquite, além do aumento dos casos de gripes e pneumonia, principalmente na população mais vulnerável, como idosos e crianças. O estudo de Nedel (2008), por exemplo, analisou diversos casos de incidência de doenças respiratórias em bebês recém-nascidos, denominado como chiado no peito, em São Paulo-SP e conclui que 93% estavam relacionados às baixas temperaturas ocorridas na cidade. Rusticucci et al. (2002) apontaram que as internações hospitalares em Buenos Aires, Argentina, tiveram um aumento geral de 16,7% ao longo do período de inverno, sendo que aquelas decorrentes de problemas respiratórios, cardiovasculares e dores no peito foram maiores nesta estação do que durante o verão. Tendência similar foi encontrada por Ikefuti et al. (2018) para a cidade de São Paulo, onde as temperaturas abaixo de 15 ºC foram consideradas estatisticamente mais significativas para mortalidade por AVC do que temperaturas mais altas (acima de 22 ºC).

Assim como para as ondas de calor, as ondas de frio que acontecem no início da estação fria se mostraram mais perigosas (BASARIN et al. 2015). O estudo de Barnett et al. 2012 para os EUA concorda com tal afirmação, porém concluí que o aumento das mortes associadas às ondas de frio é, de forma geral, menor e estatisticamente não

significativo em sua amostragem e, além disso, há evidência de redução nas mortes diárias durante os eventos mais extremos. Os autores justificam esses resultados argumentando que a população local provavelmente toma melhores medidas de proteção durante intensas ondas de frio, tais como evitar viagens, garantir o aquecimento das residências e vestir roupas mais quentes. Estas conclusões, porém, não são unânimes entre os demais estudos do tema, Masato et al. (2015), por exemplo, citam que o aumento na mortalidade no período frio é observada todos os anos no Reino Unido, havendo em média 25.000 mortes a mais no inverno na Inglaterra e País de Gales, um cenário muito maior se comparado aos demais meses do ano.

As condições de habitação também podem ser determinantes no convívio da população com extremos de frio. Nedel (2008), em suas conclusões sobre o conforto térmico no interior de residências em São Paulo-SP, observou que há, no geral, uma maior frequência de períodos desconfortáveis por frio nesses ambientes, e que a população da cidade sofre mais com o frio do que com o calor. Isso fornece indícios de que as residências não tem um sistema adequado de proteção contra o frio, tanto em termos de estrutura construtiva quanto em relação a opções de aquecimento. Condições térmicas relacionadas ao frio foram responsáveis, segundo Braun (2002), por 45% dos óbitos na cidade de São Paulo, enquanto as condições relacionadas ao calor foram responsáveis por 24% das mortes.

2.1.3 Eventos Extremos de Temperatura e seus Impactos Frente às Mudanças Climáticas

As mudanças climáticas, decorrentes do acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera devido principalmente à queima de combustíveis fósseis, serão as principais causas do aumento da intensidade e frequência dos extremos meteorológicos, agravando os perigos à saúde humana bem como comprometendo determinantes ambientais de saúde, tais como água limpa e nutrição adequada. Até 2050, os eventos de onda de calor que ocorreriam normalmente apenas a cada 20 anos serão experimentados em média a cada 2 ou 5 anos (WHO/WMO, 2012).

Assumindo uma distribuição normal das temperaturas de superfície, pode-se imaginar três cenários de aumento de temperatura (EBI; SCHMIER, 2005; FOLLAND et al. 2001). No primeiro cenário, há uma pequena mudança na temperatura média sem

mudança da variância (ou seja, o formato da curva se manteria o mesmo). Se isso ocorrer, haverá uma diminuição no tempo frio e um aumento tanto do calor quanto no recorde de calor. O segundo cenário é um aumento na variância sem mudança na temperatura média, isso resultaria em um aumento da frequência do frio e do calor, com uma diminuição da frequência das condições de tempo que poderia ser consideradas médias no regime climático anterior. (isto é, o formato da curva seria mais plano). Finalmente, se houver uma mudança tanto na média quanto na variância, haveria uma pequena diminuição no frio e um aumento significativo nos extremos de calor e frio.

O aumento médio da temperatura do planeta nas últimas décadas é um fato: o ano de 2015 foi o mais quente da história e 15 dos 16 anos mais quentes já registrados aconteceram neste século (WMO, 2016). Consequentemente, uma menor frequência de temperaturas mínimas extremas é apontada em diversos estudos (FRICH et al. 2002; RUSTICUCCI, 2012), porém ondas de frio intensas ainda continuam sendo observadas. Entre 2013 e 2014 uma forte onda de frio atingiu o Canadá e os EUA, com nevascas que causaram grandes transtornos e recordes de baixas temperaturas (BBC Brasil, 2014). A América do Sul também foi afetada por uma onda de frio histórica em julho de 2013, que trouxe neve de forma generalizada para vários municípios da Região Sul do Brasil, alguns que não registravam esse fenômeno desde 1975, além de temperaturas extremamente baixas no Sudeste, Centro-Oeste e sul da Amazônia (GPT-CPTEC/INPE, 2013). Desta forma, há também uma preocupação de que as mudanças climáticas poderão contribuir para o aumento na intensidade dos extremos de frio, mesmo que estes se tornem menos frequentes (BARNETT et al. 2012; KODRA et al. 2011).

O 5º Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2014) afirma que "até o meio do século, a mudança climática projetada irá impactar a saúde humana principalmente por exacerbar os problemas de saúde já existentes e ao longo do século 21, espera-se que a mudança climática lidere os aumentos nos problemas de saúde em muitas regiões e especialmente em países em desenvolvimento com baixa renda, em comparação com um cenário sem mudança do clima. Exemplos incluem maior probabilidade de lesões, doenças e mortes devido a ondas de calor mais intensas".

Segundo WHO/WMO (2012), espera-se que o crescimento populacional, o envelhecimento e a urbanização aumentem o numero de pessoas vulneráveis às ondas de calor em um cenário de mudanças climáticas. Estima-se que pelo menos três vezes

mais pessoas com idade acima de 65 anos estarão vivendo em áreas urbanas em todo o mundo até 2050, sendo que os países em desenvolvimento concentrarão os maiores aumentos, conforme ilustrado pela Figura 2.1. Deste modo, prevê-se que a mortalidade relacionada ao calor aumente substancialmente e a mortalidade pelo frio reduza a um menor grau (HAJAT et al. 2014) embora os extremos frios de temperatura ainda possam ocorrer em um cenário de aquecimento global como resultado da variabilidade natural (RAISANEN; YLHAISI, 2011).

Figura 2.1 - Frequência de ondas de calor e crescimento da população vulnerável.

Os gráficos de barras mostram a frequência com que um evento de onda de calor que teria ocorrido apenas uma vez em 20 anos durante o século XX é esperado que ocorra no meio do século XXI, sob diferentes cenários de mudanças climáticas. Os números baixos indicam eventos mais frequentes. Os países estão sombreados de acordo com o aumento proporcional esperado nas populações urbanas com idade acima de 65 anos.

Fonte: WHO/WMO (2012).

2.1.4 Conforto Térmico Humano e os Índices de Conforto Térmico

O conceito de conforto térmico, no âmbito fisiológico, está relacionado à manutenção da temperatura interna do corpo humano em determinado ambiente sem que seus mecanismos de termo regulação sejam acionados (RORIZ, 1996). De acordo com Tromp (1980) o conforto térmico de um indivíduo e sua resposta fisiológica ao estresse térmico dependem não somente da sua produção metabólica de calor, mas também do nível dos fatores ambientais que o atingem e o tipo de vestimenta que está usando.

Além disso, as sensações de frio ou calor variam de pessoa para pessoa de acordo com idade, gênero, tipo físico, entre outros (NEDEL, 2008).

Os índices biometeorológicos, ou índices de conforto térmico, consistem em fórmulas matemáticas que estimam o efeito do ambiente meteorológico sobre o ser humano, cujo resultado estima a sensação térmica do indivíduo. As equações são, em grande parte, combinações dos parâmetros meteorológicos que afetam o conforto térmico (temperatura do ar, temperatura de bulbo úmido, pressão de vapor, velocidade do vento, etc) com coeficientes determinados empiricamente (PALLOTTA, 2012; TROMP, 1980; NEDEL, 2008). De acordo com WMO/WHO (2015) entre os índices mais utilizados em sistemas de alerta para extremos de temperatura no mundo, se destacam a Temperatura Aparente e seu derivado Índice de Calor (STEADMAN, 1971), aplicados pelo Bureau of Meteorology da Austrália e o National Weather Service (NWS) dos EUA, e o Índice Windchill (STEADMAN, 1971), utilizado especificamente para situações de frio.

Estudos de conforto térmico aplicados ao Brasil apontam que os índices de Temperatura Efetiva (TE) e Temperatura Efetiva em função do vento (TEv), definidos pelas Equações (2.1) e (2.2), são os mais utilizados e mais representativos para o país (NEDEL, 2008; PALLOTTA, 2012). A TE, proposta por Missenard (1937), expressa o nível de conforto (ou desconforto) baseado no efeito combinado entre temperatura e umidade relativa do ar. Já a TEv tem fundamentação teórica e aplicação semelhantes a TE (SUPING et al., 1992), porém leva também em consideração a ação do vento. Para analisar e classificar as condições de conforto a partir desses índices, faz-se o uso de tabelas que listam os diferentes graus de percepção térmica e as respostas fisiológicas do corpo para alguns limiares, conforme apresenta a Tabela 2.1 da distribuição proposta por Fanger (1972). Adicionalmente, levando em consideração a aclimatação, acredita-se que a população de um determinado local sentirá calor (frio) excessivo quando os valores de TE/TEv forem maiores que o 97,5° (2,5°) percentil das temperaturas.

$$TE = T_a - 0{,}4(T_a - 10)\left(1 - \frac{UR}{100}\right) \tag{2.1}$$

$$TE_v = 37 - \frac{(37 - T_a)}{\left[0{,}68 - 0{,}0014UR + \frac{1}{(1{,}76 + 1{,}4v^{0{,}75})}\right]} - 0{,}29T_a\left(1 - \frac{UR}{100}\right) \tag{2.2}$$

Onde *Ta* é a temperatura de bulbo seco (°C), *UR* é a umidade relativa do ar (%) e *v* a velocidade do vento (m/s).

Tabela 2.1 - Distribuição das zonas de conforto/desconforto de acordo com o índice de Temperatura Efetiva, para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas.

Faixas de TEv (°C)	**Sensação Térmica**	**Grau de Estresse Fisiológico**
< 13	Muito Frio	Extremo estresse ao frio
13 a 16	Frio	Tiritar
16 a 19	Frio Moderado	Ligeiro resfriamento do corpo
19 a 22	Ligeiramente Frio	Vasoconstrição
22 a 25	Confortável	Neutralidade térmica
25 a 28	Ligeiramente Quente	Ligeiro suor, vasodilatação
28 a 31	Quente Moderado	Suando
31 a 34	Quente	Suor em profusão, falha na termo regulação
> 34	Muito Quente	Estresse por calor

Fonte: Adaptado de Fanger (1972).

2.2 Aspectos Meteorológicos Gerais dos Eventos Extremos de Temperatura no Centro-Sul do Brasil

Os eventos extremos de temperatura, sob o ponto da literatura meteorológica, são encontrados como ondas de frio e ondas de calor. Tendo isto em vista, esta seção apresenta definições, métodos de detecção, características sinóticas e sistemas meteorológicos atuantes nestes eventos. Por se tratarem de fenômenos distintos, nas próximas seções serão discutidas separadamente as ondas de calor e frio.

2.2.1 Ondas de Calor

São poucos os estudos que abordam somente os aspectos meteorológicos das ondas de calor na literatura, principalmente para o Brasil (GEIRINHAS et al. 2018). Conforme discutido e apresentado na seção 2.1.1, muitas referências a respeito do assunto são aplicadas para outros países e tem enfoque principal nos efeitos das ondas de calor na saúde humana, de modo que as principais métricas de identificação e estudo são índices que combinam parâmetros meteorológicos, como temperatura e umidade, a fim de relaciona-los a eficácia ou não da termo regulação dos sistemas biológicos, sejam animais, seres humanos ou vegetação. Tendo em vista que as definições e os métodos de detecção das ondas de calor foram apresentados nas seções 2.1.1 e 2.1.4, respectivamente, a seguir se discorrerá sobre o tema somente as características sinóticas e os sistemas meteorológicos que propiciam sua atuação e desenvolvimento.

2.2.1.1 Características Sinóticas e Sistemas Meteorológicos Atuantes

A descrição sinótica de um evento de onda de calor, de acordo com o estudo de Nair e Fawcett (2013), consiste basicamente em um intenso anticiclone cujo mecanismo de subsidência característico resulta em ar quente e seco sob céu claro. Essa condição permite o aquecimento radiativo da superfície durante o período diurno, que por sua vez troca calor diabaticamente com o ar adjacente. O que seria um ciclo normal de aquecimento antes da próxima entrada de uma massa de ar frio pode se estagnar quando um anticiclone de movimento lento prolonga seu ciclo de aquecimento, ocasionalmente produzindo uma onda de calor.

Alguns outros mecanismos que permitem o acúmulo de calor, como a advecção a partir de latitudes mais baixas e subsidência de larga escala, que transporta ar com temperatura potencial mais alta dos níveis superiores da troposfera, também contribuem

para a formação e/ou intensificação de uma onda de calor, mas o aquecimento superficial tem a contribuição dominante (NAIR; FAWCETT, 2013)

Ondas de calor também são caracterizadas por um padrão de onda de Rossby estacionária ou de lento deslocamento na média troposfera (PEZZA et al. 2012). Diferentemente desse tipo de padrão que ocorre na estação fria, há a ausência da típica estrutura de bifurcação do jato de altos níveis, o qual dá suporte ao clássico padrão de bloqueio atmosférico[1].

De modo a tentar incluir o conceito de onda de calor em ocorrências no Brasil, um sistema meteorológico que pode, de maneira indireta, favorecer períodos quentes na região Sul do país é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Silva Dias et al. (1988) mencionam que veranicos no extremo Sul do Brasil estão correlacionados negativamente com a intensa atividade convectiva da região da ZCAS. A banda de nebulosidade e precipitação associada à ZCAS se estabelece entre o sul da região amazônica e o Atlântico Sudoeste, passando pelas regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (QUADRO, 1994).

Diversos autores citam a gangorra de precipitação e convecção entre sudeste e sul do Brasil, incluindo os países vizinhos, isto é, anomalias positivas de precipitação na região sudeste associada a anomalias negativas de precipitação na região Sul. Quadro (1994) observa forte subsidência de ar (valores positivos de velocidade vertical ômega) sobre Uruguai, norte da Argentina e sul do Brasil, que pode estar associada com a escassez de precipitação nesta última. Casarin e Kousky (1986) mencionam anomalias positivas de ROL (Radiação de Onda Longa) na região Sul, o que indica condição de céu claro ou pouca nebulosidade, em casos de ZCAS ativas dentro da sua posição climatológica. A combinação entre a forte subsidência de ar e pouca nebulosidade favorece o

[1] Um anticiclone de bloqueio é definido quando este permanece quase estacionário por um período de cerca de 6 dias (Casarin e Kousky, 1986), em latitudes mais altas do que aquelas onde se localiza a alta subtropical, de modo que perturba a corrente zonal de oeste fazendo com que está se bifurque. Como resultado, os sistemas transientes são impedidos de se deslocarem para leste, ficando enfraquecidos, meridionalmente alongados e zonalmente comprimidos. Segundo Sinclair (1996), os bloqueios que afetam a América do Sul se estabelecem majoritariamente no Pacífico, a oeste da costa do Sul do continente, com maior frequência nos 6 meses ao redor do inverno (maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro).

aquecimento superficial e a elevação das temperaturas, podendo propiciar eventos de ondas de calor na região Sul.

As regiões Sudeste e parte da Centro-Oeste podem sofrer períodos anomalamente mais quentes devido, principalmente, a influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) sobre o continente. Esse sistema atua principalmente no inverno, quando alcança sua posição mais a oeste, inibindo a formação de nuvens e propiciando o aquecimento da superfície, que pode perdurar por alguns dias até um sistema frontal trazer chuva e uma massa de ar mais frio a região (REBOITA et al. 2010).

Eventos de escala interanual, como El Niño Oscilação Sul (ENOS), podem influenciar a ocorrência de ondas de calor, principalmente no Cone Sul da América do Sul. Diversos estudos indicam temperaturas acima do normal no extremo Sul da região Sul do Brasil (especialmente no estado do Rio Grande do Sul) em episódios de El Niño (EN) durante o inverno austral (RUSTICUCCI; VARGAS, 2001; GRIMM; TOGATLIAN, 2002; FIRPO et al. 2012). Este padrão deve-se a mudança no gradiente zonal leste-oeste de altura geopotencial nos subtrópicos da América do Sul o que, no caso de EN, aumenta a advecção de ar mais quente de norte. As referências a respeito desse tema são das poucas que definem, ainda que algumas vezes de maneira superficial, ondas de calor e tratam de sua ocorrência no Brasil.

Foram descritos até aqui sistemas meteorológicos que podem levar a ocorrência de ondas de calor no Brasil, porém é necessário um maior estudo sobre o tema de modo a incluir a definição presente na literatura internacional para a melhor identificação das ondas de calor que ocorrem país. Os períodos anomalamente mais quentes durante a estação fria, como aqueles favorecidos pela ocorrência do ASAS e do EN, devem ser melhor categorizados para que não sejam precipitadamente classificados como onda de calor, já que nesse período o aquecimento superficial não é tão intenso (mesmo sendo verificadas anomalias positivas de temperatura) quanto poderia ser na estação quente e os impactos à sociedade podem não ser tão alarmantes como aqueles apresentados na definição clássica.

2.2.2 Ondas de Frio

2.2.2.1 Definições e Métodos de Detecção

Durante o inverno no Hemisfério Sul, o Brasil tem uma maior frequência de incursões de ar de origem polar que, em algumas ocasiões, produzem intensos e bruscos declínios de temperatura (HAMILTON; TARIFA, 1978; SELUCHI; NERY, 1992). Essas intensas massas de ar frio, que estão associadas à passagem de sistemas frontais vindos do extremo sul do continente sul-americano, podem persistir por vários dias consecutivos caracterizando, portanto, uma onda de frio (ESCOBAR, 2007).

Muller (2005) caracteriza uma massa polar como o ar frio associado em geral a uma forte advecção de sul e um centro de alta pressão, onde um centro anticiclônico migratório extratropical está associado aproximadamente à região central de uma massa de ar polar, sendo que sua trajetória representa, de forma geral, a trajetória desta massa. A autora ainda comenta que quanto mais intenso é um centro transiente de alta pressão, mais intensa é em geral a massa de ar frio associada.

As incursões de ar frio no Brasil acontecem com maior frequência entre maio e setembro, porém também há ocorrências significativas em meses como abril e outubro (SATYAMURTY et al. 2002; SELUCHI; NERY, 1992; PEZZA; AMBRIZZI, 2005B). Marengo et al. (1997) citam que as ondas de frio acontecem, no geral, cerca de oito vezes ao ano no Brasil, o que também pode ser atestado em Pezza e Ambrizzi (2005b), que encontraram para o Estado de São Paulo nove eventos na década de 90, sete eventos nos anos 80 e oito eventos nos anos 70, sugerindo que os extremos de frio continuam a ser frequentes mesmo com temperaturas médias relativamente mais quentes.

Intensas massas de ar frio sobre o centro-sul do Brasil propiciam a ocorrência do fenômeno de geada, o qual se caracteriza pela ocorrência de temperaturas menores ou iguais à 0°C, com a formação de gelo em superfícies expostas, como solo, plantas e demais objetos (ALGARVE; CALVANCANTI, 1994; MULLER, 2005). De acordo com Seluchi (2009), o Sul do país é a região onde as geadas ocorrem com maior frequência devido a maior incidência de sistemas frontais frios e, consequentemente, as massas de ar frio associadas a eles, e a presença de uma topografia complexa com elevações superiores a 1000m. O autor comenta que, pelo fato das massas de ar possuírem dimensões de escala sinótica, as geadas costumam afetar grandes extensões

de terreno, porém os fatores topográficos influenciam a temperatura do nível do solo, fazendo com que áreas elevadas sejam mais suscetíveis a esses fenômenos devido a diminuição da temperatura com a altura.

As ondas de frio que adentram o Brasil algumas vezes são tão intensas que promovem considerável resfriamento no Centro-Oeste do país e na região da Bacia Amazônica, fenômeno conhecido localmente como “friagem” (HAMILTON; TARIFA, 1978; SELUCHI, 2009). A influência orográfica da Cordilheira dos Andes é um dos fatores que contribui fortemente para a ocorrência das friagens no Brasil, já que ao canalizar o fluxo meridional permite o rápido avanço das massas de ar frio a leste das montanhas (SELUCHI; NERY, 1992; MARENGO et al. 1997; RICARTE, 2012).

A literatura sobre as incursões de ar frio na América do Sul melhorou principalmente nas últimas décadas, inclusive com os estudos que levaram ao conhecimento do fenômeno da “friagem” (PEZZA; AMBRIZZI, 2005B). Existem diferentes abordagens sobre o tema, com trabalhos que apontam as ondas de frio através da ocorrência de geadas (SELUCHI; NERY, 1992; ALGARVE; CALVANCANTI, 1994; MULLER, 2005), que apresentam climatologias e identificação de padrões sinóticos (GARREAUD, 2000; GONÇALVES et al. 2002; ESCOBAR et al. 2004; ESCOBAR, 2007; PEZZA; AMBRIZZI, 2005B) ou simplesmente estudos de casos bastante completos (HAMILTON; TARIFA, 1978; MARENGO ET AL. 1997; SATYAMURTY ET AL. 2002). Os métodos de identificação e detecção das ondas de frio nesses estudos são os mais diversos e os principais serão descritos a seguir.

O estudo de Seluchi e Nery (1992) identificou casos de geadas na região de Maringá (PR) entre 1980 e 1988 com base nos registros meteorológicos da estação local. A principal condição para a detecção de uma situação de geada era a temperatura ser inferior a 6°C no abrigo meteorológico as 12Z. Em uma segunda análise eram descartados os dias com temperaturas levemente inferiores à 6°C combinados à maior nebulosidade (superior a 3/8), vento relativamente forte (maior que 5 m/s) e umidade

relativa elevada (superior à 80%), restringindo o estudo somente aos casos de geada radiativa[2].

Algarve e Cavalcanti (1994) também identificaram casos de geadas, porém de forma mais abrangente, pois estudaram toda a região sul do Brasil e selecionaram as ocorrências entre forte, moderada e fraca. Segundo o critério empregado pelos autores, para uma geada ser classificada como forte as temperaturas mínimas em no mínimo cinco estações deveriam ser menores ou iguais a 0°C, para a geada moderada no máximo cinco estações deveriam acusar temperaturas mínimas menores ou iguais a 0°C e, por fim, para a geada fraca apenas algumas poucas estações deveriam acusar temperatura mínima de 0°C, porém em nenhuma das demais a temperatura mínima deveria ser menor que esse limiar. Para complementar a classificação, o estudo também levou em consideração imagens de satélite, cartas sinóticas e análises globais provenientes do ECMWF para 3 dias antes e 3 dias após o evento de geada.

Escobar et al. (2004) usam um critério de detecção de ondas de frio baseado na magnitude do declínio diário de temperatura, priorizando o contraste térmico ao invés do valor absoluto da temperatura média ao longo do dia do evento. A seleção dos eventos neste critério é determinada de acordo com algumas condições, sendo elas: o declínio da temperatura média diária tem de ser maior que certo limiar de temperatura (no caso de Buenos Aires usa-se 4°C); a temperatura média do dia anterior ao declínio tem de estar acima de um valor médio (que pode ser determinado pela climatologia mensal, por exemplo); e a temperatura no dia do declínio tem de estar abaixo de um valor médio determinado.

Pezza e Ambrizzi (2005b) realizaram uma compilação das ondas de frio mais intensas que atingiram a América do Sul entre 1898 e 2003, com ênfase em casos extremos no Brasil e na Argentina. Para tanto foram utilizados dados de temperatura mínima de diversas estações da cidade de São Paulo e também em Campinas, bem como de ocorrência de geada severa nessas localidades. Para determinar da maneira mais

[2] A geada radiativa é produzida em situações meteorológicas que permitem que o solo perca calor no período noturno, é o tipo mais comum e foi descrita nesta seção. Há também outro tipo de geada, conhecida como advectiva ou negra, que são provocadas por queda acentuada de temperatura associada a fortes ventos em baixos níveis (intensa advecção fria), não havendo deposito de gelo mas ainda sim propiciando o congelamento da vegetação (Seluchi, 2009).

completa possível o contexto histórico das ondas de frio na América do Sul, várias fontes adicionais de informação foram usadas, como aquelas provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o Serviço Meteorológico Argentino, sobre temperaturas extremas, registro de neve nas Serras Gaúcha e Catarinense e tempestades de neve na Argentina, além de relatos da imprensa sobre o frio, dados sobre danos à plantações e, finalmente, diversos estudos de caso sobre "friagens" publicados na literatura.

Outros parâmetros meteorológicos além da temperatura podem fazer parte dos critérios de detecção de ondas de frio. Garreaud (2000) ao estudar as incursões de ar frio na América do Sul subtropical utilizou a tendência diária da pressão atmosférica como critério para identificação dos casos, já que a passagem de uma intensa onda de frio está associada a um aumento significativo na pressão ao nível médio do mar (PNMM). Para garantir que o aumento acentuado dessa variável está realmente associado à passagem de uma massa de ar frio, ou seja, que tenha um intenso anticiclone associado, somente os eventos com PNMM maior que 1020 hPa (1015 hPa para o verão) após o pico da tendência de pressão são considerados.

2.2.2.2 Características Sinóticas e Sistemas Meteorológicos Atuantes

Na América do Sul uma incursão de ar frio é precedida pelo desenvolvimento do anticiclone migratório no sul da Argentina na retaguarda de uma frente fria com deslocamento para nordeste (HAMILTON; TARIFA, 1978). O estudo de Muller (2005) apresenta uma descrição sinótica mais completa desse conceito, citando que as incursões de ar polar associadas a eventos extremos de frio estão caracterizadas por um padrão de onda de latitudes médias, com a amplificação de uma crista a oeste dos Andes ao largo da costa do Chile e um cavado sobre a costa sudeste da América do Sul, sendo que a amplificação dessa onda fria está associada à frontogêse. A autora menciona também que o intenso fluxo para norte entre a crista e o cavado facilita o ingresso do ar frio desde o sul da Argentina, de modo a afetar o sul e sudeste do Brasil e, em alguns casos pouco menos frequentes, este ar frio é canalizado até latitudes equatoriais.

Pezza e Ambrizzi (2005a), em seu estudo sobre as condições dinâmicas e sinóticas associadas a diferentes tipos de ondas de frio na América do Sul tropical, citam que os mecanismos físicos que conduzem às incursões de ar frio estão baseado no acoplamento

dos anticiclones observados à noroeste (cone sul da América do Sul e Pacifico sudeste) e dos ciclones à sudeste (sobre o Atlântico Sul, desde a costa leste da América do Sul até a costa leste da Antártida). Portanto, as trajetórias desses ciclones e anticiclones se iniciam a oeste e terminam a leste, seguindo o típico fluxo de oeste associado com o desenvolvimento baroclinico conforme a teoria quase-geostrófica.

A evolução da situação sinótica típica durante uma onda de frio no Brasil, conforme descrito em Marengo et al. (1997), consiste em o centro alta pressão migratório oriundo do Oceano Pacífico se mover em direção ao extremo sul da América do Sul e se intensificar enquanto cruza a Argentina de 2 a 3 dias depois, se tornando quase estacionário sobre grande parte sudeste do país, sendo que esses processos ocorrem cerca de 3 ou 4 dias após o sistema frontal ter passado no sul do continente. O resfriamento é precedido, de forma geral, por um aumento na pressão em superfície e uma redução na umidade relativa do ar.

A persistência das ondas de frio é favorecida, de modo geral, pelos efeitos dinâmicos e termodinâmicos associados aos anticiclones migratórios, já que estes contribuem para uma expressiva perda de calor noturno por resfriamento radiativo, combinado ao baixo conteúdo de umidade e céu claro, produto da subsidência do sistema anticiclônico, fazendo com que o ar frio se mantenha por vários dias praticamente sem modificação (ESCOBAR, 2007). Adicionalmente, estas condições favorecem balanços radiativos fortemente negativos, com a consequente diminuição da temperatura, que associada à advecção de ar frio proveniente do sul, cria condições propicias para ocorrência de geadas (MULLER, 2005).

Apesar de as condições sinóticas e dinâmicas associadas a uma intensa incursão de ar frio no Brasil darem condições para que o resfriamento se estenda até latitudes mais baixas, como atestado por diversos autores (HAMILTON; TARIFA, 1978; MULLER, 2005; PEZZA; AMBRIZZI, 2005A), o fenômeno de friagem tem sua ocorrência fortemente ligada à influência orográfica da Cordilheira dos Andes (SELUCHI, 2009). O efeito de terreno elevado afeta a dinâmica do deslocamento do anticiclone migratório, canalizando o fluxo meridionalmente e permitindo o rápido avanço do sistema a leste das montanhas (PEZZA; AMBRIZZI, 2005A; MARENGO et al. 1997).

Um modelo conceitual simplificado da influência dinâmica dos Andes em associação com os anticiclones migratórios que adentram a América do Sul é apresentado em Pezza e Ambrizzi (2005a) (Figura 2.2). Com o aumento da pressão no extremo sul do continente, um forte gradiente meridional de temperatura é estabelecido e, como consequência, o efeito bloqueador dos Andes produz acúmulo de massa a noroeste da do anticiclone. Como resultado a velocidade do vento diminui, o que reduz o efeito Coriolis e gera uma componente ageostrófica de sul (guiada pelo gradiente de pressão), proporcionando, portanto, advecção ar frio em direção as baixas latitudes no lado leste dos Andes. O centro do anticiclone tende a ser mover para o norte, em direção a região de máxima advecção fria, com aumento da subsidência e advecção de vorticidade anticiclônica nos altos níveis da troposfera. Quando o ar frio alcanças latitudes próximas de 18°S, o efeito bloqueador dos Andes diminui, tanto por causa de seu formato quanto ao lento ajuste geostrófico em latitudes subtropicais. Consequentemente, o ar frio remanescente é advectado inercialmente para oeste da Bacia do Rio Amazonas, caracterizando a fase madura do evento de friagem.

Figura 2.2 – Modelo conceitual das incursões de ar frio na América do Sul.

Mapa topográfico da América do Sul, com oceanos e continentes adjacentes, que descreve a climatologia sinótica das trajetórias de ciclones (em vermelho) e anticiclones (em azul) associados à incursão de ar frio na América do Sul subtropical. Regiões de maior densidade de trajetórias estão indicadas pelas áreas e setas coloridas. Outras trajetórias frequentes são indicadas pelas setas tracejadas. As cruzes indicam as posições climatológicas dos centros de alta pressão semipermanentes do Atlântico (AH) e do Pacífico (PH), e a linha da frente fria mostra aproximadamente o limite norte da advecção fria. Regiões ciclogenéticas e anticiclogenéticas e valores de pressão ao nível do mar (hPa) também são apresentados no mapa.

Fonte: Pezza e Ambrizzi (2005a)

De forma geral, os processos dinâmicos dominam a evolução da situação nas latitudes mais altas (na região de influência das perturbações em 500 hPa), mas nas latitudes subtropicais e tropicais (acima de 20°S) o fator térmico é considerado também um dos principais responsáveis pelo desenvolvimento da friagem. Deste modo, a advecção

horizontal de temperatura tem papel preponderante, sendo o único processo que provoca resfriamento significativo nas latitudes tropicais (SELUCHI, 2009).

Eventos de escala interanual, como a fase fria do fenômeno ENOS conhecida com La Niña (LN), podem influenciar a ocorrência de ondas de frio principalmente no Cone Sul da América do Sul. A diminuição da temperatura da superfície do mar na costa leste do Pacífico tropical enfraquece o gradiente meridional de temperatura, resultando no enfraquecimento do jato subtropical. Em geral, uma redução da circulação zonal é acompanhada por um incremento na circulação meridional e, portanto, na frequência e intensidade das incursões frontais. Diversos estudos indicam temperaturas abaixo do normal e, por consequência, maior ocorrência de ondas de frio no extremo Sul da região Sul do Brasil (especialmente no estado do Rio Grande do Sul) em episódios de LN durante o inverno austral (RUSTICUCCI; VARGAS, 2001; GRIMM; TOGATLIAN, 2002; FIRPO et al. 2012).

3 METODOLOGIA

Devido às diferentes abordagens propostas para o tema e também para uma melhor distribuição dos resultados posteriormente, esta tese é dividida em três principais etapas, conforme descritas a seguir:

- **Etapa 1 – Climatologia dos Extremos de Temperatura (Seção 3.3):** reúne a tipificação do regime térmico e do conforto térmico das capitais e a seleção dos casos de extremo calor e extremo frio;
- **Etapa 2 – Validação da Reanálise MERRA-2 (Seção 3.4):** apresenta comparações e uma análise estatística entre o conjunto de dados da reanálise e dados observados;
- **Etapa 3 – Climatologia Sinótica dos Extremos de Temperatura (Seção 3.5):** conjunto de compostos médios e anomalias que representam as situações sinóticas atuantes nos extremos de calor e frio, feitos a partir dos casos selecionados na Etapa 1 .

A área de interesse é denominada neste estudo de maneira generalizada como Centro-Sul do Brasil, que inclui as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e também sul da região Norte, mais especificamente os estados de Rondônia, Acre e o sul do Amazonas, conforme ilustra a Figura 3.1. É dada ênfase às capitais dos estados em função da sua população, atividade econômica, vulnerabilidade e disponibilidade de dados meteorológicos.

O estudo limita-se ao Centro-Sul, pois o regime climático dessa região torna possível, de forma geral, identificar em todas as cidades estudadas eventos de calor e também de frio. Apesar de a região tropical do Brasil, no caso as regiões Norte e Nordeste, ser notoriamente mais quente que o restante do país, as temperaturas se mostram, no geral, mais homogêneas ao longo do ano. Além disso, é conhecido da literatura que as incursões de ar frio no Brasil se estendem até no máximo o sul da Bahia, além do sul da região Norte, que está compreendido na região de estudo. Nas seções a seguir são descritos os conjunto de dados utilizados, a área de estudo e a metodologia empregada em cada uma das etapas.

Figura 3.1 – Delimitação da área de estudo, representada pelo círculo vermelho, denominada como Centro-Sul do Brasil.

Fonte: Produção do autor.

3.1 Dados

3.1.1 Dados Observados

Foram utilizados dados diários de temperatura (máxima e mínima), umidade do ar média e velocidade do vento média provenientes de estações meteorológicas de superfície. A principal fonte desses dados é o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que disponibiliza um banco de dados históricos online de várias de suas estações meteorológicas convencionais a partir de 1961, o Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) (INMET, 2018). O INMET declara que disponibiliza apenas os dados das estações para as quais se disponha de pelo menos 80% de dados registrados naquele período, porém vale ressaltar que parte das estações tem séries que se iniciam posteriormente a 1961 e/ou possuem interrupções, fato que limitou de maneira importante tanto a escolha das cidades de estudo quanto o período de estudo.

Apesar da alta qualidade das séries do BDMEP do INMET, devido a recorrência de dados faltantes foi necessário aplicar um método para tratamento das séries antes de realizar as demais etapas da metodologia. A Figura 3.2 apresenta o fluxograma desse método e na sequência é descrito em detalhes cada uma de suas fases.

Figura 3.2 - Fluxograma do método de tratamento de dados.

Fonte: Produção do autor.

Fase 1: Pré-processamento

1) Os dados brutos são adquiridos do Banco de Dados Meteorológicos do INMET;

2) São removidos os cabeçalhos e dados inconsistentes (Ex: caracteres na coluna de temperatura);

3) São inseridos "9999" como valor indefinido (UNDEF) nas colunas com dados faltantes;

4) São substituídas todas as vírgulas por pontos e removido o último ";" de cada coluna para a leitura posterior nos programas de tratamento;

Fase 2: Tratamento dos dados

5) São inseridos todos os dias do período de dados para uniformizar a serie e para corrigi-los posteriormente;

6) Com a série uniforme, são removidos todos os períodos de dados com mais de 5 (cinco) dias faltantes, ou seja, até 5 (cinco) dias de dados faltantes serão corrigidos;

7) São comparadas as bases de dados de temperatura máxima, temperatura mínima, vento e umidade a fim de remoção dos períodos faltantes das séries. Isso é necessário pois não é possível o cálculo do conforto térmico em um período que, por exemplo, tenha somente os dados de temperatura máxima e mínima, umidade, e não tenha os dados de vento;

8) São corrigidos todos os dados até cinco dias faltantes. O método de correção é através de médias entre o dia anterior e o dia posterior ao período faltante, como ilustrado abaixo;

```
Estação  Data  Hora  Temp. mínima
... ...  ...   ...
83842  10/02/1961 1200  16.4
83842  11/02/1961 1200  10.0
83842  12/02/1961 1200  9999 --> correção --> (10.0 + 16.0)/2 = 13.0
83842  13/02/1961 1200  9999 --> correção --> (13.0 + 16.0)/2 = 14.5
83842  14/02/1961 1200  9999 --> correção --> (14.5 + 16.0)/2 = 15.25
83842  15/02/1961 1200  16.0
83842  16/02/1961 1200  14.8
... ...  ...   ...
```

Fase 3: Cálculos dos índices, estatísticas e classificação

9) Com os dados já corrigidos, são calculados os índices de conforto térmico;

10) Posteriormente, são realizados alguns cálculos estatísticos para descobrir os máximos, mínimos, média e desvio padrão das temperaturas (máxima e mínima) e do índices de conforto térmico empregado, conforme descrito posteriormente na seção 3.3.2;

11) Os resultados da etapa anterior são analisados individualmente para cada estação e aplicada a metodologia apresentada nas seções 3.3.1 e 3.3.2, para a confecção da tabela de limiares do regime térmico e do conforto térmico;

12) As temperaturas (máxima e mínima) e os índices de conforto térmico são classificados baseado nos limiares calculados na etapa anterior.

3.1.2 Dados de Reanálise

Dados diários de temperatura, pressão ao nível médio do mar, umidade do ar, altura geopotencial e vento em diversos níveis da troposfera, que foram utilizados Etapas 2 e 3 deste trabalho, são provenientes do *Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications* (MERRA-2) (GELARO et al. 2017). Ela faz parte da nova geração de reanálise, desenvolvida pelo Global Modeling and Assimilation Office (GMAO-NASA) com interesse para aplicações em estudos hidroclimáticos. A MERRA-2 foi escolhida para aplicação neste estudo por ser um conjunto de dados bastante recente, além de ter se mostrado representativa para estudos na América do Sul (QUADRO et al., 2018). A Tabela 3.1 apresenta as principais características desse conjunto de dados.

Tabela 3.1 - Principais características do produto de reanálise MERRA-2.

Resolução horizontal	0,5° x 0,625°
Número de níveis	72
Período de Dados	1980 – 2016
Sistema de assimilação de dados	3DVAR

Fonte: Adaptado de Quadro et al. (2018)

3.2 Cidades de Estudo

O principal critério de exclusão de qualquer potencial cidade de estudo foi a disponibilidade e qualidade dos dados observados de estações meteorológicas. Após a filtragem dos dados foi necessário excluir algumas capitais do estudo, devido a interrupções muito longas e recentes na série, foi o caso de Vitória (ES) e Cuiabá (MT). Algumas outras séries tiveram seu período limitado pelo mesmo motivo, sendo que apenas as cidades de Curitiba (PR), São Paulo (SP), Goiânia (GO) e Brasília (DF) integraram o estudo com as séries de desde 1961. As cidades de Campo Grande (MS) e Porto Velho (ES) não possuem conjunto de dados disponíveis no BDMEP. A Tabela 3.2 resume as informações das cidades de estudadas e o período considerado em cada um delas.

Tabela 3.2 – Capitais que integram o estudo, período de dados considerado e altitude da estação.

Cidade	**Sigla**	**Altitude (m)**	**Período**	**Qtd Anos**
Porto Alegre (RS)	POA	47,0	1988 – 2016	29
Florianópolis (SC)	FLP	1,8	2002 – 2016	15
Curitiba (PR)	CTB	923,5	1961 – 2016	56
São Paulo (SP)	SP	792,1	1961 – 2016	56
Rio de Janeiro (RJ)	RJ	11,1	2002 – 2016	15
Belo Horizonte (MG)	BH	915,0	1988 – 2016	29
Goiânia (GO)	GOA	741,5	1961 – 2016	56
Brasília (DF)	BSB	1159,5	1961 – 2016	56
Rio Branco (AC)	RBC	160,0	1997 - 2016	20

Fonte: Produção do autor

3.3 Etapa 1: Climatologia dos Extremos de Temperatura

3.3.1 Tipificação do Regime Térmico

Apresentada por Estella e Trujillo (1989), trata-se de uma metodologia para o estudo das temperaturas extremas diárias, através de um tipo de combinação dos valores máximos e mínimos de uma determinada localidade. Utiliza-se uma tabela de dupla entrada onde as temperaturas máximas são inseridas nas colunas e as temperaturas mínimas nas linhas, agrupadas em uma subdivisão por intervalos de 5°C, de modo a contabilizar a quantidade de dias em cada intervalo de interconexão e calcular suas frequências de ocorrência. A Tabela 3.4 exemplifica o método de tipificação de regime térmico. Cada interconexão passa a representar uma categoria do regime térmico, identificada por uma combinação de letras e números, sendo que as primeiras correspondem aos intervalos de temperatura mínima enquanto que os segundos se referem às temperaturas máximas (Tabela 3.3). As categorias são então classificadas em grupos (ou classes) de acordo com características térmicas em comum, nomeados como Sufocante, Muito Quente, Quente, Temperado, Ligeiramente Frio, Frio, Muito Frio e Especial (dias de grande amplitude térmica), identificados por uma escala de siglas e cores associativa, conforme mostra a Tabela 3.4.

A metodologia deste trabalho se baseou nas tabelas propostas por Estévez et al. (2012), que em seu estudo foram adaptadas do método original para a tipificação do regime térmico em cidades da Espanha. Porém, para aplicação do método em todas as cidades estudadas, fez-se necessário um ajuste dos limiares superiores e inferiores de acordo com a série de dados de temperaturas máxima (Tmax) e mínima (Tmin) de cada uma delas e, consequentemente propor uma nova configuração de categorias e grupos. Ao final, cada cidade obtém limiares específicos, resultando na classificação do regime térmico diário e grupos de categorias formados de acordo com a climatologia local.

Foram então identificados os extremos máximos e mínimos das Tmax e Tmin, calculadas as médias de Tmax e Tmin, bem como seus respectivos desvios padrão na série de cada cidade. Os limiares superiores e inferiores foram definidos basicamente pelos extremos das Tmax e Tmin ajustados a seus múltiplos de 5 mais próximos, de modo a seguir a subdivisão de 5°C proposta pelo método. As médias e desvios padrão foram utilizados apenas como uma checagem estatística complementar, para verificar a

distribuição da série. Após a identificação das categorias, de acordo com a nomenclatura de letras e números (obtendo relação semelhante à Tabela 3.3) uma nova distribuição delas nos grupos é proposta por cidade, respeitando aqueles apresentados em Estévez et al. (2012) (Tabela 3.4). As séries de dados são submetidas as suas respectivas tabelas de classificação do regime térmico, que retornam a frequência de ocorrência em cada categoria e em cada grupo. O fluxograma da implementação deste processo está apresentado na Figura 3.2, correspondendo a Fase 3.

Tabela 3.3 - Tabela de tipificação do regime térmico para uma determinada cidade da Espanha. A escala de cor associada a cada intervalo de interconexão é determinada de acordo com a Tabela 3.5.

Tmin	**Tmax**						
	≤ 10.0	≤ 15.0	≤ 20.0	≤ 25.0	≤ 30.0	≤ 35.0	> 35.0
> 20.0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
≤ 20.0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
≤ 15.0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
≤ 10.0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
≤ 5.0	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
≤ 0.0	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
≤ -5.0	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7

Fonte: Adaptado de Estévez et al. (2012).

Tabela 3.4 – Descrição dos grupos térmicos, com suas siglas e escala de cores associativa.

Cor/Sigla	**Denominação do Grupo**
SUF	Sufocante
MQT	Muito Quente
QTE	Quente
TMP	Temperado
LGF	Ligeiramente Frio
FRI	Frio
MFR	Muito Frio
ESP	Especial
IMP	Impossível

Fonte: Adaptado de Estévez et al. (2012).

3.3.2 Tipificação do Conforto Térmico

Com o intuito de avaliar os extremos diários do conforto térmico humano, o método de tipificação do regime térmico é aplicado utilizando-se índices biometeorológicos no lugar das temperaturas. Foram escolhidos índices cujo cálculo demandava poucas variáveis meteorológicas e as mais comuns, como temperatura, umidade e vento, para que não se excluísse nenhuma cidade devido à indisponibilidade de dados. São eles a Temperatura Efetiva (TE) e a Temperatura Efetiva em função do vento (TEv), já apresentados e descritos na seção 2.14, indicados como os mais utilizados em pesquisas no Brasil, sendo representativos e com boa aplicabilidade para o país (NEDEL, 2008; PALLOTTA, 2012).

Os valores de TE e TEv diários foram calculados tanto para as temperaturas máximas quanto para as mínimas, combinados com os valores médios de UR e vento. Foi efetuada a média desses dois índices, denominada por Temperatura Efetiva Média (TEm) (Equação 3.1). O uso TEm se mostra uma boa alternativa tanto em termos de praticidade de aplicação dentro da metodologia proposta quanto em relação a possível melhora de desempenho dos índices, cuja combinação pode vir a atenuar comportamentos sistemáticos. Apesar de TE e TEv terem fundamentação teórica semelhante, na prática o comportamento de seus resultados podem ser, em alguma situações, contrastantes, uma vez que TE apresenta valores mais homogêneos quando avaliado seu comportamento diurno ou em série uma temporal, enquanto TEv tende a subestimar o conforto térmico em algumas situações de fortes ventos (PALLOTTA, 2012).

$$TE_M = \frac{TE + TE_V}{2} \tag{3.1}$$

Os limiares superior e inferior dos máximos e mínimos de TEm foram determinados para cada cidade seguindo os mesmos critérios descritos na seção anterior para o regime térmico, bem como a identificação das categorias pela combinação de letras e números. A Tabela 3.5 exemplifica o método proposto para o conforto térmico. Uma diferente classificação por grupos é então proposta, agrupando as categorias em zonas de conforto/desconforto térmico, determinadas com base em tabelas encontradas na literatura que listam os diferentes graus de percepção térmica e as respostas fisiológicas

do corpo para valores de TE e TEv (FANGER, 1972; NEDEL, 2008). Ao total são dez grupos, nomeados conforme apresenta a Tabela 3.5, também identificados por uma escala de siglas e cores associativa. Portanto, cada cidade possuíra tabelas específicas da classificação do regime de conforto térmico, ajustadas de acordo com a climatologia local. As séries de TEm são submetidas a essas tabelas para encontrar frequência de ocorrência em cada categoria e em cada grupo, cujo processo de implementação está disposto na Figura 3.2, correspondente a fase 3. Esses resultados, além de mostrarem o comportamento diário do conforto térmico nas cidades, são analisados também em relação aos seus extremos. Os dias nos grupos mais extremos, considerados neste estudo Muito Quente e Quente, para o extremo desconforto ao calor, e Frio e Muito Frio, para o extremo desconforto ao frio, são destacados e comparados aos casos selecionados, como análise complementar da intensidade e impacto destes fenômenos ao ser humano. Vale ressaltar que se a cidade analisada não apresentar dias relacionados nesses grupos citados considera-se que não há extremo desconforto térmico.

Tabela 3.5 – Tabela de tipificação do conforto térmico para os limiares de Florianópolis (SC). A escala de cor associada a cada intervalo de interconexão é determinada de acordo com a tabela 3.6.

TE min	**TE max**								
	< 13	13 a 16	16 a 19	19 a 22	22 a 25	25 a 28	28 a 31	31 a 34	> 34
> 22	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
22 a 19	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
19 a 16	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
16 a 13	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
< 13	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9

Fonte: Produção do Autor.

Tabela 3.6 – Descrição dos grupos de conforto/desconforto térmico, com siglas (todas iniciada por C para identificação), escala de cor associativa e respectivas respostas fisiológicas. A categoria Impossível não é registrada por definição, enquanto que Especial é caracterizada pela alta amplitude térmica.

Cor/Sigla	Denominação do Grupo	Grau de Estresse Fisiológico
CMQ	Muito Quente	Estresse por calor
CQT	Quente	Suor em profusão, falha na termo regulação
CQM	Quente Moderado	Suando
CLQ	Ligeiramente Quente	Ligeiro suor, vasodilatação
CCF	Confortável	Neutralidade térmica
CLF	Ligeiramente frio	Vasoconstrição
CFM	Frio Moderado	Ligeiro resfriamento do corpo
CFR	Frio	Tiritar
CMF	Muito frio	Extremo estresse ao calor
CIP	Impossível	-
CEP	Especial	-

Fonte: Adaptado de Fanger (1972).

3.3.3 Critérios de Seleção dos Casos de Extremo Calor e Frio

Para encontrar os casos de Onda de Calor e Frio que aconteceram nas cidades de estudo, fez-se uso dos resultados da classificação do regime térmico, seguindo um conjunto de critérios propostos que são apresentados a seguir. O cumprimento desses critérios é necessário para garantir a excepcionalidade das ondas de calor e frio selecionadas e a adaptar essa seleção as diversidades do regime térmico de cada cidade.

1) O grupo mais extremo (Sufocante ou Muito Frio) identifica os dias de cada caso; o grupo subsequente (Muito Quente ou Frio) completa e delimita os casos, priorizando suas categorias mais extremas;

2) No caso de não haver dias classificados no grupo mais extremo, o grupo subsequente (Muito Quente ou Frio), em suas categorias mais extremas, identifica os dias de cada caso; os casos são completados e delimitados pelas demais categorias do grupo em questão e/ou pelas categorias mais extremas do grupo seguinte (Quente ou Ligeiramente Frio);

3) Um critério de persistência é utilizado quando pré-selecionados casos de apenas 2 dias:

a. Quando 1 deles pertence ao grupo mais extremo (Sufocante ou Muito Frio) o caso é contabilizado;

b. Quando não o caso não é considerado.

4) A limitação de cada caso (começo e fim) se dá até haver uma interrupção por um dia em um dos grupos ou categorias fora dos critérios adotados (1 ou 2);

5) Se um conjunto de casos for numeroso e forem identificados padrões entre eles, uma divisão por tipos pode ser proposta.

Sobre a contabilização de casos usando o critério de persistência, este estudo julga que mesmo 1 só dia no grupo Sufocante ou Muito Quente tem impacto relevante devido ao caráter extremo que um dia como esse representa. Vale ressaltar que o critério leva em consideração estritamente os grupos citados, mesmo com os casos pre-selecionados pelo critério (2).

Os casos são completados e delimitados (ou identificados, no caso do critério 2) dando prioridade as categorias mais extremas do grupo em questão pois, por não se tratar de um extremo de fato, a frequência de dias nele é relativamente mais alta, o que poderia generalizar a seleção. Entende-se por categoria mais extrema aquelas que combinam os extremos máximos (mínimos) de Tmax e Tmin naquele referido grupo.

Como cada cidade possui limiares e padrões de classificação distintos, algumas particularidades complementares aos critérios principais podem ter surgido no decorrer das análises. Essas situações são descritas de maneira mais específica antes da apresentação dos resultados na seção 4.

3.4 Etapa 2: Validação da Reanálise MERRA-2

De modo a validar a reanálise MERRA-2 em relação à suas temperaturas máxima e mínima, umidade relativa e velocidade do vento, serão utilizados dados diários destas variáveis provenientes das séries de dados do INMET já filtradas (seção 3.2).Foram escolhidas uma cidade de cada região abrangida pela área de estudo, que se destacaram devido à extensão e qualidade de suas séries, sendo elas Curitiba, São Paulo, Goiânia e Rio Branco. Assim, apesar da pouca quantidade comparada à diversidade topográfica e territorial do Centro-Sul do Brasil, há pelo menos alguma representação regional nas análises.

A acurácia dos dados de reanálise é investigada na comparação da série temporal das médias mensais das variáveis observadas em uma estação com a série correspondente ao ponto de grade da reanálise mais próximo da localização daquela estação. Primeiramente é analisada a diferença entre reanálise e observação (REAN - OBS) ao longo da série temporal, onde se pretende identificar os padrões de comportamento sistemáticos, superestimativa ou subestimativa, e a variação das séries ao longo dos anos. A segunda parte da validação consiste em uma análise estatística, fazendo uso de parâmetros como correlação, raiz do erro quadrático médio, desvio padrão e variância para verificar o quão confiáveis são os dados da MERRA-2 para as variáveis estudadas.

O objetivo final desta etapa é avaliar a viabilidade do uso de um conjunto de dados de reanálise, no caso a MERRA-2, como opção aos dados observados para ampliar a abrangência da tipificação do regime térmico e, consequentemente, da identificação dos casos de extremo de temperatura e avaliação do extremo desconforto térmico.

3.5 Etapa 3: Climatologia Sinótica dos Extremos de Temperatura

Nesta etapa o estudo dos extremos de temperatura passa da escala local para a escala sinótica, através de composições dos casos de extremo calor e de extremo frio, que apresentam campos médios de variáveis dinâmicas e termodinâmicas, permitindo uma representação mais completa de suas características de formação e atuação. Também foram elaborados compostos de anomalias, ponderadas de acordo qual a quantidade mensal de casos, que permitiram analisar de uma forma mais aprofundada os padrões sinóticos associados à ocorrência desses eventos de extremos, que vão além da situação média.

3.5.1 Composição de Casos

Definidos os conjuntos de casos em cada cidade (Etapa 1), campos médios do total de eventos extremos de calor e de frio foram então compostos com dados da reanalise MERRA-2 (seção 3.1.2) de diversas variáveis meteorológicas, como pressão ao nível médio do mar (PNMM), temperatura, vento e altura geopotencial em 850, 500 e 200 hPa, umidade do ar e temperatura potencial equivalente em 850 hPa, espessura da camada 1000-500 hPa, entre outras julgadas relevantes no decorrer dos trabalhos. O período de estudo neste caso é de 1980 a 2016, portanto casos ocorridos antes de 1980 não integraram os compostos, assim como cidades cujas séries se iniciaram após esse ano tiveram os compostos restritos a este período. Todos os compostos tiveram 12Z como horário sinótico de referência. Optou-se por calcular as médias respeitando estritamente o inicio e final de cada caso definido na Etapa 1, as datas podem ser consultadas no Apêndice A.

Os resultados foram analisados tanto por cidade quanto por região, sendo agrupados os casos concomitantes do Sul, Sudeste e do Brasil Central, que neste estudo compreende as cidades de Brasília, Goiânia e Rio Branco. Como a metodologia da que serviu de base para a seleção dos casos foi aplicada de forma a se adequar a climatologia local, a quantidade de casos simultâneos entre as cidades foi relativamente baixo e os campos médios gerados pouco representativos. Deste modo as análises dos compostos foram feitas para cada cidade, porém discutidas também de no âmbito regional.

3.5.2 Anomalias Ponderadas

Trata-se de uma diferente abordagem para a identificação dos principais padrões sinóticos que atuam durante em casos de extremo calor e frio, que se adapta ao contexto heterogêneo que a análise desta etapa se propõe. De conceituação e aplicação relativamente simples, a metodologia consistiu em elaborar uma climatologia dos meses onde houve registro de extremos (de calor ou frio), ponderada pela quantidade de casos em cada mês. A anomalia ponderada foi calculada por cidade, consistindo na subtração entre a média de todos os casos da cidade (como efeito na etapa dos compostos) e sua respectiva climatologia ponderada, para as mesmas variáveis meteorológicas abordadas para os compostos. A Figura 3.3 ilustra o método aplicado nesta etapa. A análise dos campos de anomalias gerados foi feita em conjunto com os compostos e permitiu identificar com maior clareza os padrões atuantes.

Figura 3.3 – Fluxograma do cálculo e implementação da anomalia ponderada.

Fonte: Produção do autor

4 CLIMATOLOGIA DOS EXTREMOS DE TEMPERATURA

O presente capítulo apresenta os resultados a cerca da Etapa 1 deste trabalho, onde foram realizadas a tipificação do regime térmico e do conforto térmico e a seleção dos extremos de calor e frio para cada cidade. Ele se divide de acordo com as regiões pré-definidas para estudo: Sul, Sudeste e Brasil Central.

4.1 Região Sul

4.1.1 Tipificação do Regime Térmico

As tabelas a seguir apresentam os resultados detalhados a cerca da tipificação do regime térmico para a cidade de Curitiba (Tab. 4.1a), Florianópolis (Tab. 4.1) e Porto Alegre (Tab. 4.1c). Também é apresentada a divisão por grupos com características térmicas semelhantes, ou simplesmente grupos térmicos (Tab. 4.2). A Figura 4.1 exibe graficamente os principais resultados a serem discutidos.

O grupo com a maior frequência de ocorrência para as três capitais é QTE (CTB 41,6%, FLP 43,2%, POA 35,9%). Trata-se de um resultado surpreendente para as capitais do Sul do país, principalmente por Florianópolis e Porto Alegre ainda terem MQT na sequência, com 31,9% e 26,9% dos dias contabilizados, respectivamente. No caso de Curitiba, que das capitais estudadas é a de maior altitude e têm registros das temperaturas mais baixas, TMP vem em segundo lugar na frequência de ocorrência, com 39%. Vale ressaltar que apesar de Florianópolis ter uma série de dados menor comparada às outras capitais (12 anos), seus resultados seguem uma tendência similar.

Em relação aos extremos de temperatura, Curitiba não apresentou dias em SUF, sendo o grupo mais extremo para o calor, portanto, MQT com 5,9% de ocorrência. Para os extremos de frio houve ocorrências nos dois grupos inferiores, FRI com 1,35% dos dias estudados e MFR com 0,025%, este último correspondendo a 5 dias de toda a série. Nota-se que os extremos de calor se destacam em porcentagem de ocorrência em relação aos de frio.

Não houve dias classificados como MFR na série de Florianópolis, portanto o grupo mais extremo para o frio a ser considerado foi FRI, com 0,7%, enquanto que LGF apresentou baixa frequência de ocorrência, com 2,2% dos dias. Por outro lado, o grupo de extremo calor (SUF) reuniu 16 dias, o que corresponde a 0,3% da série. Trata-se uma

porcentagem relativamente expressiva para um extremo, ainda mais considerando que a classe MFR não apresentou dias relacionados.

Em Porto Alegre houve uma quantidade expressiva de dias no grupo mais extremo de calor (SUF), 274 ao total (2,7%). Ao considerar que a cidade não teve dias classificados no extremo oposto da tabela (MFR) e que seu grupo mais extremo de frio teve uma porcentagem de ocorrência relativamente baixa (FRI - 1,1%), há indícios para entender que os extremos de calor em Porto Alegre tem um impacto maior tanto em duração quanto em intensidade do que os extremos de frio.

Tabela 4.1 - Tabela de tipificação do regime térmico para (a) Curitiba, (b) Florianópolis e (c) Porto Alegre com a frequência de ocorrência (%) em cada categoria. As categorias podem ser identificadas pela combinação da letra referente a Tmin (linhas) com o número referente a Tmax (colunas). A escala de cor associada a cada categoria é determinada de acordo com a Tabela 4.2.

(a)

Tmin		Tmax						
		1	2	3	4	5	6	7
		< 10.0	10 a 15	15 a 20	20 a 25	25 a 30	30 a 35	> 35.0
A	> 20.0	0	0	0	0,02	0,43	0,59	0
B	20 a 15	0	0	0,72	9,09	20,44	4,89	0,01
C	15 a 10	0	0,66	10,83	18,37	10,84	1,11	0
D	10 a 5	0,05	2,47	6,06	6,91	1,95	0,05	0
E	5 a 0	0,10	0,78	1,69	1,28	0,18	0,01	0
F	0 a -5	0,02	0,17	0,24	0,05	0	0	0
G	< -5.0	0	0,01	0,02	0	0	0	0

(b)

T min		T max						
		1	2	3	4	5	6	7
		< 10.0	10 a 15	15 a 20	20 a 25	25 a 30	30 a 35	> 35
A	> 25.0	0	0	0	0	0	0,33	0,22
B	25 a 20	0	0	0	1,48	17,51	12,06	0,28
C	20 a 15	0	0	2,00	20,22	19,05	2,02	0,02
D	15 a 10	0	0,19	5,08	11,80	2,34	0,11	0
E	10 a 5	0	0,24	1,89	2,76	0,06	0	0
F	< 5	0	0	0,43	0,09	0	0	0

(c)

T min		T Max							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		< 10.0	10 a 15	15 a 20	20 a 25	25 a 30	30 a 35	35 a 40	> 40
A	> 25.0	0	0	0	0	0	0,13	0,24	0,01
B	25 a 20	0	0	0	0,67	7,08	9,94	2,40	0
C	20 a 15	0	0	1,29	10,06	16,23	9,05	0,73	0
D	15 a 10	0	0,55	7,29	10,66	7,76	1,15	0,01	0
E	10 a 5	0,02	2,02	5,48	3,89	0,79	0,01	0	0
F	5 a 0	0,04	1,04	1,17	0,27	0	0	0	0
G	< 0	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0

Fonte: Produção do autor

Tabela 4.2 - Descrição dos grupos térmicos, com siglas e escala de cor associadas, e o total de dias em cada um deles para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre. As séries de dados somam, respectivamente, 19.861, 5390 e 10.318 dias.

Cor/Sigla	Denominação do Grupo	Total (dias) CTB	Total (dias) FLP	Total (dias) POA
SUF	Sufocante	0	16	274
MQT	Muito Quente	1181	1722	2779
QTE	Quente	8302	2329	3703
TMP	Temperado	7784	1170	2468
LGF	Ligeiramente Frio	2438	117	979
FRI	Frio	270	36	115
MFR	Muito Frio	5	0	0
ESP	Especial	1	0	0
IMP	Impossível	0	0	0

Fonte: Produção do autor

Figura 4.1 – Frequência de ocorrência (%) em cada grupo térmico para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre.

Fonte: Produção do autor

4.1.2 Tipificação do Conforto Térmico

Os resultados da tipificação do conforto térmico estão apresentados na Tabela 4.3 (a- CTB; b- FLP; c- POA) e resumidos no gráfico da Figura 4.2. Esta análise permite inferir que a maioria dos dias nas três cidades, para seus respectivos períodos estudados, apresenta ligeiro desconforto para o frio (CTB 30,9%; FLP 27,3%; POA 24,5%). Também se destaca a quantidade de dias termicamente confortáveis em Florianópolis (24%) e Porto Alegre (18,7%), além de um maior desconforto para o frio em Curitiba, uma vez que há uma frequência expressiva de dias nos grupos CFR (27%) e CFM (20%). Com isso é possível observar que mesmo a tipificação do regime térmico das cidades tendo apontado uma maior proporção de dias no grupo QTE, a sensação térmica é no geral de dias mais frescos, evidenciando a influência do vento e/ou da umidade relativa do ar que proporcionam uma maior sensação de conforto em algumas situações de calor, independente do valor absoluto da temperatura.

Com os limiares de conforto térmico de Curitiba não foram registrados dias no grupo de extremo desconforto ao calor (CMQ), enquanto que para os demais grupos de calor a frequência de ocorrência foi bastante baixa. Apenas 0,005% dos dias analisados apresentaram desconforto ao calor (CQT) e 0,05% desconforto moderado ao calor (CQM), somando 10 dias no total da série.

Foram identificados para Florianópolis dias de intenso desconforto ao calor nos dois grupos superiores (CMQ - 0,09% e CQT - 0,74%), que representam 45 dias no total da série. Nota-se, de forma geral, uma maior porcentagem de ocorrência de desconforto ao frio do que ao calor quando comparados todos os grupos. Aqueles de extremo desconforto ao frio apresentaram frequências expressivas, sendo CFR com 11,7% e a CMF com 6,9% dos dias.

Em Porto Alegre os dias de intenso desconforto ao calor tiveram frequência de ocorrência expressiva, pelo menos em relação ao observados nas demais capitais. A classe mais extrema (CMQ) conta com 0,29% e a subsequente (CQT) com 2,07%, resultando em 244 dias no total da série. Ainda assim o extremo desconforto ao frio se destaca, sendo que os grupos CMF e CFR possuem, respectivamente, 5,8% e 19,1% de ocorrências.

Tabela 4.3 - Tabela de tipificação do conforto térmico para (a) Curitiba, (b) Florianópolis e (c) Porto Alegre com a frequência de ocorrência (%) em cada categoria. As categorias podem ser identificados pela combinação da letra referente a TEm min (linhas) com o número referente a TEm max (colunas). A escala de cor associada a cada categoria é determinada de acordo com a Tabela 4.4.

(a)

TEm min		TEm max							
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
		< 13	13 a 16	16 a 19	19 a 22	22 a 25	25 a 28	28 a 31	> 31
A	22 a 19	**0**	**0**	**0**	**0**	**0,11**	**0**	**0,01**	**0,01**
B	19 a 16	**0**	**0**	**0,01**	**0,24**	**1,06**	**2,45**	**1,02**	**0,03**
C	16 a 13	**0**	**0,03**	**0,91**	**3,47**	**7,23**	**8,17**	**1,46**	**0,02**
D	< 13	**7,38**	**10,56**	**16,37**	**19,13**	**14,37**	**5,59**	**0,53**	**0,01**

(b)

TEm min		TEm max								
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
		< 13	13 a 16	16 a 19	19 a 22	22 a 25	25 a 28	28 a 31	31 a 34	> 34
A	> 22	**0**	**0**	**0**	**0**	**0,02**	**0,07**	**0,26**	**0,11**	**0,02**
B	22 a 19	**0**	**0**	**0**	**0,04**	**1,30**	**5,05**	**4,66**	**0,61**	**0,07**
C	19 a 16	**0**	**0**	**0,17**	**3,15**	**8,48**	**10,30**	**2,91**	**0,19**	**0,02**
D	16 a 13	**0**	**0,07**	**3,28**	**8,91**	**9,78**	**3,91**	**0,43**	**0**	**0**
E	< 13	**1,30**	**5,58**	**11,63**	**12,15**	**4,69**	**0,76**	**0,07**	**0**	**0**

(c)

TEm min		TEm max								
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
		< 13	13 a 16	16 a 19	19 a 22	22 a 25	25 a 28	28 a 31	31 a 34	> 34
A	> 22	**0**	**0**	**0**	**0**	**0,01**	**0,09**	**0,21**	**0,19**	**0,06**
B	22 a 19	**0**	**0**	**0**	**0,02**	**0,76**	**2,30**	**3,36**	**1,78**	**0,23**
C	19 a 16	**0**	**0**	**0,14**	**1,68**	**4,21**	**6,57**	**5,96**	**1,78**	**0,10**
D	16 a 13	**0**	**0,16**	**1,73**	**4,21**	**6,43**	**6,48**	**3,32**	**0,41**	**0,01**
E	< 13	**5,76**	**8,03**	**10,88**	**10,36**	**8,14**	**3,98**	**0,63**	**0,03**	**0**

Fonte: Produção do autor

Tabela 4.4 - Descrição dos grupos de conforto/desconforto térmico, com siglas (todas iniciada por C para identificação) e escala de cor associadas, e o total de dias em cada um deles para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre. As séries de dados somam, respectivamente, 19.861, 5390 e 10.318 dias.

Cor/Sigla	Denominação do Grupo	Total (dias) CTB	Total (dias) FLP	Total (dias) POA
CMQ	Muito Quente	-	5	30
CQT	Quente	1	40	214
CQM	Quente Moderado	10	275	596
CLQ	Ligeiramente Quente	494	456	1204
CCF	Confortável	2440	1298	1925
CLF	Ligeiramente frio	6172	1473	2523
CFM	Frio Moderado	4004	841	1261
CFR	Frio	5385	631	1968
CMF	Muito frio	1474	371	594
CIP	Impossível	0	0	0
CEP	Especial	1	0	3

Fonte: Produção do autor

Figura 4.2 - Frequência de ocorrência (%) em cada grupo de conforto/desconforto térmico para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre.

Fonte: Produção do autor

4.1.3 Seleção dos Casos de Extremo Calor e Frio

4.1.3.1 Curitiba

Para a seleção dos casos de extremo calor em Curitiba foi utilizado o critério 2 (seção 3.3), pois não houve registro de dias em SUF. Portanto as categorias A6, B7 e C7 (Tab. 4.1a) em MTQ foram usadas para identificar os casos, enquanto que intervalos inferiores, como B6 e B5 (Tab. 4.1a), foram considerados para completa-los e delimita-los. Os casos de extremo frio foram selecionados levando em consideração os critérios 1 e 2 (seção 3.3.3) simultaneamente, pois os grupos mais extremos, MFR e FRI, tiveram porcentagens de ocorrência relativamente baixas (0,025% e 1,35%, respectivamente). Alguns dias em LGF foram utilizados para completar os casos pré-selecionados, nas categorias C2, D2, D3, E3 (Tab. 4.1a). O critério de persistência (3b) foi utilizado tanto na seleção dos extremos de calor quanto no de extremos frio.

Figura 4.3 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para Curitiba entre 1961 e 2016.

Fonte: Produção do autor

A Figura 4.3 apresenta a distribuição dos casos de frio e calor identificados para Curitiba nos 56 anos estudados. Foram 47 casos de extremos de calor para a cidade, notando-se entre os anos 60 e 90 uma distribuição quase regular de ocorrência, entre 5 e 7 casos a cada década. A partir dos anos 2000 é possível observar um aumento na frequência de ocorrência desses extremos, sendo que só de 2010 a 2016 foram contabilizados 18 casos, bem como uma tendência de concentração dos casos mais duradouros (Apêndice A). O caso de maior duração ocorreu entre janeiro e fevereiro de

2014, com 26 dias no total, sendo 11 deles classificados na categoria mais extrema (A6 – Tab. 4.1a). O segundo maior, no entanto, ocorreu entre janeiro e fevereiro de 1971, porém com apenas 1 dia em A6.

Os extremos de calor ocorrem em sua maioria nos meses de verão (DJF) em Curitiba (Apêndice A). Dos casos registrados fora deste período destacam-se o mês de novembro, com duas ocorrências na década de 90, o mês de abril, com duas ocorrências em 2016 e o mês de setembro, com uma ocorrência apenas em 2015.

Foram identificados 69 de extremos de frio para a cidade de Curitiba de 1961 a 2016, com pelo menos um caso a cada 2 anos no geral. A distribuição desses casos ao longo dos anos é praticamente uniforme até o final da década de 90, sendo que neste período há uma leve tendência de haver mais de um caso em um mesmo ano. A partir da década de 2000 nota-se uma diminuição na frequência dos casos, com apenas 7 ocorrências. Porém nesta década foi registrado o extremo de frio mais extenso, em julho de 2000, com 16 dias de duração. De 2010 a 2016 foram contabilizados 6 casos, sendo que em um deles foi registrado a temperatura máxima mais baixa de toda a série, 7,1°C, em julho de 2013.

Os extremos de frio se concentram nos meses de inverno (JJA) (Apêndice A), porém alguns poucos ocorreram nos meses de abril (1 caso), maio (5 casos) e no início de setembro (3 casos), antes do equinócio de primavera. Mesmo assim os casos citados são expressivos tanto relação a duração quanto aos extremos de temperatura, sendo que a temperatura mínima de toda a série foi encontrada em um deles (-5,4°C em setembro de 1972).

4.1.3.2 Florianópolis

A seleção de casos de extremo calor em Florianópolis se guiou pelo critério 1 (seção 3.3.3), com as categorias A6, B6 e C7 (Tab. 4.1b), as mais extremas de MQT, para completar os episódios e o critério de persistência aplicado em seu item (a). A série estudada para a cidade não apresentou dias em MFR, portanto a busca pelos casos de extremo frio foi feita com base no critério 2 (seção 3.3.3), também sendo necessário aplicar o critério de persistência, mas neste caso em seu item (b). A Figura 4.4 apresenta a distribuição dos casos de frio e calor para a cidade.

Figura 4.4 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para Florianópolis entre 2002 e 2016.

Fonte: Produção do autor

Foram identificados 14 casos de extremos de calor para a cidade de Florianópolis nos 15 anos estudados. Os casos selecionados, de uma forma geral, tem longa duração, na média de 8 a 10 dias, sendo que três ocorrências ultrapassaram os 15 dias de calor intenso. Devido à limitação temporal da série não é possível tirar maiores conclusões sobre a frequência de ocorrência desses episódios ao longo dos anos, porem nota-se que alguns em específicos concentraram mais de um caso, como 2002, 2012, 2015 e 2016. Nesta série estudada apenas um caso, em 2002, não aconteceu nos meses de verão (DJF).

Os casos de extremo frio foram apenas 8 nos 12 anos estudados para a cidade, sendo que todos ocorreram nos meses correspondentes ao inverno austral (JJA). Apenas 2011 apresentou mais de um caso em um mesmo ano. A duração dos episódios selecionados varia entre 3 e 6 dias (Apêndice A).

4.1.3.3 Porto Alegre

Em Porto Alegre a seleção de casos de extremo calor fez uso do critério 1 (seção 3.3.3), com as categorias A6, B6 e C7 (Tab. 4.1c) de MQT para completar e delimitar os episódios. Ao longo do processo de seleção foram identificados alguns padrões entre os episódios de extremos de calor, sendo possível então separá-los em três tipos, conforme descrito abaixo:

1) Casos com duração maior do que 3 dias com mais de um dia em SUF;
2) Casos com duração maior do que 3 dias com um deles em SUF;
3) Até 3 dias de duração com pelo menos um dia em SUF.

O conjunto de dados analisados para a cidade não apresentou dias em MFR, portanto a busca pelos casos de extremo frio foi guiada pelo critério 2 (seção 3.3.3), com as categorias mais extremas de LGF (D2, E2, E3, F3 – Tab. 4.1c) para completá-los quando necessário. O critério de persistência foi utilizado em seu item (b). A Figura 4.5 representa graficamente a quantidade de casos de extremo calor e frio ao longo da série temporal, enquanto a Figura 4.6 apresenta a distribuição dos casos de calor de acordo com os três tipos determinados.

Figura 4.5 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para Porto Alegre entre 1988 e 2016.

Fonte: Produção do autor

\

Figura 4.6 - Distribuição dos casos de extremo calor para Porto Alegre entre 1988 e 2016 divididos nos tipos 1 (azul), 2 (vermelho) e 3 (verde).

Fonte: Produção do autor

Foram identificados 87 casos de extremos de calor para a cidade de Porto Alegre dos anos de 1988 a 2016, sendo 40 casos do tipo 1, 29 casos do tipo 2 e 18 caso do tipo 3. De forma geral os casos são bem distribuídos, com pelo menos 1 a cada ano, sendo bastante comum ocorrer mais do que um por ano, normalmente de tipos diferentes. A grande maioria dos episódios ocorre nos meses de verão (DJF), mas são notados casos expressivos nos meses que circundam essa estação (novembro e março) e até em meses de estações de transição, como abril, agosto e setembro.

O tipo 1 concentrou os casos mais longos entre todos os identificados, com média de 13 dias de duração, entre eles o mais extenso de toda a série ocorrido em 2014, entre o final de janeiro e meados de março, com 45 dias seguidos de temperaturas extremamente altas. Além disso, nota-se que os casos deste tipo têm temperaturas tanto máximas quanto mínimas mais altas que os demais. Isto leva a inferir que, de forma geral, que os casos de extremo calor pertencentes ao tipo 1 são os mais intensos referentes a série estudada para Porto Alegre. Por outro lado, no tipo 3, que reuniu casos de curta duração por característica, foram identificados extremos máximos de temperatura máximas e mínimas menores do que nos outro dois tipos.

Os casos de extremo frio somaram 26 ocorrências em Porto Alegre nos 29 anos da série, sendo no geral uma a cada 2 anos. Todos os episódios identificados estão compreendidos nos meses do inverno austral (JJA) e tem duração média de 8 dias. O caso mais longo identificado é do ano de 1996, com 18 dias de temperaturas no limiar de extremo frio para a cidade. Os valores mais baixos de temperatura máxima e mínima

também aconteceram nos anos 90, sendo o primeiro no início da década (julho de 1990) e o segundo em julho de 1993.

4.1.3.4 Avaliação do Extremo Desconforto Térmico

Os casos selecionados nas três capitais também foram avaliados em relação ao extremo desconforto térmico. Identificaram-se os dias em cada caso com esta característica, tendo como base os grupos mais extremos da Tabela 4.4. Deste modo, para Porto Alegre e Florianópolis os grupos CMQ e CQT foram analisados, porém em Curitiba a análise foi feita com apenas CQT, uma vez que o grupo mais extremo de desconforto ao calor não teve dias relacionados. Os dias de extremo desconforto ao frio, por sua vez, foram associados aos casos tendo como base CMF nas três cidades (Tab. 4.4). A seguir, a Figura 4.7 resume a contabilização dos casos de calor e frio identificados nas seções anteriores e apresenta também a quantidade deles onde houve extremo desconforto térmico.

Figura 4.7 - Total de casos de extremo calor (a) e frio (b) para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre, com quantidade de casos com extremo desconforto térmico associado.

Fonte: Produção do autor

Cada uma das três capitais estudadas apresentou relações diferentes entre os casos de extremo calor selecionados e a associação com o desconforto térmico. Em Curitiba nenhum dos 47 casos apresentou associação com o extremo desconforto ao calor, sendo que o único dia relacionado em CQT estava associado a um período que não preencheu requisitos suficientes para ser contabilizados como casos de extremo calor.

Em Florianópolis, por outro lado, 12 dos 14 casos selecionados apresentaram relação com o extremo desconforto ao calor. Destaca-se uma ocorrência em fevereiro de 2016, que é o mais longo caso identificado e também que possui a maior quantidade de dias

de extremo desconforto ao calor. Um fato interessante constatado é que todos os dias em CMQ foram associados a algum dos dias dos casos selecionados, em sua maioria aqueles em SUF. O grupo CQT também foi analisado nesse aspecto, e grande parte de seus dias puderam ser associados aos períodos de temperaturas extremas.

Mais da metade dos episódios de extremo calor em Porto Alegre teve extremo desconforto térmico associado. Os casos relacionados no tipo 1 em sua maioria apresentaram uma quantidade considerável de dias que foram classificados em CMQ ou CQT, como um caso entre janeiro e fevereiro de 2014 de 17 dias de duração onde 14 tiveram extremo desconforto associado. O tipo 3, por sua vez, foi o que teve menos casos associados com o desconforto extremo. Assim como em Florianópolis, notou-se que todos os dias pertencentes a SUF apresentaram extremo desconforto térmico associado. Isso pode indicar que em casos de temperaturas extremamente altas o índices de conforto térmico aplicado (TEm) consegue identificar com relativa segurança o extremo desconforto ao calor nessas cidades.

A relação da tipificação do conforto térmico com os casos de extremo frio selecionados se deu de forma bastante direta nas três cidades estudadas. Conforme mostra a Figura 7b, praticamente todos os casos apresentaram associação com o extremo desconforto ao frio, exceto apenas por 2 casos em Curitiba, de junho de 1972 e de 2004. Além disso, nesses casos identificados houve uma grande quantidade de dias com extremo desconforto ao frio associado, inclusive casos mais longos como de julho de 2000 em Curitiba, onde 14 dos 16 dias de duração tiveram esta característica, e junho de 1996 em Porto Alegre onde metade dos 18 dias de duração da onda de frio foi termicamente desconfortáveis.

Vale ressaltar que parte dos dias em CMF das três capitais estiveram relacionados a outros períodos que não aos de extremo frio selecionados, o que pode indicar que o extremo desconforto ao frio vai além dos limiares de frio do regime térmico.

4.2 Região Sudeste

4.2.1 Tipificação do Regime Térmico

As Tabelas 4.5a, 4.5b e 4.5c apresentam em detalhes os resultados da tipificação do regime térmico para as cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, respectivamente. A Tabela 4.6 traz a divisão por grupos com características térmicas semelhantes, ou simplesmente grupos térmicos, com a quantidade de dias em cada para as três cidades. Os principais resultados a serem discutidos estão resumidos graficamente na Figura 4.8.

O grupo QTE apresentou a maior frequência de ocorrência nas três cidades estudadas para o Sudeste (SP 41,2%, RJ 53,5%, BH 60,1%). Na sequência, o destaque é TMP, com frequência expressiva em São Paulo, de 39,5%, enquanto que no Rio de Janeiro e em Belo Horizonte possuem neste grupo, respectivamente, 16,3% e 12,2%. Observa-se, portanto, que em São Paulo e Belo Horizonte cerca de 80% dos dias são classificados termicamente entre Quentes e Temperados, com a primeira apresentando uma melhor divisão entre os grupos enquanto a segunda tem uma maior quantidade de dias quentes. No Rio de Janeiro, que das capitais é a única localizada ao nível do mar e tem registros recorrentes de altas temperaturas, destaca-se também a quantidade de dias em MQT, com 12,2% do total.

Em relação aos extremos de temperatura, São Paulo apresentou uma distribuição semelhanter tanto para o calor quanto para o frio, porém com baixa frequência de ocorrência, sendo 24 dias relacionados em SUF (0,12%) e 18 em MFR (0,09%). Os grupos complementares aos extremos, MQT e FRI, tiveram porcentagens relativamente mais altas e da mesma ordem de grandeza entre elas, com 5,1% e 3,2%, respectivamente.

No Rio de Janeiro destaca-se a expressiva porcentagem de dias de extremo calor, com 9,2% em SUF, e a baixíssima frequência dos extremos de frio. Não houve dias relacionados em MFR e o grupo FRI, que representa o extremo frio da cidade, contabilizou apenas 3 dias, confirmando que os dias de extremos de calor são muito mais frequentes.

Belo Horizonte também teve, de forma geral, baixa frequência na ocorrência dos extremos de temperatura. Para a situação de calor foram 27 dias contabilizados em SUF

(0,26%) e apenas 1 dia na categoria mais extrema para o frio, MFR. Nota-se que, apesar de poucos, os extremos de calor na cidade tem uma presença maior do que os de frio, o que é enfatizado quando se comparam os grupos complementares aos extremos, com MQT tendo 11% do total de dias e FRI com 0,08%.

Tabela 4.5 - Tabela de tipificação do regime térmico para (a) São Paulo, (b) Rio de Janeiro e (c) Belo Horizonte com a frequência de ocorrência (%) em cada categoria. As categorias podem ser identificadas pela combinação da letra referente a Tmin (linhas) com o número referente a Tmax (colunas). A escala de cor associada a cada categoria é determinada de acordo com a Tabela 4.6.

(a)

Tmin		**Tmax**						
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
		< 10	10 a 15	15 a 20	20 a 25	25 a 30	30 a 35	> 35
A	> 25	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0,01**	**0**
B	25 a 20	**0**	**0**	**0**	**0,19**	**3,49**	**5,04**	**0,12**
C	20 a 15	**0**	**0**	**1,24**	**13,60**	**26,74**	**9,90**	**0,09**
D	15 a 10	**0**	**0,47**	**7,41**	**14,63**	**10,81**	**0,86**	**0**
E	10 a 5	**0,01**	**0,60**	**1,97**	**2,13**	**0,44**	**0,01**	**0**
F	< 5	**0**	**0,09**	**0,13**	**0,03**	**0,01**	**0**	**0**

(b)

Tmin		**Tmax**					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
		< 20	20 a 25	25 a 30	30 a 35	35 a 40	> 40
A	> 25	**0**	**0**	**0,27**	**6,16**	**8,47**	**0,64**
B	25 a 20	**0**	**2,35**	**21,25**	**27,32**	**6,07**	**0,11**
C	20 a 15	**0,27**	**8,08**	**13,85**	**4,43**	**0,21**	**0**
D	< 15	**0,07**	**0,32**	**0,14**	**0**	**0**	**0**

(c)

Tmin		**Tmax**					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
		< 15	15 a 20	20 a 25	25 a 30	30 a 35	> 35
A	> 20	**0**	**0**	**0,25**	**9,21**	**11,10**	**0,26**
B	20 a 15	**0**	**0,38**	**13,75**	**42,29**	**8,56**	**0,01**
C	15 a 10	**0,01**	**0,70**	**7,49**	**5,62**	**0,08**	**0**
D	< 10	**0,01**	**0,07**	**0,20**	**0,03**	**0**	**0**

Fonte: Produção do autor

Tabela 4.6 - Descrição dos grupos térmicos, com siglas e escala de cor associadas, e o total de dias em cada um deles para São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. As séries de dados somam, respectivamente, 19.862, 4382 e 10.586 dias.

Cor/Sigla	Denominação do Grupo	Total (dias) SP	Total (dias) RJ	Total (dias) BH
SUF	Sufocante	24	404	27
MQT	Muito Quente	1020	536	1176
QTE	Quente	8179	2343	6366
TMP	Temperado	7843	716	2080
LGF	Ligeiramente Frio	2148	380	928
FRI	Frio	630	3	8
MFR	Muito Frio	18	0	1
ESP	Especial	0	0	0
IMP	Impossível	0	0	0

Fonte: Produção do autor

Figura 4.8 - Frequência de ocorrência (%) em cada grupo térmico para São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte.

Fonte: Produção do autor

4.2.2 Tipificação do Conforto Térmico

Os resultados completos da tipificação do conforto térmico estão apresentados na Tabela 4.7 (a- SP; b- RJ; c- BH), resumidos na Tabela 4.8 e no gráfico da Figura 4.9. Nesta análise, os grupos mais frequentes para São Paulo e Belo Horizonte foram CLF (SP 33%; BH 28,2%) e CCF (SP 22,2%; BH 43%). Nota-se, portanto, que mesmo o regime térmico indicando uma maior proporção de dias quentes nessas cidades, a sensação térmica é de dias mais frescos, devido principalmente à ação do vento, que atenua a sensação de calor em temperaturas mais elevadas. Vale ressaltar que São Paulo apresenta uma maior tendência ao desconforto para o frio comparado a Belo Horizonte, pois além de ter os dias em CLF como os mais frequentes de sua série, tem porcentagem expressiva de dias em outros grupos de desconforto ao frio (CFM 16,6%; CFR 11,3%).

O Rio de Janeiro teve 30,6% dos dias classificados como termicamente confortáveis (CCF), sendo este o grupo mais frequente dentre todos, seguido pelo ligeiro desconforto ao calor (CLQ 22,5%). Destaca-se para esta cidade a tendência de um maior desconforto ao calor, já que outros grupos como CQM e CQT tem frequência de ocorrência expressiva (13,8 e 10,5%, respectivamente). Este resultado vai de encontro com o perfil térmico encontrado para o Rio de Janeiro na seção anterior, que destacou uma alta porcentagem de dias quentes e muito quentes, além da grande quantidade de extremos de calor. O fato de a cidade estar ao nível do mar e ser litorânea, a grande quantidade de umidade disponível no ar ajuda a reter o calor, o que pode ser um dos fatores para essa maior sensação de desconforto em relação às demais cidades estudadas, que tem maior altitude.

O extremo desconforto ao calor foi pouco relevante na série estudada para São Paulo, não havendo dias registrados no grupo mais extremo CMQ, enquanto que o grupo subsequente, CQT relacionou apenas 8 dias (0,04%). Por outro lado, o extremo desconforto ao frio se mostrou expressivo, com 9,8% dos dias classificados em CMF, corroborando com a tendência já observada na análise geral do desconforto ao frio ser mais presente na cidade.

Em Belo Horizonte não houve registro de dias de extremo desconforto ao calor, uma vez que os grupos CMQ e CQT tiveram frequências de ocorrência nulas. Foi possível encontrar dias de extremo desconforto ao frio, apesar de este se mostrar pouco relevante

na cidade, com o CMF reunindo apenas 56 dias, o que representa 0,5% do total de sua série.

No Rio de Janeiro o extremo desconforto ao calor foi predominante em relação ao frio, com 88 dias de sua série, que dentre as cidades do Sudeste era a mais curta, relacionados em CMQ (2%), além da expressiva porcentagem dos demais grupos de desconforto ao calor, já citadas anteriormente. A respeito do extremo desconforto ao frio, não houve dias no grupo CMF e o grupo subsequente, FRI, teve apenas 0,8% dos dias relacionados.

Tabela 4.7 - Tabela de tipificação do conforto térmico para (a) São Paulo, (b) Rio de Janeiro e (c) Belo Horizonte com a frequência de ocorrência (%) em cada categoria. As categorias podem ser identificados pela combinação da letra referente a TEm min (linhas) com o número referente a TEm max (colunas). A escala de cor associada a cada categoria é determinada de acordo com a Tabela 4.8.

(a)

TEm min		TEm Max								
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
		< 13	13 a 16	16 a 19	19 a 22	22 a 25	25 a 28	28 a 31	31 a 34	> 34
A	> 19	**0**	**0**	**0**	**0**	**0,05**	**0,25**	**0,45**	**0,04**	**0**
B	19 a 16	**0**	**0**	**0,02**	**1,02**	**3,58**	**7,90**	**4,01**	**0,09**	**0**
C	16 a 13	**0**	**0,05**	**1,70**	**4,91**	**9,67**	**10,31**	**2,23**	**0,04**	**0,01**
D	< 13	**3,12**	**6,67**	**11,22**	**14,86**	**13,34**	**4,08**	**0,39**	**0,01**	**0**

(b)

TEm min		TEm Max							
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
		< 16	16 a 19	19 a 22	22 a 25	25 a 28	28 a 31	31 a 34	> 34
A	> 25	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0,18**	**0,39**	**0,09**
B	25 a 22	**0**	**0**	**0**	**0,14**	**2,21**	**7,12**	**9,47**	**1,92**
C	22 a 19	**0**	**0**	**0,09**	**5,09**	**11,96**	**14,58**	**5,80**	**0,66**
D	19 a 16	**0**	**0,09**	**3,79**	**8,67**	**13,21**	**5,73**	**0,66**	**0**
E	16 a 13	**0,02**	**0,46**	**2,33**	**3,40**	**1,28**	**0,18**	**0,02**	**0**
F	< 13	**0**	**0,07**	**0,23**	**0,16**	**0**	**0**	**0**	**0**

(c)

TEm min		TEm max							
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
		< 13	13 a 16	16 a 19	19 a 22	22 a 25	25 a 28	28 a 31	> 31
A	> 19	**0**	**0**	**0**	**0**	**0,16**	**1,21**	**0,75**	**0**
B	19 a 16	**0**	**0**	**0,06**	**1,92**	**11,41**	**22,55**	**2,98**	**0,03**
C	16 a 13	**0**	**0**	**0,95**	**7,24**	**18,57**	**8,90**	**0,37**	**0**
D	< 13	**0,04**	**0,49**	**4,27**	**10,42**	**7,28**	**0,42**	**0**	**0**

Fonte: Produção do Autor

Tabela 4.8 - Descrição dos grupos de conforto/desconforto térmico, com siglas (iniciada por C para identificação) e escala de cor associadas, e o total de dias em cada um deles para São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. As séries de dados somam, respectivamente, 19862, 4382 e 10586 dias.

Cor/Sigla	Denominação do Grupo	Total (dias) SP	Total (dias) RJ	Total (dias) BH
CMQ	Muito Quente	0	88	-
CQT	Quente	8	461	0
CQM	Quente Moderado	107	603	82
CLQ	Ligeiramente Quente	1295	988	482
CCF	Confortável	4417	1340	4554
CLF	Ligeiramente frio	6559	589	2984
CFM	Frio Moderado	3293	279	1976
CFR	Frio	2238	34	452
CMF	Muito frio	1943	0	56
CIP	Impossível	0	0	0
CEP	Especial	0	0	0

Fonte: Produção do Autor

Figura 4.9 - Frequência de ocorrência (%) em cada grupo de conforto/desconforto térmico para São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte.

Fonte: Produção do Autor

4.2.3 Seleção dos Casos de Extremo Calor e Frio

4.2.3.1 São Paulo

Os casos de extremos de calor e frio foram selecionados para São Paulo seguindo o critério 1 (seção 3.3.3), com as categorias mais extremas de MQT, A6 e C7 (Tab. 4.8a), para completar os casos de calor, e D2, E2 e F3 (Tab. 4.8a), as mais extremas de FRI, para completar e delimitar os casos de frio. A Figura 4.10 apresenta a distribuição dos casos ao longo da série da cidade.

Figura 4.10 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para São Paulo entre 1961 e 2016.

Fonte: Produção do autor

Foram 9 casos de extremo calor nos 56 anos estudados em São Paulo, registrados apenas a partir de 1999. É relevante o fato de a maioria, 7 deles ao todo, estarem concentrados na década vigente, sendo que desde 2012 pelo menos um caso é registrado por ano na cidade. Além do crescimento no número desses eventos, notou-se também uma tendência no aumento da duração e intensidade dos episódios. Destaca-se o caso ocorrido entre janeiro e fevereiro de 2014 (Apêndice A.7) como o mais longo encontrado, com 19 dias de duração, e onde se registrou a Tmin mais elevada da série (25,4°C). Outro caso de destaque devido sua extensão foi o de janeiro de 2015 (Apêndice A.7), com 16 dias de duração.

Parte dos casos, 4 deles, ocorreram nos meses de verão (DJF), enquanto que o restante foram registrados na primavera, nos meses de setembro e outubro. São casos

expressivos e relativamente longos, alguns com cerca de 10 dias de duração, como os ocorridos em 2002 e 2015.

Os casos de extremo frio somaram 13 ocorrências ao longo da série, concentrados entre 1963 e 1994, padrão diferente ao observado nos casos de calor. Apenas 1 episódio foi registrado após os anos 2000, em julho de 2013 (Apêndice A.8), porém um caso bastante relevante, uma vez que nele ocorreu a Tmax mais baixa de toda a série, 8,5°C. Os casos de extremo frio encontrados ocorreram estritamente nos meses de inverno (JJA), com duração variando entre 3 e 6 dias.

4.2.3.2 Rio de Janeiro

A seleção dos casos de extremo calor no Rio de Janeiro se guiou pelo critério 1 (seção 3.3.3), com as categorias B5 e A4 de MQT para completa-los e delimita-los (Tab. 4.5b) e, eventualmente, dias de QTE para completar casos específicos, desde que não ultrapassassem mais de um dia na sequência. Durante o processo de seleção desses casos foram identificados padrões em suas durações, sendo possível separá-los em três tipos, conforme descrito abaixo:

1) Casos de até 3 dias de duração;
2) Casos de 3 a 5 dias de duração;
3) Casos com duração maior que 5 dias.

Nesta série de dados não foram registrados dias em MFR, portanto os casos de extremo frio foram selecionados seguindo o critério 2 (seção 3.3.3). A Figura 4.11 apresenta a distribuição dos casos extremos de frio e calor para a cidade, enquanto a Figura 4.12 apresenta a divisão por tipos dos extremos de calor.

Figura 4.11 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para o Rio de Janeiro entre 2002 e 2016.

Fonte: Produção do autor

Figura 4.12 - Distribuição dos casos de extremo calor para o Rio de Janeiro entre 2002 e 2016 divididos nos tipos 1 (azul), 2 (vermelho) e 3 (verde).

Fonte: Produção do autor

Foram encontrados 76 casos de extremo calor para o Rio de Janeiro nos 15 anos estudados, sendo que os tipo 1 e 2 reuniram 19 casos cada e o tipo 3 somou 38 casos. A série relativamente curta não permitiu que conclusões mais apuradas fossem tiradas

sobre a frequência de ocorrência desses extremos, porém nota-se que em todos os anos estudados eles estiveram presentes, no geral mais de um de cada tipo. Destaca-se o ano de 2009, o único onde se registrou apenas 1 caso de extremo calor, e 2010, onde todas as 7 ocorrência do ano foram do tipo 3, que representa os casos de maior duração (Apêndice A.9).

Há uma maior concentração de extremos de calor nos meses de verão, se estendendo de dezembro até março, onde se incluem os casos de maior duração da série estudada. Porém há um numero significativo de casos registrado nos meses de primavera (SON), exclusivamente dos tipos 1 e 2, e também em Abril, porém em menor quantidade. O caso de maior destaque de toda série ocorreu entre janeiro e fevereiro de 2011, com 55 dias de duração (Apêndice A.9).

Os extremos de frio somaram apenas 3 casos na cidade, concentrados na primeira metade da série estudada. Todos tiveram 4 dias de duração e ocorreram em julho de 2003 e 2007 e no inicio de setembro de 2006, onde registrou-se a Tmin mais baixa da série, 12,8°C (Apêndice A.10).

4.2.3.3 Belo Horizonte

Os extremos de calor em Belo Horizonte foram selecionados seguindo o critério 1 (seção 3.3.3), completados e delimitado com dias em B5 e A5 de MQT (Tab 4.5c) e, eventualmente quando necessário, alguns dias isolados do grupo QTE. Para os casos de extremo frio levou-se em consideração simultaneamente os critérios 1 e 2 (seção 3.3.3), pois os grupos mais extremos, MFR e FRI, tiveram porcentagens de ocorrência relativamente baixas (0,01% e 0,8%, respectivamente). Alguns dias em LGF foram utilizados para completar os casos pré-selecionados, nas categorias C2 e D3. (Tab 4.5c).

Figura 4.13 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para Belo Horizonte entre 1988 e 2016.

Fonte: Produção do autor

A Figura 4.13 apresenta a distribuição dos casos de frio e calor identificados para Belo Horizonte nos 29 anos estudados. Foram 14 casos de extremo calor ocorridos na cidade, sendo observada uma tendência de aumento da frequência e da quantidade de casos por ano a partir de 2000. Os casos de maior duração ocorreram em 2015, ano em que se registrou também a maior quantidade de episódios, sendo o mais extremo em outubro, com 14 dias de duração e a Tmax mais elevada da série, 37,4°C (Apêndice A.11), seguido pelo de novembro, que teve 13 dias de duração. Há uma maior quantidade de extremos de calor na cidade registrados nos meses de primavera (SON), apenas 4 casos foram registrados no verão, especificamente em janeiro e fevereiro. Isto pode estar relacionado com os longos períodos sem nebulosidade durante o final da estação seca da região, que corresponde ao inicio da primavera, favorecendo o aquecimento da superfície e, consequentemente, altas temperaturas.

Belo Horizonte teve 6 casos de extremo frio identificados em sua série, todos ocorridos até o ano 2000, o que leva a inferir que houve uma diminuição desses extremos ao passo que houve um aumento dos extremos de calor posteriormente. A maioria dos casos ocorreu no inverno, no mês de julho mais precisamente, porém alguns também foram registrados em meados de agosto, incluindo do recorde da mínima Tmax da série, 13,6°C, em 1999. Destaca-se também o episódio de maior duração, que se estendeu por 12 dias em julho de 1989 (Apêndice A.12).

4.2.3.4 Avaliação do Extremo Desconforto Térmico

Os extremos de temperatura selecionados nas três capitais do Sudeste também foram avaliados em relação ao extremo desconforto térmico associado, tendo como base os grupos mais extremos da Tabela 4.8. Em São Paulo foram analisados para os casos de calor o grupo CQT, por não haver dias relacionados em CMQ, e para os casos de frio CMF. No Rio de Janeiro, o número de dias em CMQ foi comparado aos extremos de calor, porém nos de frio o grupo mais extremo considerado foi FRI, já que CMF não teve ocorrências. Não foi possível encontrar dias de extremo desconforto ao calor em Belo Horizonte, já que seus dois grupos mais extremos não tiveram dias relacionados, porém o extremo desconforto ao frio esteve representado nesta análise por CMF. A Figura 4.14 a seguir apresenta a contagem final dos casos de extremo calor e frio dessas capitais, juntamente a quantidade de casos com extremo desconforto térmico associado.

Figura 4.14 - Total de casos de extremo calor (a) e frio (b) para São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, com a quantidade de casos com extremo desconforto térmico associado.

Fonte: Produção do autor

Em São Paulo o extremo desconforto ao calor esteve presente em 5 dos 9 casos identificados, não ultrapassando 2 dias em cada ocorrência, como nos casos de janeiro de 1999 e 2015, que tiveram respectivamente 13 e 16 dias de duração. O episódio mais longo registrado na cidade, entre janeiro e fevereiro de 2014, teve apenas 1 dia de extremo desconforto térmico.

Quase metade dos casos de extremo calor no Rio de Janeiro teve extremo desconforto térmico associado. Ao verificar o comportamento por tipos (seção 4.2.3.2), vê-se que os

casos mais longos (tipo 3) são os que tem maior relação com o desconforto, tanto em proporcionalidade (23 casos de 38 apresentam essa característica) quanto em quantidade de dias em um mesmo caso. Entre fevereiro e março de 2003 foi registrado o segundo extremo de calor mais longo da série da cidade, onde houve 13 dias com extremo desconforto térmico associado.

É possível inferir que também na região Sudeste a análise do extremo desconforto ao calor trouxe um diferente ponto de vista aos casos de extremo calor selecionados, mostrando que em São Paulo e no Rio de Janeiro nem todos os casos tem potencial impacto à saúde e que em Belo Horizonte, apesar dos casos identificados, o extremo desconforto ao calor não se faz presente no período analisado.

O extremo desconforto térmico esteve presente em todos os períodos de extremo frio das três capitais do sudeste. Em São Paulo quase todos os dias dos casos identificados apontaram também extremo desconforto ao frio, enquanto que em Belo Horizonte e Rio de Janeiro essa associação se deu em apenas 1 ou 2 dias em cada caso. Similar ao que já foi observado para a Região Sul (seção 4.1), houve vários dias de extremo desconforto ao frio não relacionados aos casos de extremo frio selecionados neste estudo, o que pode indicar que esta característica vai além dos limiares apontados pelo regime térmico.

4.3 Brasil Central

4.3.1 Tipificação do Regime Térmico

Os resultados da tipificação do regime térmico são apresentados de forma detalhada na Tabela 4.9 (a- BSB; b- GOA; c- RBC), respectivamente. A divisão da quantidade de dias por grupos térmicos para cada uma das cidades está disposta na Tabela 4.10. A Figura 4.15 resume de forma gráfica os principais resultados e contrapontos a serem discutidos a seguir.

Em Brasília e Goiânia a maioria dos dias estudados foi classificada termicamente como quentes, com respectivamente 62,8% e 66,8% de frequência em QTE. O grupo MQT aparece na sequência em Goiânia, com 19,9%, enquanto que em Brasília os dias temperados ficaram no segundo lugar em ocorrência (TMP - 27,2%). Observa-se, portanto, que apesar destas duas cidades estarem a menos de 200 km de distância há uma diferença interessante no padrão térmico. Apesar de ele ser majoritariamente quente em ambas, Brasília, que fica mais ao norte, tem uma quantidade considerável de dias mais amenos (TMP) enquanto em Goiânia os dias muito quentes tem porcentagem expressiva. Este fato pode ser explicado em parte pela diferença de altitude entre essas duas cidades, tendo Brasília cerca de 400m de altitude a mais.

Os extremos de temperatura apresentaram, de forma geral, baixa frequência de ocorrência em Brasília, com 9 dias em SUF (0,04%) e apenas 3 dias em MFR (0,01%). No entanto os dias de extremo calor apresentam uma frequência evidência em relação aos de frio, já que seu grupo complementar MQT teve cerca de 1% dos dias relacionados, enquanto que FRI teve porcentagem duas ordens de grandeza menor, 0,03%.

Em Goiânia destaca-se uma expressiva quantidade de dias na faixa de extremo calor, com 2,4% em SUF, e frequência bastante baixa de extremos frios. Houve apenas 2 dias relacionados em MFR e o grupo complementar, FRI, somou 6 dias, sendo que ambos representam ao total apenas 0,04% da série. Um fato interessante é que a cidade foi a única deste estudo a classificar um dia no grupo ESP, que representa dias de grande amplitude térmica, em 29 de julho de 1964 onde a temperatura mínima registrada foi 4,4 °C e a máxima atingiu 30,3 °C.

Rio Branco, a capital mais ao norte dentre todas estudadas até então, apresentou MQT como o grupo térmico mais frequente, com 59,9% dos dias da série. Na sequencia se destacam os dias quentes (QTE), com 26% de ocorrência. Nota-se então que mais de 90% dos dias estudados na cidade estão na faixa térmica correspondente ao calor, uma vez que seu grupo mais extremo também teve porcentagem relevante (SUF – 6,5%). Os extremos de calor são, portanto, recorrentes, mas ainda assim os extremos de frio aparecem na cidade com certa frequência, oriundos de incursões de ar frio que avançam até o sul da região amazônica, conhecidas como friagens (seção 2.2.2). O grupo mais extremo de frio relacionou apenas 1 dia, mas seu complementar, FRI, apresentou mais 11 dias, que somando resultam em 0,16% da série.

Tabela 4.9 - Tabela de tipificação do regime térmico para (a) Brasília, (b) Goiânia e (c) Rio Branco com a frequência de ocorrência (%) em cada categoria. As categorias podem ser identificadas pela combinação da letra referente a Tmin (linhas) com o número referente a Tmax (colunas). A escala de cor associada a cada categoria é determinada de acordo com a Tabela 4.10.

(a)

Tmin		Tmax				
		1	**2**	**3**	**4**	**5**
		< 20	20 a 25	25 a 30	30 a 35	> 35
A	> 20	**0**	**0**	**0,48**	**1,06**	**0,04**
B	20 a 15	**0,45**	**11,26**	**54,11**	**7,78**	**0,02**
C	15 a 10	**0,19**	**7,65**	**15,56**	**0,45**	**0,00**
D	10 a 5	**0,02**	**0,54**	**0,33**	**0**	**0**
E	< 5	**0**	**0,01**	**0,00**	**0**	**0**

(b)

Tmin		Tmax						
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
		< 10	10 a 15	15 a 20	20 a 25	25 a 30	30 a 35	> 35
A	> 25	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0,01**	**0**
B	25 a 20	**0**	**0**	**0**	**0,38**	**8,19**	**17,60**	**2,38**
C	20 a 15	**0**	**0**	**0,03**	**1,79**	**18,81**	**31,93**	**2,09**
D	15 a 10	**0**	**0**	**0,07**	**0,33**	**6,70**	**7,85**	**0,20**
E	10 a 5	**0**	**0,01**	**0,02**	**0,12**	**0,99**	**0,47**	**0**
F	< 5	**0**	**0**	**0,01**	**0,01**	**0,02**	**0,01**	**0**

(c)

Tmin		Tmax					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
		< 15	15 a 20	20 a 25	25 a 30	30 a 35	> 35
A	> 25	**0**	**0**	**0**	**0,00**	**0,18**	**0**
B	25 a 20	**0**	**0**	**0,25**	**14,40**	**57,65**	**6**
C	20 a 15	**0**	**0,04**	**1,09**	**4,04**	**10,51**	**2,23**
D	15 a 10	**0,01**	**0,14**	**0,29**	**1,24**	**1,02**	**0,11**
E	< 10	**0**	**0,01**	**0**	**0,04**	**0,03**	**0,22**

Fonte: Produção do autor

Tabela 4.10 - Descrição dos grupos térmicos, com siglas e escala de cor associadas, e o total de dias em cada um deles para Brasília, Goiânia e Rio Branco. As séries de dados somam, respectivamente, 20.023, 19.820 e 7263 dias.

Cor/Sigla	Denominação do Grupo	Total (dias) BSB	Total (dias) GOA	Total (dias) RBC
SUF	Sufocante	9	472	472
MQT	Muito Quente	218	3944	4358
QTE	Quente	12578	13236	1895
TMP	Temperado	5437	2047	499
LGF	Ligeiramente Frio	1771	112	27
FRI	Frio	7	6	11
MFR	Muito Frio	3	2	1
ESP	Especial	0	1	0
IMP	Impossível	0	0	0

Fonte: Produção do autor

Figura 4.15 - Frequência de ocorrência (%) em cada grupo térmico para Brasília, Goiânia e Rio Branco.

Fonte: Produção do autor

4.3.2 Tipificação do Conforto Térmico

A Tabela 4.11 apresenta os resultados a cerca da tipificação do conforto térmico para Brasília, Goiânia e Rio Branco, também resumidos na Tabela 4.12 e no gráfico da Figura 4.16. Os padrões encontrados foram diferentes de cidade para cidade, em Brasília a sensação varia entre o ligeiro desconforto ao frio e o conforto térmico (CLF 48,3%; CCF 23,8%) apesar de o regime térmico indicar para cidade uma maioria de dias quentes. Goiânia apresentou 40,2% dos dias na faixa de neutralidade térmica (CCF), porém há uma frequência considerável de dias com ligeiro desconforto ao calor (CLQ 33,1%), o que era esperado visto o perfil térmico da cidade indicou uma alta frequência de dias quentes e muito quentes. Por outro lado, em Rio Branco o desconforto ao calor predomina, variando entre ligeiro e moderado em proporções semelhantes (CLQ 39,2%; CQM 36,1%) e corroborando com o regime térmico que teve uma grande quantidade de dias nos grupos de calor.

Os limiares de TEm de Brasília não foram tais para incluir categorias pertencentes aos grupos CMQ e CQT, portanto, por definição, não houve extremo desconforto ao calor na cidade nos anos estudados. O extremo desconforto ao frio, por outro lado, se fez presente, tendo com 0,44% no grupo CMF, o mais extremo, e 4% em seu grupo complementar, CFR.

Apesar de haver desconforto ao calor em Goiânia, como constatado anteriormente, a situação extrema se resumiu há apenas um dia em CQT, sendo que o grupo mais extremo CMQ não teve dias relacionados. Uma hipótese para este registro seria que a amplitude térmica em Goiânia pareceu ser maior comparada a outras cidades estudadas onde o extremo desconforto ao calor foi relevante (Porto Alegre e Rio de Janeiro), devido a cidade ser relativamente mais seca (UR mais baixa). O extremo desconforto ao frio foi registrado, ainda que em baixa frequência, com CMF somando 5 dias (0,03%) e seu grupo complementar, CFR, tendo 0,24%.

Em Rio Branco o extremo desconforto ao calor representou 0,15% (CMQ) da série estudada, o que é parece pouco quando comparado à quantidade de dias de extremo calor identificados pelo regime térmico. No entanto o grupo complementar, CQT, apresentou uma frequência maior, com 5,2%, o que traz relevância ao desconforto nesta faixa, mesmo ele não ocorrendo em seu grupo mais extremo. Conforme esperado, o

extremo desconforto ao frio apresentou no geral frequência menor, apesar de o grupo mais extremo desta faixa, CMF, ter 0,14%, portanto na mesma ordem de grandeza que o seu correspondente de calor, o grupo complementar CFR também teve baixa ocorrência, com 0,7% da série. Vale ressaltar que a cidade foi a única deste estudo que apresentou dias relacionados no grupo CEP, que representa os dias de alta amplitude térmica, com extremo desconforto ao calor e ao frio ocorrendo no mesmo dia.

Tabela 4.11 - Tabela de tipificação do conforto térmico para (a) Brasília, (b) Goiânia e (c) Rio Branco com a frequência de ocorrência (%) em cada categoria. As categorias podem ser identificados pela combinação da letra referente a TEm min (linhas) com o número referente a TEm max (colunas). A escala de cor associada a cada categoria é determinada de acordo com a Tabela 4.12.

(a)

TEm min		TEm max						
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
		< 13	13 a 16	16 a 19	19 a 22	22 a 25	25 a 28	> 28
A	> 19	**0**	**0**	**0**	**0**	**0,13**	**0,46**	**0,11**
B	19 a 16	**0**	**0**	**0,01**	**0,45**	**4,26**	**6,63**	**0,30**
C	16 a 13	**0**	**0,05**	**1,01**	**5,24**	**27,01**	**12,76**	**0,10**
D	< 13	**0,01**	**0,43**	**2,93**	**17,23**	**18,98**	**1,87**	**0,01**

(b)

TEm min		TEm max								
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
		< 13	13 a 16	16 a 19	19 a 22	22 a 25	25 a 28	28 a 31	31 a 34	> 34
A	> 22	**0**	**0**	**0**	**0**	**0,00**	**0,01**	**0,06**	**0,01**	**0**
B	22 a 19	**0**	**0**	**0**	**0,01**	**0,58**	**4,41**	**6,71**	**0,31**	**0**
C	19 a 16	**0**	**0**	**0,02**	**0,61**	**3,81**	**18,82**	**22,06**	**0,60**	**0,01**
D	16 a 13	**0**	**0**	**0,06**	**0,31**	**2,86**	**16,20**	**6,60**	**0,04**	**0**
E	< 13	**0,01**	**0,02**	**0,18**	**0,73**	**4,71**	**9,51**	**0,78**	**0**	**0**

(c)

TEm min		TEm max								
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
		< 13	13 a 16	16 a 19	19 a 22	22 a 25	25 a 28	28 a 31	31 a 34	> 34
A	> 25	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0,04**	**0,06**	**0**
B	25 a 22	**0**	**0**	**0**	**0**	**0,03**	**1,38**	**5,36**	**4,27**	**0,15**
C	22 a 19	**0**	**0**	**0**	**0**	**1,06**	**6,94**	**29,71**	**22,02**	**0,88**
D	19 a 16	**0**	**0**	**0**	**0,23**	**0,77**	**1,80**	**6,51**	**8,37**	**0,36**
E	16 a 13	**0**	**0**	**0,14**	**0,39**	**0,89**	**1,51**	**2,13**	**1,65**	**0**
F	<13	**0,04**	**0,10**	**0,22**	**0,36**	**0,83**	**0,89**	**0,73**	**0,15**	**0,03**

Fonte: Produção do autor.

Tabela 4.12 - Descrição dos grupos de conforto/desconforto térmico, com siglas (iniciada por C para identificação) e escala de cor associadas, e o total de dias em cada um deles para Brasília, Goiânia e Rio Branco. As séries de dados somam, respectivamente, 20.023, 19.820 e 7263 dias.

.

Cor/Sigla	Denominação do Grupo	Total (dias) BSB	Total (dias) GOA	Total (dias) RBC
CMQ	Muito Quente	-	0	11
CQT	Quente	-	1	378
CQM	Quente Moderado	22	1521	2625
CLQ	Ligeiramente Quente	173	6565	2851
CCF	Confortável	4762	7967	869
CLF	Ligeiramente frio	9674	3506	349
CFM	Frio Moderado	4502	208	105
CFR	Frio	801	47	52
CMF	Muito frio	89	5	10
CIP	Impossível	0	0	0
CEP	Especial	0	0	13

Fonte: Produção do autor.

Figura 4.16 - Frequência de ocorrência (%) em cada grupo de conforto/desconforto térmico para Brasília, Goiânia e Rio Branco.

Fonte: Produção do autor.

4.3.3 Seleção dos Casos de Extremo Calor e Frio

4.3.3.1 Brasília

Como a frequência de ocorrência dos grupos mais extremos de Brasília foram relativamente baixas, a seleção dos casos de extremo calor e frio se deu seguindo os critérios 1 e 2 de maneira simultânea (metodologia seção 3.3.3). Os casos de calor foram eventualmente completados com dias em QTE, apenas na categoria mais extrema B4, e foi necessário aplicar durante seu processo de seleção o critério de persistência (3a – seção 3.3.3). Para os casos de frio, dias no grupo LGF foram utilizados para completa-los e delimita-los. A Figura 4.17 ilustra a distribuição dos casos de extremo calor e frio para a cidade.

Figura 4.17 – Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para Brasília entre 1961 e 2016.

Fonte: Produção do autor

Nos 56 anos estudados foram registrados 32 casos de extremo calor na cidade, sendo notado um aumento substancial a partir do fim da década de 90 em frequência de ocorrência, quantidade de casos por ano e também na duração deles. De 1961 a 1996 foram encontrados apenas 4 casos, enquanto que de 1997 para frente os extremos de calor passaram a ocorrer pelo menos uma vez a cada dois anos. Destaca-se que apenas 3 dos episódios tiveram dias no grupo mais extremo de calor (SUF), e ocorreram recentemente, nos anos de 2008 e 2015. Um deles, em outubro de 2015, foi considerado o mais intenso e duradouro de toda a série, com 21 dias e Tmax mais extrema, de

36,4°C. Os extremos de calor se concentraram nos meses de primavera (SON), sendo que apenas 2 casos foram registrados fora deste período, sendo um em fevereiro de 1998 e o outro em dezembro de 2003.

Os casos de extremo frio somaram 8 ocorrências no período de estudo, todos ocorridos nas 3 primeiras décadas da série, padrão inverso aquele observado para os casos de calor. O episódio mais duradouro foi justamente o último registrado para a cidade, em julho de 1988, com 12 dias. Por sua vez, a temperatura mais baixa da série, 1,6°C, ocorreu no caso de julho de 1975. A grande maioria dos casos de extremo frio foram registrados nos meses de inverno (JJA), com apenas 2 ocorridos entre o meio e o final de maio.

4.3.3.2 Goiânia

A seleção dos casos de extremo calor em Goiânia se guiou pelo critério 1 (seção 3.3.3), com as categorias B6 e C7 de MQT para completa-los e delimita-los e, eventualmente, dias de QTE para preencher casos específicos, desde que não ultrapassassem mais de um dia na sequência. Durante o processo de seleção desses casos foram identificados alguns padrões, sendo possível separá-los em três tipos, conforme descrito abaixo:

1) Casos com apenas 1 dia em SUF;
2) Casos com até 3 dias em SUF;
3) Demais casos - longa duração.

Os grupos extremos para frio tiveram baixa frequência de ocorrência (MTF 0,01%; FRI 0,03%), portanto foi necessário aplicar simultaneamente os critérios 1 e 2 para a seleção dos casos, utilizando ainda alguns dias em LGF para delimita-los. A distribuição dos casos de extremo calor e frio ao longo dos anos estudados é apresentada na Figura 4.18, enquanto que a Figura 4,19 apresenta os casos de extremo calor em sua divisão por tipos.

Figura 4.18 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para Goiânia entre 1961 e 2016.

Fonte: Produção do autor

Figura 4.19 - Distribuição dos casos de extremo calor para Goiânia entre 1961 e 2016 divididos nos tipos 1 (azul), 2 (vermelho) e 3 (verde).

Fonte: Produção do autor

Foram encontrados 105 casos de extremo calor no total, destes 40 pertencentes ao tipo 1, 30 ao tipo 2 e 35 ao tipo 3. Semelhante ao observado para Brasília, Goiânia também apresentou aumento na quantidade e na frequência desse tipo de extremo a partir da metade da década de 90. Antes disso os casos eram esparsos e poucas vezes ocorriam em anos seguidos, padrão que muda a partir de 1994, quando passam a ocorrer diversos casos por ano em todos os anos. Nota-se também o aumento da duração e intensidade dos casos, uma vez que a grande maioria dos casos do tipo 3, que concentra aqueles mais duradouros e com a maior quantidade de dias extremos (SUF), são registrados nas duas ultimas décadas estudadas.

Os casos de extremo calor ocorreram em sua grande maioria nos meses de primavera (SON), com alguns poucos registrados nos meses de agosto, dezembro, março e abril. O caso considerado mais intenso perdurou de setembro a novembro de 2015, somando 71 dias de temperaturas extremamente altas, onde foi registrada a temperatura mais alta da série da cidade, 40°C. Vale ressaltar que casos de longa duração, acima de 30 dias, passaram a ser registrados apenas após os anos 2000, ocorrendo com uma frequência de, em média, um caso a cada dois anos.

Em relação aos casos de extremo frio em Goiânia, foram encontrados apenas 5 nos 56 anos estudados, também concentrados nas três primeiras décadas da série, tal qual já observado em Brasília. Esses casos ocorreram estritamente nos meses de inverno, com uma duração de 2 a 3 dias, com destaque ao primeiro caso, registrado em julho de 1975, onde houve o recorde de temperatura mínima da cidade com 1,6 oC, e também ao de julho de 1996, o último encontrado na série, no qual se registrou a temperatura máxima mais baixa, de 14°C.

4.3.3.3 Rio Branco

Os casos de extremo calor foram selecionados em Rio Branco com base no critério 1 (seção 3.3.3), com SUF indicando os episódios e delimitando o inicio e fim deles e MQT usado com parcimônia, apenas para preenche-los em curtos períodos, já que sua frequência foi bastante alta, o que poderia generalizar a seleção. Em seguida, os casos também foram separados por tipo, seguindo a mesma divisão proposta para Goiânia (seção 4.3.3.2), já que o padrão observado foi semelhante.

Os casos de extremo frio foram selecionados utilizando os critérios 1 e 2 simultaneamente, uma vez que a frequência dos dois grupos mais extremos foi baixa (MTF 0,01%, FRI 0,15%). Dias em LGF e também em TMP foram utilizados para completar e delimitar os casos. Esses dias em TMP apresentaram grande amplitude térmica, com Tmin baixa devido à massa de ar frio atuante e Tmax mais alta devido ao aquecimento diurno ser maior nesta região, devido a latitude mais baixa na qual se encontra. A Figura 4.20 apresenta a distribuição por ano dos casos de extremo calor e frio na cidade, enquanto que na Figura 4.21 é possível analisar essa mesma distribuição separada pelos tipos de extremo calor.

Figura 4.20 - Distribuição dos casos de extremo calor (vermelho) e extremo frio (azul) para Rio Branco entre 1997 e 2016.

Fonte: Produção do autor

Figura 4.21 - Distribuição dos casos de extremo calor para Rio Branco entre 1997 e 2016 divididos nos tipos 1 (azul), 2 (vermelho) e 3 (verde).

Fonte: Produção do autor

O extremo calor em Rio Branco contabilizou ao total 140 casos nos 20 anos analisados, sendo 57 do tipo 1, 45 do tipo 2 e 38 do tipo 3. Como a série é relativamente mais curta, não foi possível encontrar sinais evidentes de mudança de comportamento na ocorrência dos casos ao longo dos anos, notou-se apenas uma ligeira tendência no aumento da quantidade de casos por ano a partir de meados dos anos 2000. De todo o período

estudado, apenas os meses de maio e junho não registraram casos de extremo calor, com a primavera (SON) concentrando a maior quantidade e os mais intensos episódios.

Casos longos de extremo calor, de mais de 20 dias, foram encontrados com bastante frequência nesta analise, sendo todos pertencentes ao tipo 3. Destaca-se o mais duradouro da série, que se estendeu desde o fim de julho até meados de outubro de 2015 com 77 dias de forte calor, coincidindo em sua metade final com o mais intenso caso registrado em Goiânia. Em Rio Branco notou-se que os episódios ocorridos na primavera tinham, no geral, intervalos curtos entre o final de um e o início do outro. Uma possível explicação seria que a primavera nessa região representa um período de transição para a estação chuvosa, sendo que nos períodos secos a temperatura sobe com certa liberdade, já que a cobertura de nuvens é bem menor. Alguns dias com pancadas de chuva podem se intercalar entre esses períodos antes do estabelecimento de fato do período chuvoso, o que faz a temperatura não se elevar tanto.

Os extremos de frio somaram 9 casos na série da cidade, com distribuição relativamente uniforme ao longo dos anos, nunca ultrapassando mais de um caso por ano quando ocorrem. Como já citado na seção 1.1, os extremos de frio em Rio Branco estão relacionados as conhecidas friagens, com os casos aqui encontrados tendo uma duração de 3 a 6 dias no geral, com os dias de inicio e do final do caso sendo, na maioria das vezes, de grande amplitude térmica. Um dos episódios de destaque ocorreu em julho de 2013, onde se registrou 9,1°C, a menor temperatura do período estudado. Vale ressaltar que esse episódio é concomitante com casos registrados em Porto Alegre, Florianópolis, Curitiba e São Paulo, que também se destacaram pelos recordes de temperaturas mínimas, oriundos de uma mesma intensa incursão de ar frio.

4.3.3.4 Avaliação do Extremo Desconforto Térmico

O extremo desconforto térmico foi avaliado para as três capitais estudadas nesta etapa, dentro dos casos selecionados anteriormente, com base nos grupos mais extremos da Tabela 4.12. Os limiares de conforto térmico em Brasília não indicaram grupos de extremo desconforto ao calor, enquanto que em Goiânia CMQ não teve dias relacionados e CQT formado por apenas um dia, que acabou não coincidindo com nenhum dos casos selecionados. Deste modo Brasília e Goiânia não tiveram extremo desconforto térmico associado aos casos. Já em Rio Branco tanto CMQ quanto CQT

puderam ser comparados aos extremos de calor. Por outro lado, o extremo desconforto ao frio foi avaliado nos casos pela combinação dos grupos CMF e CFR nas três cidades. A contagem final dos casos de extremo calor e frio dessas capitais, comparativamente a quantidade deles que apresentaram extremo desconforto térmico associado, são apresentados na Figura 4.22 a seguir.

Figura 4.22 - Total de casos de extremo calor (a) e frio (b) para Brasília, Goiânia e Rio Branco, com a quantidade de casos com extremo desconforto térmico associado.

Fonte: Produção do autor

Rio Branco foi a única das três capitais analisadas nesta etapa onde houve registro de extremo desconforto ao calor, estando presente em 50 dos 140 casos identificados. A maior concentração de dias com esta característica se deu no tipo 3, que já reunia por si só os casos mais longos e mais intensos da série. O episódio onde houve a maior quantidade de dias de extremo desconforto térmico, 16 ao total, também foi o mais longo encontrado para a cidade, o já citado caso de julho a outubro de 2015. Destaca-se também a ocorrência entre setembro e outubro de 2005, onde foi registrada a temperatura máxima mais extrema da série, e os dias de extremo desconforto somaram 6 dos 16 dias do caso.

Assim como observado nas regiões Sul e Sudeste, a análise do extremo desconforto ao calor permitiu selecionar os casos de extremo calor onde o impacto a saúde pode vir a ser significativo. Em Rio Branco isso se mostrou interessante para diferenciar o conjunto, já que houve uma grande quantidade de casos identificados. Por outro lado, nas cidades de maior altitude, o caso de Brasília e Goiânia, o extremo desconforto ao

calor não se fez presente, apesar da grande quantidade de casos selecionados principalmente em Goiânia.

O extremo desconforto ao frio se mostrou presente em grande parte dos casos de extremo frio identificados nestas três capitais estudadas, com apenas 2 casos sem essa característica, um em Brasília e outro e Rio Branco. Brasília foi onde analise apontou a maior quantidade de dias de desconforto extremo por caso. De todas as regiões estudadas, as cidades dos Brasil Central foram as que apresentaram menor quantidade de dias nos grupos de extremo desconforto ao frio, de modo que poucos dias não foram relacionados aos casos extremos identificados.

5 VALIDAÇÃO DA REANÁLISE MERRA-2

Este capítulo apresenta os resultados referentes à validação efetuada para a reanálise MERRA-2 (REAN) usando como comparação a série de dados observados do INMET (OBS). Foram analisadas temperaturas máxima (Tmax) e mínima (Tmin) ao nível de estação (2m), para verificar se é possível usar a reanálise como série de dados de entrada na tipificação do regime térmico e, posteriormente, identificação dos extremos de calor e frio. Além disso, as comparações se estenderam para a velocidade do vento (V) e umidade relativa do ar (UR) também a 2m, de modo a averiguar se é viável o uso da reanálise para cálculo dos índices de conforto térmico usados para a tipificação do conforto térmico. Como abordado na seção3.4, apenas Curitiba, São Paulo, Goiânia e Rio Branco são analisadas, garantindo representatividade regional. O capítulo é dividido em duas partes, na primeira são analisados os gráficos comparativos das séries temporais REAN e OBS, enquanto que na segunda apresenta-se um breve estudo estatístico desses dados.

5.1 Comparação MERRA-2 e Dados Observados

As Figuras 5.1 e 5.2 mostram a série temporal de médias mensais da reanálise comparada aos dados do INMET para a Curitiba. Trata-se do conjunto de observações meteorológicas mais completo deste estudo, contendo apenas algumas poucas e curtas interrupções. As séries de Tmax e Tmin da REAN são bastante semelhantes à OBS (Figs. 5.1a e 5.1c), com as diferença entre elas oscilando em torno de zero (Figs. 5.1b e 5.1d). A Tmin tem um viés relativamente menor do que Tmax, com uma leve tendência a subestimativa após os anos 2000. O vento da REAN subestima OBS (Fig. 5.2a) em cerca de 1 m/s (Fig. 5.2b), com o maior viés observado na primeira década da série. Por outro lado a UR é superestimada de forma significativa pela REAN (Fig. 5.2c), em torno de 15%, com esse viés praticamente constante ao longo da série.

A análise das Figuras 5.1 e 5.2 deixa claro, portanto, que os resultados da comparação da Tmax e Tmin apresentam um alternância entre positivo e negativo, com valores relativamente pequenos, principalmente para a Tmin. No caso do vento e da UR, os valores da REAN subestimam e superestimam, respectivamente, a OBS, em valores próximos de um erro médio, o que seria facilmente corrigido com correção de viés.

Figura 5.1 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de temperatura (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para Curitiba.

A comparação gráfica das séries e a diferença REAN-OBS são apresentadas para temperatura máxima (°C) em (a) e (b), temperatura mínima (°C).

Fonte: Produção do autor.

Figura 5.2 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de umidade relativa e vento (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para Curitiba.

A comparação gráfica das séries e a diferença REAN-OBS são apresentadas para velocidade do vento (m/s) em (a) e (b) e umidade relativa do ar (%) em (c) e (d).

Fonte: Produção do autor.

As comparações referentes à cidade de São Paulo estão dispostas nas Figuras 5.3 e 5.4. A Tmax e Tmin da REAN apresentam tendência geral de subestimar a OBS (Figs. 5.3b e 5.3d), com viés maior nos meses mais frios do ano (Fig. 5.3a e 5.3c). A partir de 2010 a Tmax da REAN aparenta representar melhor a realidade, enquanto a subestimativa da Tmin tem um padrão praticamente constante ao longo dos anos. Assim como observado em Curitiba, o Vento da REAN em São Paulo também subestima o observado (Fig. 5.4a), mantendo o viés de cerca de 1 m/s em toda a série temporal analisada (Fig. 5.4b). Vale ressaltar a maior amplitude mensal do vento na REAN em relação a OBS (Fig. 5.4a). A UR tem um padrão constante e considerável de superestimativa pela REAN (Figs. 5.4c e 5.4d), superando os dados observados em quase 20%, o que pode prejudicar a avaliação do período climatologicamente mais seco da cidade, o inverno. Deste modo, um padrão similar à Curitiba ocorre para São Paulo, onde os dados de vento e principalmente UR poderiam facilmente serem corrigidos com o uso de correção de viés, inclusive também para a Tmin.

Figura 5.3 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de temperatura (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para São Paulo.

A comparação gráfica das séries e a diferença REAN-OBS são apresentadas para temperatura máxima (°C) em (a) e (b), temperatura mínima (°C).

Fonte: Produção do autor.

Figura 5.4 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de umidade relativa e vento (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para São Paulo.

A comparação gráfica das séries e a diferença REAN-OBS são apresentadas para velocidade do vento (m/s) em (a) e (b) e umidade relativa do ar (%) em (c) e (d).

Fonte: Produção do autor.

As comparações efetuadas para Goiânia (Figuras 5.5 e 5.6) evidenciam a grande dificuldade que a REAN tem em representar as variáveis meteorológicas observadas nesta cidade. A tendência geral da Tmax na REAN é de subestimar o OBS (Fig 5.5a), em especial durante o inverno, porém ela apresenta um desempenho satisfatório durante os meses mais quentes do ano. Tmin, por sua vez, tem um viés menor (Fig 5.5d) e acompanha melhor o ciclo anual médio das temperaturas (Fig 5.5c), destacando-se apenas um período bastante dispare entre o final dos 80 e meados dos anos 90, com uma crescente superestimativa que cessa abruptamente e o viés retornando a tendência do inicio da série. Isto pode estar relacionado a algum tipo de erro sistemático nos dados observados de Tmin. A REAN superestima de maneira significativa o vento (Fig. 5.6a), com viés de cerca de 1,5 m/s (Fig. 5.6b), e a UR (Fig. 5.6c), estando mais de 25% acima dos dados observados. Novamente, um procedimento de remoção de viés poderia ser aplicado no caso de Goiânia, com uma redução significativa do erro de algumas variáveis. Exceção apenas no caso do vento, pois o padrão de oscilação das médias mensais, muito diferentes do perfil constante ao longo da série observada, dificulta uma possível remoção do viés para correção, algo que pode ser feito na UR, por exemplo.

Figura 5.5 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de temperatura (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para Goiânia.

A comparação gráfica das séries e a diferença REAN-OBS são apresentadas para temperatura máxima (°C) em (a) e (b), temperatura mínima (°C).

Fonte: Produção do autor.

Figura 5.6 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de umidade relativa e vento (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para Goiânia.

A comparação gráfica das séries e a diferença REAN-OBS são apresentadas para velocidade do vento (m/s) em (a) e (b) e umidade relativa do ar (%) em (c) e (d).

Fonte: Produção do autor.

A série de Rio Branco, cujas comparações entre REAN e OBS são apresentadas nas Figuras 5.7 e 5.8, foi uma das capitais onde houve mais falhas e interrupções na série de dados observados do INMET, o que justifica a redução do período de estudos (1997 a 2016) nas demais etapas deste trabalho. Das temperaturas, Tmin da REAN aparentou estar mais condizente com o OBS, com um viés de superestimativa em torno de 1°C que se mantém constante de maneira geral (Fig 5.7d). A Tmax é mal representada pela REAN, subestimando os valores tanto nos meses de inverno quanto nos meses mais quentes (Fig 5.7a). Para ambas é possível verificar que há uma relativa melhora entre meio e o fim dos anos 90, que condiz com retorno da interrupção mais longa (Figs 5.7a e 5.7c). Por outro lado, as comparações feitas para o vento e UR (Figs 5.8a e 5.8c) foram as que tiveram o melhor desempenho quando confrontadas com as demais capitais. No vento nota-se um viés de cerca de 0,5 m/s (Fig 5.8b) e o padrão de oscilação mensal entre REAN e OBS é mais próximo (Fig 5.8a). A UR da reanálise supera os dados observados em pouco mais de 10% (Fig 5.8d) e tem um padrão de comportamento ao longo do ano que também torna possível uma correção. No caso de Rio Branco, assim como as demais capitais, a correção de viés seria satisfatória, visto que as Figuras 5.7a, 5.7c, 5.8a e 5.8c apresentam um erro sistemático muito claro. Ressalta-se, no entanto, a dificuldade da MERRA-2 em representar a UR durante os meses mais secos do ano em Rio Branco, fato já observado em São Paulo e Goiânia e que pode ter relação com a subestimativa da Tmax nesses mesmos períodos.

Figura 5.7 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de temperatura (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para Rio Branco.

A comparação gráfica das séries e a diferença REAN-OBS são apresentadas para temperatura máxima (°C) em (a) e (b), temperatura mínima (°C).

Fonte: Produção do autor.

Figura 5.8 - Série temporal (1980-2016) das médias mensais de umidade relativa e vento (2m) da MERRA-2 e observados do INMET para Rio Branco.

A comparação gráfica das séries e a diferença REAN-OBS são apresentadas para velocidade do vento (m/s) em (a) e (b) e umidade relativa do ar (%) em (c) e (d).

Fonte: Produção do autor.

5.2 Análise Estatística

De modo a tornar a análise estatística mais concisa, todos seus resultados são resumidos em um diagrama de Taylor (TAYLOR, 2001) (Figura 5.9). Ele combina em um único resultado gráfico a comparação entre REAN e OBS para todas as variáveis, através dos valores de correlação (linhas radiais sólidas), raiz do erro quadrático médio (linhas pontilhadas centradas em REF) e suas variâncias (linhas tracejadas centradas em 0).

Como já era esperado, as Tmax e Tmin foram as que tiveram, no geral, as melhores correlações, que menos se dispersaram da média e com menores incertezas. Destaca-se Curitiba, com Tmin e Tmax da REAN altamente correlacionadas com OBS (mais de 0,9), principalmente no caso da Tmin, que apresenta a menor variância e a menor tendência ao erro. Os dados observados de São Paulo para as temperaturas também são bem representado pela reanálise, com a Tmin mais bem correlacionada que a Tmax. Para Goiânia e Rio Branco os resultados foram bem mais desfavoráveis ao uso da reanálise para Tmax e Tmin, apesar dos valores de correlação aceitáveis (entre 0,8 e 0,9) a amplitude da variância e o maior desvio padrão tornam essas séries pouco confiáveis.

Para as quatro capitais, a UR apresentou correlação entre 0,6 e 0,8 e o erro médio quadrático um pouco maior que os observados para as temperaturas, mas a larga amplitude da variância prejudica, que facilmente explicada pelo evidente padrão de superestimativa da REAN em relação a OBS. A comparação da série de dados de vento teve baixa correlação em todas as capitais, tornando pouco viável o uso direto da REAN para sua representação.

Entretanto, como citado acima na comparação direta dos dados de REAN e OBS na seção anterior, a aplicação da correção de viés para os dados da REAN tornaria os mesmos úteis para o uso em caso de ausência de dados, como preenchimento de falhas, evidenciando a aplicabilidade dos dados de reanálises para estudos futuros.

Figura 5.9 – Diagrama de Taylor para a correlação anual média e desvio padrão entre a reanálise MERRA-2 e os dados observados do INMET para Curitiba, São Paulo, Goiânia e Rio Branco.

Fonte: Produção do autor.

6 CLIMATOLOGIA SINÓTICA DOS EXTREMOS DE TEMPERATURA

Este capítulo apresenta os resultados referentes à Etapa 3 deste trabalho, com as análise médias e padrões sinóticos associados a ocorrência dos extremos frio e quentes em cada cidade, dividido de acordo com as regiões pré-definidas para estudo, na seguinte ordem: Sul, Sudeste e Brasil Central.

6.1 Região Sul

6.1.1 Extremos de Calor

6.1.1.1 Curitiba

Os compostos médios dos casos de extremo calor de Curitiba, para diversas variáveis e níveis, são apresentados na Figura 6.1. De forma geral, a circulação nos altos níveis (Fig. 6.1a) é típica do verão austral, com a presença do Cavado do Nordeste (CN) e da Alta da Bolívia (AB) próximos de suas posições climatológicas (Virji, 1981). Este padrão é o esperado, uma vez que 75% dos casos de extremo calor na cidade ocorreram entre os meses de dezembro e fevereiro. Nota-se uma crista pronunciada com eixo entre PR e SC, além da curvatura anticiclônica da corrente de jato (Fig. 6.1a), com borda posicionada na divisa entre Brasil e Uruguai.

A crista em altitude está associada aquela notada também no campo de espessura 1000-500 hPa (Fig. 6.1e) e ao anticiclone em 500 hPa, bastante amplo e centrado sobre o PR (Fig. 6.1b). Este tipo de circulação quando estabelecida induz subsidência de massa, o que contribui para o aquecimento nos baixos níveis por compressão adiabática e principalmente pela inibição da formação e desenvolvimento de nuvens na região em que atua. Portanto, a radiação solar incidente chega em maior quantidade à superfície, o que eleva a temperatura do ar substancialmente.

Na baixa troposfera, nota-se a circulação anticiclônica oriunda da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) no nível de 850 hPa (Fig. 6.1c) cuja borda oeste, com ventos de quadrante norte, transporta ar quente do centro país em direção à Curitiba. A advecção quente na cidade também é reforçada pelo Jato de Baixos Níveis (JBN) (Marengo et al. 2009). A língua quente pode ser notada tanto no campo de temperatura em 850 hPa (Fig. 6.1c) quanto no da temperatura potencial equivalente (*theta e*) (Fig. 6.1d). Ainda

sobre a ASAS, em superfície (Fig. 6.1e) ela aparece na média relativamente intensa, com um núcleo de cerca de 1022 hPa, afastado do continente.

A Figura 6.2 traz os campos de anomalias ponderadas para os extremos de calor de Curitiba. Em 200 hPa (Fig. 6.2a) a circulação anticiclônica anômala, centrada a leste do RS, evidencia a crista que se estabelece durante os casos. Não se nota, portanto, sinais do estabelecimento de um bloqueio atmosférico clássico (Casarin e Kousky, 1982; Sinclair, 1996) como causa dos eventos extremos de calor, aparentando a principio ser uma onda longa, de baixa baroclinia e lento deslocamento, o que auxilia a manutenção das condições extremas. Além disso, as anomalias de leste da magnitude do vento sobre os arredores do PR e a confluência da circulação mostram que o suporte a subsidência de massa já é induzido em altitude, enquanto que os vento anômalos de oeste muito mais ao sul indicam um recuo da zona de maior baroclinia.

Nos níveis médios (Fig. 6.2b) destaca-se o anticiclone com centro a sudeste do PR, bastante próximo daquele configurado no composto médio (Fig. 6.1b), o que corrobora o padrão anômalo desse sistema na ocorrência de extremos quentes em Curitiba. O campo de anomalia 1000-500 hPa (Fig. 6.2e) mostra associação com crista na coluna atmosférica, com o eixo vertical do centro de máxima condizente com a anomalia anticiclônica observada nos altos níveis (Fig. 6.2a), relacionado a barotropia do sistema. O suporte dinâmico nos altos níveis da troposfera favorece, portanto, o estabelecimento anômalo do anticiclone na média troposfera que, além de contribuir para o aquecimento em superfície como já citado anteriormente, restringe o ar frio nas latitudes mais altas, uma vez que sistemas transientes (cavados, ciclones, frentes) não conseguem avançar facilmente e romper a situação de calor extremo.

Em 850 hPa (Fig. 6.2c) nota-se a circulação anômala da ASAS neste nível, com núcleo se estendendo do sudoeste do Atlântico em direção a região Sudeste, de fato colaborando para a advecção quente direcionada a Curitiba. A anomalia positiva de temperatura abrange não somente o PR, mas também os demais estados da região Sul, além de parte do Sudeste, MS, Paraguai e noroeste da Argentina, e está bem representada também no campo de *theta e* (Fig. 6.2d), com seu máximo centrado no RS, colaborando para períodos anomalamente mais quentes nessas regiões.

Na baixa troposfera, é interessante notar que há uma intensificação da Baixa do Chaco (BCH) (Seluchi e Saulo, 2012) representada pela anomalia negativa de PNMM e o cavado relativo embebido no máximo de espessura 1000-500 hPa, localizados na divisa entre Bolívia e Argentina (Fig. 6.2e). Por se tratar de uma baixa térmica, portanto uma baixa quente, ela pode contribuir para o calor transportado pelo JBN em direção a região Sul do Brasil, juntamente com a circulação da ASAS, formando um único canal de vento de componente Norte, dando condições para o estabelecimento do extremo calor em Curitiba.

Figura 6.1 - Compostos da média de 36 casos de extremo calor de Curitiba entre 1980 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.2 – Campos de anomalias ponderadas de 36 casos de extremo calor em Curitiba de 1980 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.1.1.2 Florianópolis

A Figura 6.3 apresenta os compostos médios dos extremos de calor selecionados para a série de Florianópolis. Como cerca de 70% destes casos ocorreram nos meses do verão austral (DJF), aumentando para 92% se forem considerados também os casos ocorridos em novembro e março que já podem apresentar características da estação, a circulação em altitude (Fig. 6.3a) também é típica do verão, com a presença da AB e CN climatológicos. De maneira geral, os campos médios de Florianópolis são bastante parecidos com aqueles encontrados para Curitiba, porém destacam-se duas diferenças que favorecem a ocorrência dos casos de extremo calor especificamente na capital catarinense.

A primeira diferença está no anticiclone em médios níveis (Fig 6.3b), neste caso centrado no Atlântico, ligeiramente simétrico a ASAS nas camadas mais abaixo (Fig 6.3c e 6.3e), se estendendo em direção ao Sudeste. Esse sistema influencia PR e SC apenas em sua borda sudoeste, diminuindo a contribuição para o aquecimento devido à subsidência. A circulação em 850 hPa (Fig 3c) é de noroeste sobre a região de Florianópolis, sendo este o outro ponto de diferença em relação a Curitiba. O fluxo é oriundo da deflexão dos ventos Alísios, devido à barreira orográfica dos Andes quando alcançam o oeste da região amazônica, que são direcionados ao Paraguai e Norte da Argentina se intensificando e configurando então o JBN. Ele é o mecanismo que transporta ar quente das latitudes mais baixas em direção a Florianópolis, contribuindo para o estabelecimento dos extremos de temperatura na cidade.

A temperatura no nível de 850 hPa é mais alta na média dos casos de Curitiba (Fig 6.1c) do que nos de Florianópolis (Fig 6.3c), porém os extremos de calor acabam ocorrendo nesta cidade devido a advecção quente mais eficiente e intensa, conforme descrito anteriormente, e também devido a diferenças na topografia das cidades. Florianópolis está ao nível do mar e conta com uma região de serra a seu oeste, que pode gerar uma subsidência de massa localizada, uma vez que o fluxo na camada baixa da troposfera é de noroeste, contribuindo para a elevação das temperaturas em superfície.

Os campos de anomalias ponderadas para Florianópolis (Figura 6.4) apresentam diferenças sutis em relação ao de Curitiba, tendo sido encontrados padrões anômalos semelhantes, porém deslocados para leste/sudeste. As principais diferenças entre eles

são novamente observadas nos níveis de 500 e 850 hPa, assim como ocorrido na análise dos compostos médios dos casos. O anticiclone anômalo na média troposfera (Fig. 6.4c), além de estar deslocado para o oceano, portanto influenciando menos o continente, aparece também menos intenso.

Na Figura 6.4c é possível avaliar melhor os mecanismos que contribuem para a advecção quente em Florianópolis. A circulação anômala da ASAS em 850 hPa está centrada no oceano, afastada da costa do Sudeste, porém se estende por esta região e contribui, mesmo que em pequena parte, para os ventos quentes de quadrante norte que se direcionam a SC. No entanto o fluxo de noroeste do JBN se mostra predominante para transporte de calor, anomalamente confluente e perpendicular a costa, o que reforça a possibilidade da subsidência local também contribuir pra elevação das temperaturas em superfície.

Figura 6.3 – Compostos da média de 14 casos de extremo calor de Florianópolis entre 2002 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.4 – Campos de anomalias ponderadas de 14 casos de extremo calor em Florianópolis de 2012 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.1.1.3 Porto Alegre

Os campos médios dos extremos de calor para Porto Alegre estão dispostos na Figura 6.5, em diversas variáveis e níveis. Assim como para as demais cidades da Região Sul, a grande maioria dos casos ocorreu no verão austral (70%) ou em meses próximos (21% dos casos em Novembro e Março), o que justifica a circulação em 200 hPa (Fig. 6.5a) apresentar a AB e CN, sistemas típicos da estação, mesmo que ligeiramente fora de suas posições climatológicas. Ainda em altitude nota-se o padrão de crista similar ao observado nas demais cidades, porém neste caso com eixo entre o Paraguai e o norte gaúcho, além da curvatura anticiclônica da corrente de jato, cuja borda está ao sul do Uruguai.

Na troposfera média (Fig. 6.5b) o principal destaque é a circulação anticiclônica que atua com núcleo estendido entre Paraguai, sul da Bolívia, norte da Argentina e do Chile. Este sistema induz subsidência de massa e é um dos responsáveis pelo aquecimento intenso das camadas mais baixas da atmosfera na região, como pode ser observado no campo de temperatura em 850 hPa (Fig. 6.5c). O escoamento médio do JBN também é notado, transportando o ar quente daquela região em direção a todo o estado do RS. Outro mecanismo observado neste nível é a circulação da ASAS (Fig. 6.5c), cuja borda adentra a região sudeste trazendo ventos de quadrante norte, portanto também quentes, em direção a região de Porto Alegre. Em superfície (Fig. 6.5e) a ASAS aparece um pouco ao sul de sua posição climatológica e mais alongada, chegando a se aproximar do continente com a isolinha de 1014 hPa próxima a costa da região Sul.

Os campos de anomalias ponderadas estão apresentados para Porto Alegre na Figura 6.6. Nos altos níveis (Fig. 6.6a) a ampla anomalia anticiclônica com núcleo ao sul do RS evidencia o padrão de onda longa que domina nos casos de extremo calor na cidade. Além disso, também nota-se a anomalia negativa na magnitude do vento e a confluência do fluxo sobre grande parte da região Sul e países vizinhos, e a zona baroclinica recuada, representada pelas anomalias de leste mais ao sul. Esse padrão de crista anômala tem associação nas camadas abaixo, sendo notada tanto pelo máximo de espessura na camada 1000-500 hPa (Fig. 6e), em posição bastante parecida com o núcleo em altitude, quanto pelo anticiclone em 500 hPa (Fig. 6b), centrado próximo a costa do RS, evidenciando a barotopia do sistema. Portanto, há condições dinâmicas que

induzem a subsidência de massa próximo a Porto Alegre, que por si só já favorece o aquecimento em superfície na região.

Em 850 hPa (Fig. 6.6c) nota-se a circulação anômala da ASAS neste nível, bem mais ao sul do que o esperado pela climatologia, fato corroborado pela anomalia positiva de PNMM no sudoeste do Atlântico e em parte da região Sudeste (Fig. 6.6e). Esse fluxo transporta calor do Brasil central para a região de Porto Alegre, através de seus ventos de quadrante Norte. No entanto o JBN aparenta ter papel importante na advecção quente necessária para a ocorrência dos eventos de extremo calor na cidade. Além de seu fluxo estar bem direcionado ao RS no campo de anomalia (Fig. 6.6c), a quantidade de calor transportado por ele pode ser relevante, já que é notada uma intensificação da BCH, representada pela anomalia negativa no campo de PNMM e um cavado relativo no máximo de espessura da camada (Fig. 6.6e), que se estendem pelo norte da Argentina até o Paraguai e Bolívia. Uma das causa é a presença de uma anomalia ciclônica no campo de 500 hPa (Fig. 6.6b), posicionada no Pacífico e que se alonga por todo o oeste do Chile, responsável por intensificar a subsidência a leste dos Andes. Isso contribui para um aquecimento ainda maior da região de atuação da BCH de modo intensifica-la, notado pelas anomalias positivas de temperatura e theta e na baixa troposfera (Fig. 6.6c e 6.6d) que se estendem até o RS.

Foram analisados também os compostos médios e anomalias dos casos de extremo calor de Porto Alegre divididos nos tipo 1, 2 e 3 (seção 4.1.3.4), porém as diferenças dos padrões sinóticos deles para os compostos totais eram mínimas, apenas em relação a posicionamento e intensidade dos sistemas. Desta forma não se fez necessária à discussão de acordo com esta a divisão proposta.

Figura 6.5 – Compostos da média de 87 casos de extremo calor de Porto Alegre entre 1988 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.6 – Campos de anomalias ponderadas de 87 casos de extremo calor em Porto Alegre de 1988 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.1.1.4 Análise do Extremo Desconforto Térmico

Os padrões sinóticos médios dos períodos de extremo desconforto ao calor dentro dos casos selecionados foram analisados com base em diversos campos, porém a discussão sobre eles melhor se resume com base na anomalia ponderada. Como na região Sul a cidade de Curitiba não apresentou desconforto ao calor nas categorias mais extremas (seção 4.1.2), nesta seção são apresentados os resultados referente apenas a Florianópolis (Fig. 6.7) e Porto Alegre (Fig. 6.8).

De forma geral, em ambas as cidades os campos médios de extremo desconforto ao calor (figuras não apresentadas) são bem parecidos aos dos totais de casos (Fig. 6.3 e Fig. 6.5) e também entre si. Uma das diferenças encontradas na análise das anomalias está no nível de 850 hPa, onde nota-se o transporte de calor mais direcionado as cidades (Fig. 6.7c e Fig. 6.8c) e mais intenso, tanto pela confluência anômala do fluxo quanto pelas anomalias positivas de temperatura e *theta e* (Fig. 6.7d e 6.8d), mais altas que nos campos totais (Fig. 6.4 e Fig. 6.6).

O extremo desconforto ao calor em Florianópolis e Porto Alegre parece ocorrer quando os casos de extremo calor já estão estabelecidos e prestes a serem desconfigurados, como se fosse um ponto de "máxima". Esta hipótese se sustenta nas anomalias ciclônicas bem configuradas nos altos (Fig. 6.7a e Fig. 6.8a) e médios níveis (Fig. 6.7b e Fig. 6.8b), assim como no campo de espessura (Fig. 6.7e e Fig. 6.8e), ao sul da região onde se estabelece a crista, sugerindo o avanço de um sistema transiente que pode romper o padrão de extremo calor. Ainda é possível identificar uma situação frontal no próxima à província argentina de Buenos Aires, onde há um gradiente de *theta e* (Fig. 6.7e e Fig. 6.8e), que pode ser associado a atuação de sistemas frontais. Deste modo, o extremo desconforto ao calor nas capitais gaúcha e catarinense teria relação com pré-frontais, que de fato contribuem para o aumento da advecção de calor nas regiões a norte da frente.

Figura 6.7 – Campos de anomalias ponderadas dos dias com extremo desconforto ao calor em Florianópolis de 2002 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.8 – Campos de anomalias ponderadas dos dias com extremo desconforto ao calor em Porto Alegre de 1988 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.1.2 Extremos de Frio

São apresentados nesta seção os resultados para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre. O extremo desconforto térmico não é discutido para os extremos de frio pois este foi predominante em todos os casos, para todas as cidades, como já discutido anteriormente (seção 4.1.3.4). Deste modo, assume-se que os compostos discutidos também representam o extremo desconforto ao frio.

6.1.2.1 Curitiba

A Figura 6.9 apresenta os compostos médios para os casos de extremo frio identificados em Curitiba. Nos altos níveis (Fig. 6.9a) destaca-se a corrente de jato, cujo núcleo amplo atua sobre a região Sul e partes do Sudeste e Centro-Oeste e tem seu valor máximo identificado entre o leste de SP e do PR, reflexo da atuação de um sistema frontal em superfície. Também é possível notar o cavado ao qual o jato contorna, com eixo ao largo da costa sudeste da América do Sul, fenômeno típico e fundamental para as incursões de ar frio no continente, uma vez que sua amplificação está associada a frontogênese (Muller, 2005). A assinatura do cavado em altitude também aparece nos níveis médios (Fig. 6.9b) e baixos da troposfera (Fig. 6.9c), e no campo de espessura da camada 1000-500 hPa (Fig. 6.9e), onde o eixo adentra o RS.

No nível de 850hPa (Fig. 6.9c) a circulação anticiclônica que aparece entre o norte da Argentina e o Paraguai é reflexo do anticiclone migratório (ou alta migratória) que se estabelece nos arredores desta região durante as incursões de ar frio, e pode ser identificado no campo de PNMM (Fig. 6.9e), com núcleo médio de cerca de 1026 hPa posicionado na divisa entre o RS e a Argentina. Esse sistema induz subsidência de massa, contribuindo para uma expressiva perda de calor noturno por resfriamento radiativo, combinado ao baixo conteúdo de umidade e céu claro, e faz com que o ar frio se mantenha por vários dias em sua região de atuação, que neste caso inclui a região de Curitiba. Além disso, o fluxo de componente sudoeste, ainda no nível de 850 hPa (Fig. 6.9c), que avança pelo Sul do Brasil transporta ar frio na direção de Curitiba, sendo mais um componente essencial para a ocorrência dos extremos de frio na cidade.

O campo médio de *theta e* (Fig. 6.9d) apresenta um padrão da presença de sistema frontal sobre o continente, mas não um gradiente bem definido. Por Curitiba ser uma cidade alta já há um fator físico que colabora para o estabelecimento de temperaturas

mais baixas, portanto sistemas frontais relativamente mais brandos podem acabar causando os extremos de frio na cidade ou então esses conseguem perdurar por mais dias, até a frente perder suas características mais intensas, o que suaviza os campos médios.

Os campos de anomalia ponderada para Curitiba são apresentados na Figura 6.10. O padrão típico de onda das latitudes médias que caracteriza as incursões de ar frio na AS (seção 2.2.2) é mais bem identificado nesse conjunto de compostos, onde se observa tanto em 200 hPa (Fig. 6.10a) quanto em 500 hPa (Fig. 6.10b) a crista a oeste dos Andes, representada pela anomalia anticiclônica ao largo da costa do Chile ,e o cavado na costa sudeste da AS, cuja anomalia ciclônica representante tem centro próximo a costa do RS. Esse padrão também aparece marcado na anomalia de espessura 1000-500 hPa (Fig. 6.10e).

Na camada baixa da troposfera destaca-se a advecção fria anômala (Fig. 6.10c) que se estende por toda a região Sul, além de partes do Sudeste, Centro-Oeste e sul amazônico. A forte componente de sul da anomalia do fluxo neste nível está associada a manutenção dos extremos de frio na região Curitiba, que é já bastante evidente devido a abrangente anomalia negativa de *theta e* (Fig. 10d), além da anomalia positiva no campo de PNMM (Fig. 6.10e), que indicam uma massa de ar bastante frio e seco, corroborando o intenso anticiclone migratório que se estabelece na região (Fig. 6.9e).

Figura 6.9 – Compostos da média de 40 casos de extremo frio de Curitiba entre 1980 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.10 - Campos de anomalias ponderadas de 40 casos de extremo frio em Curitiba de 1980 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado)

Fonte: Produção do autor

6.1.2.2 Florianópolis

De forma geral, os compostos médios dos casos de extremo frio para Florianópolis, dispostos na Figura 6.11 a seguir, são bastante similares ao encontrados para Curitiba (Fig. 6.9), bem como os campos de anomalias ponderadas de ambas as cidades (CTB – Fig. 6.10; FLP – Fig. 6.12), principalmente em relação às condições dinâmicas associadas às incursões de ar frio. Desta forma, identifica-se também o padrão de onda em 200hPa (Fig. 6.11a e Fig. 6.12a), 500hPa (Fig. 6.11b e Fig. 6.12b) e nos campos de espessura 1000-500hPa (Fig. 6.11e e Fig. 6.12e), todos ligeiramente deslocados à sudoeste, como era de se esperar pela posição da cidade analisada. Nota-se o núcleo mais intenso da corrente de jato em altitude (Fig. 6.11a), com um máximo identificado próximo à costa de SC e PR, que é corroborado também pela anomalia positiva da magnitude do vento nesta mesma região (Fig. 6.12a). Vale resaltar que os compostos reúnem apenas 8 casos fazendo com que os campos sejam menos suavizados, principalmente quando comparado a Curitiba, que teve 40 casos integrando os estudos. De qualquer maneira, os intensos ventos em altitude estão associados para com o observado na média troposfera, havendo um máximo na magnitude do vento em 500 hPa (Fig. 6.11b), que atua sobre SC, parte do PR, leste de SP e oceano adjacente, também anômalo (Fig. 6.12b).

Na baixa troposfera, a maior diferença dos campos médios de Florianópolis em relação aos de Curitiba está no escoamento em 850hPa (Fig. 6.11c), com uma circulação anticiclônica mais bem definida no nordeste da Argentina, associada a alta migratória mais intensa (Fig. 6.11e e Fig. 6.12e) que atua sobre toda a região Sul do país. O transporte de ar frio tem uma componente mais de Sul em comparação os compostos da capital paranaense, indicando que a advecção fria pode ser mais eficiente nos casos extremos ocorridos em Florianópolis. Além disso, no correspondente campo de anomalia (Fig. 6.12c) é possível notar o fluxo do oceano direcionado à cidade, o que ao considerar também a anomalia negativa da temperatura sobre o oceano, é mais um indício do transporte de ar ainda mais frio para a região. Por fim, destaca-se o campo médio de *theta e* (Fig. 6.11d), cujo gradiente permite identificar melhor no continente a área frontal dos sistemas que provocam as incursões de ar frio extremas em Florianópolis, atuando sobre de SP, cortando o MS e indo até aproximadamente o sul de RO.

Figura 6.11 – Compostos da média de 8 casos de extremo frio de Florianópolis entre 2002 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.12 - Campos de anomalias ponderadas de 8 casos de extremo frio em Florianópolis de 2002 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.1.2.3 Porto Alegre

Os compostos médios dos casos de extremo frio em Porto Alegre e seus correspondentes campos de anomalias, apresentados respectivamente nas Figuras 6.13 e 6.14, também são bastante parecidos com os analisados anteriormente para as demais capitais do Sul do Brasil, o que resume esta seção à breve discussão das principais diferenças identificadas. O padrão de onda de latitudes médias aqui também se encontra ligeiramente deslocado à sudoeste (Figs. 6.13a, 6.13b, 6.13e, 6.14a, 6.14b e 6.14e), devido ao posicionamento da cidade analisada. No campo médio de 850 hPa (Fig. 6.13c) nota-se o cavado frontal com eixo mais próximo a costa da região Sul do que o observado nas outras cidades (Fig. 6.11c e Fig. 6.9c), contribuindo para aumentar a componente sul do vento na direção de Porto Alegre e arredores durante os casos extremos. Isto está mais bem representado pela intensa anomalia negativa de temperatura em 850 hPa sobre o RS, combinada ao escoamento de sul (Fig. 6.14c) bem direcionado a Porto Alegre, representado uma advecção de ar frio bastante eficiente atuando na cidade.

Figura 6.13 – Compostos da média de 26 casos de extremo frio de Porto Alegre entre 1988 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.14 - Campos de anomalias ponderadas de 26 casos de extremo frio em Porto Alegre de 1988 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.2 Região Sudeste

6.2.1 Extremos de Calor

Esta seção se inicia com os resultados e discussões referentes ao Rio de Janeiro, uma vez que os extremos de calor foram mais numerosos e relevantes nesta cidade do que nas demais estudadas na região Sudeste. Na sequência São Paulo e Belo Horizonte tem a análise de seus resultados apresentadas. Por fim, o extremo desconforto térmico nos casos é abordado para as cidades que apresentaram esta característica.

6.2.1.1 Rio de Janeiro

Os compostos médios dos extremos de calor identificados para o Rio de Janeiro estão dispostos na Figura 6.15. A circulação nos altos níveis da troposfera (Fig. 6.15a) apresenta o padrão típico da climatologia do verão austral, com a presença da AB e do CN próximos de suas posições climatológicas. Isso se justifica já que 83% dos casos de extremo calor ocorrem na cidade entre novembro e março. Nota-se também uma crista pronunciada com eixo direcionado a divisa entre SP e MG, além da curvatura anticiclônica da corrente de jato (Fig. 6.15a) com a borda atravessando o RS. Esta crista tem assinatura também nas camadas mais abaixo, como é notado no campo médio da espessura 1000-500 hPa (Fig. 6.15e) e no estabelecimento do anticiclone em 500 hPa (Fig. 6.15b), cuja borda adentra o continente e influência parte da região Sudeste, incluindo a cidade do Rio de Janeiro, ajudando a reforçar a subsidência.

No nível de 850 hPa (Fig. 6.15c) é possível identificar o reflexo da circulação da ASAS, ampla e próxima a costa da região Sudeste em superfície (Fig. 15e), cuja borda auxilia o transporte dos ventos quentes de quadrante Norte na direção da cidade. Os ventos de Noroeste reforçam a advecção de calor na região, oriundos da deflexão dos alísios, associado ao JBN, que transportam calor da região amazônica e tem reforço no Brasil central, com as altas temperaturas na região (Fig. 6.15c). A intensa língua quente que afeta o RJ e adjacências é notada tanto no campo de temperatura em 850 hPa quanto no de *theta e* neste nível (Fig. 6.15d).

A Figura 6.16 apresenta os campos de anomalias ponderadas para os extremos de calor no Rio de Janeiro. Em 200 hPa (Fig. 6.16a) a crista que se estabelece durante os casos está representada pela circulação anticiclônica anômala centrada ao leste de SC e nota-se a anomalia negativa da magnitude do vento, que influencia o RJ e também SP, MS e

PR. Esse padrão tem associação nos níveis abaixo, justificando a anomalia positiva da espessura da camada 1000-500 hPa (Fig. 6.16e) e o anticiclone em 500 hPa (Fig. 6.16b), posicionados de forma bastante semelhante com o núcleo em altitude. Portanto trata-se de uma onda longa, de lento deslocamento e com baixa baroclinia. Confirma-se então a existência de condições dinâmicas que favorecem a subsidência de massa nos arredores da cidade do Rio de Janeiro e, em parte, contribuem para o aquecimento em superfície, principalmente por inibir a formação e desenvolvimento das nuvens.

Em 850 hPa o composto que combina as anomalias do escoamento e da temperatura (Fig. 6.16c) permite melhor identificar os mecanismos que contribuem para a advecção de calor relacionada aos extremos. Nota-se a circulação anômala da ASAS neste nível, que se alonga e adentra a região Sudeste, inclusive com um núcleo secundário sobre MG, contribuindo fortemente para o fluxo de N/NO que influencia a cidade. Além disso, há uma contribuição relevante do fluxo de NO vindo da Amazônia, o que já resultaria em advecção quente eficiente e intensa. A topografia pode influenciar ainda mais a elevação das temperaturas em superfície, uma vez que a cidade do Rio de Janeiro é imediatamente rodeada por uma região de serra, induzindo uma subsidência local favorecida pelo escoamento, o que pode ser deduzido pelo gradiente anômalo da espessura 1000-500 hPa (Fig. 6.16e) sobre parte do RJ. A conjunção de todos esses fatores justifica a grande quantidade de casos de extremo calor encontrados na capital fluminense em um período tão curto de tempo (76 casos em 15 anos), tornando a cidade muito propensa à ocorrência de extremos quentes.

As anomalias negativas de *theta e* (Fig. 6.16d) e da espessura 1000-500hPa (Fig. 6.16e) ao longo da costa da Argentina sugerem a presença de um cavado na região, corroborado pelas anomalias ciclônicas nos altos (Fig. 6.16a) e médios níveis (Fig. 6.16b), indicando o avanço de um sistema transiente pelo Sul do Brasil. Ainda é possível identificar no campo médio em 850 hPa (Fig. 6.15c) um indicio do cavado frontal associado, com eixo próximo a costa do Uruguai. Deste modo, os casos de extremo calor no Rio de Janeiro aparentemente estão associados a situações pré-frontais, que favorecem a advecção quente nas regiões ao norte da onda frontal.

Foram avaliados os compostos médios e anomalias dos extremos de calor do Rio de Janeiro também de acordo com divisão por tipos proposta na seção 4.2.3.2. No entanto,

ao analisa-los não foram encontradas diferenças significativas em relação aos campos totais, não sendo necessária a discussão detalhada do conjunto.

Figura 6.15 – Compostos da média de 76 casos de extremo calor do Rio de Janeiro entre 2002 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.16 – Campos de anomalias ponderadas de 76 casos de extremo calor no Rio de Janeiro de 2002 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.2.1.2 São Paulo

Os campos médios dos casos de extremo calor de São Paulo (Fig. 6.17) e suas respectivas anomalias ponderadas (Fig. 6.18) têm os padrões sinóticos similares aos identificados para o Rio de Janeiro, com algumas diferenças em relação a posicionamento além de outros nuances descritos a seguir, devido ao conjunto de casos da capital paulista ser menor e mais heterogêneo. Na circulação média em altitude (Fig. 6.17a) notam-se os sinais da AB e CN, porém desconfigurados, já que os extremos quentes na cidade não ocorrem apenas no verão austral, havendo uma ligeira maioria, 5 no total, registrados nos meses de primavera. No entanto, a crista característica neste nível aparece pronunciada, com eixo quase meridional direcionado ao sul de SP, o que é endossado pelo anticiclone no campo de anomalia correspondente (Fig. 6.18a). Seu papel de dar suporte à subsidência de massa é evidenciado pela presença de um amplo anticiclone em 500 hPa, neste caso atuando diretamente sobre o continente (Fig. 6.17b) com centro entre SP, MG e RJ, e também pela crista no campo de espessura 1000-500 hPa (Fig. 6.17e) ainda mais evidente quando analisada sua anomalia (Fig. 6.18e). Este anticiclone contribui diretamente para o estabelecimento dos casos de extremo de calor, principalmente por manter as condições de céu claro que favorecem o aumento da temperatura na cidade.

Outra diferença, ainda que sutil, entre as causas dos extremos de calor em São Paulo comparado ao Rio de Janeiro está no mecanismo que favorece a advecção de calor. O fluxo médio em 850 hPa é bem similar quando comparadas as duas cidades (Fig. 6.15c e Fig. 6.17c), com a circulação da ASAS adentrando a região Sudeste. Porém quando analisadas as anomalias correspondentes nota-se que em SP (Fig. 6.18c) o escoamento de noroeste que transporta calor na direção da cidade é forçado principalmente pela circulação anticiclônica, que apresenta inclusive um núcleo anômalo secundário entre MG e SP. Vale ressaltar que a anomalia positiva de temperatura e *theta e* nos baixos níveis é mais ampla e relativamente mais intensa nos extremos de São Paulo (Fig. 6.18c e Fig. 6.18d), o que indica ser necessária uma quantidade de calor maior para desencadear extremos na cidade, que está a cerca de 800m de altitude, do que no Rio de Janeiro (Fig. 6.16c e Fig. 6.16d), que tem o fator topográfico que favorece a recorrência de altas temperaturas na cidade.

Por fim, há também sinais do fator pré-frontal relacionado à ocorrência dos extremos de calor em São Paulo, ainda que não tão evidentes como encontrado anteriormente. Eles se mostram nas anomalias negativas de *theta e* da espessura 1000-500 hPa (Fig. 6.18d e Fig. 6.18e), ao largo da costa argentina, e no cavado que se amplifica ao sul do Uruguai no campo médio do escoamento em 850 hPa (Fig. 6.17c).

Figura 6.17 – Compostos da média de 9 casos de extremo calor de São Paulo entre 1980 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.18 – Campos de anomalias ponderadas de 9 casos de extremo calor em São Paulo de 1980 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.2.1.3 Belo Horizonte

Os compostos médios dos casos de extremo calor em Belo Horizonte (Fig. 6.19), bem como seus correspondentes campos de anomalia ponderada (Fig. 6.20). Como a maioria dos casos em BH se concentra na primavera austral (71%) é possível identificar apenas sinais da atuação da AB e do CN nos campos médios em altitude (Fig. 6.19a), que acabam aparecendo pois o restante dos extremos de calor da cidade (29%) ocorrem estritamente nos meses de verão. O padrão de crista pronunciada também se mostra neste nível (Fig. 6.19a e Fig. 6.20a), com eixo deslocado para nordeste como esperado pela localização da cidade, e tem associação nas camadas mais abaixo, como notado nos campos médios e anomalias da espessura da camada 1000-500 hPa (Fig. 6.19e e Fig. 6.20e) e no escoamento em 500hPa (Fig. 6.19b e Fig. 6.20b). O anticiclone reflexo deste aprofundamento é bastante amplo e está centrado nos arredores de BH, o que indica que a subsidência é um fator importante no estabelecimento dos extremos de calor na cidade.

Em 850 hPa o escoamento médio (Fig. 6.19c) aparenta não contribuir tanto com o transporte de calor para BH durante seus extremos, como ocorre em São Paulo e no Rio de Janeiro por exemplo, com a circulação associada a ASAS um pouco mais afastada do continente, também observada em superfície (Fig. 6.19e). No campo de anomalia correspondente (Fig. 6.20c) é possível identificar uma circulação anticiclônica sobre o Centro-Oeste brasileiro, cuja borda sul direciona um fluxo de componente oeste, que pode auxiliar no aquecimento da região de BH pois é oriundo de uma região originalmente mais quente. A anomalia positiva de temperatura (Fig. 6.20c) sobre grande parte de MG é, no entanto, significativa, o que pode indicar que o mecanismo de subsidência na média troposfera contribui de forma relevante para os períodos de temperaturas extremas na cidade.

Figura 6.19 – Compostos da média de 14 casos de extremo calor de Belo Horizonte entre 1988 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.20 – Campos de anomalias ponderadas de 14 casos de extremo calor em Belo Horizonte de 1988 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.2.1.4 Análise do Extremo Desconforto Térmico

Assim como feito para a região Sul na seção 6.1, a discussão do extremo desconforto ao calor dentro dos casos selecionados será feita com base nos campos de anomalia ponderada. Como a cidade de Belo Horizonte não apresentou desconforto ao calor nas categorias mais extremas da classificação (seção 4.2.2), esta seção apresenta os resultados referentes ao Rio de Janeiro (Fig. 6.21) e São Paulo (Fig. 6.22).

As anomalias do extremo desconforto ao calor para as duas cidades tem as mesmas características gerais encontradas nas anomalias totais apresentadas (Fig. 6.16 e Fig. 6.18) e detalhadas anteriormente, portanto será feita uma breve discussão a respeito das principais diferenças que favorecem a ocorrência do desconforto térmico. No Rio de Janeiro há uma intensificação do escoamento de noroeste em 850 hPa (Fig. 6.21c) responsável pelo transporte de calor para os arredores da cidade, nota-se o fluxo oriundo da Amazônia confluindo sobre o RJ com a circulação que contorna o anticiclone anômalo, centrado em GO, mais amplo do que aquele observado no campo total (Fig. 6.16c). O efeito da topografia da região fica bastante evidente no gradiente da espessura 1000-500 hPa (Fig. 6.21e), na divisa entre MG e RJ.A anomalia positiva de temperatura (Fig. 6.21c), mais intensa que no campo total, reflete as altas temperaturas que desencadeiam o extremo desconforto térmico na capital fluminense.

Os campos de anomalia para São Paulo apresentados (Fig. 6.22) são mais ruidosos pois a quantidade de dias de extremo desconforto térmico é menor em relação aos demais conjuntos analisados até aqui. De qualquer modo, é possível identificar o fator que mais contribui para que uma situação deste tipo se estabeleça na cidade, e está relacionado ao anticlone anômalo na média troposfera (Fig. 6.22b) sobre o leste de SP. Nota-se ainda uma anomalia ciclônica no nível de 850 hPa (Fig. 6.22c) aproximadamente sobre a mesma região, o que indica uma subsidência intensa sobre a região da capital paulista, corroborada pelo gradiente no campo de espessura 1000-500 hPa (Fig. 6.22e), de um ar já anomalamente mais quente (Fig. 6.22c). Isso reflete no aquecimento intenso em superfície, propiciando o estabelecimento de condições de extremo desconforto térmico na cidade.

Nas duas cidades aqui analisadas, o extremo desconforto térmico parece ocorrer quando o caso atinge seu máximo e está prestes a ser desconfigurado pela passagem de um

sistema transiente, representado principalmente pelas anomalias negativas da espessura 1000-500 hPa (Figs. 6.21e e 6.22e) ao largo da costa da Argentina e sobre o Uruguai, mais avançadas do que o observado nos campos totais (Figs. 6.16e e 6.18e). Essa situação de pré-frontal também pode incrementar a advecção quente em direção a essas cidades.

Figura 6.21 – Campos de anomalias ponderadas dos dias com extremo desconforto ao calor no Rio de Janeiro de 2002 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.22 – Campos de anomalias ponderadas dos dias com extremo desconforto ao calor em São Paulo de 1980 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.2.2 Extremos de Frio

Os resultados são apresentados nesta seção começando por São Paulo, que apresentou a maior quantidade de casos de extremo frio da região, seguido por Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Assim como para a região Sul, o extremo desconforto ao frio foi predominante em todos os casos de todas as cidades, portanto os compostos apresentados a seguir também o representam.

6.2.2.1 São Paulo

Os compostos médios para os casos de extremo frio identificados em São Paulo estão apresentados na Figura 6.23, enquanto seus correspondentes campos de anomalia ponderada estão reunidos na Figura 6.24. O padrão da onda frontal, conceituado ao longo da discussão dos casos para a região Sul, se mostra amplificado, o que é característico do processo de incursão de ar frio, como pode ser notado nos campos em 200 hPa (Fig, 6.23a e Fig. 6.24a), 500 hPa (Fig, 6.23b e Fig. 6.24b) e na espessura 1000-500 hPa (Fig, 6.23e e Fig. 6.24e), com o eixo do cavado já alcançando RS e SC. A intensa corrente de jato em altitude (Fig, 6.23a), que dá suporte aos sistemas frontais na superfície, apresenta máximo entre a costa do PR e SP, sendo que esses ventos com velocidade acima da média (Fig. 6.24a) se aprofundam até a média troposfera, porém mais restritos ao oceano (Fig. 6.23b).

Na baixa troposfera é possível identificar a circulação média do anticiclone migratório (Fig.6.23c) centrado próximo ao RS, como também mostra o campo em superfície (Fig. 6.23e) com sua alta correspondente bastante ampla e continental, alcançando SP e se acoplando a ASAS. O cavado no nível de 850 hPa (Fig.6.23c) tem eixo quase paralelo a costa da região Sul e seu posicionamento em relação a SP contribui para reforçar o transporte de ar frio para a capital do estado. Esse aspecto é mais bem caracterizado no campo de anomalia correspondente (Fig.6.24c), que permite identificar o fluxo com forte componente de Sul sob uma intensa anomalia negativa de temperatura.

As incursões de ar frio que causam os extremos na cidade de São Paulo tem potencial para causar temperaturas muito abaixo da média em parte da região Centro-Oeste e sul da região Amazônica, pelo menos até RO e AC, como pode ser visto nas anomalias em 850 hPa (Figs. 6.24c e 6.24d). Além disso, o gradiente de *theta e* identificado no composto médio (Fig. 6.23d) mostra que a zona frontal associada a esses casos ainda

está próxima a SP, o que permite concluir que os extremos de frio na capital paulista ocorrem logo após a passagem de uma frente fria e tendem a não perdurar por muitos dias.

Figura 6.23 – Compostos da média de 8 casos de extremo frio de São Paulo entre 1980 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.24 - Campos de anomalias ponderadas de 8 casos de extremo frio em São Paulo de 1980 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.2.2.2 Rio de Janeiro

Os compostos médios e anomalias ponderadas para os casos de extremo frio da cidade do RJ, Figuras 6.25 e 6.26 respectivamente, se assemelham aqueles já descritos para São Paulo, sendo abordadas a seguir apenas as principais diferenças entre eles. O padrão de onda em altitude (Fig. 6.25a e Fig. 26a) e nos níveis médios (Fig. 6.25b e Fig. 6.26a) estão deslocados para leste/sudeste, principalmente em 500 hPa, indicando sua tendência de inicio de decaimento.

A massa de ar frio que causa os extremos no Rio de Janeiro tem componente marítima, identificada no campo médio de PNMM (Fig. 6.23e) e destacada pela anomalia positiva da mesma variável (Fig. 6.24e) que avança pelo Atlântico adjacente à costa do Sul e Sudeste. A Figura 6.24c apresenta o fluxo anômalo em 850hPa evidencia o transporte de ar frio na direção da cidade do Rio de Janeiro, praticamente perpendicular à costa. Trata-se de um dos padrões sinóticos típicos de ondas de frio que atuam sobre o Sudeste brasileiro (Escobar, 2007), cuja massa de ar associada tende a perder suas características mais rapidamente devido ao seu deslocamento, já que os gradientes mais intensos de pressão ocorrem sobre o oceano. Nos casos aqui analisados, a forte anomalia de sul pode indicar que o deslocamento do vento é tão mais intenso que ele não mantém a superfície de contato com o oceano, retardando a modificação da parcela de ar e favorecendo o estabelecimento dos casos extremos na cidade.

Figura 6.25 – Compostos da média de 3 casos de extremo frio do Rio de Janeiro entre 2002 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.26 - Campos de anomalias ponderadas de 3 casos de extremo frio no Rio de Janeiro de 2002 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.2.2.3 Belo Horizonte

As Figuras 6.27 e 6.28 apresentam, respectivamente, os compostos médios e campos de anomalias ponderadas pra os casos de extremo frio em Belo Horizonte. O padrão de onda que causa as incursões de ar frio aparece mais avançado e bem mais ao Norte do que foi observado até aqui (Figs. 6.27a, 6.27b, 6.27e, 6.28a, 6.28b, 6.28e). A corrente de jato em altitude (Fig. 6.27a) aparece bifurcada, com um ramo de sua entrada se estendendo sobre RJ, ES e leste de MG, o que pode indicar que os sistemas frontais em superfície estão mais fracos e podem não avançar continente adentro. O cavado em 500 hPa (Fig. 6.27b) é bastante amplo, com eixo ao largo da costa brasileira adentrando até a BA.

Nos baixos níveis, a circulação média associada ao anticiclone migratório aparece em 850 hPa (Fig. 6.27c) mais deslocada ao oceano, centrada próxima a costa de SC e PR, já misturando o escoamento com a circulação da ASAS. Este aspecto fica bastante claro no campo de PNMM (Fig. 6.27e), que mostra uma ampla área de alta pressão que abrange todo o Sul e Sudeste, parte do Centro-Oeste, chega influenciar o sul da BA e se estende pelo Atlântico. O ar frio que chega a BH tem forte componente marítima (Fig. 6.23c), por isso os extremos tendem a ser de curta duração, uma vez que a massa de ar esta altura já perdeu muito de suas características, não mantendo o frio muitos dias além da passagem do sistema frontal.

Figura 6.27 – Compostos da média de 6 casos de extremo frio de Belo Horizonte entre 1988 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.28 - Campos de anomalias ponderadas de 6 casos de extremo frio em Belo Horizonte de 1988 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.3 Brasil Central

6.3.1 Extremos de Calor

A seção inicia com os resultados referentes à Goiânia e Brasília reunidos em um único tópico, pois devido a pouca distância entre as cidades os padrões sinóticos médios são os mesmos e podem ser discutidos em conjunto. Na sequência a análise referente à Rio Branco é apresentada. O último tópico é dedicado a abordar as principais características das situações de extremo desconforto ao calor em Rio Branco, que foi a única das três cidades que teve registros desta natureza.

6.3.1.1 Goiânia e Brasília

Os campos médios dos casos de extremo calor de Goiânia e Brasília são apresentados nas Figuras 6.29 e 6.30, enquanto suas respectivas anomalias ponderadas estão representadas nas Figuras 31 e 32. A grande maioria dos casos nas duas cidades ocorreu nos meses da primavera austral (SON) (93% - BSB; 68% - GOA), de forma que a circulação média em altitude (Fig. 6.29a e Fig. 6.30a) apresenta apenas um sinal de inicio da configuração típica da estação seguinte, o verão. Observa-se porém a crista característica dos padrões de extremo calor identificados anteriormente, cujo eixo corta região Centro-Oeste do Brasil direcionado ao Sudeste. Nos campos de anomalia em 200 hPa (Fig. 6.31a e Fig. 6.32a) e 500 hPa (Fig. 6.31b e Fig. 6.32b) amplos anticiclones se configuram praticamente batropicos, centrados na costa entre o Sul e Sudeste brasileiro, além do máximo anômalo na espessura 1000-500 hPa (Fig. 6.31e e Fig. 6.32e), representando a baixa baroclinia deste sistema. Trata-se, portanto, de uma onda atmosférica longa e de lento deslocamento, recuando a zona de máxima baroclinia mais para o sul.

Associado a essa configuração em altitude, na troposfera média (Fig. 6.29b e Fig. 6.30b) encontra-se um amplo anticiclone no continente, centrado entre o Sul de GO e MG. A subsidência de massa induzida, como já explorado nas seções anteriores, favorece uma maior insolação. A região central do Brasil, que durante a primavera está no ápice de sua estação seca, tem seus solos bastante secos, fazendo com que a radiação incidente na superfície seja quase totalmente transformada em calor sensível, uma vez que não há umidade significativa no solo para ser evaporada e convertida em calor

latente. Este parece ser o mecanismo fundamental para o estabelecimento e manutenção dos extremos de calor em Brasília e em Goiânia.

A circulação média em 850 hPa (Fig. 6.29c e Fig. 6.30c) mostra uma componente de leste direcionada às cidades, parte do escoamento da ASAS no oceano. Porém ao analisar o campo de anomalia correspondente (Fig. 6.31c e Fig. 6.32c) nota-se uma circulação anticiclônica, ainda que desconfigurada, agindo sobre GO, DF e se estendendo ao MT, indicando que de fato a subsidência é intensa na região da capital federal e responsável pelo aquecimento anômalo identificado (Fig. 6.31c e Fig. 6.32c).

Goiânia está localizada a pouco mais de 150 km à sudoeste de Brasília, são portanto cidades geograficamente próximas e era de se esperar que estivessem sujeitas aos mesmos padrões sinóticos que estabelecem os extremos de calor, no entanto a primeira somou mais que o triplo de casos que a segunda. Isso pode ser explicado pela diferença de altitude entre elas, a capital federal está a cerca de 400 m acima da capital goiana, garantindo uma frequência maior de dias relativamente mais amenos apenas devido à topografia.

Figura 6.29 – Compostos da média de 98 casos de extremo calor de Goiânia entre 1980 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.30 – Compostos da média de 30 casos de extremo calor de Brasília entre 1980 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível medío do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.31 – Campos de anomalias ponderadas de 98 casos de extremo calor em Goiás de 1980 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível médio do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.32 – Campos de anomalias ponderadas de 30 casos de extremo calor em Brasília de 1980 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível médio do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.3.1.2 Rio Branco

As Figuras 6.33 e 6.34 apresentam, respectivamente, os campos médios e anomalias ponderadas para os casos de extremo calor em Rio Branco. Esta foi a única cidade dentre as estudadas que onde padrão de onda longa em altitude, com a ampla crista característica com eixo direcionado à região de interesse, não está claro nos campos médios e de anomalia (Fig. 6.33a e Fig. 6.34a). No entanto o anticiclone em 500 hPa (Fig. 6.33b) aparece bem configurado, amplo e centrado no oeste do MT, atuando sobre o AC em sua borda noroeste, o que portanto influencia a elevação das temperaturas pelos efeitos relacionados a subsidência. A grande maioria dos casos de extremo calor ocorre na cidade entre o final do inverno e primavera, o que condiz com parte da estação seca da região, havendo uma maior disponibilidade de calor sensível para aquecimento das camadas próximas a superfície, assim como ocorre em Brasília e Goiânia (seção 1.1.1).

Ainda no nível de 500 hPa, nota-se no campo de anomalia (Fig. 6.34c) um cavado ao largo da costa chilena, se estendendo até a divisa com o Peru, que contribui para intensificar a subsidência a leste dos Andes. Isso reflete em um aquecimento anômalo a sotavento da montanha, inclusive sobre o AC, como notado nas Figuras 6.34c e 6.34d, e contribui para o abaixamento da pressão nesta região, sendo notado um sinal da BCH na anomalia da espessura 1000-500 hPa (Fig. 6.34e), ainda que um pouco mais a norte de sua posição climatológica. Esta configuração combinada com o fluxo anômalo de noroeste sobre o AC em 850 hPa (Fig. 6.34c) sugere que há advecção quente contribuindo para os extremos de calor em Rio Branco, além da subsidência preponderante.

Figura 6.33 – Compostos da média de 140 casos de extremo calor de Rio Branco entre 1997 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível médio do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.34 – Campos de anomalias ponderadas de 140 casos de extremo calor em Rio Branco de 1997 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível médio do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.3.1.3 Análise do Extremo Desconforto Térmico

A discussão do extremo desconforto ao calor dentro dos casos selecionados para Rio Branco se guia pelos campos de anomalia ponderada, apresentados na Figura 6.35. Para estas situações há um sinal da atuação do padrão de onda longa em altitude, com os anticiclones anômalos mais atuantes no continente (Figs. 6.35a e 6.35b), com centro próximo à costa do Sudeste. Isto favorece um suporte em altitude para a subsidência induzida anticiclone em 500 hPa, que na média tem o mesmo posicionamento que nos casos totais (Figura não apresentada), mas que no campo de anomalia (Fig. 6.35b) apresenta uma circulação mais bem definida sobre o continente, se estendendo do Sudeste brasileiro até a Bolívia.

Além de uma situação ainda mais favorável ao aquecimento diurno devido à intensificação da subsidência, os casos de extremo desconforto ao calor em Rio Branco podem ocorrer por um incremento no processo de advecção quente devido à formação de sistemas frontais no sul do país, o que intensifica o fluxo de noroeste que corta o AC (Fig. 6.35c). Essa configuração se mostra mais clara pela circulação ciclônica anômala identificada ao sul do RS em 850 hPa (Fig. 6.35c) e pelo mínimo no campo de espessura da camada 1000-500hPa (Fig. 6.35e).

Figura 6.35 – Campos de anomalias ponderadas dos dias com extremo desconforto ao calor em Rio Branco de 1997 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível médio do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.3.2 Extremos de Frio

Assim como na seção anterior, os resultados referentes à Goiânia e Brasília são reunidos em um único tópico, devido a pouca distância entre as cidades. As análises de Rio Branco finalizam esta seção. O extremo desconforto ao frio não foi analisado separadamente, assim como para as outras cidades, pois integrou a grande maioria dos casos (seção 4.3.3.4). Deste modo considera-se que todo caso de extremo frio tem desconforto extremo associado, portanto os campos apresentados também o representam.

6.3.2.1 Goiânia e Brasília

Os compostos médios dos casos de extremo desconforto ao frio em Goiânia e seus respectivos campos de anomalia ponderada são apresentados nas Figuras 6.36 e 6.37, enquanto que para Brasília são representados pelas Figuras 6.38 e 6.39. Como já citado anteriormente as cidades são próximas, porém ao comparar os conjuntos das figuras nota-se que os campos não são tão semelhantes entre si, porém a incursão de ar frio que alcança a região do Planalto Brasileiro tem potencial para causar extremos de temperatura em ambas. Portanto, a diferença de altura entre elas acaba sendo o fator determinante. Em Brasília, com seus 1100m de altitude, as temperaturas atingem valores ainda mais baixos e a massa de ar demora mais para mudar suas características localmente. Deste modo os casos de extremo frio que compõe os campos médios e anomalias da capital federal são mais longos do que os da capital goiana, que está a 700 m acima do nível do mar, portanto aparecem mais suavizados e com a onda frontal relativamente mais avançada. Os casos ocorridos em Goiânia, por outro lado, tem duração de no máximo 3 dias (seção 4.3.3.3), o que permite identificar em seus compostos a situação sinótica próxima a passagem dos sistemas frontais.

Começando a análise por Goiânia, o padrão de onda da incursão de ar frio, já conceituado anteriormente, aparece bastante amplificado e com forte baroclinia (Figs. 6.37a, 6.37b e 6.37e). O cavado em 200 hPa se estende por grande parte do centro-sul da AS até o sul da Amazônia (Fig. 6.36a), com assinatura em 500 hPa também bastante relevante (Fig. 6.36b) e associado ao cavado identificado na espessura 1000-500 hPa (Fig. 6.36e). A forte corrente de jato em altitude, que dá suporte para o avanço dos sistemas frontais (Fig. 6.36a) é larga, cobrindo praticamente toda região Sudeste e

metade da Centro-Oeste, se refletindo na média troposfera (Fig. 6.36b), com anomalias positivas bastante significativas (Figs. 6.37a e 6.37b).

Nos baixos níveis, a circulação média em 850 hPa (Fig. 6.36c) mostra uma forte incursão de ar frio que alcança GO, MT, RO, AC e o sul do AM, e quando combinada com as linhas de espessura (Fig. 6.36e) permite interpretar que há uma intensa advecção fria na direção de Goiânia. Trata-se um padrão altamente anômalo, como se pode observar nas Figuras 6.37c e 6.37e, com o fluxo de sul entrando pela Amazônia e chegando a ultrapassar a linha do Equador. A alta migratória (Fig. 6.36e) é fortemente continental, fator que contribui para a massa de ar se manter fria por mais tempo mesmo avançando tão a norte. O gradiente de *theta e*, identificado na Figura 6.36d, dá a dimensão de como os sistemas frontais avançam Brasil a dentro quando ocorrem extremos de frio em Goiânia.

O conjunto das figuras de Brasília (Fig. 6.38 e Fig. 6.39) permite avaliar as características sinóticas médias associadas às incursões de ar frio que alcançam a região. É possível identificar que o padrão de onda frontal em altitude pode alcançar latitudes mais baixas ainda do que o observado para Goiânia e BH, por exemplo, como é representado pela ampla anomalia anticiclônica em 200 hPa centrada no MT (Fig. 6.39a). Os cavados em 200 hPa e 500 hPa aparecem na média deslocados para leste (Figs. 6.38a e 6.38b), consequência do deslocamento da onda ao longo dos casos, porém nota-se que mesmo assim eles se mantém amplificados e com eixo alcançando o sul Amazônico. A corrente de jato em altitude permanece com anomalia positiva sobre a região de GO (Fig. 6.39a), mas aparenta ir perdendo sua intensidade sobre o continente no decorrer dos dias, sendo que na média fica restrita a parte da região Sudeste.

A alta migratória se move do continente em direção ao Atlântico, aparecendo no campo médio dos casos de Brasília (Fig. 6.38e) já oceânica e se acoplando a ASAS, porém com influencia sobre o continente, chegando mesmo que relativamente fraca a RO, MT, GO e DF. Sua circulação em 850 hPa (Fig. 6.38c) mostra um anticlone bem configurado com centro na região Sul e que contribui para uma componente de sul no escoamento médio sobre grande parte do Brasil. Isto fica ainda mais claro na Figura 6.39c, onde se verifica um anticiclone anômalo ao sul do RS e um forte fluxo de componente sul sobre uma área de intensa anomalia negativa de temperatura, que ultrapassam a linha do

Equador. Combinado ao campo de anomalia da espessura 1000-500 hPa (Fig. 6.39e) é possível identificar que há advecção fria na direção de Brasília durante seus casos de extremos, condição que pode vir a se manter por alguns dias.

As análises apresentadas até aqui mostram que as incursões de ar frio que causam os extremos em Goiânia e Brasília têm características que destoam muito dos campos médios, com a massa fria atingindo latitudes próximas a 0°, como bem representado pelos campos de anomalia de theta e (Fig. 6.37d e Fig. 6.39d), e potencial para causar temperaturas muito abaixo da média em regiões tropicais. Tratam-se de episódios raros, como mostrado na seção 4.3, cuja baixa frequência está relacionada ao fato da orografia Planalto Brasileiro, macrorregião onde se localizam as duas cidades, ser um obstáculo para o avanço das frentes frias. Como a massa de ar frio pós-frontal vai se tornando cada vez mais rasa no decorrer do avanço da onda para as latitudes mais baixas, mesmo um obstáculo relativamente baixo, no caso o Planalto, é o suficiente para que ela o contorne para leste e oeste (Foss, 2017). Somente massas de ar com forte advecção fria, como é o caso dos compostos analisados, tem condições para ultrapassar essa barreira.

Figura 6.36 – Compostos da média de 3 casos de extremo frio de Goiânia entre 1980 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível médio do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.37 - Campos de anomalias ponderadas de 3 casos de extremo frio em Goiânia de 1980 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível médio do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.38 – Compostos da média de 2 casos de extremo frio de Brasília entre 1980 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível médio do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.39 - Campos de anomalias ponderadas de 2 casos de extremo frio em Brasília de 1980 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível médio do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

6.3.2.2 Rio Branco

As Figuras 6.40 e 6.41 mostram, respectivamente, os compostos médios e anomalias ponderadas dos casos de extremo frio em Rio Branco. As incursões de ar frio nessa região são conhecidas como “friagens”, como já apresentado na seção 2.2.2 e tem os padrões em altitude bastante similares aqueles que causam os extremos nas cidades do Sul e Sudeste e foram detalhadamente abordados até aqui. Nota-se, no entanto, no campo de anomalia em 200 hPa (Fig. 6.41a) que o anticiclone sobre parte da Argentina e RS aparece mais achatado e há uma maior intensidade do vento na sobre a Região Sul, consequentemente com o qual a corrente de jato média se mostra bastante intensa tanto em altitude (Fig. 6.40a) quanto em 500 hPa (Fig. 6.40b).

No campo médio em 850 hPa (Fig. 6.40c) já é possível identificar o intenso escoamento de sudeste, oriundo da circulação do anticiclone migratório com centro no norte da Argentina, canalizado em direção a capital acreana. O campo de anomalia no mesmo nível (Fig. 6.41c) mostra o quão intenso é esse fluxo e, combinado a forte anomalia negativa de temperatura e ao campo de espessura 1000-500 hPa (Fig. 6.41e), permite identificar uma intensa advecção fria que atua nos casos extremos da cidade.

A influência orográfica da Cordilheira dos Andes tem papel importante nos processos de friagem, já que canaliza o fluxo meridional e permite que a massa de ar frio avance a leste das montanhas até latitudes mais baixas. O fator térmico é principal responsável pelo resfriamento nessa faixa latitudinal, com a advecção horizontal de temperatura como termo preponderante (Seluchi, 2009).

Figura 6.40 – Compostos da média de 9 casos de extremo frio de Rio Branco entre 1997 e 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível médio do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor

Figura 6.41 - Campos de anomalias ponderadas de 9 casos de extremo frio em Rio Branco de 1997 a 2016.

O painel apresenta (a) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (b) escoamento e magnitude do vento (m/s) em 500 hPa, (c) escoamento e temperatura (°C) (sombreado) em 850 hPa, (d) temperatura potencial equivalente (°C) em 850 hPa (sombreado e linhas), (e) espessura da camada 1000-500 hPa (linhas) e pressão ao nível médio do mar (hPa) (sombreado).

Fonte: Produção do autor.

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi analisado o regime térmico diário de nove das principais capitais da região Centro-Sul do Brasil e realizada uma diferente climatologia das temperaturas diárias com a finalidade de identificar os extremos de calor e frio ocorridos em cada uma delas. Adicionalmente, apresentou-se uma nova abordagem da análise do conforto térmico humano, a tipificação do conforto térmico diário, que ao usar índices biometeorológicos trouxe outro olhar sobre a temperatura e o impacto que ela pode ter na vida humana, uma análise interessante no aspecto diário e muito relevante em relação às ondas de calor e frio. Dados de reanálise foram validados com o intuito de verificar a viabilidade de seu uso em estudos que desejarem replicar a metodologia da primeira etapa, como substituição aos dados observados. A etapa final deste trabalho trouxe os aspectos sinóticos médios e anomalias relacionados à ocorrência dos extremos de calor e de frio em cada uma das cidades estudas, sendo possível identificar com relativa segurança padrões de comportamento que podem auxiliar o prognóstico desses fenômenos, inclusive apontando as condições mais suscetíveis para ocorrência de desconforto térmico extremo.

Os resultados da primeira etapa mostram que nas cidades das regiões Sul e Sudeste a maioria dos dias foram classificados como quentes (QTE), enquanto a análise do conforto térmico apontou a maior quantidade variando entre a situação de conforto (CCF) e o ligeiro desconforto térmico (CLF). Sendo assim, o clima nestas cidades apresenta temperaturas elevadas durante boa parte do ano, mas a sensação térmica que predomina é de tempo mais fresco. Apenas o Rio de Janeiro apresentou padrão um pouco diferente, com a sensação térmica variando entre o conforto (CCF) e o ligeiro desconforto ao calor (CLQ). Para o Brasil Central cada cidade apresentou um padrão de comportamento diferente, o de Brasília foi similar ao observado para o Sul e Sudeste, enquanto que em Goiânia a situação térmica é muito similar a do Rio de Janeiro, mas com uma frequência muito maior de dias classificados termicamente como quentes (QTE) e muito quentes (MQT).

A Tabela 7.1 resume a quantidade de casos identificados em cada cidade estudada. A região Sul do Brasil é fortemente influenciada pelos extremos de temperatura, com alta frequência de casos de calor e frio, com destaque a Porto Alegre, a cidade mais ao sul

dentre as estudadas, que registrou 87 casos de extremos de calor em 29 anos, cerca de 3 casos por ano. Na região Sudeste, São Paulo e Belo Horizonte apresentaram relativamente poucos casos nos dois extremos, considerando a série longa analisada, enquanto o Rio de Janeiro se mostrou muito suscetível à ocorrência de casos de calor, com 76 registrados em uma série de apenas 15 anos, com uma taxa de cerca de 5 casos por ano. Em Brasília e Goiânia a frequência de extremos frios foi, no geral, baixa para ambas e está relacionada à menor ocorrência de frentes sobre o Planalto Brasileiro (FOSS, 2017). Para os extremos de calor, a capital goiana registrou mais que o triplo de casos que a capital federal, assim a diferença de altitude entre elas é o fator que pode explicar esta disparidade. Rio Branco foi a cidade em que mais houve eventos de extremo calor neste estudo, 140 no total (7 por ano), e apesar de serem apenas 9 casos de extremo frio trata-se de uma frequência expressiva considerando a baixa latitude onde ela se encontra (10°S). A influência topográfica da Cordilheira dos Andes permite que as incursões de ar frio, ou friagens, avancem a leste das montanhas até latitudes mais baixas (SELUCHI, 2009).

Tabela 7.1 – Resumo da quantidade de casos de extremo calor e frio em cada cidade estudada.

Cidade	**Período**	**Qtd Anos**	**Casos Calor**	**Casos Frio**
Porto Alegre (RS)	1988 – 2016	29	87	26
Florianópolis (SC)	2002 – 2016	15	14	8
Curitiba (PR)	1961 – 2016	56	47	69
São Paulo (SP)	1961 – 2016	56	9	13
Rio de Janeiro (RJ)	2002 – 2016	15	76	3
Belo Horizonte (MG)	1988 – 2016	29	14	6
Goiânia (GO)	1961 – 2016	56	105	5
Brasília (DF)	1961 – 2016	56	32	8
Rio Branco (AC)	1997 – 2016	20	140	9

Fonte: Produção do Autor

Figura 7.1 – Taxa de ocorrência (casos por ano) dos extremos de calor e frio em cada cidade estudada.

Fonte: Produção do Autor

As séries mais longas, no caso as de Curitiba, São Paulo, Belo Horizonte, Brasília e Goiânia, permitiram avaliar de maneira mais completa a frequência de ocorrência dos extremos de temperatura ao longo dos anos. Foi encontrada uma tendência no aumento da quantidade de extremos de calor entre o final da década de 90 e início dos anos 2000, ao passo em que há uma diminuição dos extremos frios neste mesmo período. Este fato indica uma possível mudança do padrão que causa esses eventos, que pode estar relacionado àqueles esperados em um cenário de mudanças climáticas. Reforçando essa hipótese, os casos mais longos e/ou extremos, tanto de calor quanto de frio que foram registrados em várias das cidades ao mesmo tempo, ocorrem na década vigente. A seguir são apresentados onde e quando esses casos foram registrados.

- **Julho/2013 (Frio) –** em Porto Alegre, Florianópolis, Curitiba, São Paulo e Rio Branco, com recordes de temperaturas na maioria das cidades;
- **Janeiro/Fevereiro de 2014 (Calor) -** em Porto Alegre, Curitiba e São Paulo, sendo os mais longos registrados nessas cidades;
- **Primavera de 2015 (Calor) –** em Belo Horizonte, Brasília, Goiânia e Rio Branco, sendo os mais longos registrados nessas cidades e com recordes de temperatura máxima na maioria delas.

A análise do conforto térmico trouxe um ponto de vista diferencial a este estudo, principalmente para os extremos de calor, sendo possível indicar aquelas em que o impacto ao ser humano pode ter sido significativo. Conclui-se que a classificação do regime de conforto térmico adiciona importante critério de diferenciação dos extremos de calor ocorridos, separando os casos que representam apenas os valores acima da média dentro da série daqueles em que o impacto ao ser humano pode vir a ser realmente expressivo. É interessante notar que as cidades de maior altitude (Curitiba, Belo Horizonte, Brasília e Goiânia) apesar de terem frequências relativamente altas de extremos quentes, não tiveram extremo desconforto térmico associado.

Em relação ao frio, o extremo desconforto térmico foi apontado na grande maioria dos casos em todas as cidades, o que permite inferir independente de extensão e intensidade do evento sua relação direta com extremo desconforto para o frio. Deste modo é possível concluir que todo caso de extremo frio tem desconforto extremo associado. Ressalta-se que os índices empregados neste estudo, como citado anteriormente, tem tendência em superestimar o desconforto para o frio, podendo ser necessário um estudo com outros índices para avaliar as ondas de frio.

De modo geral, a reanálise MERRA-2 pode ser usada de forma confiável para representar as temperaturas máxima e mínima em Curitiba e com relativa confiabilidade para São Paulo. Deste modo há indícios para que a MERRA-2 possa ser usada como dado de entrada para tipificação do regime térmico pelo menos nos arredores destas duas capitais. Pelos resultados das comparações Goiânia e Rio Branco, há indícios de que a MERRA-2 tem mais dificuldade em representar as temperaturas em cidades climatologicamente mais quentes, ou de latitudes mais baixas, o que torna a recomendação de não usá-la para realização da tipificação em localidades com estas características similares, a não ser que uma correção de viés seja efetuada anteriormente. A umidade relativa do ar e o vento se mostraram variáveis mal representadas pela MERRA-2, não permitindo o uso direto delas para os cálculos dos índices de conforto térmico abordados neste estudo e, consequentemente, inviabilizando-as para a aplicação na tipificação do conforto térmico, a não ser que uma correção de viés seja aplicada.

Na etapa final da tese foram identificados e conceituados os principais sistemas responsáveis pela a formação e estabelecimento dos períodos de extremo calor e frio em cada cidade. De forma geral, os casos de extremo calor no Centro-Sul do Brasil estão associados a um padrão de onda longa em altitude, estacionária ou de lento deslocamento, tal como apontado por Pezza et al. 2012, que recua a zona de maior baroclinia mais ao sul e impede o avanço de sistemas transientes que possam romper a situação extrema, restringindo o ar mais frio as latitudes mais altas. Na média troposfera identifica-se na maioria das vezes a atuação de um amplo anticiclone cujo mecanismo de subsidência típico permite o intenso aquecimento radiativo da superfície durante o dia, favorecido principalmente pela condição de céu claro. Nos baixos níveis a advecção quente é outro mecanismo que permite o acúmulo de calor em uma determinada região, transportando ar quente de latitudes mais baixas, o que corrobora com o descrito por Nair e Fawcett (2013). Na região de estudo destacam-se a atuação do JBN, da borda da circulação da ASAS e situações pré-frontais. As Figuras 7.2 e 7.3 apresentam os modelos conceituais dos extremos de calor para, respectivamente, o Sul e Sudeste brasileiro e para a região do Brasil Central.

Na Região Sul (Fig. 7.2a) os extremos de calor tiveram formação favorecida principalmente pela atuação do JBN, que associado a circulação da borda da ASAS, formam um único canal de vento de componente Norte/Noroeste direcionando a advecção de calor. O aquecimento anômalo na região de atuação da BCH é outro mecanismo que colabora para o transporte de mais calor para esta região. Para o estabelecimento dos extremos de calor especificamente em Curitiba é necessário ainda o anticiclone em 500 hPa bem configurado (Fig. 7.2b).

No Sudeste, em geral, o escoamento combinado do JBN, mais direcionado a região, com a ASAS mais próxima do continente garante a advecção quente, porém a subsidência tem papel fundamental para a configuração dos casos de extremo calor, com o anticiclone na média troposfera atuando (Fig. 7.2). Ressalta-se que Belo Horizonte o padrão é um pouco diferente, com um transporte de calor não tão associado ao escoamento de Noroeste do JBN e uma intensa atuação do anticiclone em 500 hPa.

Figura 7.2 – Modelo conceitual para os extremos de calor nas regiões Sul e Sudeste do Brasil na baixa troposfera (a) e média e alta troposfera (b).

Fonte: Produção do Autor.

O aquecimento superficial favorecido pela subsidência é o mecanismo fundamental para o estabelecimento de extremos de calor na região central do Brasil (Fig. 7.3). O fato de eles ocorrerem em sua grande maioria durante a primavera, ápice de sua estação seca, garante o acúmulo de calor sensível, uma vez que não há umidade significativa no solo para ser evaporada e convertida em calor latente. Rio Branco ainda conta com a colaboração de advecção quente pré-frontal como elemento adicional em seus casos.

Para as cidades onde houve registro de extremo desconforto ao calor como Porto Alegre, Florianópolis, São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Branco, este ocorre em situações onde parece haver o máximo acúmulo de calor, quando os casos de extremo calor já estão estabelecidos e prestes a serem desconfigurados. Isso é favorecido por um incremento na advecção quente oriundo de situações pré-frontais. A Figura 7.4 apresenta o modelo conceitual específico para os casos de extremo desconforto ao calor.

Figura 7.3 – Modelo conceitual para os extremos de calor no Brasil Central.

Fonte: Produção do Autor.

Figura 7.4 – Modelo conceitual para o extremo desconforto ao calor para o Centro-Sul do Brasil.

Fonte: Produção do Autor.

Por fim, os casos de extremo frio estão associados às intensas incursões de ar frio que penetram o continente sul americano durante o inverno austral, vastamente abordadas na literatura (HAMILTON; TARIFA, 1978; MULLER, 2005; MARENGO et al., 1997). Elas são caracterizadas pelo padrão de ondas de latitudes médias, cuja amplificação entre os Andes e a costa Sudeste da América do Sul está associada a formação de frentes frias e seu posterior deslocamento. Ao analisar todas as cidades, do Sul ao Norte, podem-se identificar as posições médias desse padrão de onda e das frentes que desencadeiam situações extremas no Centro-Sul do Brasil. A Figura 7.5 reúne tais características em um modelo conceitual dos extremos de frio na região. Foi possível concluir que os casos de extremo frio em todas as cidades estudadas estão associados a massas de ar frio intensas, com potencial para penetrar até latitudes mais baixas, as conhecidas friagens (PEZZA; AMBRIZZI, 2005A; SELUCHI, 2009). Inclusive em alguns casos o fluxo anômalo de sul a ultrapassar a linha do Equador, como no caso daquelas poucas que vencem a barreira orográfica do Planalto Central Brasileiro (FOSS, 2017), tratando-se de um conjunto de casos muito extremos.

Figura 7.5 – Modelo conceitual para os extremos de frio no Centro-Sul do Brasil.

Fonte: Produção do Autor.

Os resultados apresentados nesta tese evidenciam a importância do estudo dos extremos de calor e frio no Brasil, pois se tratam de fenômenos com grande potencial para afetar a população em geral. Estudos como este auxiliam um melhor entendimento dos processos de formação e estabelecimento dos períodos extremos, contribuindo para uma melhor previsão de sua intensidade e abrangência, além de encorajar mecanismos de prevenção a danos à saúde e a vida humana.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

O tema desta tese abriu uma nova linha de pesquisa que pode ser ainda mais explorada, melhorada e aplicada. A seguir seguem algumas sugestões de trabalhos futuros:

- Usar dados de reanálise (como a MERRA-2) para estender a tipificação do regime térmico para outras cidades do Sul e Sudeste do Brasil;
- Usar outros tipos de índices de conforto térmico, como a Temperatura Equivalente Fisiológica, para a avaliação do conforto térmico nos extremos de temperatura, em especial para melhor estudar os extremos de frio;
- Avaliar outros conjuntos de reanálise (como ERA-Interim ou CFSR) para cálculo dos índices de conforto térmico;
- Combinar os casos de extremo frio e calor com uma base de dados de saúde, os relacionando a ocorrência de doenças e mortalidade;
- Fazer compostos médios mais refinados dos casos como, por exemplo, separar os extremos de calor por estação (primavera e verão) além de estudos de casos dos maiores extremos;
- Empregar a Análise de Componentes Principais para identificar a frequência de ocorrência dos padrões sinóticos associados aos extremos e limiares críticos de algumas variáveis;
- Avaliar a previsibilidade dos eventos, com base nos limiares característicos e situações sinóticas pré-determinadas, fazendo uso de saídas de modelos operacionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALGARVE, V. R.; CAVALCANTI, I. F. A. Características da circulação atmosférica associadas à ocorrência de geadas no sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., 1994, Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1994.

BARNETT, A. G.; HAJAT, S.; GASPARRINI A.; ROCKLÖV, J. Cold and heat waves in the United States. **Environmental Research**, v. 112, p. 218-224, 2012.

BASARIN, B.; LUKIC, T.; MATZARAKIS, A. Quantification and assessment of heat and cold waves in Novi Sad, Northern Serbia. **International Journal of Biometeorology**, v.60, n.1, p. 138-150, 2015.

BBC BRASIL. **Massa de ar do Ártico pode gerar novos recordes de frio na América do Norte**. 2014. Disponível em: <http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/01/140105_frio_america_norte_fn>. Acesso em: 16 abr. 2016.

BRAUN, S. **Influências meteorotrópicas nas doenças cardiovasculares na cidade de São Paulo**. 134p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

BUTERA, F. B. Principles of thermal comfort. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.2, p. 39-66, 1998.

CASARIN, D. P.; KOUSKY, V. E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 1, n. 2, p. 83-90, 1986.

COHEN, J. C.; VEYSSEIRE, J. M.; BESSEMOULIN P. Bio-climatological aspects of summer 2003 over France. In: KIRCH, W.; MENNE, B.; BERTOLLINI, R. (Eds.). **Extreme weather events and public health responses**. Berlin: Springer, 2005. p. 33-45.

DAULTREY, S. **Principal component analysis**: concepts and techniques in modern geography. [S.l.]: American Association of Geographers, 1976. 51p.

EBI, K. L.; SCHMIER, J. K. A stitch in time: improving public health early warning systems for extreme weather events. **Epidemiologic Reviews**, v. 27, p. 115-121, 2005.

ESCOBAR, G. C. J. Padrões sinóticos associados a ondas de frio na cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, p. 241-254, 2007.

ESCOBAR, G. C. J; COMPAGNUCCI, R. H.; BISCHOFF, S. A. Sequence patterns of 1000 hPa and 500 hPa geopotential height fields associated with cold surges over Central Argentina. **Atmósfera**, v. 12, n. 2, p. 69-89, 2004.

ESTELA, L. B. L. **Elementos básicos de la biometeorología humana**. Havana: Escola Latinoamericana de Medicina (ELAM), 2013. 212 p. (Curso).

ESTELA, L. B. L.; HERRERA, D. M. G.; CIÓMINA, E. C. Ocurren olas de calor en Cuba? In: ENCUENTRO DE GEÓGRADOS DE AMERICA LATINA Y EL CARIBE, 15., 2015, Havana, Cuba. **Annales...** 2015.

ESTELA, L. B. L.; TRUJILLO, A. F. **Principales características climáticas del régimen térmico del archipiélago cubano**. La Habana: Ed. Academia, 1989. 87p.

ESTÉVEZ, D. M.; ESTELA, L. B. L.; CANTOS, J. O.; HERNÁEZ, P. F. A. Classificación compleja y objetiva de los estados del tempo diários según la estrutura del régimen térmico del aire y otros indicadores biometeorológicos. In: CONGRESSO DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE CLIMATOLOGIA, 8., 2012, Salamanca, España. **Annales...** 2012.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**. New York: McGraw Hill, 1972.

FIRPO, M. A. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.1, p. 95-106, 2012.

FOSS, M. **Efeitos da orografia do Sudeste da América do Sul na estrutura dos sistemas frontais**. 225p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2017.

FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; KLEIN TANK, A. M. G.; PETERSON, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**, v.19, p. 193-212, 2002.

GARREAUD, R. D. Cold air incursions over subtropical South America: mean structure and dynamics**. Monthly Weather Review**, v. 128, n. 7, p. 2544-2559, 2000.

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

GEIRINHAS, J. L.; TRIGO, R. M.; LIBONATI, R.; CASTRO, L. C. O.; SOUSA, P. M.; COELHO, C. A. S.; PERES, L. F.; MAGALHÃES, M. A. F. M. Characterizing the atmospheric conditions during the 2010 heatwave in Rio de Janeiro marked by excessive mortality rates. **Science of the Total Environment**, v. 650, n. 1, p. 796-808, 2019.

GELARO, R.; et al. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version 2 (MERRA-2). **Journal of Climate**, v. 30, p. 5419-5454, 2017.

GONÇALVES, F. L. T.; SILVA DIAS, P. L.; ARAÚJO, G. P. Climatological analysis of wintertime extreme low temperatures in São Paulo city, Brazil: impact of sea-surface temperature anomalies. **International Journal of Climate**, v. 22, p. 1511-1526, 2002.

GRIMM, A. M.; TOGATLIAN, I. M. Relação entre eventos El Niño/La Ninã e frequência de ocorrência de extremos frios e quentes de temperatura no Cone Sul da América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz de Iguaçu,. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2002.

HAJAT, S.; KOSATKY T. Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. **Journal of Epidemiology and Community Health**, v.64, n. 9, p. 753-760, 2010.

HAMILTON, M. G.; TARIFA, J. R. Synoptic aspects of a polar outbreak leading to frost in tropical Brazil, July 1972. **Monthly Weather Review**, v. 106, n. 11, p. 1545-1556, 1978.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 19 maio 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAS. CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (INPE/CPTEC). Nevada histórica no Sul do Brasil. **Análise de eventos extremos**. Grupo de Previsão de Tempo, Divisão de Operações. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/~rupload/arquivo/Nevada_Historica_Curitiba_23jul2013_corrigido.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Summary for policymakers:** climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability: part A: global and sectoral aspects. Genebra: IPCC, 2014.

IKEFUTI, P. V.; BARROZO, L. V.; BRAGA, A. L. F. Mean air temperature as a risk factor for stroke mortality in São Paulo, Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n.8, p.1535-1542, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00484-018-1554-y.

JENDRITZKY, G.; SÖNNING, W.; SWANTES, H. J. **Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt-und Landschaftsplanung ("Klima-Michel-Modell")**. [S.l.]: Schroedel, 1979.

KALKSTEIN, L. S. Saving lives during extreme weather in summer: interventions from local health agencies and doctors can reduce mortality. **British Medical Journal**, v. 321, n. 650, p. 650-651, 2000.

KALKSTEIN, L. S.; JAMASON, P. F.; GREENE, J. S.; LIBBY, J.; ROBINSON, L. The Philadelphia hot weather-health watch/warning system: development and application, summer 1995. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.77, n.7, p. 1519-1528, 1996.

KALNAY, E. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin American Meteorology Society**, v. 77, n. 3, p. 437-471, 1996.

KANAMITSU, M. et al. NCEP-DOE AMIP-II reanalysis (R-2). **Bulletin American Meteorology Society**, v. 83, n. 11, p. 1631-1643, 2002.

KODRA, E.; STEINHAEUSER, K.; GANGULY, A. R. Persisting cold extremes under 21st-century warming scenarios. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 8, 2011.

MARENGO, J.; CORNEJO, A.; SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.; SEA, W. Cold surges in tropical and extratropical South America: the strong event in June 1994. **Monthly Weather Review**, v. 125, n. 11, p. 2759-2786, 1997.

MARENGO, J.; SOARES, W. R.; AMBRIZZI, T. Jato de baixos níveis ao longo dos Andes. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Eds.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 463 p.

MASATO, G.; BONE, A.; CHARLTON-PEREZ, A.; CAVANY, S.; NEAL, R.; DANKERS, R.; DACRE, H.; CARMICHAEL, K.; MURRAY, V. Improving the health forecasting alert system for cold weather and heat-waves in England: a proof-of-concept using temperature-mortality relationships. **PloS one**, v. 10, n.10, p. e0137804, 2015.

MISSENARD, A. **L'Homme at lê climat**. Paris: Plon, 1937.

MULLER, G. V. **Variabilidad interanual em la frecuencia de ocurrencia de heladas em la pampa humeda y su relacion con la circulacion atmosférica associada**. 217p. Tese (Doutorado em Ciências da Atmosfera e dos Oceanos) – Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 2005.

NAIRN, J.; FAWCETT, R. **Defining heatwaves**: heatwave defines as a heat-impact event servicing all community and business sectors in Australia. Melbourne: Centre for Australian Weather and Climate Research Technical Report, 2013. 84 p.

NEDEL, A. S. **Condições meteorológicas favoráveis à ocorrência de doenças respiratórias em crianças na cidade de São Paulo**. 189p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PALLOTTA, M. **Estudo da influência das condições meteorológicas e de conforto térmico no desempenho esportivo:** análise prognóstica do tempo aplicada à maratona da Cidade do Rio de Janeiro. 167p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012.

PEZZA, A. B.; AMBRIZZI, T. Cold waves in South America and freezing temperatures in São Paulo: historical background (1888-2003) and case studies of cyclone and anticyclone tracks. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 1, p. 141-158, 2005a.

PEZZA, A. B.; AMBRIZZI, T. Dynamical conditions and synoptic tracks associated with diferente types of cold surge over tropical South America. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 215-241, 2005.

PEZZA, A. B.; VAN RENSCH, P.; CAI, W. Severe heat waves in Southern Australia: synoptic climatology and large scale connections. **Climate Dynamics**, v. 38, n. 1-2, p. 209-224, 2012.

QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 124p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1994.

QUADRO, M. F. L.; HERDIES, D. L.; BERBERY, E. H. **The atmospheric water cycle over South America as seen in the new generation of global reanalysis**. Artigo submetido, 2018.

RÄISÄNEN, J.; YLHÄISI, J. S. Cold months in a warming climate. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 22, 2011.

REBOITA, M. S.; GAN, M.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, 2010.

RICARTE, R. M. D. **Climatologia de eventos de friagem no sul da região Amazônica**. 2012. 143 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012.

ROBINSON, P. J. On the definition of a heat wave. **Journal of Applied Meteorology**, v.40, p. 762-775, 2001.

RORIZ, M. **Conforto térmico em edificações: um modelo matemático e uma aplicação**. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

RUSTICUCCI, M. M.; VARGAS, W. M. Interannual variability of temperature spells over Argentina. **Atmósfera**, v.14, p. 75-86, 2001.

RUSTICUCCI, M. Observed and simulated variability of extreme temperature events over South America. **Atmospheric Research**, v.106, p. 1-17, 2012.

RUSTICUCCI, M.; BETTOLLI, M. L.; HARRIS, M. L. A. Association between weather conditions and the number of patients at the emergency room in an Argentine hospital. **International Journal of Biometeorology**, v. 46, p. 42-51, 2002.

SAHA, S. et al. The NCEP climate forecast system. **Bulletin American Meteorology Society**, v. 91, n.10, p. 1015-1057, 2010.

SATYAMURTY, P.; FONSECA, J. F. B.; BOTTINO, M. J.; SELUCHI, M. E.; LOURENÇO, M. C. M.; GONÇALVES, L. G. G. An early freeze in Southern Brazil in April 1999 and its NWP guidance. **Meteorological Application**, v. 9, p. 113-128, 2002.

SELUCHI, M. E. Geadas e friagens. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Eds.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.149-168.

SELUCHI, M. E.; SAULO, A. C. Baixa do noroeste Argentino e Baixa do Chaco: características, diferenças e semelhanças**. Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 49-60, 2012.

SELUCHI, M. E.; NERY, J. T. Condiciones meteorologicas asociadas a la ocurrencia de heladas en la region de Maringa. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 7, n. 1, p. 523-534, 1992.

SILVA DIAS, P. L. As anomalias globais observadas em fevereiro e a previsão de médio e longo prazo. **Climanálise**, v.1, n.2, p. 32-33, 1988.

SINCLAIR, M. R. A climatology of anticyclones and blocking for the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**, v. 124, n. 2, p. 245, 1996.

SOUZA, R. O. **Caracterização dos invernos no sul do Brasil em função dos dias de neve e da participação das massas de ar**. 148p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Geografia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

STEADMAN, R. G. Indices of Windchill of clothed persons. **Journal of Applied Meteorology**, v. 10, p. 674-682, 1971.

SUPING, Z.; GUANGLIN, M.; YANWEN, W.; JI, L. Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of the meteorotropic effects on distance runners. **International Journal of Biometeorology**, v. 36, p. 63-68, 1992.

TAYLOR, K. E. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. **Journal of Geophysical Research**, v.106, p. 7183–7192, 2001.

VIRJI, H. A preliminar study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. **Monthly Weather Review**, v. 109, p. 599-610, 1981.

TROMP, S. W. **Biometeorology**: the impact of the weather and climate on humans and their environment (animals and plants). London: Heiden, 1980.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2.ed. [S.l.]: Academic Press, 2006. (International Geophysics Series).

WORLD HEALTH ORGANIZATION; WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Atlas of health and climate**. Genebra: WMO, 2012.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **World Meteorological Day 2016**: Hotter, Drier, Wetter: face the future. Disponível em: <http://www.wmo.int/worldmetday/>. Acesso em: 02 abr. 2016.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION; WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Heatwaves and health**: guidance on warning-system development. Genebra: WMO, 2015.

APÊNDICE A – TABELAS DESCRITIVAS DOS EXTREMOS DE TEMPERATURA

A.1 CURITIBA

Tabela A.1 - Casos de extremo calor selecionados para Curitiba. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. * Os valores em parênteses são referentes à quantidade de dias no período em que há extremo desconforto térmico.

EXTREMOS DE CALOR CURITIBA							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1	24/11/1963	29/11/1963	6	33,0	20,8	**A6**, B6, C6	-
2	31/01/1964	02/02/1964	3	31,8	20,2	**A6**, B6	-
3	02/02/1966	05/02/1966	4	32,2	20,4	**A6**, B6	-
4	09/12/1966	12/12/1966	4	32,8	20,2	**A6**, B6, C6	-
5	05/02/1969	08/02/1969	4	30,4	20,2	**A6**, B6	-
6	22/01/1971	08/02/1971	18	33,5	20,1	**A6**, B6, C6, B5	**B8**, C8 (3)
7	19/02/1974	22/02/1974	4	32,9	20,3	**A6**, B6	-
8	14/01/1975	17/01/1975	4	32,4	20,3	**A6**, B6	-
9	10/02/1975	17/02/1975	8	34,8	21,0	**A6**, B6	**B8** (1)
10	13/01/1976	20/01/1976	7	34,1	21,1	**A6**, B6, A5	**A8**, B8 (2)
11	23/01/1978	03/02/1978	12	32,8	21,1	**A6**, B6, B4	-
12	05/01/1984	08/01/1984	4	30,3	20,3	**A6**, B6	-
13	12/11/1985	17/11/1985	6	**35,2**	17,0	**B7**, B6, C6	**C8** (2)
14	16/01/1986	19/01/1986	4	31,6	21,5	**A6**, B6	-
15	06/01/1987	09/01/1987	4	31,9	21,2	**A6**, B6	-
16	17/01/1988	22/01/1988	6	33,5	21,5	**A6**, B6	-
17	27/01/1988	29/01/1988	3	31,3	22,1	**A6**, B6	-
18	14/11/1990	16/11/1990	3	33,0	20,6	**A6**, B6	-
19	09/11/1997	11/11/1997	3	33,2	20,8	**A6**, B6	-

20	21/01/1998	30/01/1998	9	32,3	20,8	**A6**, B6, A5	-
21	05/03/1998	10/03/1998	6	30,6	20,5	**A6**, B6	-
22	19/12/2001	21/12/2001	3	32,0	20,1	**A6**, B6	-
23	29/12/2002	02/01/2003	5	32,9	20,6	**A6**, B6, B5	-
24	24/02/2003	03/03/2003	8	32,4	19,3	**A6**, B6	-
25	13/01/2006	16/01/2006	4	34,3	20,6	**A6**, B6	-
26	02/03/2006	05/03/2006	4	31,5	20,6	**A6**, B6, B5	-
27	23/02/2007	25/02/2007	3	31,4	20,2	**A6**, B6	-
28	20/02/2009	23/02/2009	4	32,3	19,2	**A6**, B6	-
29	01/03/2009	06/03/2009	6	31,9	20,8	**A6**, B6	-
30	30/01/2010	08/02/2010	10	33,5	22,0	**A6**, B6	-
31	13/02/2010	14/02/2010	2	30,8	20,4	**A6**	-
32	21/02/2010	23/02/2010	3	30,7	21,3	**A6**	-
33	02/02/2012	09/02/2012	8	33,1	21,8	**A6**, B6	-
34	04/12/2012	08/12/2012	5	32,1	21,4	**A6**, B6, B5	-
35	19/12/2012	21/12/2012	3	32,5	20,5	**A6**, B5	-
36	24/12/2012	26/12/2012	3	32,0	21,1	**A6**, B6	-
37	25/12/2013	28/12/2013	4	33,5	21,0	**A6**, B6, A5	-
38	19/01/2014	13/02/2014	**26**	34,6	22,0	**A6**, B6, A5	-
39	06/01/2015	20/01/2015	14	33,6	22,4	**A6**, B6	-
40	09/02/2015	13/02/2015	5	30,5	21,3	**A6**, B6, A5	-
41	17/09/2015	19/09/2015	3	32,7	21,8	**A6**, B6	-
42	23/12/2015	26/12/2015	4	30,9	21,4	**A6**, A5	-
43	09/02/2016	10/02/2016	2	31,7	20,8	**A6**	**A7** (1)
44	17/02/2016	20/02/2016	4	32,0	21,4	**A6**, A5	**A7** (1)
45	06/04/2016	09/04/2016	4	32,6	21,8	**A6**, B6	-
46	15/04/2016	17/04/2016	3	30,9	20,2	**A6**, B6, A5	-
47	24/12/2016	28/12/2016	5	33,4	21,8	**A6**, B6	-

Tabela A.2 - Casos de extremos de frio selecionados para Curitiba. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremo desconforto térmico.

EXTREMOS DE FRIO CURITIBA							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1	12/06/1961	18/06/1961	7	10,6	0,6	**E2**, C2, D2, D3	**D1** (4)
2	29/05/1962	06/06/1962	9	12,0	-2,3	**F2**, E2, D2, E3, D3	**D1** (7)
3	09/06/1962	18/06/1962	10	14,1	1,8	**E2**, D2, E3, D3	**D1** (5)
4	05/07/1962	08/07/1962	4	10,6	1,0	**E2**, D2, D3	**D1** (4)
5	17/06/1963	23/06/1963	7	12,3	-0,7	**F3**, E2, E3, D3	**D1** (6)
6	05/08/1963	07/08/1963	3	10,6	-2,4	**F2**, F3, E2	**D1** (3)
7	17/06/1964	19/06/1964	3	13,8	1,2	**E2**, E3	**D1** (2)
8	17/07/1964	29/07/1964	13	12,0	-0,2	**F3**, E2, E3, D2, D3	**D1** (8)
9	07/07/1965	12/07/1965	6	10,9	-1,4	**F2**, F3, E2, E3, D2, D3	**D1** (5)
10	20/08/1965	22/05/1965	3	9,1	1,2	**E1**, E2	**D1** (3)
11	06/06/1967	11/06/1967	6	11,6	-2,2	**F3**, E2, E3, D3	**D1** (2)
12	07/07/1969	14/07/1969	8	9,6	-2,0	**E1**, **F2**, F3, E2, E3, D3	**D1** (4)
13	23/06/1970	27/06/1970	5	13,4	-1,2	**F2**, E3, D3	**D1** (2)
14	30/06/1970	03/07/1970	4	12,4	-2,0	**F3**, D2	**D1** (3)
15	08/08/1970	12/08/1970	5	13,4	-5,2	**G2**, **F2**, D3	**D1** (4)
16	24/04/1971	26/04/1971	3	14,5	-4,0	**F2**, E3	**D1** (1)
17	09/06/1971	20/06/1971	12	10,3	0,3	**E2**, D2, E3, D3	**D1** (5)
18	19/06/1972	21/06/1972	3	17,5	-1,0	**F3**, E2	-
19	08/07/1972	16/07/1972	9	9,7	-5,2	**G3**, F2, F3, E1, E2, E3, D3	**D1** (4)
20	29/08/1972	04/09/1972	7	10,0	**-5,4**	**G3**, F2,	**D1** (4)

						E2, E3, D3	
21	17/06/1973	20/06/1973	4	13,0	-3,0	**F3**, E2, D3	**D1** (1)
22	07/09/1973	09/09/1973	3	14,0	2,7	**E2**, C2	**D1** (3)
23	16/07/1975	23/07/1975	8	8,7	-5,1	**G2**, F1, E2, D2, E3, D3	**D1** (5)
24	28/06/1976	07/07/1976	10	9,0	3,2	**E1**, D1, D2, D3	**D1** (6)
25	09/07/1976	11/07/1976	3	9,6	0,6	**E1**, E2, D2	**D1** (3)
26	16/05/1977	19/05/1977	4	13,7	-0,5	**F2**, F3, E3, D3	**D1** (2)
27	13/08/1978	17/08/1978	5	8,6	0,8	**E1**, E2, E3	**D1** (2)
28	30/05/1979	01/06/1979	3	11,2	-2,1	**F3**, E2	**D1** (2)
29	14/06/1979	16/06/1979	3	11,6	4,3	**E2**, D3	**D1** (3)
30	14/06/1981	23/06/1981	10	13,4	-0,1	**F3**, E2, D3	**D1** (7)
31	01/06/1983	11/06/1983	11	8,5	3,7	**E1**, E2, E3, D2, D3	**D1** (4)
32	02/08/1983	06/08/1983	5	11,8	0,6	**E2**, D2, E3	**D1** (4)
33	09/06/1985	12/06/1985	10	12,3	4,4	**E2**, D2, E3, D3	**D1** (5)
34	22/05/1987	31/05/1987	10	13,1	-0,4	**F2**, E2, D2, D3	**D1** (4)
35	16/06/1987	19/06/1987	4	12,8	-0,4	**F3**, E2, E3	**D1** (1)
36	23/06/1987	25/06/1987	3	11,1	-1,3	**F3**, E2, D3	**D1** (1)
37	01/06/1988	06/06/1988	6	11,7	-1,3	**F2**, F3, E2, E3	**D1** (4)
38	13/06/1988	19/06/1988	7	12,7	2,3	**E2**, D2, E3	**D1** (4)
39	08/07/1988	21/07/1988	14	9,2	3,0	**E1**, E2, E3, D1, D2, D3	**D1** (8)
40	23/07/1988	30/07/1988	8	11,9	-0,4	**F3**, E2, D2,D3	**D1** (4)
41	05/07/1989	12/07/1989	8	10,4	-2,8	**F2**, E2, E3, D2, D3	**D1** (6)
42	18/05/1990	23/05/1990	6	12,9	-1,0	**F3**, E2, E3 D2, D3	**D1** (2)
43	27/07/1990	02/08/1990	7	11,1	-2,1	**F3**, E2, E3, D3	**D1** (5)
44	02/08/1991	04/08/1991	3	10,9	1,2	**E2**, E3	**D1** (2)

45	06/07/1992	09/07/1992	4	13,3	3,8	**E2**, D3	**D1** (2)
46	22/07/1992	28/07/1992	7	9,3	2,4	**E1**, E2, D2, D3	**D1** (5)
47	02/08/1992	04/08/1992	3	11,0	-0,7	**F2**, E2, E3	**D1** (2)
48	13/07/1993	18/07/1993	6	11,1	-1,2	**F3**, E2, E3 D2, D3	**D1** (2)
49	29/07/1993	02/08/1993	5	10,2	-1,0	**F3**, E2, D3	**D1** (2)
50	25/06/1994	29/06/1994	5	11,0	-1,6	**F2**, F3, E2, E3	**D1** (2)
51	08/07/1994	13/07/1994	6	9,2	-1,4	**F1, F2**, E2, E3, D3	**D1** (3)
52	28/06/1996	02/07/1996	5	9,6	4,7	**E1**, D2, D3	**D1** (3)
53	21/07/1996	24/07/1996	4	9,6	1,4	**E1**, E2, E3, D3	**D1** (2)
54	09/06/1998	11/07/1998	3	12,1	4,1	**E2**, D3	**D1** (3)
55	14/08/1999	19/08/1999	6	10,4	-1,9	**F2**, E2, D2, D3	**D1** (4)
56	12/07/2000	27/07/2000	**16**	11,5	-3,5	**F2**, F3, E2, E3, D2, D3	**D1** (12)
57	01/09/2002	02/09/2002	2	14,2	1,2	**E2**	**D1** (2)
58	10/07/2003	14/07/2003	5	11,5	1,0	**E2**, D3	**D1** (4)
59	12/06/2004	15/06/2004	4	16,0	-1,6	**F3**, D3	-
60	24/07/2007	31/07/2007	8	10,2	0,3	**E2**, E3, D2, D3	**D1** (6)
61	16/06/2008	17/06/2008	2	14,8	-0,9	**F2**, F3	**D1** (1)
62	01/06/2009	04/06/2009	4	12,1	-0,7	**F3**, E2, D2	**D1** (2)
63	26/06/2011	30/06/2011	5	11,8	-0,7	**F3**, E2, D2, D3	**D1** (1)
64	03/07/2011	08/07/2011	6	13,9	1,8	**E2**, E3, D3	**D1** (3)
65	01/08/2011	05/08/2011	5	11,8	1,0	**E2**, E3, D2, C2	**D1** (4)
66	21/08/2011	23/08/2011	3	8,4	2,7	**E1**, E2, D2	**D1** (3)
67	13/07/2012	19/07/2012	7	9,4	3,8	**D1**, E2, E3, D2, D3	**D1** (5)
68	22/07/2013	27/07/2013	6	**7,1**	-2,1	**F1**, E1, E3, D3	**D1** (4)
69	07/06/2016	14/06/2016	8	12,2	-0,8	**F2**, F3, E2, E3, D3	**D1** (5)

A.2 FLORIANÓPOLIS

Tabela A.3. Casos de extremo calor selecionados para Florianópolis. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. * Os valores em parênteses são referentes à quantidade de dias no período em que há extremo desconforto térmico.

EXTREMOS DE CALOR FLORIANÓPOLIS							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1	04/03/2002	20/03/2002	17	35,2	23,5	**B7**, C6, B6, B5	**B8** (2)
2	24/04/2002	25/04/2002	2	35,4	21,1	**B7**, B6	-
3	27/11/2002	05/12/2002	8	37,4	23,0	**B7**, B6, B5	-
4	30/01/2003	18/02/2003	20	36,0	25,8	**B7**, A6, B6, B5	**B9** (1)
5	15/03/2006	24/03/2006	10	35,6	24,3	**B7**, B6, B5	**B8** (1)
6	16/12/2011	23/12/2011	8	36,2	23,0	**B7**, C6, B6	**B8** (1)
7	06/12/2012	11/12/2012	6	**38,6**	24,4	**B7**, B6, B5	**B9** (1)
8	17/12/2012	26/12/2012	9	38,0	25,1	**B7**, A6, B6, B5	**B9** (1)
9	26/12/2013	03/01/2014	9	36,4	26,0	**B7**, A6, B6	**B8** (2)
10	27/01/2015	29/01/2015	3	36,4	23,7	**B7**, B6	**B8** (1)
11	09/02/2015	13/02/2015	5	35,5	24,3	**B7**, B6	**B8** (1)
12	22/12/2015	31/12/2015	10	36,0	25,1	**B7**, A6, B6, B5	**A8,** B8 (2)
13	08/02/2016	29/02/2016	**22**	36,8	25,6	**A7**, A6, C6 B6, B5	**A9,** B8 (4)
14	22/12/2016	31/12/2016	10	38,0	24,6	**B7**, B6, B5	**B9,** B8 (2)

Tabela A.4. Casos de extremos de frio selecionados para Florianópolis. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referentes à quantidade de dias no período em que há extremo desconforto térmico.

EXTREMOS DE FRIO FLORIANÓPOLIS							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1	12/06/2004	14/06/2004	3	16,0	4,2	**F3**, E3	**E2** (3)
2	26/07/2007	30/07/2007	5	14,4	3,2	**F3**, E2, E3, F4	**E1**, E2 (5)
3	16/06/2008	18/06/2008	3	16,2	3,6	**F3**, E3	**E2** (2)
4	02/08/2010	06/08/2010	5	12,4	7,0	**E2,** D2, E3	**E1** (4)
5	04/07/2011	09/07/2011	6	14,2	4,4	**F3**, E2, E3, F4	**E1**, E2 (5)
6	21/08/2011	23/08/2011	3	13,4	7,4	**E2**, E3	**E1** (1)
7	22/07/2013	26/07/2013	5	13,4	4,6	**F3**, E2, E3	**E1**, E2 (5)
8	08/06/2016	13/06/2016	6	17,8	2,6	**F3**, E3, F4	**E2** (2)

A.3 PORTO ALEGRE

Tabela A5. Casos de extremo calor selecionados para Porto Alegre. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. Na numeração dos casos o número após o ponto indica o tipo ao qual o caso pertence. * Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico.

EXTREMOS DE CALOR PORTO ALEGRE							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1.1	20/03/1988	28/03/1988	9	37,9	23,6	**B7**, C7, B6, C6	**B8** (1)
2.3	17/01/1989	19/01/1989	3	36,1	21,7	**B7**, B6, C6	-
3.2	04/01/1990	07/01/1990	4	35,4	21,3	**B7**, C7, B6	-
4.1	22/01/1990	09/02/1990	19	38,1	26,3	**A7**, B7, B6, C6, B5	**A9,** C9, B8 (6)
5.3	13/11/1990	15/11/1990	3	38,6	25,1	**A7**, B7, B6	**B9**, A8 (2)
6.2	18/11/1990	21/11/1990	4	35,5	22,4	**B7**, C7, B6	-
7.2	06/01/1991	10/01/1991	5	36,6	21,4	**B7**, C7, B6	-
8.2	19/01/1991	23/01/1991	5	37,8	21,5	**B7**, C7, B5	**C9** (1)
9.2	01/02/1991	11/02/1991	11	36,5	22,4	**B7**, C7, B6, B5	**B8** (1)
10.3	26/02/1991	28/02/1991	3	36,3	21,4	**B7**, C7	**B8** (1)
11.3	07/03/1991	09/03/1991	3	37,6	22,5	**B7**, C7	**B8** (1)
12.3	13/10/1991	15/10/1991	3	38,2	24,8	**B7**, C6	**B8** (1)
13.3	22/11/1991	24/11/1991	3	36,8	22,5	**B7**, C6	**B8** (1)
14.1	16/12/1991	23/12/1991	8	36,4	23,2	**B7**, B6, B5	**B8** (2)
15.1	16/02/1992	22/02/1992	7	37,2	25,2	**A7**, B7, B6	**B8** (3)
16.2	19/12/1992	24/12/1992	6	37,3	21,6	**B7**, C7, B6, C6	**C9** (1)
17.2	28/12/1992	31/12/1992	4	38,4	23,4	**B7**, C7, B6, C6	**C9** (1)
18.1	11/01/1993	15/01/1993	5	36,3	22,8	**B7**, C7, C6	**B9**, B8 (2)
19.1	20/01/1993	27/01/1993	8	37,2	23,2	**B7**, B6, C6	**C9**, B8 (4)
20.2	23/12/1993	28/12/1993	6	35,2	21,0	**B7**, C7, C6	-
21.1	18/09/1994	24/09/1994	7	38,0	20,6	**B7**, C7, C6	-

22.1	09/12/1994	15/12/1994	7	39,5	24,4	**B7**, C7, B6, C6	**B9**, B8 (3)
23.1	20/12/1994	08/01/1995	20	36,2	25,2	**B7**, A6, B6, C6, B5	**A8**, B8 (5)
24.1	03/11/1995	09/11/1995	7	36,3	23,5	**B7**, C7, B6, C6	**B8** (3)
25.3	05/12/1995	07/12/1995	3	36,2	21,1	**B7**, C6	-
26.1	14/12/1995	22/12/1995	9	39,0	23,4	**B7**, C7, B6, C6	**B9**, C9 (2)
27.2	08/01/1996	14/01/1996	7	36,6	22,9	**B7**, C7, B6, C6	-
28.2	27/11/1996	04/12/1996	8	35,6	20,6	**B7**, C7, B6, C6	-
29.1	25/12/1996	18/01/1997	25	37,2	25,5	**A7**, B7, B6, C6, B5, C5	**B9**, A8, B8 (5)
30.3	20/01/1998	21/01/1998	2	37,6	23,5	**B7**	**A8** (1)
31.2	03/03/1998	08/03/1998	6	35,3	24,1	**B7**, B6, C6	**B8** (3)
32.1	17/01/1999	27/01/1999	11	36,4	25,5	**A7**, B7, B6, C6	**A8**, B8 (4)
33.1	01/03/1999	10/03/1999	10	36,7	24,4	**B7**, B6	**B8** (6)
34.2	14/03/1999	20/03/1999	7	35,2	23,0	**B7**, B6, C6	-
35.2	24/12/1999	27/12/1999	4	38,4	23,1	**B7**, C7, C6	**B8** (1)
36.1	05/01/2000	22/01/2000	18	35,8	24,4	**B7**, C7, B6, C6	**B8** (4)
37.2	06/02/2000	14/02/2000	9	36,8	23,5	**B7**, B6, C6, B5	-
38.2	25/10/2001	29/10/2001	5	35,6	21,4	**B7**, C7, B6, C6	-
39.3	19/12/2001	21/12/2001	3	35,6	21,0	**B7**, C6	-
40.3	26/02/2002	28/02/2002	3	35,6	24,2	**B7**, C6	-
41.1	03/03/2002	18/03/2002	16	38,0	26,4	**A7**, B7, A6, B6, B5	**A8**, B8 (6)
42.1	25/01/2003	13/02/2003	**20**	37,8	25,6	**B7**, C7, A6, B6, C6	**B9**, A8, B8 (7)
43.2	23/02/2003	28/02/2003	6	35,8	23,6	**B7**, B6, C6	**B8** (1)
44.2	04/01/2004	10/01/2004	7	35,0	22,7	**B7**, B6, C6	-
45.2	12/04/2004	16/04/2004	5	35,0	21,7	**B7**, B6, C6	-
46.3	05/09/2004	07/09/2004	3	36,6	21,3	**B7**, C7	-

47.1	29/12/2004	14/01/2005	17	39,2	24,0	**B7**, B6, C6, C5	**B9**, B8 (4)
48.1	28/01/2005	31/01/2005	4	36,8	24,0	**B7**, B6, C6	**B8** (2)
49.1	04/03/2005	11/03/2005	8	37,8	22,2	**B7**, C7, B6, C6	-
50.3	06/04/2005	08/04/2005	3	35,3	22,2	**B7**, C6	-
51.3	21/11/2005	23/11/2005	3	36,9	21,9	**B7**, C7, C6	-
52.1	04/01/2006	16/01/2006	12	38,2	25,8	**A7**, B7, A6, C6	**B9**, A8, B8 (8)
53.1	01/02/2006	05/02/2006	5	35,2	26,0	**A7**, B7, B6, C6	**A8**, B8 (2)
54.1	12/03/2006	18/03/2006	7	37,0	23,8	**B7**, C7, B6, C6	-
55.3	14/11/2006	16/11/2006	3	36,4	21,8	**B7**, C6	-
56.3	01/12/2006	03/12/2006	3	35,2	21,8	**B7**, C6	-
57.1	11/12/2006	05/01/2007	25	37,6	24,7	**B7**, B6, C6, B5	**B9**, B8 (7)
58.3	23/01/2007	25/01/2007	3	35,8	23,4	**B7**, B6	-
59.2	13/02/2007	16/02/2007	4	36,6	20,6	**B7**, B6, C6	-
60.1	21/12/2007	10/01/2008	21	37,5	23,9	**B7**, C7, B6, C6, B5	**B8** (3)
61.3	07/12/2008	09/12/2008	3	36,1	21,1	**B7**, C7, C6	-
62.1	29/01/2010	14/02/2010	17	39,0	**27,9**	**A7**, B7, B6	**A9**, A8, B8 (11)
63.2	18/02/2010	23/02/2010	6	35,7	24,1	**B7**, B6, C6	**B8** (3)
64.2	23/12/2010	28/12/2010	6	35,5	22,8	**B7**, B6, C6	**B8** (1)
65.1	04/01/2011	06/02/2011	34	36,8	26,0	**B7**, A6, B6, C6, C6, B5	**B9**, B8 (8)
66.2	25/11/2011	30/11/2011	6	35,8	21,0	**B7**, B6, C6	-
67.1	06/01/2012	12/01/2012	7	37,0	23,2	**B7**, B6, C6	-
68.1	16/01/2012	24/01/2012	9	36,8	25,4	**A7**, B7, B6, C6	**B8** (2)
69.1	29/01/2012	13/03/2012	**45**	39,0	25,8	**B7**, C7, B6, C6, C6, B5	**B9**, B8 (11)
70.2	03/11/2012	10/11/2012	8	35,5	22,3	**B7**, B6, C6	-
71.2	02/12/2012	11/12/2012	10	38,3	24,4	**B7**, C7, B6, C6	**B8** (1)

72.1	15/12/2012	20/12/2012	6	39,1	23,5	**B7**, B6, C6	**B7** (2)
73.2	21/01/2013	25/01/2013	5	35,6	21,9	**B7**, B6, C6	**A8** (1)
74.1	28/01/2013	02/02/2013	6	38,2	22,2	**B7**, C7, B6, C6	-
75.1	24/12/2013	02/01/2014	10	39,0	25,3	**B7**, A6, B6	**B9** (1)
76.3	05/01/2014	07/01/2014	3	36,2	22,2	**B7**, B6	-
77.1	16/01/2014	24/01/2014	9	37,6	26,5	**A7**, B7, C7, C6	**A9**, B8 (3)
78.1	27/01/2014	12/02/2014	17	**40,6**	27,1	**A8**, A7, B7, B6	**A9**, B9, B8 (14)
79.2	29/11/2014	02/12/2014	4	35,0	25,4	**B7**, A6, B6, C6	**B8** (1)
80.2	06/12/2014	10/12/2014	5	37,4	24,1	**B7**, C7, B6, C6	**B8** (1)
81.1	04/01/2015	13/01/2015	10	37,0	25,2	**B7**, A6, B6, B5, C6	**B8** (4)
82.2	24/01/2015	28/01/2015	5	36,1	24,0	**B7**, B6, C6	**B8** (2)
83.2	06/08/2015	10/08/2015	5	35,2	22,6	**B7**, B6, C6	**B8** (1)
84.1	15/01/2016	25/01/2016	11	39,0	22,2	**B7**, C7, B6, C6	-
85.1	06/02/2016	26/02/2016	21	36,0	25,4	**A7**, B7, B6, C6	**A8**, B8 (3)
86.1	15/04/2016	21/04/2016	7	36,0	25,2	**A7**, B7, B6	**A8**, B8 (1)
87.1	17/12/2016	27/12/2016	11	38,0	24,2	**B7**, B6, C6	**B8**, C9 (2)

Tabela A.6 - Casos de extremos de frio selecionados para Porto Alegre. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico.

EXTREMOS DE FRIO PORTO ALEGRE							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1	28/05/1988	07/06/1988	11	11,0	1,5	**F2**, F3, E2, E3	**E1** (6)
2	06/07/1988	14/07/1988	9	12,3	1,8	**F2**, E2, E3, D2	**E1** (7)
3	02/07/1989	08/07/1989	7	12,2	3,9	**F2**, E2, E3	**E1** (4)
4	19/07/1990	31/07/1990	13	**8,7**	2,4	**F1**, F2, F3, E2, E3	**E1** (10)
5	11/07/1991	16/07/1991	6	10,2	0,6	**F2**, E2, E3	**E1** (5)
6	01/08/1991	04/08/1991	4	11,4	1,3	**F2**, F3	**E1** (3)
7	06/07/1992	08/07/1992	3	12,4	1,8	**F2**, F3	**E1** (2)
8	15/07/1992	26/07/1992	12	11,5	3,0	**F2**, F3, E2, E3	**E1** (9)
9	10/07/1993	17/07/1993	8	11,8	**-0,2**	**G3**, F2, E2, D2	**E1** (7)
10	29/07/1993	04/08/1993	7	9,4	1,4	**E1**, F2, F3, E2, E3, F4	**E1** (4)
11	08/07/1994	11/07/1994	4	9,6	2,4	**F1**, F2, F3, E2	**E1** (3)
12	04/08/1995	07/08/1995	4	11,0	0,3	**F2**, F3, E2	**E1** (3)
13	19/06/1996	06/07/1996	**18**	10,0	0,4	**F2**, F3, E2, E3, F4	**E1** (9)
14	27/06/1997	06/07/1997	10	11,4	1,6	**F2**, F3, E2, E3, D2	**E1** (5)
15	12/07/2000	27/07/2000	16	9,2	0,0	**G2**, F1, F2, E2, F3, E3	**E1** (11)
16	21/06/2002	26/06/2002	6	12,6	3,4	**F2**, F3, E2, E3	**E1** (6)
17	08/06/2003	13/07/2003	6	17,2	3,0	**F2**, F3, E3	**E1** (4)
18	29/07/2006	03/08/2006	6	13,0	3,1	**F2**, F3, E3	**E1** (4)
19	03/09/2006	06/09/2006	4	13,0	3,8	**F2**, F3, E3	**E1** (3)
20	23/07/2009	31/07/2009	9	10,3	0,1	**F2**, F3, E2, E3	**E1** (7)

21	13/07/2010	17/07/2010	5	11,2	2,4	**F2**, E2	**E1** (5)
22	26/06/2011	10/07/2011	15	10,7	2,1	**F2**, F3, E2, E3, F4	**E1** (11)
23	20/08/2011	22/08/2011	4	12,1	4,7	**F2**, E2	**E1** (4)
24	05/06/2012	10/06/2012	6	13,6	0,9	**F2**, F3, E3	**E1** (4)
25	19/07/2013	26/07/2013	8	9,1	1,4	**F1**, F2, F3, E2, E3	**E1** (4)
26	03/06/2016	14/06/2016	12	12,8	3,0	**F2**, F3, E2, E3, D2	**E1** (10)

A.4 SÃO PAULO

Tabela A.7 - Casos de extremos de calor selecionados para São Paulo. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. * Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico.

EXTREMOS DE CALOR SÃO PAULO							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1	17/01/1999	30/01/1999	13	37,0	23,0	**B6**, B5, C5	**A8** (2)
2	07/10/2002	16/10/2002	10	35,7	22,2	**B6**, C6, B5,C5	-
3	27/10/2012	31/10/2012	5	36,6	22,2	**B6**, C6, B5	-
4	25/12/2013	04/01/2014	11	35,5	24,2	**B6**, B5, B4	**A8** (1)
5	26/01/2014	13/02/2014	**19**	36,4	**25,4**	**A5, B6**, B5	**A8** (1)
6	11/10/2014	19/10/2014	9	**37,8**	21,7	**B6**, C6, C5	D8 (1)
7	06/01/2015	21/01/2015	16	36,5	23,4	**B6**, B5, C5	**A8** (2)
8	16/09/2015	25/09/2015	10	35,5	21,3	**B6**, B5, C5	-
9	15/10/2015	16/10/2015	2	35,8	21,3	**B6**, C6	-

Tabela A.8 - Casos de extremos de frio selecionados para São Paulo. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico.

EXTREMOS DE FRIO SÃO PAULO							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1	05/08/1963	07/08/1963	3	12,5	4,8	**F1**, E2	**D1**, D2 (3)
2	26/07/1964	29/07/1964	4	13,6	3,9	**F1**, F2, E1, E2	**D1**, D2 (4)
3	20/08/1965	22/08/1965	3	14,4	3,5	**F1**, E2	**D1**, D2 (3)
4	17/07/1975	20/07/1975	4	11,6	1,5	**F1**, F2, E2	**D1**, D2 (4)
5	14/08/1978	16/08/1978	3	10,9	4,0	**F1**, E1, E2	**D1**, D2 (3)
6	19/07/1981	24/07/1981	**6**	11,0	3,7	**F1**, E1, E2, D1, D2	**D1**, D2 (5)
7	25/08/1984	29/08/1984	5	11,1	3,4	**F1**, E1, E2	**D1**, D2 (5)
8	28/07/1990	01/08/1990	5	13,0	2,8	**F1**, E1, E2	**D1** (4)
9	31/07/1993	02/08/1993	3	14,4	4,4	**F1**, E2	**D1**, D2, D3 (3)
10	26/06/1994	20/06/1994	5	13,5	1,2	**F1**, F2, F3, E2	**D1**, D2 (4)
11	09/07/1994	12/07/1994	4	12,2	**0,8**	**F1**, F2, E2	**D1**, D2 (4)
12	04/08/1994	07/08/1994	4	14,9	4,9	**F1**, F2, E2	**D1**, D2 (4)
13	23/07/2013	26/07/2013	4	**8,5**	5,2	**E1**, E2, E3	**D1**, D2 (4)

A.5 RIO DE JANEIRO

Tabela A.9 - Casos de extremo calor selecionados para o Rio de Janeiro. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. Na numeração dos casos o número após o ponto indica o tipo ao qual o caso pertence. * Os valores em parênteses são referentes à quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico.

EXTREMOS DE CALOR RIO DE JANEIRO							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1.1	07/10/2002	08/10/2002	2	38,8	27,7	**A5**, B5	-
2.1	20/10/2002	21/10/2002	2	39,5	26,5	**A5**, B5	**B8** (1)
3.3	24/11/2002	01/12/2002	8	**42,0**	28,8	**A6,** A5, A4	**B8** (2)
4.2	05/12/2002	08/12/2002	4	38,5	26,9	**A5**, B5, A4	**B8** (1)
5.3	30/12/2002	05/01/2003	7	38,0	27,5	**A5**, B5, A4	**B8** (2)
6.1	09/01/2003	10/01/2003	2	38,3	27,5	**A5**, B5	**B8** (1)
7.2	20/01/2003	24/01/2003	5	37,8	28,3	**A5**	**B8** (1)
8.3	02/02/2003	16/03/2003	43	41,3	28,1	**A6,** A5, B5, B4	**B8** (13)
9.1	12/11/2003	13/11/2003	2	40,0	24,3	**B6**, B5	-
10.1	17/11/2003	19/11/2003	3	38,1	28,9	**A5**, B5, A4	-
11.3	11/12/2003	16/12/2003	6	41,7	27,4	**A6,** A5, B5, B4, B3	**B8** (2)
12.3	24/01/2004	05/02/2004	13	38,8	27,1	**A5**, B5, A4, B4	-
13.1	08/03/2004	10/03/2004	3	37,4	25,2	**A5**, B5	-
14.2	15/04/2004	19/04/2004	5	36,7	25,3	**A5**, A4	-
15.2	03/11/2004	06/11/2004	4	40,5	25,9	**A6,** A5, B5	**B8** (2)
16.1	08/12/2004	09/12/2004	2	35,8	25,9	**A5**, B5	-
17.2	16/12/2004	20/12/2004	5	37,0	26,0	**A5**, B5, A4	-
18.3	04/01/2005	10/01/2005	7	39,4	26,9	**A5**, A4	**B8** (2)
19.3	15/01/2005	22/01/2005	8	39,8	28,1	**A5**, B5,	**B8** (1)

						A4, B4, B3	
20.2	24/02/2005	28/02/2005	5	38,0	27,1	**A5**, A4	**B8** (1)
21.3	09/03/2005	24/03/2005	16	40,0	**29,5**	**A6,** A5, B5, A4, B4	**B8** (3)
22.3	30/03/2005	16/04/2005	18	39,3	27,5	**A5**, B5, A4, B4, A3	**B8** (1)
23.2	28/08/2005	31/08/2005	4	38,9	25,4	**A5**, B5, A4	-
24.2	13/10/2005	17/10/2005	5	40,7	26,1	**A6,** A5, B5, B4, B3	**B8** (1)
25.1	24/11/2005	25/11/2005	2	38,7	25,9	**A5**, A4	-
26.1	30/11/2005	01/12/2005	2	38,7	26,7	**A5**, B5	-
27.3	17/12/2005	24/12/2005	8	40,0	26,3	**B6,** A5, B5, B4, B3	**B8** (1)
28.1	31/12/2005	01/01/2006	2	38,9	25,6	**A5**, B5	**B8** (2)
29.3	09/01/2006	26/01/2006	18	40,2	26,5	**A6,** A5, B5	**B8** (3)
30.3	17/02/2006	05/03/2006	17	37,0	29,4	**A5**, B5, A4, B4	**B8** (2)
31.3	16/03/2006	25/03/2006	10	38,8	27,3	**A5**, B5, A4, B4	**B8** (1)
32.2	06/02/2007	10/02/2007	5	37,9	27,5	**A5**, A4	**B8** (1)
33.3	18/02/2007	16/03/2007	27	40,4	27,6	**A6,** A5, B5, A4	-
34.3	27/03/2007	05/04/2007	10	36,6	26,3	**A5**, A4, B4	-
35.2	22/04/2007	26/04/2007	5	38,5	26,5	**A5**, B5, A4, B4	-
36.3	29/10/2007	03/11/2007	6	38,4	26,7	**A5**, B5, A4, B4	-
37.1	09/12/2007	11/12/2007	3	39,0	27,1	**A5**	-
38.3	26/12/2007	04/01/2008	10	39,0	27,5	**A5**, A4	**B8** (1)
39.3	11/01/2008	20/01/2008	10	39,4	26,5	**A5**, B5, A4, B4	**B8** (1)
40.2	10/02/2008	14/02/2008	5	37,4	25,7	**A5**, B5, A4	**B8** (1)
41.2	02/03/2008	05/03/2008	4	37,5	26,6	**A5**	-
42.1	22/03/2008	23/03/2008	2	35,0	26,0	**A5**, A4	-

43.3	03/11/2009	03/12/2009	31	40,5	28,6	**A6,** B6, A5, B5, A4, B4	**B8** (2)
44.3	21/12/2009	21/01/2010	32	40,4	29,3	**A6**, A5, B5, A4, B4, B3	**A8** (1) **B8** (3)
45.4	27/01/2010	24/02/2010	29	41,8	29,4	**A6**, A5, B5, B4, B3	**A8** (1) **B8** (8)
46.3	09/03/2010	15/03/2010	7	40,0	26,6	**B6,** A5, B5	-
47.3	22/03/2010	29/03/2010	8	38,0	27,7	**A5**, B5	-
48.3	20/04/2010	27/04/2010	8	37,9	27,4	**A5**, B5, A4, B4, A3	-
49.3	29/11/2010	04/12/2010	6	39,9	28,2	**A5**, B5, A4, B4	-
50.3	12/12/2010	21/12/2010	10	39,5	27,2	**A5**, A4, B4	**B8** (2)
51.3	05/01/2011	28/02/2011	**55**	40,0	28,1	**A6,** B6, A5, B5, A4, B4	**B8** (2)
52.1	27/03/2011	29/03/2011	3	35,0	25,8	**A5**, A4	-
53.3	20/12/2011	25/12/2011	6	37,6	26,7	**A5**, B5, A4	-
54.1	13/01/2012	15/01/2012	3	39,0	26,6	**A5**, B5	-
55.1	23/01/2012	25/01/2012	3	39,0	25,9	**A5**	-
56.2	04/02/2012	07/02/2012	4	38,4	25,7	**A5**, B5	-
57.3	22/02/2012	04/03/2012	12	39,4	27,5	**A5**, B5, A4	-
58.2	12/03/2012	15/03/2012	4	37,6	25,1	**A5**, B5, A4	-
59.1	14/04/2012	15/04/2012	2	36,6	25,8	**A5**, A4	-
60.3	06/12/2012	09/01/2013	35	41,3	29,5	**A6**, A5, B5, A4, B4, B3	**B8** (4)
61.1	02/02/2013	03/02/2013	2	36,7	26,1	**A5**	-
62.3	09/02/2013	26/02/2013	18	39,1	28,2	**A5**, A4	**B8** (3)
63.3	04/03/2013	13/03/2013	10	37,7	27,1	**A5**, B5, A4, B4	**B8** (1)
64.2	30/10/2014	02/11/2014	4	36,2	27,2	**A5**, B5, A4	-
65.2	09/12/2014	12/12/2014	4	35,8	25,6	**A5**, B5, A4	-

66.2	19/12/2014	22/12/2014	4	37,5	28,3	**A5**, A4	-
67.3	28/12/2014	01/02/2015	35	38,5	28,5	**A5**, A4, B4	**B8** (1)
68.3	10/02/2015	28/02/2015	19	38,5	29,0	**A5**, B5, A4, B3	-
69.1	24/09/2015	25/09/2015	2	38,7	25,7	**A5**, B5	-
70.1	15/10/2015	16/10/2015	2	39,3	26,7	**A5**, B5	-
71.3	14/11/2015	20/11/2015	7	36,6	26,8	**A5**, A4, B4 B3	-
72.2	08/01/2016	11/01/2016	4	35,9	26,1	**A5**, A4	-
73.3	26/01/2016	15/02/2016	21	38,4	27,0	**A5**, A4, B4 B3	-
74.2	24/02/2016	28/02/2016	5	37,7	26,8	**A5**, A4	-
75.3	04/03/2016	11/03/2016	8	36,8	27,7	**A5**, A4	-
76.3	14/04/2016	22/04/2016	9	35,8	26,1	**A5**, A4, B4	-

Tabela A.10 - Casos de extremos de frio selecionados para o Rio de Janeiro. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico.

EXTREMOS DE FRIO RIO DE JANEIRO							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1	11/07/2003	14/07/2003	4	19,9	15,0	**D1**, C2	**E2** (2)
2	04/09/2006	07/09/2006	4	18,2	12,8	**D1**, D2, C2	**F2** (1) F3 (1)
3	27/07/2007	30/07/2007	4	19,3	13,6	**D1**, D2, C1, C2	**F2** (1) E2 (1)

A.6 BELO HORIZONTE

Tabela A.11 - Casos de extremo calor selecionados para Belo Horizonte. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. * Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico.

EXTREMOS DE CALOR BELO HORIZONTE							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1	20/01/1988	30/01/1988	11	33,3	22,4	**A6**, A5	-
2	15/01/1995	21/01/1995	7	35,1	23,8	**A6**, A5	-
3	10/09/1997	11/09/1997	2	35,7	23,0	**A6**, A5	-
4	01/02/1998	11/02/1998	11	35,2	23,9	**A6**, A5	-
5	20/10/2003	22/10/2003	3	35,1	22,9	**A6**, A5	-
6	22/01/2006	27/01/2006	6	35,4	23,8	**A6**, A5	-
7	14/10/2007	18/10/2007	5	36,2	22,6	**A6**, A5, B5	-
8	04/10/2008	06/10/2008	3	35,2	22,3	**A6**, A5	-
9	24/10/2008	28/10/2008	5	35,1	24,6	**A6**, A5	-
10	25/10/2012	01/11/2012	8	37,1	22,6	**A6**, A5	-
11	12/10/2014	19/10/2014	8	36,2	22,4	**A6**, A5, B5	-
12	24/09/2015	28/09/2015	5	36,6	23,3	**A6**, A5	-
13	13/10/2015	26/10/2015	**14**	**37,4**	23,2	**A6**, B6, A5, B5	-
14	01/11/2015	13/11/2015	13	36,0	23,8	**A6**, A5, A4,B4	-

Tabela A.12 - Casos de extremos de frio selecionados para Belo Horizonte. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico.

EXTREMOS DE FRIO BELO HORIZONTE							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1	12/07/1988	19/07/1988	8	17,9	8,1	**D2**, D3, C2, C3	**D2** (1)
2	06/07/1989	20/07/1989	12	19,0	9,4	**C1**, D2, D3, C2, C3	**D1** (1) D2 (1)
3	15/08/1991	19/08/1991	5	19,0	10,0	**D2**, C2, C3	**D2** (2)
4	10/07/1994	16/07/1994	7	24,1	15,0	**D2**, C2, C3	**D2** (2)
5	15/08/1999	20/08/1999	6	**13,6**	9,5	**D1**, C2, C3	**D1** (2)
6	16/07/2000	18/07/2000	3	19,3	8,7	**D2**, D3, C3	**D1** (1)

A.7 BRASÍLIA

Tabela A.13 - Casos de extremo calor selecionados para Brasília. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. * Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico.

EXTREMOS DE CALOR BRASÍLIA							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1	14/10/1963	18/10/1963	5	34,0	20,9	**A4**, B4	-
2	27/10/1963	30/10/1963	4	32,5	21,1	**A4**, B4, B3	-
3	16/09/1987	18/09/1987	3	32,2	20,6	**A4**, B4	-
4	04/11/1994	09/11/1994	6	33,0	21,8	**A4**, B4	-
5	16/09/1997	18/09/1997	3	32,9	21,4	**A4**	-
6	13/10/1997	16/10/1997	4	33,1	21,3	**A4**, B4	-
7	04/11/1997	09/11/1997	6	32,9	21,8	**A4**, B4	-
8	03/02/1998	07/02/1998	5	31,2	20,7	**A4**, B4	**A7** (2)
9	15/09/1998	19/09/1998	5	33,2	21,0	**A4**, B4	-
10	04/10/1998	07/10/1998	4	33,5	22,3	**A4**, B4	-
11	19/10/2002	26/10/2002	8	32,8	22,0	**A4**, B4	-
12	29/11/2002	04/12/2002	6	32,1	**25,0**	**A4**, B4	-
13	05/10/2003	07/10/2003	3	32,5	21,5	**A4**, B4	-
14	13/12/2003	15/12/2003	3	30,7	20,8	**A4**, B4	-
15	23/09/2004	25/09/2004	3	32,1	20,3	**A4**, B4	-
16	15/10/2004	17/10/2004	3	31,7	20,8	**A4**	-
17	17/09/2005	20/09/2005	4	33,1	22,1	**A4**	-
18	03/10/2005	08/10/2005	6	30,9	22,2	**A4**, B4	-
19	20/10/2005	28/10/2005	9	33,8	21,1	**A4**, B4	-
20	18/09/2007	24/09/2007	7	34,2	21,6	**A4**, B4	-
21	15/10/2007	18/10/2007	4	34,3	21,5	**A4**	-
22	**24/10/2008**	**02/11/2008**	**10**	**35,8**	**22,1**	**A5, A4, B4, B3**	**-**

23	15/11/2009	17/11/2009	3	31,0	20,3	**A4**, B4	-
24	**24/09/2010**	**27/09/2010**	**4**	**32,5**	**20,4**	**A4, B4**	**-**
25	12/09/2012	17/09/2012	6	33,6	21,3	**A4**, B4	-
26	17/09/2014	19/09/2014	3	33,2	20,9	**A4**	-
27	27/09/2014	30/09/2014	4	32,8	21,2	**A4**, B4	-
28	10/10/2014	20/10/2014	11	35,0	21,4	**B5**, A4, B4	**-**
29	**02/10/2015**	**22/10/2015**	**21**	**36,4**	**22,8**	**A5, B5, A4, B4**	**-**
30	05/11/2015	14/11/2015	10	34,5	22,4	**A4**, B4	-
31	16/09/2016	21/09/2016	6	34,9	20,6	**A4**, B4	-
32	10/10/2016	18/10/2016	9	33,9	21,7	**A4**, B4	-

Tabela A.14 - Casos de extremos de frio selecionados para Brasília. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico.

EXTREMOS DE FRIO BRASÍLIA							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1	01/06/1964	05/06/1964	5	21,0	8,9	**D1**, D2, C2	**D2** (1) **D3** (2)
2	12/07/1968	20/07/1968	9	19,7	9,0	**D1**, D2, C2	**D2** (1) **D3** (5)
3	18/07/1975	20/07/1975	3	20,4	**1,6**	**E2**, D2, C2	**D3** (2)
4	**17/05/1977**	**19/05/1977**	**3**	**16,2**	**3,2**	**E1**, D1, D2	**D2** (1)
5	14/08/1978	15/08/1978	2	24,0	5,0	**E2**, D2	-
6	29/05/1979	04/06/1979	7	17,6	7,2	**D1**, D2, C2	**D2** (1) **D3** (3)
7	**09/06/1985**	**13/06/1985**	**5**	**18,3**	**3,3**	**E1**, D2, C2	**D2** (2) **D3** (1)
8	10/07/1988	21/07/1988	**12**	18,9	8,3	**D1**, D2, C1, C2	**D2** (3) **D3** (4)

A.8 GOIÂNIA

Tabela A.15 - Casos de extremo calor selecionados para Goiânia. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. Na numeração dos casos o número após o ponto indica o tipo ao qual o caso pertence. * Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico.

EXTREMOS DE CALOR GOIÂNIA							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1.2	24/09/1961	29/09/1961	6	36,2	21,6	**B7**, C7, D7, B6	-
2.1	08/09/1962	13/09/1962	6	35,6	21,9	**B7**, C7, B6	-
3.3	08/10/1963	21/10/1963	14	36,8	23,4	**B7**, C7, B6, C6	-
4.3	25/10/1963	31/10/1963	7	36,4	23,2	**B7**, B6	-
5.2	31/10/1968	10/11/1968	11	36,2	23,0	**B7**, C7, B6	-
6.1	15/09/1973	21/09/1973	7	36,2	22,2	**B7**, C7, B6	-
7.1	27/10/1979	28/10/1979	2	35,2	22,0	**B7**, B6	-
8.2	20/10/1980	04/11/1980	16	36,8	21,9	**B7**, C7, B6	-
9.1	21/11/1982	27/11/1982	7	35,4	22,2	**B7**, B6	-
10.2	05/10/1984	15/10/1984	11	36,8	22,3	**B7**, C7, B6, C6	-
11.1	05/11/1984	11/11/1984	7	35,9	22,7	**B7**, B6	-
12.3	27/08/1985	30/08/1985	4	36,2	21,7	**B7**	-
13.1	17/11/1985	18/11/1985	2	36,2	20,2	**B7**, C7	-
14.3	10/09/1987	20/09/1987	11	38,4	23,6	**B7**, C7, B6	-
15.1	30/09/1987	01/10/1987	2	35,0	21,2	**B7**, B6	-
16.3	08/10/1987	21/10/1987	13	36,4	21,4	**B7**, C7, B6	-
17.1	26/10/1987	30/10/1987	5	35,4	21,7	**B7**, B6	-
18.2	19/09/1988	29/09/1988	11	37,2	21,9	**B7**, C7, B6	-
19.2	07/10/1988	11/10/1988	5	35,4	23,8	**B7**, C7, B6, C6	-

20.2	23/11/1989	29/11/1989	7	35,4	24,2	**B7**, B6	-
21.2	10/10/1994	15/10/1994	6	37,5	20,7	**B7**, C7	-
22.2	02/11/1994	08/11/1994	7	37,0	20,4	**B7**, C7	-
23.3	10/09/1995	07/10/1995	28	37,8	24,3	**B7**, C7, B6, C6	-
24.1	25/09/1996	01/10/1996	7	35,5	22,8	**B7**, C7, B6	-
25.2	10/09/1997	21/09/1997	12	37,2	22,5	**B7**, C7, B6, B5	-
26.3	04/10/1997	20/10/1997	17	37,6	23,0	**B7**, C7, D7, B6, C6	-
27.3	29/10/1997	11/11/1997	14	36,1	24,0	**B7**, B6	-
28.1	29/12/1997	08/01/1998	11	35,1	22,8	**B7**, B6	-
29.2	10/08/1998	13/08/1998	4	36,4	20,7	**B7**, B6	-
30.3	04/09/1998	20/09/1998	17	38,5	22,5	**B7**, C7, B6, C5	-
31.3	01/10/1998	10/10/1998	10	37,3	23,2	**B7**, B6	-
32.1	28/08/1999	30/08/1999	3	36,4	20,1	**B7**, C7	-
33.2	03/09/1999	09/09/1999	7	37,4	21,5	**B7**, C7	-
34.1	28/09/1999	03/10/1999	6	37,0	23,0	**B7**, C7, B6	-
35.1	05/10/1999	13/10/1999	9	35,8	20,8	**B7**, C7, B6	-
36.2	16/10/1999	19/10/1999	4	36,4	23,8	**B7**, C7	-
37.1	26/08/2000	27/08/2000	2	36,6	22,3	**B7**, C7	-
38.3	07/10/2000	23/10/2000	17	37,9	22,9	**B7**, C7, B6	-
39.2	03/02/2001	08/02/2001	6	35,0	22,3	**B7**, C7	-
40.3	30/09/2002	30/10/2002	31	38,1	24,5	**B7**, C7, B6	-
41.3	24/11/2002	09/12/2002	16	36,4	23,5	**B7**, B6	-
42.3	19/09/2003	10/10/2003	22	38,3	23,4	**B7**, C7, B6, C6, C5	-
43.2	19/10/2003	22/10/2003	4	36,7	21,6	**B7**, C7, B6	-
44.1	16/11/2003	19/11/2003	4	35,9	21,4	**B7**, B6	-
45.1	06/12/2003	07/12/2003	2	35,4	21,3	**B7**, B6	-
46.3	11/12/2003	22/12/2003	12	36,0	23,2	**B7**, B6	-
47.1	29/08/2004	01/09/2004	4	36,1	21,2	**B7**, C7, B6	-

48.3	05/09/2004	17/10/2004	43	38,0	23,6	**B7**, C7, B6, C6, B5	-
49.3	26/08/2005	23/09/2005	29	37,8	23,2	**B7**, C7, B6, C6, C5	-
50.3	28/09/2005	01/11/2005	35	37,3	24,0	**B7**, C7, B6, C6	-
51.1	06/11/2005	11/11/2005	6	35,9	23,2	**B7**, B6	-
52.2	22/01/2006	29/01/2006	8	36,2	22,0	**B7**, B6	-
53.1	13/09/2006	23/09/2006	11	37,5	22,8	**B7**, C7, B6	-
54.1	26/09/2006	29/09/2006	4	35,5	21,8	**B7**, B6	-
55.1	16/11/2006	22/11/2006	7	35,2	22,3	**B7**, B6	-
56.3	11/09/2007	20/10/2007	40	39,4	24,9	**B7**, C7, B6, C5	-
57.2	27/10/2007	04/11/2007	8	37,9	24,5	**B7**, B6	-
58.3	03/09/2008	19/09/2008	16	38,9	22,6	**B7**, C7, C6	-
59.1	29/09/2008	01/10/2008	3	36,8	20,7	**B7**, C7	-
60.1	11/10/2008	20/10/2008	10	37,4	24,4	**B7**, C7, B6	-
61.3	23/10/2008	10/11/2008	18	38,2	**25,1**	**B7**, C7, A6, B6, B5	-
62.2	14/09/2009	19/09/2009	6	36,6	21,9	**B7**, C7	-
63.1	12/11/2009	29/11/2009	18	36,2	22,8	**B7**, B6	-
64.1	05/01/2010	12/01/2010	8	35,4	22,0	**B7**, B6, C6	-
65.2	27/01/2010	07/02/2010	12	35,6	22,4	**B7**, B6	-
66.3	27/08/2010	14/10/2010	46	38,2	23,4	**B7**, C7, B6, C6	-
67.1	16/10/2010	18/10/2010	3	35,0	21,2	**B7**, B6	-
68.2	20/10/2010	22/10/2010	3	35,2	21,9	**B7**, B6	-
69.2	28/10/2010	30/10/2010	3	35,7	23,0	**B7**, C7	-
70.1	01/12/2010	05/12/2010	5	35,2	22,5	**B7**, B6	-
71.3	24/08/2011	13/09/2011	21	37,7	23,4	**B7**, C7, D7, B6	-
72.2	21/09/2011	02/10/2011	12	37,8	23,0	**B7**, C7, B6	-
73.1	25/10/2011	29/10/2011	5	35,0	21,4	**B7**, B6	-
74.3	08/09/2012	19/09/2012	12	38,7	24,6	**B7**, C7	-

75.3	29/09/2012	09/10/2012	11	36,9	22,0	**B7**, C7, B6	-
76.3	18/10/2012	03/11/2012	17	38,8	25,0	**B7**, B6	-
77.1	28/11/2012	01/12/2012	4	35,3	23,0	**B7**, B6	-
78.1	06/12/2012	17/12/2012	12	35,2	23,5	**B7**, B6	-
79.2	20/12/2012	26/12/2012	7	36,1	22,5	**B7**, B6	-
80.2	01/01/2013	08/01/2013	8	35,1	22,8	**B7**, B6	-
81.1	04/03/2013	18/03/2013	15	35,6	23,6	**B7**, B6	-
82.3	14/09/2013	28/09/2013	15	38,1	23,3	**B7**, C7, B6, C6, C5	-
83.1	12/10/2013	16/10/2013	5	35,0	23,3	**B7**, B6	-
84.2	25/10/2013	27/10/2013	3	36,9	23,2	**B7**, B6	-
85.1	10/11/2013	15/11/2013	6	36,0	22,4	**B7**, B6	-
86.1	19/11/2013	21/11/2013	3	35,4	20,8	**B7**, B6	-
87.1	30/01/2014	11/02/2014	13	35,8	23,5	**B7**, C7, B6	-
88.3	28/08/2014	02/09/2014	6	37,3	21,5	**B7**, C7, B6	-
89.3	11/09/2014	22/10/2014	42	39,6	24,4	**B7**, C7, B6, C6	-
90.1	27/10/2014	29/10/2014	3	35,8	21,5	**B7**, B6	-
91.1	04/11/2014	12/11/2014	9	35,0	22,8	**B7**, B6	-
92.1	25/12/2014	27/12/2014	3	35,0	21,7	**B7**, B6	-
93.3	09/01/2015	21/01/2015	13	37,8	23,2	**B7**, B6	-
94.2	26/01/2015	01/02/2015	7	36,3	22,0	**B7**, B6	-
95.3	29/08/2015	08/09/2015	11	37,6	22,1	**B7**, C7	-
96.3	14/09/2015	23/11/2015	**71**	**40,0**	24,8	**B7**, C7, B6, C6, C5	-
97.3	29/11/2015	05/12/2015	7	35,9	23,4	**B7**, B6	-
98.2	14/12/2015	29/12/2015	16	35,5	23,1	**B7**, B6, C6	-
99.2	11/02/2016	01/03/2016	20	35,7	22,7	**B7**, B6	-
100.1	29/03/2016	10/04/2016	13	35,2	22,9	**B7**, B6	-
101.1	13/04/2016	15/04/2016	3	35,1	22,1	**B7**, B6	-
102.2	14/08/2016	15/08/2016	2	35,8	21,2	**B7**	-
103.3	28/08/2016	03/10/2016	37	39,0	24,4	**B7**, C7, B6, C6	-

104.3	09/10/2016	28/10/2016	20	37,2	25,0	**B7**, C7, B6, C6	-
105.2	23/12/2016	28/12/2016	6	35,7	22,6	**B7**, B6	-

Tabela A.16 - Casos de extremos de frio selecionados para Goiânia. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico.

EXTREMOS DE FRIO GOIÂNIA							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1	17/07/1975	18/07/1975	2	19,5	**2,8**	**F3**, E3	**E2** (2)
2	14/08/1978	15/08/1978	2	18,4	6,8	**E3**, E4	**E2** (1)
3	08/06/1985	10/06/1985	3	17,2	3,5	**F3**, F4, E4	**E3** (1)
4	25/06/1994	27/06/1994	3	20,9	4,1	**F4**, E4, F5	**E3** (1)
5	28/06/1996	30/06/1996	3	**14,0**	6,8	**E2**, E3, D4	**E1** (1) **E3** (1)

A.8 RIO BRANCO

Tabela A.17 - Casos de extremo calor selecionados para Rio Branco. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao maior valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. Na numeração dos casos o número após o ponto indica o tipo ao qual o caso pertence. * Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico.

EXTREMOS DE CALOR RIO BRANCO							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1.2	01/09/1997	05/09/1997	5	35,5	24,2	**B6**, B5	**B8** (1)
2.3	18/09/1997	22/09/1997	5	36,2	24,0	**B6**, B5	**B8** (4)
3.3	28/09/1997	16/10/1997	19	37,2	24,5	**B6**, B5	**B8** (3) **B9** (1) **C9** (1)
4.1	19/10/1997	21/10/1997	3	35,0	23,6	**B6**, B5	-
5.1	26/10/1997	28/10/1997	3	35,0	24,3	**B6**, B5	**B8** (2)
6.2	10/11/1997	13/11/1997	4	35,2	24,4	**B6**, B5	-
7.1	23/12/1997	24/12/1997	2	35,0	23,7	**B6**, B5	**B9** (1) **B8** (1)
8.2	03/08/1998	06/08/1998	4	35,0	21,5	**B6**, B5	-
9.3	11/08/1998	26/08/1998	16	35,8	22,6	**B6**, B5	**B8** (1)
10.3	02/09/1998	18/09/1998	17	36,4	24,0	**B6**, B5, C6	**C9** (1)
11.2	25/09/1998	29/09/1998	5	37,0	23,0	**B6**, C6, B5	-
12.2	02/10/1998	07/10/1998	6	37,4	22,5	**B6**, C6, B5	-
13.3	10/10/1998	18/10/1998	9	36,8	24,0	**B6**, B5	**B9** (1) **B8** (1)
14.3	31/08/1999	09/09/1999	10	35,8	24,2	**B6**, B5, C6	**B8** (1)
15.2	13/09/1999	15/09/1999	3	35,2	22,0	**B6**, B5	**C9** (2)
16.1	22/09/1999	23/09/1999	2	35,2	22,8	**B6**, B5	-
17.3	09/10/1999	23/10/1999	15	36,2	23,2	**B6**, B5, C6	**C9** (2)
18.1	01/11/1999	02/11/1999	2	35,8	23,5	**B6**, B5	-
19.3	28/08/2000	02/09/2000	6	36,6	21,1	**B6**, B5	**C9** (2)

20.3	07/09/2000	11/09/2000	5	36,4	23,1	**B6**	**C9** (1)
21.2	11/10/2000	19/10/2000	9	35,2	22,9	**B6**, B5, B4	-
22.2	17/08/2001	20/08/2001	4	35,7	21,7	**B6**, B5	-
23.3	25/08/2001	15/09/2001	22	36,0	23,1	**B6**, B5	**C9** (1)
24.3	22/09/2001	10/10/2001	19	37,5	23,5	**B6**, B5	-
25.1	20/10/2001	21/10/2001	2	35,5	24,7	**B6**, B5	-
26.1	26/10/2001	28/10/2001	3	35,0	23,7	**B6**, B5	**B8** (1)
27.1	18/08/2002	20/08/2002	3	35,2	21,6	**B6**, B5	-
28.1	25/08/2002	27/08/2002	3	35,0	21,6	**B6**, B5	-
29.1	05/09/2002	07/09/2002	3	35,2	22,7	**B6**, B5	-
30.3	01/10/2002	12/10/2002	12	36,2	23,9	**B6**, B5	**C9** (1)
31.1	07/01/2003	09/01/2003	3	35,0	24,2	**B6**, B5	**B8** (1)
32.1	15/09/2003	17/09/2003	3	35,7	21,8	**B6**, C6, B5	-
33.2	23/09/2003	28/09/2003	6	35,9	22,5	**B6**, B5	-
34.1	01/10/2003	03/10/2003	3	36,4	20,8	**B6**, B5	**C9** (1)
35.1	09/10/2003	10/10/2003	2	35,5	22,5	**B6**, B5	-
36.3	18/10/2003	25/10/2003	8	37,2	23,2	**B6**, B5	**C9** (2)
37.2	05/11/2003	10/11/2003	6	36,6	23,6	**B6**, B5	**B8** (1)
38.1	27/01/2004	29/01/2004	3	35,7	23,6	**B6**, B5	-
39.1	31/08/2004	02/09/2004	3	35,2	21,8	**B6**, B5	-
40.3	17/09/2004	30/09/2004	14	37,0	23,3	**B6**, B5, C6, C5	-
41.1	08/10/2004	10/10/2004	3	35,0	23,8	**B6**, B5	-
42.1	18/01/2005	19/01/2005	2	35,6	21,5	**B6**, B5	-
43.1	09/04/2005	11/04/2005	3	35,0	24,0	**B6**, B5	**B8** (2)
44.1	17/08/2005	19/08/2005	3	35,8	21,8	**B6**, C6, B5	-
45.1	23/08/2005	25/08/2005	3	37,0	21,6	**B6**, C6, B5	-
46.2	29/08/2005	31/08/2005	3	37,4	22,7	**B6**, C6	-
47.2	09/09/2005	11/09/2005	3	37,8	21,8	**B6**, C6	-
48.3	20/09/2005	05/10/2005	16	**39,2**	23,9	**B6**, B5, C6, C5	**C9** (6)
49.2	10/10/2005	13/10/2005	4	36,6	23,7	**B6**, B5	-

50.2	16/10/2005	17/10/2005	2	35,2	23,1	**B6**	**-**
51.2	21/10/2005	27/10/2005	7	37,0	23,7	**B6**, B5	**C9** (1)
52.2	04/11/2005	06/11/2005	3	35,2	23,9	**B6**, B5	-
53.1	09/11/2005	11/11/2005	3	35,3	22,7	**B6**, B5	-
54.2	09/07/2006	15/07/2006	7	35,8	20,9	**B6**, C6, B5	-
55.1	25/07/2006	29/07/2006	5	36,1	21,2	**B6**, B5	-
56.3	06/08/2006	17/08/2006	12	37,0	21,9	**B6**, B5	**C9** (2)
57.2	27/08/2006	28/08/2006	2	35,4	22,7	**B6**	**-**
58.2	01/09/2006	03/09/2006	3	36,0	21,9	**B6**, B5	-
59.3	12/09/2006	22/09/2006	11	37,8	23,2	**B6**, B5, C6	-
60.2	26/09/2006	28/09/2006	3	35,6	22,9	**B6**, C6	-
61.1	29/10/2006	31/10/2006	2	35,2	23,5	**B6**, B5	-
62.1	05/11/2006	07/11/2006	3	35,1	23,5	**B6**, B5	**B8** (1)
63.1	15/08/2007	17/08/2007	3	36,0	20,2	**B6**, C6	-
64.2	24/08/2007	26/08/2007	3	36,7	21,6	**B6**, C6	-
65.1	04/09/2007	05/09/2007	2	35,6	21,9	**B6**, B5	-
66.3	09/09/2007	15/09/2007	7	35,8	22,8	**B6**, B5	-
67.1	18/09/2007	20/09/2007	3	36,0	22,6	**B6**, B5	-
68.2	22/09/2007	24/09/2007	3	36,2	22,6	**B6**, B5	-
69.2	01/10/2007	07/10/2007	7	36,4	24,0	**B6**, B5	-
70.1	09/10/2007	10/10/2007	2	35,4	23,3	**B6**, B5	-
71.2	15/08/2008	18/08/2008	4	35,7	20,8	**B6**, B5, C6	-
72.3	26/08/2008	04/09/2008	10	36,2	22,4	**B6**, B5, C6, C5	-
73.1	11/09/2008	13/09/2008	3	35,1	22,3	**B6**, B5	-
74.2	19/09/2008	20/09/2008	2	36,2	21,5	**B6**	-
75.3	24/09/2008	29/09/2008	6	36,9	22,7	**B6**, B5	-
76.2	01/10/2008	03/10/2008	3	36,0	23,2	**B6**	-
77.1	11/10/2008	13/10/2008	3	35,7	23,1	**B6**, B5	-
78.1	08/11/2008	10/11/2008	3	35,8	23,8	**B6**, B5	-
79.1	17/08/2009	19/08/2009	3	35,2	22,4	**B6**, B5	-
80.3	03/09/2009	09/09/2009	7	35,6	22,5	**B6**, B5	-

81.3	14/09/2009	19/09/2009	6	35,8	22,6	**B6**, C6	-
82.1	05/10/2009	07/10/2009	3	35,3	22,2	**B6**, B5	-
83.2	10/10/2009	13/10/2009	4	35,6	23,7	**B6**, B5	-
84.3	19/10/2009	31/10/2009	13	35,3	24,6	**B6**, B5	-
85.2	18/04/2010	24/04/2010	7	35,4	23,9	**B6**, B5	-
86.1	29/07/2010	02/08/2010	5	36,0	20,5	**B6**, C6, B5	-
87.3	24/08/2010	04/09/2010	12	37,7	23,1	**B6**, B5	**C9** (1)
88.3	09/09/2010	02/10/2010	24	38,9	24,3	**B6**, B5, C6, C5, B4	**C9** (6)
89.2	06/10/2010	08/10/2010	3	36,2	23,3	**B6**, B5	-
90.1	13/10/2010	17/10/2010	5	35,4	23,1	**B6**, B5	-
91.2	21/10/2010	23/10/2010	3	36,0	24,4	**B6**, B5	-
92.1	03/11/2010	05/11/2010	3	35,4	23,3	**B6**, B5	-
93.3	07/08/2011	19/08/2011	13	37,6	22,2	**B6**, B5, C6	-
94.2	26/08/2011	31/08/2011	6	37,2	22,4	**B6**, B5, C6	-
95.2	04/09/2011	09/09/2011	6	36,8	22,3	**B6**, B5, C6	-
96.1	15/09/2011	17/09/2011	3	35,2	22,3	**B6**, B5	-
97.1	25/09/2011	26/09/2011	2	35,0	21,0	**B6**, B5	-
98.1	15/10/2011	16/10/2011	2	35,0	22,1	**B6**, B5	-
99.1	03/11/2011	05/11/2011	3	35,0	22,7	**B6**, B5	-
100.1	07/11/2011	10/11/2011	4	35,3	23,5	**B6**, B5	-
101.1	27/07/2012	30/07/2012	4	35,2	21,1	**B6**, B5	-
102.3	31/08/2012	21/09/2012	22	36,9	23,1	**B6**, B5, C6	**C9** (4)
103.2	29/09/2012	05/10/2012	7	35,8	23,3	**B6**, B5, C6	-
104.1	22/10/2012	31/10/2012	10	35,9	24,5	**B6**, B5	**B8** (1)
105.1	10/11/2012	12/11/2012	3	35,6	24,1	**B6**, B5	-
106.1	28/01/2013	30/01/2013	3	35,7	24,5	**B6**, B5	**B8** (1)
107.2	03/08/2013	06/08/2013	4	35,6	21,7	**B6**, B5	-
108.3	31/08/2013	17/09/2013	18	37,0	23,1	**B6**, B5, C6, B4	**C9** (1)
109.2	21/09/2013	23/09/2013	3	36,6	23,3	**B6**, C6	-
110.3	27/09/2013	01/10/2013	5	36,3	23,3	**B6**, C6	-

111.1	03/10/2013	05/10/2013	3	35,8	22,2	**B6**, B5	-
112.1	17/10/2013	19/10/2013	2	35,0	23,2	**B6**, B5	-
113.1	26/10/2013	28/10/2013	3	35,0	23,1	**B6**, B5	-
114.2	04/11/2013	08/11/2013	5	35,2	22,4	**B6**, B5	-
115.1	01/08/2014	04/08/2014	4	35,0	20,5	**B6**, C6, B5	-
116.1	12/08/2014	13/08/2014	2	35,2	22,3	**B6**, B5	**B8** (1)
117.2	23/08/2014	26/08/2014	4	35,9	22,3	**B6**, B5	-
118.3	30/08/2014	20/09/2014	22	37,0	23,3	**B6**, B5	**B8** (1) **C9** (1)
119.1	22/09/2014	25/09/2014	4	35,1	24,1	**B6**, B5	**B8** (1)
120.3	13/10/2014	20/10/2014	8	35,9	23,6	**B6**, B5	-
121.2	07/11/2014	10/11/2014	4	35,8	24,5	**B6**, B5	**B8** (1)
122.3	26/07/2015	10/10/2015	**77**	38,3	24,8	**B6**, B5, C6, C5	**B9** (3) **B8** (4) **C9** (6)
123.3	14/10/2015	28/10/2015	14	38,1	24,7	**B6**, B5, C6	**C9** (5)
124.2	13/11/2015	19/11/2015	7	36,2	24,7	**B6**, B5	**B8** (2)
125.2	23/11/2015	27/11/2015	5	37,0	24,9	**B6**, B5	**B9** (1)
126.2	02/12/2015	04/12/2015	3	36,1	24,8	**B6**, B5	**B8** (1)
127.2	10/12/2015	13/12/2015	4	35,7	24,2	**B6**, B5	-
128.2	22/01/2016	24/01/2016	3	36,3	24,3	**B6**, B5	**B9** (2)
129.1	04/05/2016	06/05/2016	3	35,2	23,3	**B6**, B5	**B8** (1)
130.1	05/07/2016	06/07/2016	2	35,1	20,9	**B6**, B5	-
131.3	11/07/2016	16/07/2016	6	36,5	22,2	**B6**, B5	**C9** (1)
132.3	01/08/2016	09/08/2016	9	38,3	23,1	**B6**, C6	**C9** (1)
133.3	12/08/2016	21/08/2016	10	38,0	22,9	**B6**, B5, C6	**C9** (2)
134.1	27/08/2016	29/08/2016	3	36,1	23,6	**B6**, C6, B5	-
135.1	01/09/2016	02/09/2016	2	36,2	20,9	**B6**, C6	-
136.3	10/09/2016	06/10/2016	24	38,7	24,1	**B6**, B4, B5	**C9** (6)
137.3	12/10/2016	21/10/2016	10	37,1	23,9	**B6**, B5	**C9** (3)
138.2	06/11/2016	08/11/2016	3	35,7	24,7	**B6**, B5	**B8** (2)
139.1	20/11/2016	22/11/2016	3	35,6	23,7	**B6**, B5	**C9** (1)

140.2	24/11/2016	30/11/2016	7	35,3	23,9	**B6**, B5	**B8** (2) **C9** (1)

Tabela A.18 - Casos de extremos de frio selecionados para Rio Branco. Os extremos de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) são referentes ao menor valor absoluto encontrado no período catalogado. Os intervalos em negrito são os mais extremos de cada tipificação. *Os valores em parênteses são referente a quantidade de dias no período em que há extremos de desconforto térmico.

EXTREMOS DE FRIO RIO BRANCO							
Caso	**Data Início**	**Data Fim**	**Duração**	**Extremo Tmax (°C)**	**Extremo Tmin (°C)**	**Categorias Regime Térmico**	**Categorias Conforto Térmico***
1	09/11/1999	11/11/1999	3	25,6	14,0	**D2**, D4, C4	**F2** (1)
2	11/08/2000	13/08/2000	3	19,0	13,3	**D2**, D4, C4	**F2** (1)
3	18/06/2001	23/06/2001	6	16,2	10,8	**D2**, D3, D4	**F1** (1) **F3** (1) **F4** (1)
4	12/06/2004	14/06/2004	3	19,8	12,8	**D2**, D4, C4	**F3** (1)
5	22/05/2006	24/05/2006	3	19,4	14,8	**D2**, D4, C3	-
6	31/05/2008	05/06/2008	6	17,1	12,9	**D2**, D3, C4	**F2** (1) **F3** (1) **F4** (1)
7	24/07/2009	27/07/2009	4	17,6	10,9	**D2**, D4	**F2** (1)
8	14/07/2010	20/07/2010	**7**	**14,7**	9,9	**D1**, D2, D3, C4, E4, E5	**F1**(1) **F2** (1) **F3** (1) **F4** (1)
9	23/07/2013	26/07/2013	4	15,4	**9,1**	**E2**, E4, D4	**F1** (1)

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Programas de Computador (PDC)

São as sequências de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.