

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

ATUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES BIOCLIMÁTICAS
PARA BRASÍLIA

LEONARDO MENDONÇA DE LIMA

ORIENTADOR: CARLOS HENRIQUE RIBEIRO LIMA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA
AMBIENTAL

BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO/2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

ATUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES BIOCLIMÁTICAS
PARA BRASÍLIA

LEONARDO MENDONÇA DE LIMA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

CARLOS HENRIQUE RIBEIRO LIMA, PhD (ENC/UnB)
(ORIENTADOR)

ALEXANDRE KEPLER SOARES, DSc (ENC/UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

MARCUS SUASSUNA SANTOS, MSc
(EXAMINADOR EXTERNO)

BRASÍLIA/DF, 5 DE DEZEMBRO DE 2019.

FICHA CATALOGRÁFICA

LIMA, LEONARDO MENDONÇA DE

Atualização de informações bioclimáticas para Brasília.

xii, 65 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2019)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Clima

2. Bioclimatologia

3. Brasília

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LIMA, L.M. (2019). *Atualização de informações bioclimáticas para Brasília*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 65 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Leonardo Mendonça de Lima

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Atualização de informações bioclimáticas para Brasília.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2019

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Leonardo Mendonça de Lima

leomlima@outlook.com

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus. Depois aos meus pais Odair e Helena, que nunca pouparam nenhum esforço para a minha educação até aqui. Junto a meus pais coloco meu irmão Eduardo, todos responsáveis por me dar força, lições e felicidades diariamente. Por todo apoio e conselhos nessa caminhada agradeço às minhas tias Elvea, e Eloisa, e à uma das minhas maiores inspirações, minha avó Agripina. Agradeço aos meus avós Fabiano (*in memorian*) e Antônia pelo exemplo transmitido ao longo de suas vidas, principalmente de garra e determinação.

Também agradeço à UnB, e quando me refiro à universidade, estou falando das pessoas que constroem essa linda instituição. Agradeço a todos amigos e colegas que em algum momento cruzaram minha vida acadêmica, todos aqueles com os quais compartilhei essa jornada, seja almoçando junto, estudando, fazendo trabalhos, conversando no CA ou contando uma piada pelos corredores. Nesse momento recordo de diversas pessoas que não lembro os nomes, mas em algum momento, mesmo que pequeno, fizeram parte desse ciclo da minha vida. Agradeço aos amigos da Geologia, com os quais dei meus primeiros passos na vida universitária, aos colegas da Engenharia Ambiental, com quem compartilhei a maior parte da minha vida acadêmica, e também àqueles amigos que conheci em outras etapas de minha vida e tive a oportunidade de reencontrar na UnB.

RESUMO

O clima sempre interferiu na vida do homem na Terra e a compreensão de como se comportam os elementos climáticos é de suma importância para o desenvolvimento científico, tecnológico e econômico de qualquer nação. Informações atualizadas e precisas sobre o clima proporcionam, dentre outras coisas, estratégias construtivas mais eficazes e inteligentes. Assumindo-se que o clima é algo mutável, e à uma velocidade crescente por conta de fatores antrópicos, a caracterização climática de um local deve ser observada e revisada de tempos em tempos. Esse trabalho vem para resumir informações climáticas e atualizar a carta bioclimática de Brasília, utilizando-se do período compreendido entre 2000 e 2018. Ao final do estudo é possível constatar, dentre outras coisas, que a temperatura de Brasília vem aumentando nas últimas décadas, acompanhada de uma diminuição da umidade relativa do ar.

Palavras-chave: Clima; Bioclimatologia; Brasília.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1 CLIMA	4
3.1.1 Clima de Brasília	5
3.1.2 Ilhas de Calor nas Cidades	7
3.1.2.1 Soluções Mitigadoras às Ilhas de Calor	9
3.2 DEFINIÇÃO DE GRANDEZAS A SEREM EXPLORADAS NA METODOLOGIA	10
3.2.1 Temperatura de Bulbo Seco e Temperatura de Bulbo Úmido	10
3.2.2 Temperatura de Ponto de Orvalho	10
3.2.3 Umidade Específica	11
3.2.4 Umidade Relativa	11
3.2.5 Graus-dia e Graus-hora	12
3.3 BIOCLIMATOLOGIA	13
3.3.1 Carta Bioclimática	13
3.3.1.1 Carta Bioclimática de Olgyay	13
3.3.1.2 Carta Bioclimática de Givoni	14
3.3.2 Maneiras de Escolher os Dados de Entrada	15
3.3.2.1 Ano Climático de Referência	16
3.3.3 Zoneamento Bioclimático Brasileiro	17
3.3.3.1 Bioclima de Brasília (1961-1970)	19
3.3.3.2 Bioclima de Brasília (1982-1997)	21
4 METODOLOGIA	24
4.1 DADOS DE ENTRADA	24
4.1.1 Obtendo Umidade Específica, Umidade Relativa e Temperatura de Bulbo Úmido por meio da Temperatura do Ponto de Orvalho	26
4.1.2 Preenchimento de falhas	26
4.2 ESTATÍSTICA	28
4.3 GERANDO A CARTA BIOCLIMÁTICA	29
4.3.1 Determinação do ACR e resultados das análises bioclimáticas	30
4.4 CALCULAR GRAUS-DIA E GRAUS-HORA	30

5 RESULTADOS	31
5.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS TRABALHADOS	31
5.2 PREENCHIMENTO DE FALHAS.....	31
5.3 ESTATÍSTICA.....	37
5.4 DETERMINAÇÃO DO ACR.....	57
5.4.1 Análises bioclimáticas	58
5.5 GRAUS-DIA E GRAUS-HORA	60
6 CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Chave classificatória de Köppen simplificada por Setzer (Fonte: Cardoso et al., 2014)	6
Figura 3.2 - Clima do Distrito Federal e de Goiás segundo critérios de Köppen simplificados por Setzer (Fonte: Cardoso et al., 2014)	7
Figura 3.3 - Representação da carta bioclimática de Olgyay (1963) (Fonte: Lamberts et al., 2014)	14
Figura 3.4 - Representação da carta bioclimática de Givoni (1992) adotada para o Brasil (Fonte: Lamberts et al., 2014)	15
Figura 3.5 - Representação ACR X Normais (Fonte: Lamberts et al., 2014)	16
Figura 3.6 - Carta Bioclimática de Florianópolis (Fonte: Lamberts et al., 2014)	17
Figura 3.7 - Zoneamento bioclimático brasileiro (Fonte: ABNT, 2005)	18
Figura 3.8 - Carta bioclimática de Brasília 1961 – 1970 (Fonte: Goulart et al., 1998)	20
Figura 3.9 - Carta bioclimática de Brasília 1982 - 1997 (Fonte: Maciel, 2002)	22
Figura 4.1 - Localização das estações do INPE (aeroporto) e do INMET	25
Figura 5.1 - Temperaturas de bulbo seco INPE x INMET	36
Figura 5.2 - Temperaturas de bulbo úmido INPE x INMET	37
Figura 5.3 - Registro das máximas temperaturas de bulbo seco mensais (2000-2018)	39
Figura 5.4 - Registro das máximas temperaturas de bulbo seco mensais em outros períodos (Fonte: Maciel, 2002)	39
Figura 5.5 - Amplitudes térmicas média mensal (2000-2018)	41
Figura 5.6 - Amplitude térmica média mensal em outros períodos (Fonte: Maciel, 2002).....	41
Figura 5.7 - Umidade relativa média mensal (2000-2018)	44
Figura 5.8 - Umidade relativa média mensal em outros períodos (Fonte: Maciel, 2002).....	44
Figura 5.9 - Umidade Relativa X Amplitude Térmica (2000-2018)	45
Figura 5.10 – Velocidade dos ventos (2000-2018)	47
Figura 5.11 - Direção dos ventos em 2000	47
Figura 5.12 - Direção dos ventos em 2001	48
Figura 5.13 - Direção dos ventos em 2002	48
Figura 5.14 - Direção dos ventos em 2003	49
Figura 5.15 - Direção dos ventos em 2004	49
Figura 5.16 - Direção dos ventos em 2005	50

Figura 5.17 - Direção dos ventos em 2006	50
Figura 5.18 - Direção dos ventos em 2007	51
Figura 5.19 - Direção dos ventos em 2008	51
Figura 5.20 - Direção dos ventos em 2009	52
Figura 5.21 - Direção dos ventos em 2010	52
Figura 5.22 - Direção dos ventos em 2011	53
Figura 5.23 - Direção dos ventos em 2012	53
Figura 5.24 - Direção dos ventos em 2013	54
Figura 5.25 - Direção dos ventos em 2014	54
Figura 5.26 - Direção dos ventos em 2015	55
Figura 5.27 - Direção dos ventos em 2016	55
Figura 5.28 - Direção dos ventos em 2017	56
Figura 5.29 - Direção dos ventos em 2018	56
Figura 5.30 - Carta bioclimática obtida para o ACR	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Zonas bioclimáticas para Brasília 1961 – 1970 (Fonte: adaptada de Goulart et al., 1998)	20
Tabela 3.2 - Comparação das zonas bioclimáticas para Brasília entre 1961 – 1970 e 1982 – 1997 (Fonte: adaptada de Maciel, 2002)	22
Tabela 4.1 - Temperatura de bulbo seco (°C) (Fonte: adaptada de Goulart et al., 1998)	29
Tabela 5.1 - Número de horas com informações faltantes	31
Tabela 5.2 - Número de horas com informações faltantes após execução da primeira etapa do preenchimento de falhas	32
Tabela 5.3 - Fator T_{im} para temperatura de bulbo seco (°C)	32
Tabela 5.4 - Fator t_{ij} para temperatura de bulbo seco (°C)	33
Tabela 5.5 - Fator F_{ij} para temperatura de bulbo seco	33
Tabela 5.6 - Fator T_{im} para temperatura de bulbo úmido (°C)	34
Tabela 5.7 - Fator t_{ij} para temperatura de bulbo úmido (°C)	34
Tabela 5.8 - Fator F_{ij} para temperatura de bulbo úmido	35
Tabela 5.9 - Temperatura de bulbo seco (2000-2018) (°C)	38
Tabela 5.10 - Amplitude diária de temperatura (2000-2018) (°C)	40
Tabela 5.11 - Horário de ocorrência das temperaturas máximas e mínimas diárias (2000-2018) (horas)	42
Tabela 5.12 - Temperatura de bulbo úmido (2000-2018) (°C)	43
Tabela 5.13 - Umidade relativa média mensal (2000-2018) (%)	43
Tabela 5.14 - Velocidade dos ventos (m/s)	46
Tabela 5.15 - Ranqueamentos dos meses mais quentes e frios e marcação dos meses extremos	57
Tabela 5.16 - Anotação dos anos que iam sendo eliminados	58
Tabela 5.17 - Segunda rodada com anotação dos anos que iam sendo eliminados	58
Tabela 5.18 – Estratégias de conforto para cada zona	59
Tabela 5.19 - Zonas de conforto ao longo dos anos	59
Tabela 5.20 - Continuação das zonas de conforto ao longo dos anos	59
Tabela 5.21 - Evolução das zonas de conforto utilizando-se o ACR	60
Tabela 5.22 - Graus-dia mensais	61
Tabela 5.23 - Graus-hora mensais	62

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1	11
Equação 3.2	11
Equação 4.1	26
Equação 4.2	26

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACR - Ano Climático de Referência

Aw - Clima tropical segundo classificação de Köppen ou clima tropical com estação seca no inverno segundo classificação de Köppen com adaptações de Setzer

Codeplan - Companhia de Planejamento do Distrito Federal

CO₂ - Dióxido de Carbono

CPTEC - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

Cwa - Clima tropical de altitude segundo classificação de Köppen

Cwb - Clima tropical de altitude segundo classificação de Köppen

DF - Distrito Federal

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisa

LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

m_a - Massa de ar seco

m_v - Massa de vapor d'água

p - Pressão de ar seco mais a pressão de vapor

PROTIM - Portal de Tecnologia da Informação para Meteorologia

P_{tot} - Pressão atmosférica do local

p_v - Pressão de vapor

P_w - Pressão de vapor de saturação da temperatura de ponto de orvalho

RIDE - Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno

TBS - Temperatura de bulbo seco

TMY - Typical Meteorological Year

TRY - Test Reference Year

φ - Umidade relativa

ω - Razão de mistura ou umidade específica ou razão de umidade

1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica, associada ao barateamento da energia elétrica, fez com que projetistas usassem cada vez mais sistemas artificiais de iluminação e refrigeração/aquecimento de ambientes, o que levou também ao surgimento de um estilo internacional na arquitetura, onde diversas construções eram realizadas de modo indiferente ao clima local. Tal situação de edificações indiferentes ao clima passa a mudar especialmente com a crise energética da década de 70, quando houve um fortalecimento da necessidade de pensar as construções de maneira mais sustentável, sem esquecer do conforto higrotérmico dos usuários (Goulart et al., 1998; Maciel, 2002).

Foi conjuntamente ao estudo do conforto higrotérmico em edificações que o termo bioclimatologia começou a se consolidar. A bioclimatologia é responsável por prover, dentre outras coisas, as melhores estratégias construtivas a diferentes cidades ou regiões a fim de que se obtenha um bom conforto higrotérmico gastando o mínimo possível com energia. Especialmente a partir do final do século XX, diversos autores, como Olgyay (1963) e Givoni (1992) desenvolveram diferentes técnicas de se avaliar o conforto higrotérmico, o que muitas vezes acabava por resultar na criação de diferentes cartas bioclimáticas.

A interferência do homem na natureza vem causando alterações significativas ao meio ambiente. O clima, como parte constituinte do sistema Terra, não está imune à ação antrópica e estudos recentes mostram como o homem pode estar alterando a temperatura, precipitação, ventos, umidade e outros elementos climáticos. Algumas conclusões e previsões podem perder sua utilidade mais rapidamente, especialmente quando se trata de ambientes urbanos, nos quais muitas vezes se nota um fenômeno conhecido como ilha de calor.

É importante realizar estudos comparativos entre dados climáticos do passado e do presente. Esforços nessa área possibilitam entender melhor como o clima se altera com o passar do tempo, o quão relevante pode ser considerada a interferência humana nesse processo e também fazer previsões a médio e longo prazo sobre quais cenários estão por vir.

É notável a escassez de análises e resumos de dados climáticos capazes de proporcionar e facilitar o uso de estratégias de conforto higrotérmico para a construção civil. Goulart et al. (1998) e Maciel (2002) foram responsáveis por desenvolver trabalhos acerca desse assunto e que fossem voltados para Brasília. Goulart et al. (1998) trabalhou com dados de 1961 a 1970, enquanto que a série utilizada por Maciel (2002) foi de 1982 a 1997. O presente

trabalho vem na tentativa de preencher tal lacuna no caso específico da cidade de Brasília, a fim de gerar informações úteis para os projetistas e tomadores de decisão da região.

O presente estudo foi todo estruturado a partir da definição dos objetivos. Posteriormente tem-se o referencial teórico, onde realizou-se uma pesquisa bibliográfica a fim de esclarecer ideias, assuntos e definições necessárias ao bom entendimento do trabalho. Após, tem-se a metodologia, com a descrição dos caminhos e métodos escolhidos para a execução do trabalho. Por fim apresenta-se os resultados finais obtidos e as conclusões tomadas a partir desses resultados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Prover informações bioclimáticas de mais fácil visualização sobre Brasília por meio de variáveis climáticas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Resumir estatisticamente informações bioclimáticas de Brasília;
- Atualizar a carta bioclimática de Brasília; e
- Calcular graus-dia e graus-hora para Brasília.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo tem por objetivo elucidar assuntos úteis à compreensão e desenvolvimento do presente projeto final. Para tal, realizou-se uma pesquisa bibliográfica acerca de publicações na área. Os pontos a serem esclarecidos estão inicialmente relacionados ao clima, desde sua definição, passando por classificações, até às ilhas de calor, que é um fenômeno considerado mais recente. Posteriormente são expostas definições a respeito de termos que mais tarde serão utilizados recorrentemente no desenvolvimento do trabalho. Por fim, adentra-se na bioclimatologia, explicando o surgimento de tal conceito, como se deu a criação de algumas cartas bioclimáticas e trazendo informações sobre dados bioclimáticos de Brasília.

3.1 CLIMA

A palavra “clima” possui origem no termo grego “klíma” (inclinação), que etimologicamente faz referência à inclinação da Terra, responsável por uma série de acontecimentos, como as estações do ano, capazes de influenciar diretamente diversos fatores climáticos (Silva, 1994).

Uma maneira clássica e tradicional de se definir o clima foi proposta em 1882 por Hann, que pertenceu à escola alemã de climatologia. Tal proposição define o clima como “o estado médio da atmosfera em um determinado lugar” (HANN, 1882, apud SETTE e RIBEIRO, 2011, p. 2).

Sorre (1951, apud SETTE e RIBEIRO, 2011) discorda do valor (relevância) atribuído às temperaturas médias. Para ele, o clima poderia ser entendido como uma sucessão dos estados da atmosfera, onde cada estado da atmosfera, analisado de forma individual e isolada, poderia ser chamado de tempo. Essa nova definição foi muito importante por agregar uma ideia de que o clima é mutável, possuindo certo dinamismo, sem abandonar a noção de que o clima possui um caráter sintetizador, capaz de resumir informações distintas. Além disso há uma visão de que o clima seria a combinação de propriedades, atualmente conhecidas como elementos do clima, que serão melhor explicados mais à frente.

Monteiro (1971), em uma abordagem sobre clima semelhante à de Sorre (1951), utiliza-se de uma metodologia conhecida como análise rítmica para tentar entender e descrever melhor o clima. Para o autor, o conceito de ritmo, nesse contexto, está ligado à sucessão de estados atmosféricos. Um exemplo de como o ritmo se expressa no clima seria o modo como pode-se perceber variações anuais (dos elementos climáticos) por meio de variações mensais. Esse entendimento do clima por meio do ritmo climático exige uma subdivisão do tempo em

fatias, pelo menos em uma escala diária para que se entenda variações regidas por mecanismos de circulação regional.

Admitimos, pois, como válida a conclusão de que o ritmo climático só poderá ser compreendido através da representação concomitante dos elementos fundamentais do clima em unidades de tempo cronológico pelo menos diárias, compatíveis com a representação da circulação atmosférica regional, geradora dos estados atmosféricos que se sucedem e constituem o fundamento do ritmo. (MONTEIRO, 1971, p. 9, grifo do autor).

Diante de tamanha variedade de definições e entendimentos do clima que surgiram e ainda surgem (geralmente por conta da área de conhecimento e o objetivo de cada estudo), é que nasce a ideia de climatologia aplicada, capaz de atingir diversos setores da humanidade (Bogo et al., 1994).

O entendimento do clima requer o discernimento e a diferenciação de conceitos importantes: fatores climáticos e elementos climáticos. O clima é dividido em componentes, os elementos climáticos, também chamados de elementos meteorológicos, que podem ser medidos e as variações dos mesmos irão definir o clima. Exemplos de elementos climáticos são a precipitação, a umidade do ar, ventos, a temperatura do ar, etc. Os fatores climáticos, por sua vez, podem ser vistos como parâmetros que podem alterar os elementos climáticos. Exemplos de fatores climáticos são a inclinação do eixo terrestre, correntes oceânicas, radiação solar, circulação geral da atmosfera, etc (Bogo et al., 1994; Silva, 1994).

3.1.1 Clima de Brasília

Como já visto, o clima pode ser definido de várias maneiras, e assim diferentes autores também acabam por classificar os diferentes climas de maneiras distintas, segundo critérios próprios que lhes parecem mais apropriados.

Uma classificação bastante difundida e utilizada ao redor do mundo é a de Köppen, formulada inicialmente em 1918 pelo russo Wladimir Köppen, mas que foi sendo modificada pelo mesmo ao longo de sua vida. Tal classificação se baseia justamente na definição de Hann (1882) sobre o clima (Monteiro, 1991).

O modelo de Köppen se baseia no desenvolvimento/crescimento das plantas em um dado local, aceitando-se que a temperatura e a chuva são os dois principais fatores que determinam o crescimento vegetal. Partindo-se disso, Köppen avalia quantitativamente tanto a temperatura quanto a chuva para chegar a uma classificação final. Pesquisadores já fizeram alterações sobre o modelo originalmente proposto por Köppen com o intuito de realizar melhoras, como fez Thornthwaite. Na classificação de Köppen, letras maiúsculas e

minúsculas são utilizadas como símbolos para se representar os diferentes climas e suas respectivas características (Silva, 1994).

Tomando-se como base o que foi proposto por Köppen, chega-se à determinação de que “o clima do Distrito Federal é tropical, concentrando-se no verão as precipitações. O período mais chuvoso corresponde aos meses de novembro a janeiro, e o período seco ocorre no inverno, especialmente nos meses de junho a agosto.” (CODEPLAN, 2006, p.11). Dentro dessa classificação, a Companhia de Planejamento do Distrito Federal (Codeplan) (2006) ainda traz que o Distrito Federal apresenta os tipos climáticos conhecidos como Tropical (Aw), Tropical de Altitude (Cwa) e Tropical de Altitude (Cwb), com algumas características em comum, mas outras capazes de diferenciá-los.

Mais recentemente Cardoso et al. (2014) classificaram o clima de Goiás e do Distrito Federal utilizando-se o que foi proposto por Köppen, mas com as adaptações realizadas por Setzer em 1966, que criou uma chave classificatória capaz de sintetizar as informações necessárias à classificação em um único quadro. O trabalho de Cardoso et al. (2014) conclui que o clima do Distrito Federal é o Clima Tropical com Estação Seca no Inverno, representado pelo símbolo “Aw”.

A figura 3.1 traz a chave classificatória, enquanto a figura 3.2 mostra o resultado final obtido por Cardoso et al. (2014).

Temperatura média Normal		Total de chuva do mês mais seco (Pms)	Total de chuva anual (P)	Descrição do Tipo de Clima segundo Köppen (Climas Úmidos)		Símbolo
do mês mais frio	do mês mais quente					
≥ 18°C	≥ 22°C	≥ 60mm		TROPICAL	sem estação seca	Af
		< 60mm	< 2500 - 27,27. Pms		TROPICAL com chuvas excessivas	Inverno Seco
< 18°C	< 22°C		< 30mm	SUBTROPICAL		
		Temperado			Cwb	
	≥ 22°C	≥ 30mm	Quente		sem estação seca	Cfa
	< 22°C		Temperado		Cfb	

Figura 3.1 - Chave classificatória de Köppen simplificada por Setzer (Fonte: Cardoso et al., 2014).

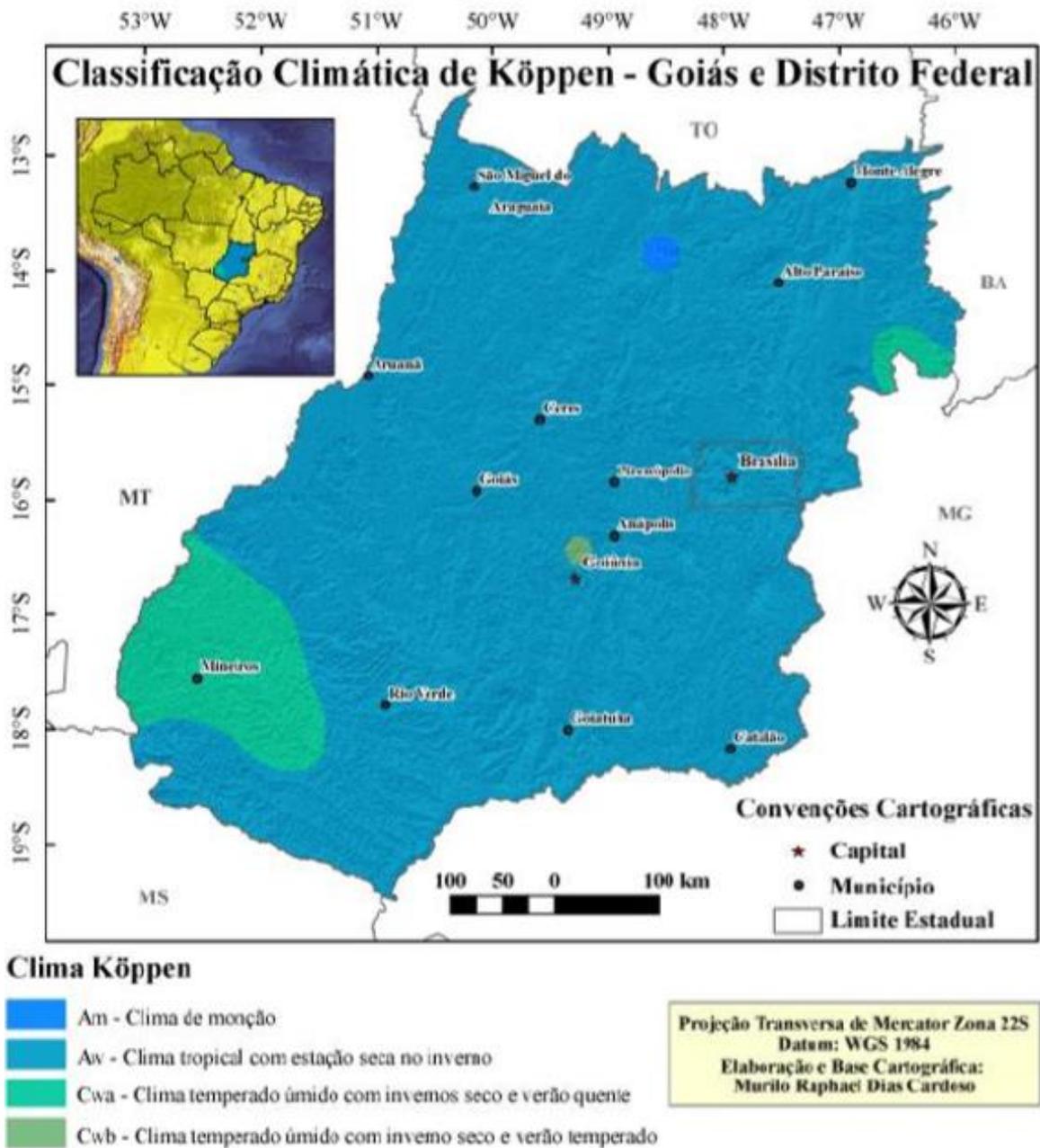


Figura 3.2 - Clima do Distrito Federal e de Goiás segundo critérios de Köppen simplificados por Setzer (Fonte: Cardoso et al., 2014).

3.1.2 Ilhas de Calor nas Cidades

As ilhas de calor podem ser vistas como uma espécie de “oásis inverso”, onde as temperaturas do ar e da superfície de uma região urbana e suburbana são mais elevadas do que aquelas encontradas em áreas não urbanas ou rurais que circundam o local urbanizado. Possíveis alterações relacionadas ao aquecimento da superfície em centros urbanos não eram muito bem compreendidas até o século XX, momento a partir do qual o desenvolvimento de satélites e aeronaves permitiu uma visão aérea capaz de identificar pontos quentes (áreas urbanas) inseridos dentro de regiões mais frias. Essa melhor aparelhagem permitiu mostrar

que dias mais claros e calmos intensificam o efeito das ilhas de calor, ao passo que dias mais nublados e com mais ventos acabam por abrandar essa diferença de temperatura entre área urbana e rural. Em um estudo realizado em Bucareste, capital da Romênia, a diferença térmica causada pelo fenômeno da ilha de calor variou entre 1°C e 3,6°C, sendo que a diferença de 1°C foi registrada em um dia nublado e com ventos e a diferença de 3,6°C foi registrada em um dia claro e calmo (Gartland, 2008).

A seguir há algumas explicações que Gartland (2008) expôs sobre os motivos que levariam as regiões urbanizadas a possuírem uma temperatura mais alta. As construções humanas contribuem de três maneiras: porque normalmente são utilizados materiais mais escuros, com um albedo menor e que portanto absorvem mais energia ao invés de refleti-la; a verticalidade das construções acabam por formar “cânions” que ficam refletindo o calor; e o meio urbano leva a um rápido escoamento das águas, fazendo com que haja uma diminuição nos níveis de evapotranspiração, o que acaba por diminuir a quantidade de calor retirado.

A poluição atmosférica altera o clima urbano de dois modos distintos. Primeiro porque reflete uma parte da radiação solar que chegaria à cidade, especialmente quando se trata de aerossóis. Segundo porque essas mesmas partículas também tendem a absorver mais radiação, e desse modo mais radiação infravermelha é emitida pela atmosfera. Esses dois fenômenos atuam de forma contrária, cada um puxando a balança para um lado. Como conclusão geral, pode-se dizer que durante a parte do dia, essa balança pode ser puxada com mais força para qualquer um dos lados, mas na parte da noite, quando não há mais radiação solar a ser refletida, é fato que a poluição atmosférica aumenta a temperatura local (Gartland, 2008).

Em relação aos ventos, como já foi colocado, sabe-se que ventos mais fracos contribuem para ilhas de calor mais fortes. Gartland (2008), porém, afirma algumas brisas podem ser induzidas pelas cidades (citando-se o exemplo de duas cidades costeiras, Houston e Tóquio), fazendo com que o ar fresco seja puxado para o nível da superfície, enquanto o ar quente é expulso mais facilmente para cima. Ainda de acordo com a autora, esses dois efeitos também atuam de maneira oposta, um contribuindo para o aquecimento da cidade e outro para o resfriamento, portanto sugere-se que estudos específicos sejam feitos para cada cidade.

Um outro fator que explica o aumento de temperatura nos centros urbanos é o calor antropogênico, ou seja, aquele emitido pelo ser humano. Esse calor antropogênico se manifesta de diversas formas, podendo-se citar os carros e as indústrias, dentre outros.

Atualmente esse motivador vem sendo fortalecido pelo aumento crescente no uso do ar-condicionado (especialmente no verão) e de energia elétrica como um todo, porém no geral, ainda é no inverno que o calor antropogênico faz maior diferença e é mais notado (Gartland, 2008). Além de todos esses motivadores que acabaram de ser mostrados nesse parágrafo e nos anteriores, Gartland (2008) traz ainda outros elementos e os explica mais detalhadamente.

3.1.2.1 Soluções Mitigadoras às Ilhas de Calor

Coberturas de construções em que se utilizam materiais tradicionais tendem a esquentar bastante, resultando em uma deterioração mais rápida da cobertura, um maior gasto energético com resfriamento na construção e um pior conforto higrotérmico sentido pelas pessoas. Duas características importantes para a escolha de coberturas “frescas” estão relacionadas aos materiais dessas coberturas, que devem apresentar uma alta reflectância solar e uma alta emissão térmica (Gartland, 2008).

Superfícies pavimentadas compõem grande parte das áreas urbanas e suburbanas atualmente e estas acabam por se aquecer muito durante o dia, vindo a liberar essa energia após o sol se pôr. Como regra geral, observa-se que os pavimentos mais quentes são aqueles impermeáveis e que possuem um baixo albedo, e por consequência são justamente essas duas características que devem ser alteradas para que se obtenha pavimentos mais “frescos”. Uma maneira de resfriar superfícies pavimentadas é aumentando o albedo, seja por meio da adição de constituintes mais claros, ou simplesmente pelo revestimento da superfície do pavimento com uma camada mais clara. Quanto a impermeabilidade dos pavimentos, sugere-se que sejam aumentadas as propriedades de armazenamento e evaporação de água, o que geralmente é resolvido com o aumento da porosidade do material ou materiais que compõem o pavimento. Nota-se também que os valores de emissão térmica por parte dos pavimentos não costuma ser uma característica relevante para a temperatura dos mesmos (Gartland, 2008).

Árvores e vegetação em geral contribuem de dois modos mais marcantes para diminuir a temperatura e aumentar o conforto higrotérmico. Uma das formas de ação é por meio das sombras oferecidas pelas árvores, o que diminui a quantidade de calor que chega à superfície. O outro motivo está atrelado a evapotranspiração, que faz com que a energia térmica que viria a ser transferida para a cidade passe a ser utilizada pelas plantas para evaporar água. Uma maneira pela qual a vegetação pode, cada vez mais, adentrar nas paisagens urbanas é por

meio dos telhados verdes, que costumam ser jardins plantados no topo de casas ou edifícios. A vegetação, além de contribuir na mitigação das ilhas de calor, também é importante sobre outras óticas, uma vez que ela é útil na captura de dióxido de carbono (CO₂), remoção de alguns poluentes do ar, amenização de enchentes causadas por tempestades, equilíbrio de ecossistemas, etc. Ainda indo além de problemas relacionados ao aumento de temperatura em regiões urbanizadas, destaca-se que as árvores, quando plantadas em locais estratégicos, também ajudam diretamente na proteção de edificações contra a ação vento, o que é especialmente útil em locais mais frios e no inverno, pois nesse caso haverá menores perdas de energia térmica das casas ou prédios em questão, seja pelas paredes ou pelo telhado (Gartland, 2008).

3.2 DEFINIÇÃO DE GRANDEZAS A SEREM EXPLORADAS NA METODOLOGIA

3.2.1 Temperatura de Bulbo Seco e Temperatura de Bulbo Úmido

“A temperatura de bulbo úmido é lida de um termômetro de bulbo úmido, que é um termômetro de líquido em vidro usual, cujo bulbo é envolvido por uma mecha umedecida com água” (MORAN et al., 2013, p. 588). A temperatura de bulbo seco é aquela medida por termômetros tradicionais, cujos bulbos não se encontram recobertos por nenhuma mecha umedecida.

A mecha umedecida, presente no termômetro de bulbo úmido, proporcionará uma evaporação de água. A transformação dessa água do estado líquido para o estado gasoso necessitará de energia térmica, fazendo com que haja uma queda da temperatura local e, desse modo, a temperatura registrada pelo termômetro de bulbo úmido será necessariamente menor que a do termômetro de bulbo seco (ou podem ser iguais em uma única condição específica a ser detalhada no item 3.2.4.) (Moran et al., 2013).

3.2.2 Temperatura de Ponto de Orvalho

O vapor d'água, presente em uma parcela de ar úmido, pode ser parcialmente condensado quando há uma diminuição da temperatura ambiente, fenômeno esse que pode ser observado mais comumente em vidros de janelas e na grama. Deve-se imaginar um sistema fechado contendo ar úmido a uma determinada temperatura mais elevada. Essa temperatura será reduzida (mantendo-se a pressão interna do sistema inalterada) até o momento em que parte do vapor d'água começará a ser condensada, uma vez que, para essa determinada temperatura reduzida, a pressão de vapor de saturação terá sido atingida. Durante esse

resfriamento, o valor de temperatura no qual se atingir essa pressão de vapor de saturação será chamado de ponto de orvalho (Moran et al., 2013).

Em um sistema fechado, à medida que a temperatura for sendo reduzida a valores inferiores à do ponto de orvalho, mais vapor d'água será condensado. O vapor que restar na fase gasosa, estará necessariamente saturado. Ressalta-se que, após a condensação, a pressão parcial do vapor d'água que restar no sistema será menor do que aquela pressão parcial que havia antes da condensação e isso se dá pelo fato de que a quantidade de vapor d'água foi diminuindo ao passo em que a quantidade de ar seco se mantinha inalterada, ocasionando o decréscimo da fração molar do vapor d'água (Moran et al., 2013).

3.2.3 Umidade Específica

De acordo com Moran et al. (2013), uma determinada quantidade de ar úmido pode ser caracterizada de diferentes modos e uma delas é por meio da razão de mistura ω , que também pode ser chamada de umidade específica, ou ainda de razão de umidade segundo outros autores. A umidade específica é capaz de descrever quantitativamente a mistura entre vapor d'água e ar seco. Essa relação de mistura pode ser feita em termos de mols de ar seco e vapor d'água (suas frações moleculares) ou massa de ar seco e de vapor d'água (suas frações mássicas). Assim sendo, Moran et al. (2002) ilustram a umidade específica com a equação 3.1, onde m_v é a massa do vapor d'água e m_a é a massa do ar seco, tratando-se aqui o ar seco como um componente puro.

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad \text{Equação 3.1}$$

Fazendo-se as devidas substituições, a equação 3.1 pode ser reescrita conforme a equação 3.2, onde p_v é a pressão de vapor e p é a pressão total, referente à pressão de ar seco mais a pressão de vapor.

$$\omega = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v} \quad \text{Equação 3.2}$$

3.2.4 Umidade Relativa

Uma outra opção para se indicar o quão “úmido” o ar se encontra é por meio da umidade relativa. A umidade relativa ϕ pode ser entendida

[...] como a razão das frações molares do vapor d'água y_v em uma dada amostra de ar úmido e a fração molar de uma amostra de ar úmido saturado $y_{v,sat}$ à mesma temperatura e à pressão de mistura:

$$\Phi = \frac{y_v}{y_{v,sat}} \Big)_{T,p}$$

Como $p_v = y_v p$ e $p_g = y_{v,sat} p$, a umidade relativa pode ser expressa como

$$\Phi = \frac{p_v}{p_g} \Big)_{T,p}$$

(MORAN et al., 2013, p. 580).

A umidade relativa pode ser obtida por meio da utilização de um psicrômetro, por onde se obtêm a temperatura de bulbo seco, a temperatura de bulbo úmido e a diferença entre elas. Para cada combinação desses três dados existe um único valor correspondente de umidade relativa. De maneira geral, quanto maior a diferença entre as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, menor será a umidade relativa, e caso essas temperaturas sejam iguais (indicando que não houve evaporação de água no termômetro de bulbo úmido em função de um ar já saturado), a umidade relativa certamente é de 100%.

3.2.5. Graus-dia e Graus-hora

Graus-dia e graus-hora são métodos capazes de informar a demanda de energia necessária para diferentes locais. Quanto maiores forem os valores finais de graus-dia e graus-hora, mais energia será gasta para se chegar a uma condição térmica adequada. ASHRAE (1993, apud Goulart et al. 1998) afirma que os graus-dia são uma maneira mais simples de se fazer avaliações/previsões de demandas energéticas e são recomendados para casos em que tanto o uso das edificações quanto a eficiência de aparelhos de ar-condicionado, sejam mais constantes.

Caso o objetivo seja refrigerar um ambiente, os graus-dia são calculados por meio do somatório da diferença entre a temperatura média de um dia e uma temperatura base de resfriamento (que pode ser entendida como uma temperatura que separa o conforto do desconforto térmico), para todos os dias de um ano, sendo que nesse caso a temperatura média deve ser necessariamente superior à temperatura base. Caso o objetivo seja aquecer um ambiente, passa-se a considerar as médias dos dias que foram inferiores à temperatura base de aquecimento, porém a subtração é realizada da mesma maneira (Goulart et al., 1998).

O método dos graus-hora parte de um raciocínio semelhante ao que se observa nos graus-dia. Nos graus-hora não é mais utilizada a média da temperatura de um dia, mas sim todas as temperaturas horárias que ocorrem ao longo de um dia. Desse modo, em caso de

refrigeração, realiza-se o somatório das diferenças entre as temperaturas horárias e a temperatura base, desde que tais temperaturas horárias sejam superiores à temperatura base. Em caso de aquecimento de um ambiente, realiza-se a diferença entre essa temperatura de base e cada temperatura horário que seja inferior à temperatura de base (Goulart et al., 1998).

3.3 BIOCLIMATOLOGIA

O uso da bioclimatologia como importante ferramenta começou a se consolidar na década de 1960. Olgyay (1963) foi responsável por sugerir, o projeto bioclimático como sendo um projeto que busca se desenvolver de acordo e em resposta ao que o clima de uma determinada região exige. Para o autor, haveria uma certa sequência para o entendimento das áreas de conhecimento envolvidas. Primeiro se entenderia o clima, depois a biologia (relacionando o clima às respostas dos organismos), seguido da tecnologia que por fim proporcionaria ideias e soluções arquitetônicas que visem o conforto higrotérmico das pessoas. A bioclimatologia, dissociada do projeto bioclimático, pode ser entendida como o estudo da relação entre os seres vivos (bio) e o clima (climatologia). Bogo et al. (1994) levantam ainda a possibilidade de se distinguir a bioclimatologia em bioclimatologia humana, animal ou vegetal.

3.3.1 Carta Bioclimática

De acordo com Fernandes (2009), as cartas climáticas possuem o objetivo de interligar visualmente, por meio de gráficos, variáveis relevantes a um projeto bioclimático, como informações do clima, situações de conforto higrotérmico e estratégias de projeto.

3.3.1.1 Carta Bioclimática de Olgyay

A primeira carta bioclimática foi desenvolvida por Olgyay (1963). Essa primeira carta foi desenvolvida utilizando-se dados de temperatura de bulbo-seco, nas ordenadas, e umidade relativa, nas abcissas. Apesar de sua importância pelo pioneirismo, essa carta apresentava algumas deficiências e falhas, podendo-se citar o fato de que é “consenso que as estratégias não levam em conta a ação da edificação sobre o clima interno e, por isso, se tornam ineficientes” (SILVA, 1994, p. 47). Além disso, nota-se que essa carta bioclimática não leva em conta a aclimação de diferentes populações a distintas temperaturas, o que leva a uma falsa expectativa de que pessoas que vivem em diferentes regiões, temperadas ou tropicais por exemplo, se sintam confortáveis na mesma faixa de temperatura. Na figura 3.3 está representada essa carta de Olgyay (1963), porém de uma maneira mais didática, utilizando-se uma imagem preparada por Lamberts et al. (2014).

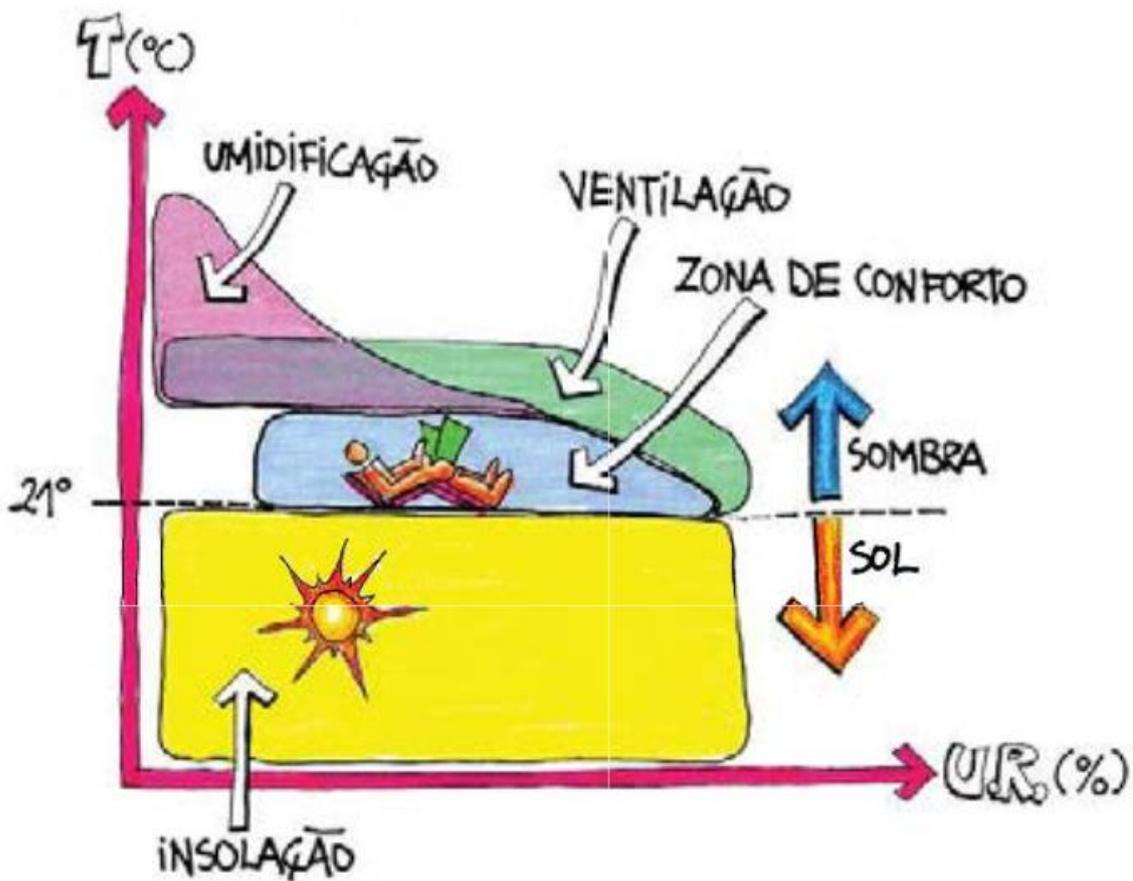


Figura 3.3 – Representação da carta bioclimática de Olgyay (1963) (Fonte: Lamberts et al., 2014).

3.3.1.2 Carta Bioclimática de Givoni

É possível encontrar diversas cartas bioclimáticas que foram desenvolvidas por diferentes autores após a de Olgyay. Uma das cartas que se observa em maior uso no território brasileiro é a desenvolvida por Givoni (1992). Ainda em 1976, Givoni publicou sua carta bioclimática original, que, de acordo com Fernandes (2009), já era tida como uma opção mais aperfeiçoada em relação às cartas de Olgyay. Algumas diferenças podem ser citadas entre a carta original de Olgyay e a carta original de Givoni, como o fato de que Givoni tentou levar em conta mais as condições internas de uma construção, enquanto que a de Olgyay era mais útil para condições externas. Além disso, a carta original de Givoni já foi construída diretamente sobre uma carta psicrométrica.

Em 1992, Givoni publica uma carta bioclimática atualizada em relação à sua versão de 1976. Uma diferença notável é o fato de que agora passa a haver duas cartas bioclimáticas distintas, uma adaptada para países em desenvolvimento, com características tropicais, como é o caso do Brasil, e uma outra adaptada para países desenvolvidos, com clima temperado. A figura

3.4, adaptada de Lamberts et al. (2014), traz uma representação da carta bioclimática de Givoni (1992) que foi criada para países tropicais.

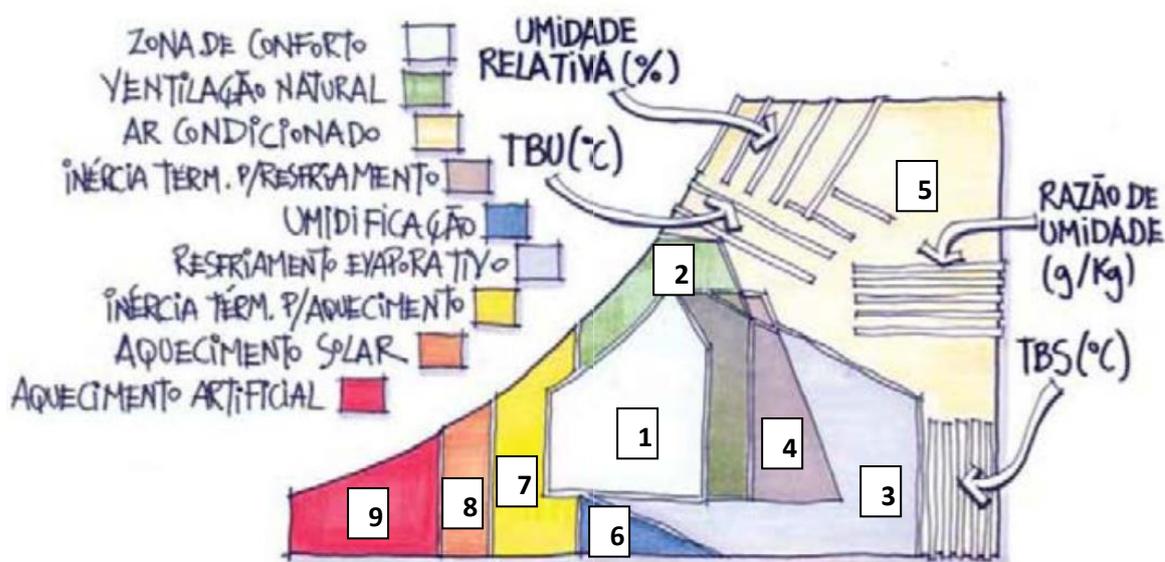


Figura 3.4 – Representação da carta bioclimática de Givoni (1992) adotada para o Brasil (Fonte: adaptada de Lamberts et al., 2014).

Observa-se a existência de nove diferentes zonas na carta de Givoni (1992). Uma área representa a zona de conforto higrotérmico (zona 1). Seis áreas delimitam diferentes propostas passivas de alterar o conforto higrotérmico: zona de ventilação natural (zona 2), zona de resfriamento evaporativo (zona 3), zona de inércia térmica para resfriamento (zona 4), zona de umidificação (zona 6), zona de inércia térmica para aquecimento (zona 7) e zona de aquecimento solar (zona 8). Outras duas áreas trazem propostas artificiais: zona de ar condicionado (zona 5) e zona de aquecimento artificial (zona 9). Ocorrem, também, locais de interseção entre zonas, onde, segundo Goulart et al. (1998), pode-se utilizar conjuntamente as estratégias propostas para cada zona individual.

3.3.2 Dados de Entrada

Muitos dos programas criados para gerar a carta bioclimática de um determinado local necessitam de dados de um ano completo desse local. De acordo com Lamberts et al. (2014), a melhor opção é usar o Ano Climático de Referência (ACR), que é a tradução do termo em inglês Test Reference Year (TRY). Caso não se disponha do ACR, há ainda a possibilidade de se utilizar normais climatológicas, que apresentam valores médios. Uma comparação possível de ser feita entre o uso das normais climatológicas ou do ACR para a produção de uma carta bioclimática é que, as normais climatológicas, “por empregarem valores médios,

tendem a concentrar as linhas representativas do ano na região correspondente ao centro de gravidade da mancha proveniente das 8.760 horas analisadas pelo TRY” (LAMBERTS et al., 2014, p. 96), havendo até uma analogia entre a clara e a gema de um ovo frito, onde a clara seria os pontos do ACR e a gema as normais climatológicas, conforme observado na figura 3.5.

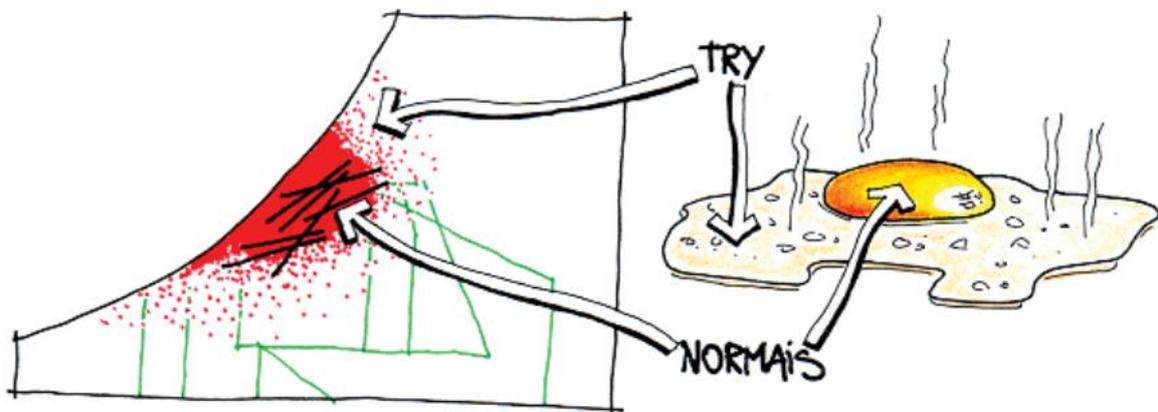


Figura 3.5 - Representação ACR X Normais (Fonte: Lamberts et al., 2014).

Um outro método de se avaliar um ano específico é o Typical Meteorological Year (TMY), que foi desenvolvido pelo Sandia Laboratories (Maciel, 2002).

3.3.2.1 Ano Climático de Referência

De acordo com Lamberts et al. (2010), o Ano Climático de Referência (ACR) pode ser entendido como a escolha de um determinado ano, que de fato existiu e se tem registro, como sendo aquele que melhor representa as características climáticas de um dado local, observando-se que no processo de escolha desse ano são utilizadas algumas análises estatísticas. Ressalta-se o fato de que o ACR necessita de dados horários das variáveis (8760 dados referentes a cada hora de um ano), que podem incluir informações de temperatura, umidade, vento e etc.

O ACR, determinado segundo o método de Stamper (1977), e descrito por Goulart et al. (1998), resume-se a eliminar os anos que possuem temperaturas médias mensais extremas, sejam elas máximas ou mínimas. O procedimento pode ser explicado da seguinte maneira. Ordena-se cronologicamente todas as temperaturas de bulbo seco médias mensais. O primeiro ano a ser eliminado será aquele que possuir o mês com a maior temperatura média (por exemplo, novembro) dentre todos os meses de todos os anos analisados. O segundo a ser eliminado será aquele ano que possuir o mês com a menor temperatura média (por

exemplo, maio) dentre todos os meses de todos os anos analisados. O terceiro ano a ser excluído será aquele com a segunda maior temperatura média, enquanto o quarto mês envolverá o ano que possui o segundo mês mais frio entre todos analisados. O procedimento continua se intercalando médias máxima e mínimas doze vezes. A partir do décimo terceiro ano, inverte-se o procedimento. Agora determina-se em qual ano está a menor média mensal do mês que possuiu a média mais quente anteriormente, que nesse exemplo foi novembro, ou seja, elimina-se o ano que contiver o mês de novembro mais frio entre todos os meses de novembro. A décima quarta eliminação será do ano que contiver a maior média mensal do mês que possuiu a média mais fria anteriormente, que, ainda no exemplo em questão, foi maio, ou seja, elimina-se o ano que contiver o mês de maio mais quente entre todos os meses de maio. O ano que for eliminado por último, será então o ACR.

A figura 3.6 ilustra como fica uma carta construída através da plotagem dos dados de um ACR utilizando-se como base a carta bioclimática sugerida por Givoni (1992).

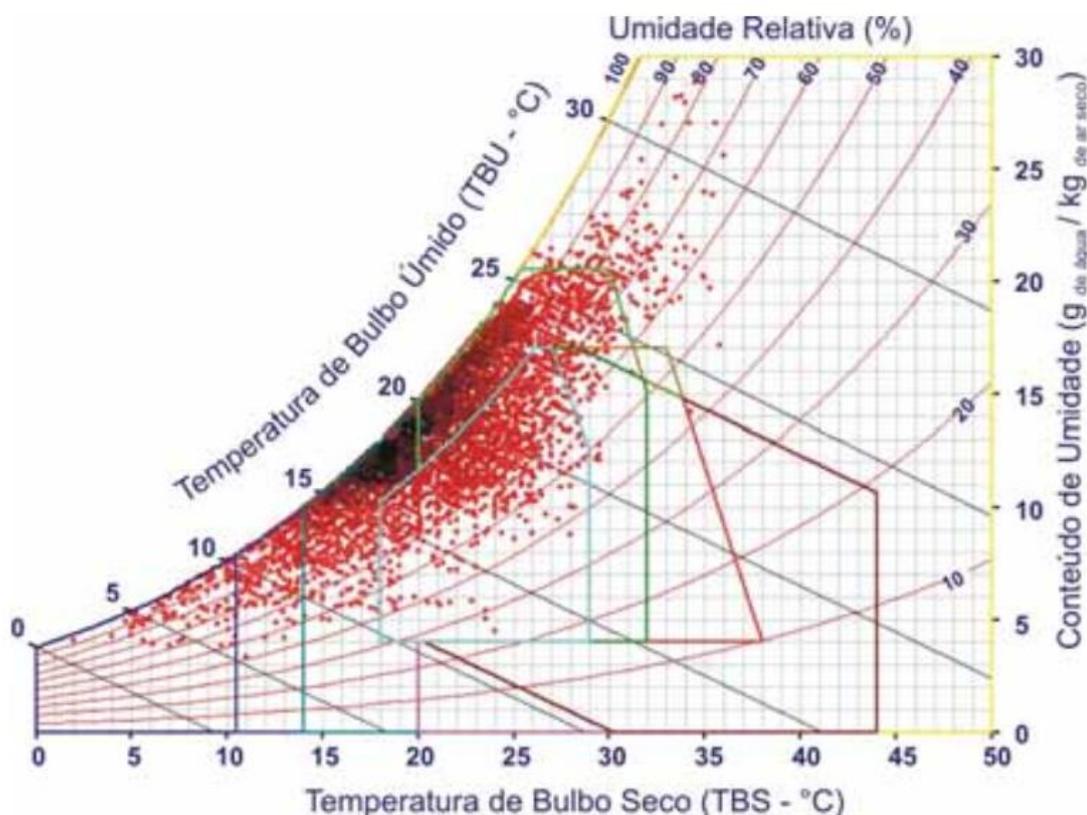


Figura 3.6 - Carta Bioclimática de Florianópolis (Fonte: Lamberts et al., 2014).

3.3.3 Zoneamento Bioclimático Brasileiro

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em 2005, atualizou a NBR 15220. Na parte três dessa norma atualizada consta um mapa com o zoneamento bioclimático

brasileiro, realizado com base em uma adaptação na carta bioclimática sugerido por Givoni (1992). A figura 3.7 apresenta essa carta da NBR 15220, que é capaz de ilustrar de maneira mais simplificada como seria a situação em algumas grandes áreas no Brasil, porém sem informações mais detalhadas de cidades ou áreas menores. Essa parte três da norma não tem nenhum caráter normativo, trazendo somente recomendações e estratégias construtivas para determinadas situações.

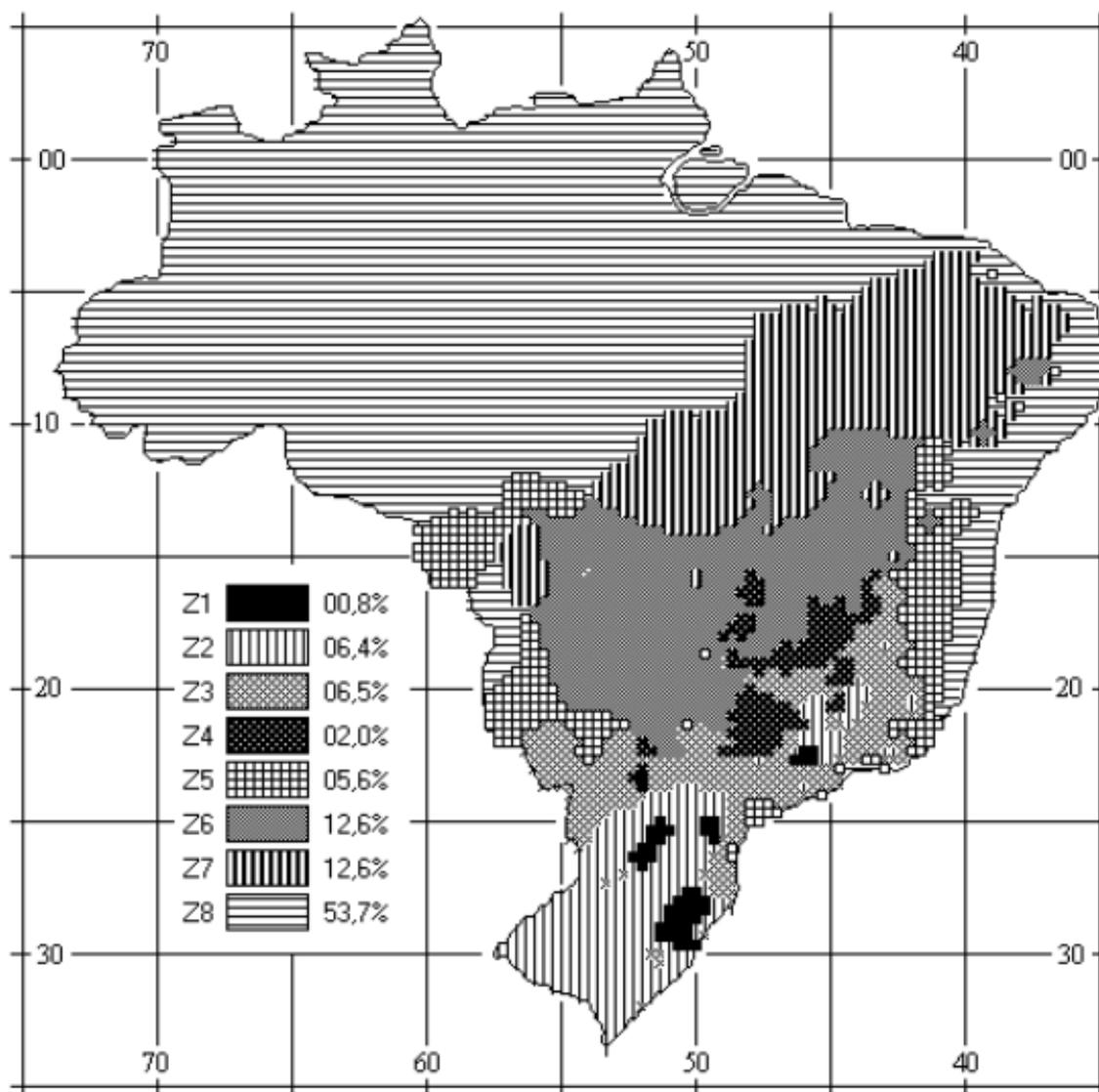


Figura 3.7 - Zoneamento bioclimático brasileiro (Fonte: ABNT, 2005).

Observa-se, pela figura 3.7, que a zona 8 compreende mais da metade do território nacional, com especial predominância na região Norte. Deve-se, porém, ficar bem claro que a nomenclatura (numeração) dessas zonas descritas na NBR 15220 não são as mesmas daquelas do método original que Givoni propôs em 1992 e que foi explicado no item 3.3.1.2.,

uma vez que foi utilizada uma metodologia própria para a construção e caracterização das zonas bioclimáticas. Tal metodologia da NBR 15220 também se baseia na carta de Givoni (1992), porém com alterações.

3.3.3.1 Bioclima de Brasília (1961-1970)

Goulart et al. (1998), ao notarem a ausência de dados climáticos de boa qualidade desenvolvidos para avaliações térmicas e energéticas de edifícios, realizaram um amplo trabalho que resultou na caracterização bioclimática de quatorze cidades brasileiras.

Ao longo do trabalho de Goulart et al. (1998) são realizadas algumas análises estatísticas e há o desenvolvimento e apresentação de uma carta bioclimática para cada uma das cidades analisadas. Foi utilizado um programa nacional chamado Analysis, que plota diretamente, na carta proposta por Givoni em 1992, os dados de umidade e temperatura para as 8760 horas do ACR que for escolhido previamente. As cidades analisadas foram Belém, Brasília, Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Maceió, Natal, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Luís, São Paulo e Vitória.

Em Brasília, Goulart et al. (1998) realizaram o estudo utilizando-se de dados obtidos no Aeroporto Internacional de Brasília, cujo número sinótico da estação meteorológica é 83378. O aeroporto se situa na latitude $15^{\circ} 52'$, longitude $47^{\circ} 55'$ e está a uma altitude de 1061 metros. O período de análise foi de 1961 a 1970, determinou-se o ACR como sendo o ano de 1962 e a carta bioclimática do ACR de Brasília obtida pelo estudo pode ser observada na figura 3.8.

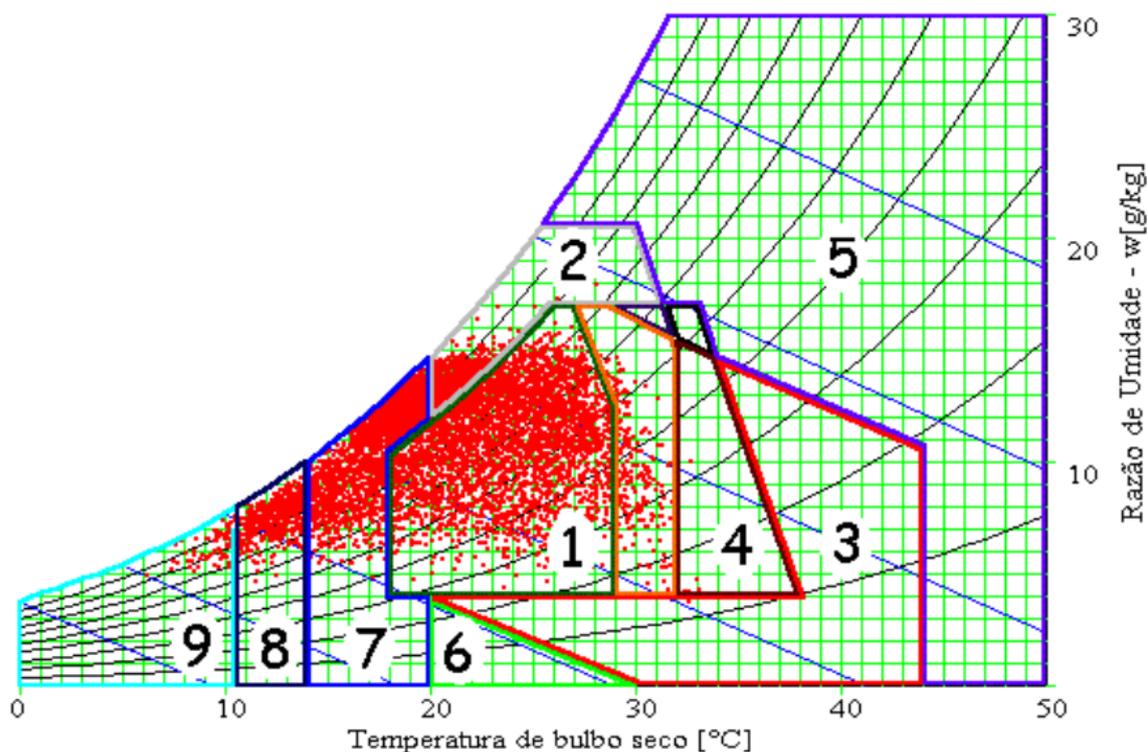


Figura 3.8 - Carta bioclimática de Brasília 1961 – 1970 (Fonte: Goulart et al., 1998).

A porcentagem dos dados horários em cada zona da carta bioclimática pode ser vista na tabela 3.1, adaptada de Goulart et al. (1998). Os autores do estudo desenvolveram originalmente a tabela de modo que se considere as interseções possíveis na carta, assim a somatória das porcentagens pode ultrapassar os 100%.

Tabela 3.1 - Zonas bioclimáticas para Brasília 1961 – 1970 (Fonte: adaptada de Goulart et al., 1998).

	Zonas	1961 – 1970 (%)
Conforto	1	43,6
	2	15,1
Desconforto	3	2,5
	4	2,5
	5	0,0
	6	*
	7	33,9
	8	6,1
	9	0,9

* Não informado na tabela original.

Destaca-se aqui, o fato de que em 43,6% das horas do ACR, há uma sensação de conforto higrotérmico. Com essa porcentagem, Brasília ocupa o primeiro lugar no ranking de conforto higrotérmico entre as quatorze cidades estudadas por Goulart et al. (1998). Para termos de comparação, cita-se Salvador e Belém, que são respectivamente a segunda e a última colocadas no ranking. Enquanto Salvador atingiu 37,8% do tempo na zona de conforto, Belém ficou apenas 0,7% do tempo nessa mesma zona.

3.3.3.2 Bioclima de Brasília (1982-1997)

Após mais de uma década sem que uma nova carta bioclimática fosse gerada para Brasília, Maciel (2002) publicou um estudo contendo a atualização de tal carta. Dentre outras coisas, o estudo trazia também informações quantitativas sobre o clima de Brasília e um estudo de caso da então Câmara Legislativa do Distrito Federal.

O período analisado por Maciel (2002) foi de 1982 a 1997 e a maneira como o estudo foi conduzido se assemelha bastante ao observado em Goulart et al. (1998), sendo que em ambos estudos fez-se o uso da carta que Givoni propôs em 1992, utilizou-se o ACR ao invés de normais climatológicas e o programa utilizado na construção da carta foi o Analysis Bio 2.0, além de que ambos foram realizados com base em dados provenientes do Aeroporto Internacional de Brasília. O ACR encontrado no período de 1982 a 1997 foi 1987 e a carta referente a esse ano pode ser observada na figura 3.9.

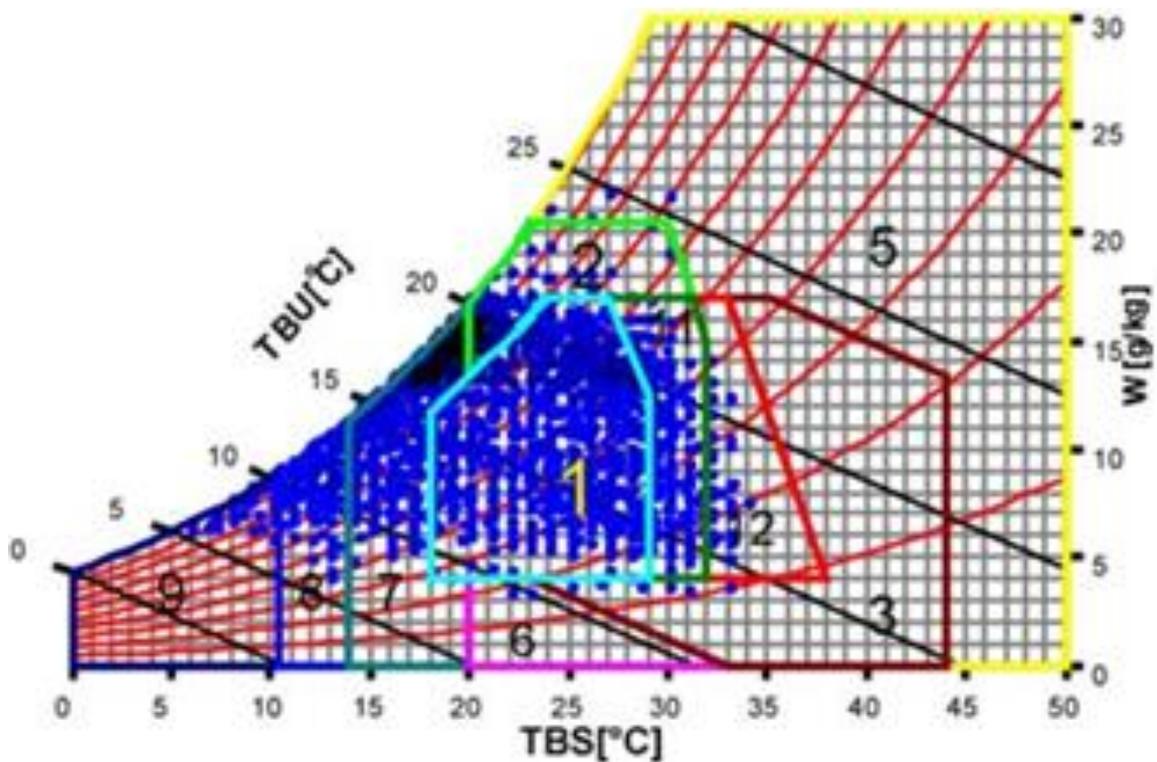


Figura 3.9 - Carta bioclimática de Brasília 1982 - 1997 (Fonte: Maciel, 2002).

A tabela 3.2, adaptada de Maciel (2002), traz as informações comparativas entre essa nova carta gerada e aquela que continha os dados de 1961 a 1970. Novamente a somatória das porcentagens ultrapassou os 100% por conta dos dados que se situam em condições de sobreposição de zonas.

Tabela 3.2 - Comparação das zonas bioclimáticas para Brasília entre 1961 – 1970 e 1982 – 1997 (Fonte: adaptada de Maciel, 2002).

	Zonas	1961 – 1970 (%)	1982 – 1997 (%)
Conforto	1	41,4	41,2
	2	17,3	21,2
Desconforto	3	3,28	8,38
	4	3,28	8,29
	5	0,0342	0,0799
	6	*	*
	7	34,1	31,3
	8	6,16	4,37
	9	0,993	0,993

* Não informado na tabela original.

É possível observar valores diferentes entre as tabelas 3.1 e 3.2 referentes ao mesmo período de 1961 a 1970. Não foi possível esclarecer com certeza qual a fonte dessa diferença, porém a tabela 3.1 foi adaptada de Goulart et al. (1998), enquanto a tabela 3.2 foi adaptada de Maciel (2002), sendo que Maciel (2002) possui Goulart et al. (1997) em suas referências bibliográficas. O livro utilizado como base por Maciel (2002), que foi Goulart et al. (1997) é a primeira edição do livro “Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras”, ao passo que nesse trabalho está sendo utilizada a segunda edição desse mesmo livro (de onde se retirou a tabela 3.2), que foi atualizado em 1998, o que pode explicar tal diferença.

4 METODOLOGIA

O conteúdo desse capítulo aborda como se deu o desenvolvimento do trabalho, apresentando a metodologia e os passos que foram dados para que se chegasse aos objetivos definidos.

4.1 DADOS DE ENTRADA

As informações meteorológicas podem ser extraídas para atender diferentes pessoas com objetivos muito distintos. Dito isso, profissionais podem necessitar de dados com precisões ou intervalos muito distintos. Para o presente trabalho foram utilizados dados horários.

Os dados foram obtidos através do Portal de Tecnologia da Informação para Meteorologia (PROTIM), acessado através do site do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), que faz parte do Instituto Nacional de Pesquisa (INPE).

Foi realizado o download completo dos dados de 19 anos, no período de 2000 a 2018, esperando que cada ano (não bissexto) contivesse 8760 dados, referentes a cada hora do ano. Os dados foram baixados da estação meteorológica que se situa no Aeroporto Internacional de Brasília, cujo número de sua estação sinótica é 83378. No próprio PROTIM é dito que o ponto do aeroporto no qual está instalada a estação meteorológica encontra-se a 1061 metros de altitude. A figura 4.2 revela a localização do aeroporto de Brasília (ponto mais ao sul) e de uma outra estação meteorológica, cuja função será explicada mais à frente. Essa outra estação pertence ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), está localizada a uma altitude de 1158 metros de altitude e se encontra a uma distância de 8,92 quilômetros em linha reta do aeroporto de Brasília.

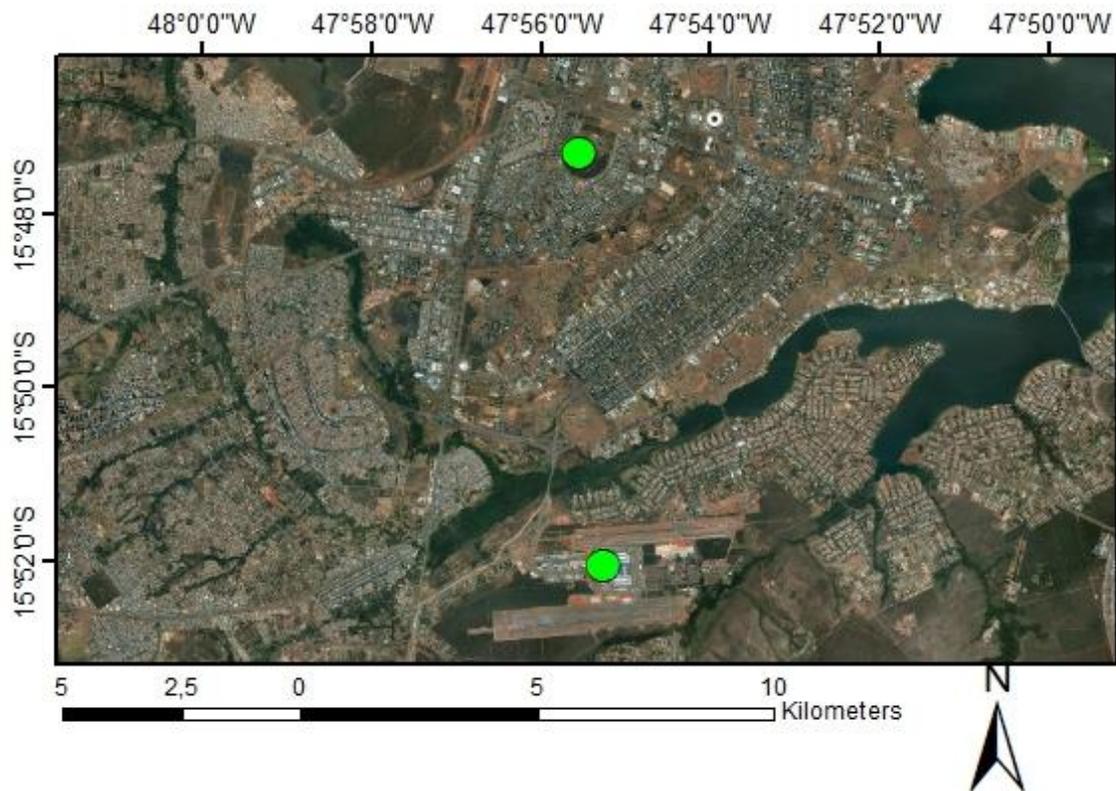


Figura 4.1 – Localização das estações do INPE (aeroporto) e do INMET

As planilhas da estação do aeroporto podem ser baixadas para cada ano individualmente. Além disso, o fato de a estação meteorológica estar situada em um aeroporto faz com que muitos dos dados disponibilizados tenham uma utilidade especial para a aviação. As informações disponibilizadas nesse tipo de planilha trazem as respectivas informações:

- Tipo da nuvem da primeira camada
- Direção do vento
- Velocidade do vento
- Altitude da base das nuvens na primeira camada
- Cobertura de nuvens da camada mais restrita
- Cobertura de nuvens da primeira camada
- Pressão reduzida ao nível do mar
- Temperatura do ar
- Temperatura do ponto de orvalho
- Visibilidade horizontal
- Tempo presente

Ao longo desse trabalho foram utilizadas as informações que tratam sobre a temperatura do ar (em °C) (referente à temperatura de bulbo seco), a temperatura do ponto de orvalho (em °C), a velocidade (m/s) e a direção do vento.

4.1.1 Obtendo Umidade Específica, Umidade Relativa e Temperatura de Bulbo Úmido por meio da Temperatura do Ponto de Orvalho

Observa-se que os dados baixados no PROTIM não incluem, explicitamente, nenhuma informação referente à umidade, relativa ou específica. Apesar disso, a combinação de uma dada temperatura de bulbo seco com uma dada temperatura de ponto de orvalho, ambos possíveis de serem baixados no PROTIM, permite que se obtenha a correta umidade do local.

A umidade específica, dada em gramas de vapor de água por quilograma de ar seco, foi encontrada por meio da equação 4.1.

$$\omega = \frac{B * P_W}{(P_{tot} - P_W)} \quad \left[\frac{g}{kg} \right] \quad \text{Equação 4.1}$$

Em que “ ω ” é a umidade específica, “B” foi calculado por meio da equação 4.2 (para o ar utiliza-se o valor de 621,9907 g/kg), “ P_W ” é a pressão de vapor de saturação da temperatura de ponto de orvalho e P_{tot} é a pressão atmosférica do local, que no caso da estação meteorológica analisada, por estar a uma altitude de 1061 metros, considerou-se uma pressão atmosférica de 89,7 kPa.

$$B = \frac{M(H_2O)}{M(g\acute{a}s)} * 1000 \quad \left[\frac{g}{kg} \right] \quad \text{Equação 4.2}$$

A partir desse momento, foi utilizada uma planilha de Excel cujo nome original é “Psychrometric chart.xls” e pode ser baixada livremente no endereço <https://piping-tools.net/>, um site no qual os desenvolvedores fazem o upload de ferramentas e documentos de código aberto que podem ser úteis em diferentes áreas da engenharia. Uma das abas de tal planilha dispõe da possibilidade de se entrar com os dados de temperatura de bulbo seco, umidade específica e altitude, informações essas que já estão todas disponíveis para o prosseguimento do trabalho. Com base nesses dados de entrada, o programa pode retornar diversas informações, dentre as quais estão as almejadas umidade relativa e a temperatura de bulbo úmido.

4.1.2 Preenchimento de falhas

Uma análise prévia de algumas planilhas baixadas do INPE revelou que há momentos nos quais não houve o registro de dados, e, portanto, há campos, tanto de temperatura de bulbo

seco, como de temperatura de ponto de orvalho que se encontram vazios. Além disso, notou-se a presença de informações totalmente desconstruídas com a realidade, podendo-se citar o registro de temperaturas do ponto de orvalho de $-228,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esses dados, que possuem forte inconsistência, foram excluídos e assim as informações referentes a essas horas também ficaram em branco. Em relação a esses dados ausentes ou inconsistentes, realizou-se um levantamento dos momentos nos quais ocorreram tais situações.

O preenchimento dos dados faltantes ou inconsistentes se deu de duas maneiras distintas, a depender da circunstância. Caso estivesse faltando informações de apenas uma hora isolada, tais informações eram obtidas por meio de uma interpolação que utilizava a média dos dados da hora imediatamente anterior e da hora imediatamente posterior.

No caso de situações em que se constatava duas ou mais horas seguidas em que estivesse faltando alguma informação, então tais dados eram obtidos utilizando-se o método dos fragmentos. É nesse momento que se passa a utilizar os dados da estação do INMET. Tal estação possui dados tanto de temperatura de bulbo seco como de bulbo úmido, porém apenas para as 00:00h, 12:00h e 18:00h. As informações desses horários serviram como base para definir os dados faltantes do INPE.

Os quatro primeiros passos descritos a seguir utilizam exclusivamente os dados do INPE.

- 1) As horas do dia foram agrupadas de acordo com a proximidade com as 00:00h, 12:00h e 18:00h. A informação sobre as 00:00h serviu como parâmetro para 22:00h, 23:00h, 00:00h, 01:00h, 02:00h, 03:00h, 04:00h, 05:00h e 06:00h. A informação sobre as 12:00h serviu como parâmetro para 07:00h, 08:00h, 09:00h, 10:00h, 11:00h, 12:00h, 13:00h, 14:00h e 15:00h. A informação sobre as 18:00h serviu como parâmetro para 16:00h, 17:00h, 18:00h, 19:00h, 20:00h e 21:00h.
- 2) O segundo passo consistiu em tirar a média de temperatura de cada um desses três horários ao longo de todos os meses, totalizando trinta e seis informações, onde cada média será chamada de T_{im} com $i = (1, 2, \dots, 12 \text{ meses})$ e $m = (00:00h, 12:00h, 18:00h)$.
- 3) O terceiro passo foi encontrar a média de temperatura para cada hora do dia, utilizando-se informações de todos os dias de um mês ao longo de todos os anos, totalizando duzentos e quarenta e quatro informações, onde cada média será chamada de t_{ij} com $i = (1, 2, \dots, 12 \text{ meses})$ e $j = (1, 2, \dots, 24 \text{ horas})$.

- 4) O quarto passo foi encontrar duzentos e quarenta e quatro fatores F_{ij} , que são encontrados dividindo-se t_{ij} por seus respectivos T_{im} , de acordo com o grupo em que foram enquadrados. Esse fator F_{ij} revela o comportamento médio de cada uma das vinte e quatro horas do dia em relação ao seu horário base (00:00h, 12:00h, 18:00h) mais próximo.
- 5) O quinto e último passo, momento em que de fato ocorreu o preenchimento dos dados, consistiu em multiplicar o fator F_{ij} por uma das temperaturas horárias do INMET (aquela mais próxima e na qual foi agrupada anteriormente).

4.2 ESTATÍSTICA

“A descrição estatística tem o objetivo de transformar os dados climáticos disponíveis para cada cidade em informações de mais fácil leitura e visualização.” (GOULART et al., 1998). Observando-se a importância de um levantamento estatístico, foram realizadas análises sobre todo o período de estudo compreendido entre 2000 e 2018, e, para tal, foram tomadas como base as mesmas análises e levantamentos feitos por Goulart et al. (1998), segundo critérios que os autores tenham considerados mais relevantes.

A formatação da tabela 4.1 que está mostrada a seguir foi realizada seguindo-se o mesmo padrão que fora utilizado por Goulart et al. (1998). Essa tabela é apenas um exemplo de como foi realizado o levantamento estatístico por meio de tabelas. O objetivo aqui era preencher tais tabelas adequadamente, o que facilitou comparações que foram feitas entre o que foi obtido nesse estudo com o que foi encontrado por Goulart et al. (1998) e o que foi mostrado por Maciel (2002).

Tabela 4.1 - Temperatura de bulbo seco (°C) (Fonte: adaptada de Goulart et al., 1998).

	MÁX	99%	95%	90%	MÉD	10%	5%	1%	MÍN
ANO									
JAN									
FEV									
MAR									
ABR									
MAI									
JUN									
JUL									
AGO									
SET									
OUT									
NOV									
DEZ									

O resumo estatístico das informações relacionadas aos ventos, tanto velocidade quanto direção, se deu de maneira bem semelhante ao observado nas tabelas produzidas para as temperatura e umidade. Constam tabelas que informam a média, a máxima e a porcentagem do tempo em que se enquadra a velocidade do vento ao longo dos anos. Também foram construídos gráficos capazes de revelar a porcentagem de ventos que sopram nas diferentes direções ao longo de cada um dos meses.

4.3 GERANDO A CARTA BIOCLIMÁTICA

Atualmente pode-se encontrar programas de computador desenvolvidos especialmente para facilitar a criação, visualização e análise de cartas bioclimáticas. Optou-se, nesse projeto, pela utilização do programa conhecido como Analysis Bio, que hoje se encontra em sua versão 2.2, justamente a que será usada.

O Analysis Bio foi desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), pertencente à Universidade Federal de Santa Catarina, e pode ser baixado gratuitamente em <http://www.labeee.ufsc.br/downloads>. Tal programa utiliza a carta bioclimática proposta por Givoni em 1992 e possibilita que sejam utilizados tanto dados horários de um ano completo (como o ACR), como normais climatológicas fornecidas pelo

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Ressalta-se que o próprio programa já vem carregado com normais climatológicas de diversas cidades brasileiras e até da Argentina.

O Analysis Bio permite algumas análises, fornecendo, por exemplo, a porcentagem de horas do ano em que cada estratégia de construção (zonas bioclimáticas) se mostra mais eficaz. Como já dito em outro momento, optou-se nesse trabalho pela utilização de anos completos (como o ACR) ao invés das normais climatológicas, até para que se possa fazer uma melhor comparação com os resultados obtidos por Goulart et al. (1998) e Maciel (2002).

4.3.1 Determinação do ACR e resultados das análises bioclimáticas

O ACR do período de estudo compreendido entre 2000 e 2018 foi encontrado por meio do método de Stamper (1977), que fora descrito no item 3.3.2.1. deste trabalho. Após a determinação do ACR, os dados desse ano foram introduzidos no Analysis Bio e foi possível obter a carta bioclimática desejada.

Além da carta bioclimática que foi gerada para o ACR, neste trabalho se produziu informações bioclimáticas para todos os outros anos do período estudado. Foi gerado um quadro resumo, assim como feito para o ACR, para o período de 2000 a 2018. Para isso, todos os anos de 2000 a 2018 foram trabalhados no Analysis Bio.

4.4 CALCULAR GRAUS-DIA E GRAUS-HORA

A temperatura que é utilizada como temperatura base nos cálculos de graus-dia e graus-hora varia de local para local e de autor para autor. Nesse trabalho foram utilizadas algumas faixas de valores para a temperatura base. Para resfriamento as temperaturas consideradas foram de 25°C, 26°C e 27°C, enquanto que para aquecimento utilizou-se 16°C, 17°C e 18°C. O procedimento que foi realizado para se chegar aos resultados desejados é aquele já descrito no item 3.2.5.

5 RESULTADOS

5.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS TRABALHADOS

O primeiro passo consistiu na exclusão das informações relacionadas a horários que possuíam horas não inteiras, uma vez que o padrão de apresentação de informações era a cada hora inteira. Posteriormente eliminou-se as informações dos horários referentes à temperatura de bulbo seco com valores de -43, -3,9, 0 e 57 °C, por estarem destoando da realidade local e dos valores de informações de horas vizinhas. Quando a análise se voltou à temperatura de orvalho eliminou-se as informações associadas aos horários que registraram valores menores ou igual à zero, além de valores com números não inteiros, uma vez que tanto os dados de temperatura de bulbo seco como do ponto de orvalho eram registrados apenas com números inteiros. A tabela 5.1 informa como se encontrava a distribuição de todos os dados horários a serem preenchidas ao longo dos meses e dos anos, seja de temperatura de bulbo seco, bulbo úmido ou ambos, tanto aqueles que já vieram em branco como aqueles que foram excluídos.

Tabela 5.1 - Número de horas com informações faltantes.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	total
2000	374	584	622	575	501	492	534	549	450	494	438	282	5895
2001	282	300	260	435	510	461	451	361	48	57	82	92	3339
2002	79	121	122	42	74	69	221	515	655	548	534	166	3146
2003	173	125	301	265	13	230	82	106	94	105	88	65	1647
2004	33	50	106	122	46	155	103	19	15	44	7	10	710
2005	29	19	32	14	7	52	24	29	23	15	3	11	258
2006	7	6	18	4	30	3	42	59	45	124	94	116	548
2007	96	69	27	45	19	6	16	22	15	40	84	89	528
2008	117	110	153	47	2	0	6	9	17	2	0	14	477
2009	0	0	3	0	1	0	22	19	0	2	5	2	54
2010	0	1	0	0	0	41	8	115	146	2	3	0	316
2011	0	0	1	1	0	0	0	13	45	19	30	0	109
2012	8	13	18	28	12	9	5	8	5	12	21	13	152
2013	23	9	11	10	3	3	6	2	1	10	17	18	113
2014	16	10	21	10	4	720	744	744	720	10	21	33	3053
2015	17	10	33	11	9	0	0	0	8	28	20	16	152
2016	22	8	14	1	10	10	8	4	12	21	27	15	152
2017	16	24	26	13	7	4	10	37	7	28	23	33	228
2018	26	23	18	20	3	3	10	23	21	47	26	27	247
total	1318	1482	1786	1643	1251	2258	2292	2634	2327	1608	1523	1002	21124

5.2 PREENCHIMENTO DE FALHAS

O primeiro procedimento realizado foi preencher aqueles dados faltantes nos quais apenas uma hora isolada se encontrava sem informações. Após essa primeira etapa ser concluída,

obteve-se a tabela 5.2, que mostra a diminuição das horas nas quais ainda há dados a serem inseridos. A quantidade total dessas horas caiu de 21124 para 18050.

Tabela 5.2 - Número de horas com informações faltantes após execução da primeira etapa do preenchimento de falhas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	total
2000	337	568	611	555	467	446	487	508	399	444	379	193	5394
2001	206	242	170	390	451	400	390	325	25	22	42	64	2727
2002	22	84	92	22	30	36	193	502	652	535	521	144	2833
2003	154	103	277	231	2	222	41	49	50	67	72	48	1316
2004	21	35	75	94	25	106	77	14	8	37	2	6	500
2005	16	17	20	6	4	17	14	19	23	11	0	10	157
2006	4	2	17	0	27	0	42	56	40	107	76	92	463
2007	76	55	21	32	11	2	11	18	10	34	70	78	418
2008	104	93	126	27	0	0	4	5	13	0	0	14	386
2009	0	0	0	0	0	0	20	14	0	0	4	2	40
2010	0	0	0	0	0	41	8	107	140	0	3	0	299
2011	0	0	0	0	0	0	0	12	38	7	18	0	75
2012	0	8	10	13	8	5	3	2	2	2	12	10	75
2013	11	4	2	6	0	3	4	0	0	5	8	13	56
2014	8	5	14	2	3	720	744	744	720	5	2	26	2993
2015	8	2	12	6	8	0	0	0	6	14	7	9	72
2016	12	4	7	0	7	9	7	0	3	9	8	5	71
2017	4	4	4	0	4	0	2	28	0	13	8	9	76
2018	10	9	4	5	0	0	0	14	10	29	8	10	99
total	993	1235	1462	1389	1047	2007	2047	2417	2139	1341	1240	733	18050

Deu-se prosseguimento ao preenchimento do restante das falhas através do método dos fragmentos. As tabelas 5.3, 5.4 e 5.5 trazem, respectivamente, os fatores T_{im} , t_{ij} e F_{ij} calculados e utilizados para se preencher a série histórica da temperatura de bulbo seco.

Tabela 5.3 – Fator T_{im} para temperatura de bulbo seco (°C).

T_{im}		MESES											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
HORAS	0	21.96	21.98	21.71	21.63	20.44	19.37	19.18	20.72	22.52	23.08	21.82	21.84
	12	23.12	23.05	22.78	22.28	20.50	19.00	18.52	20.45	22.79	23.85	23.05	23.24
	18	26.20	26.70	26.49	26.77	26.30	25.59	25.89	27.54	28.94	28.63	26.15	26.22

Tabela 5.4 – Fator t_{ij} para temperatura de bulbo seco (°C).

t _{ij}		MESES											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
HORAS	0	21.96	21.98	21.71	21.63	20.44	19.37	19.18	20.72	22.52	23.08	21.82	21.84
	1	21.45	21.41	21.27	21.08	19.72	18.57	18.24	19.71	21.61	22.42	21.29	21.38
	2	21.05	20.92	20.73	20.54	18.97	17.59	17.22	18.71	20.75	21.76	20.92	20.94
	3	20.58	20.51	20.35	20.03	18.26	16.75	16.18	17.72	19.92	21.11	20.49	20.55
	4	20.24	20.11	19.99	19.51	17.56	15.84	15.26	16.74	19.07	20.49	20.17	20.19
	5	19.92	19.73	19.65	19.05	16.87	15.11	14.49	15.90	18.34	19.97	19.81	19.92
	6	19.60	19.45	19.36	18.70	16.36	14.59	13.86	15.27	17.66	19.51	19.56	19.70
	7	19.33	19.21	19.09	18.43	15.93	14.08	13.38	14.67	17.26	19.20	19.37	19.51
	8	19.27	19.05	18.88	18.17	15.68	13.68	13.00	14.33	16.83	18.99	19.28	19.36
	9	19.16	18.93	18.79	17.98	15.44	13.45	12.80	13.96	16.57	18.84	19.28	19.36
	10	19.97	19.55	19.25	18.35	15.69	13.64	12.85	14.23	17.40	20.07	20.28	20.27
	11	21.59	21.29	21.03	20.33	18.02	16.10	15.44	17.36	20.31	22.08	21.69	21.79
	12	23.12	23.05	22.78	22.28	20.50	19.00	18.52	20.45	22.79	23.85	23.05	23.24
	13	24.40	24.46	24.20	23.78	22.40	21.17	20.98	22.69	24.67	25.47	24.34	24.48
	14	25.27	25.47	25.28	25.05	23.81	22.80	22.79	24.42	26.32	26.82	25.24	25.40
	15	25.92	26.27	26.09	25.90	24.90	24.03	24.09	25.75	27.59	27.90	25.92	26.06
	16	26.29	26.79	26.48	26.49	25.69	24.91	24.94	26.67	28.43	28.55	26.28	26.34
	17	26.32	26.78	26.67	26.83	26.18	25.42	25.57	27.24	28.87	28.74	26.32	26.51
	18	26.20	26.70	26.49	26.77	26.30	25.59	25.89	27.54	28.94	28.63	26.15	26.22
	19	26.07	26.34	25.98	26.46	26.07	25.47	25.83	27.45	28.78	28.25	25.74	25.85
	20	25.56	25.75	25.31	25.77	25.31	24.80	25.24	26.85	28.17	27.52	25.04	25.18
	21	24.70	24.72	24.35	24.48	23.71	23.06	23.47	25.34	26.73	26.22	23.99	24.24
	22	23.53	23.34	23.03	23.21	22.30	21.43	21.54	23.37	24.98	24.82	22.95	23.08
	23	22.59	22.57	22.26	22.38	21.19	20.31	20.36	21.95	23.63	23.82	22.19	22.32

Tabela 5.5 – Fator F_{ij} para temperatura de bulbo seco.

F _{ij}		MESES											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
HORAS	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	0.98	0.97	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98
	2	0.96	0.95	0.95	0.95	0.93	0.91	0.90	0.90	0.92	0.94	0.96	0.96
	3	0.94	0.93	0.94	0.93	0.89	0.86	0.84	0.85	0.88	0.91	0.94	0.94
	4	0.92	0.92	0.92	0.90	0.86	0.82	0.80	0.81	0.85	0.89	0.92	0.92
	5	0.91	0.90	0.90	0.88	0.83	0.78	0.76	0.77	0.81	0.87	0.91	0.91
	6	0.89	0.88	0.89	0.86	0.80	0.75	0.72	0.74	0.78	0.85	0.90	0.90
	7	0.84	0.83	0.84	0.83	0.78	0.74	0.72	0.72	0.76	0.80	0.84	0.84
	8	0.83	0.83	0.83	0.82	0.76	0.72	0.70	0.70	0.74	0.80	0.84	0.83
	9	0.83	0.82	0.82	0.81	0.75	0.71	0.69	0.68	0.73	0.79	0.84	0.83
	10	0.86	0.85	0.84	0.82	0.77	0.72	0.69	0.70	0.76	0.84	0.88	0.87
	11	0.93	0.92	0.92	0.91	0.88	0.85	0.83	0.85	0.89	0.93	0.94	0.94
	12	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	13	1.06	1.06	1.06	1.07	1.09	1.11	1.13	1.11	1.08	1.07	1.06	1.05
	14	1.09	1.11	1.11	1.12	1.16	1.20	1.23	1.19	1.16	1.12	1.10	1.09
	15	1.12	1.14	1.15	1.16	1.21	1.27	1.30	1.26	1.21	1.17	1.12	1.12
	16	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.97	0.98	1.00	1.01	1.00
	17	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.01	1.01
	18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	19	0.99	0.99	0.98	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.99
	20	0.98	0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	0.96
	21	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.90	0.91	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
	22	1.07	1.06	1.06	1.07	1.09	1.11	1.12	1.13	1.11	1.08	1.05	1.06
	23	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04	1.05	1.06	1.06	1.05	1.03	1.02	1.02

O preenchimento da série da temperatura de bulbo úmido se deu da mesma maneira. Os fatores T_{im} , t_{ij} e F_{ij} utilizados nesse preenchimento estão mostrados nas tabelas 5.6, 5.7 e 5.8 respectivamente.

Tabela 5.6 – Fator T_{im} para temperatura de bulbo úmido ($^{\circ}\text{C}$).

T_{im}		MESES											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
HORAS	0	18.86	18.84	18.98	18.28	16.38	14.67	13.30	13.35	15.02	17.36	18.74	18.83
	12	19.26	19.29	19.46	18.75	16.60	15.01	13.70	13.98	15.67	17.85	19.09	19.33
	18	19.54	19.60	19.80	19.03	17.40	15.99	14.92	15.20	16.67	18.28	19.39	19.57

Tabela 5.7 – Fator t_{ij} para temperatura de bulbo úmido ($^{\circ}\text{C}$).

t_{ij}		MESES											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
HORAS	0	18.86	18.84	18.98	18.28	16.38	14.67	13.30	13.35	15.02	17.36	18.74	18.83
	1	18.76	18.73	18.86	18.09	16.14	14.44	13.03	13.10	14.77	17.21	18.63	18.76
	2	18.63	18.56	18.66	17.90	15.86	14.09	12.69	12.82	14.57	17.07	18.52	18.64
	3	18.49	18.42	18.50	17.75	15.59	13.76	12.28	12.48	14.32	16.87	18.36	18.46
	4	18.33	18.25	18.32	17.55	15.30	13.33	11.94	12.18	14.06	16.68	18.23	18.32
	5	18.15	18.05	18.18	17.32	14.93	12.98	11.60	11.89	13.84	16.51	18.05	18.16
	6	18.00	17.91	18.03	17.16	14.64	12.71	11.32	11.67	13.58	16.36	17.93	18.05
	7	17.89	17.78	17.84	17.01	14.38	12.37	11.05	11.40	13.40	16.24	17.82	17.95
	8	17.82	17.69	17.69	16.85	14.20	12.16	10.90	11.24	13.27	16.16	17.78	17.86
	9	17.73	17.60	17.61	16.70	14.02	12.03	10.81	11.08	13.18	16.14	17.79	17.87
	10	18.23	17.98	17.93	16.94	14.20	12.12	10.86	11.34	13.74	16.80	18.32	18.39
	11	18.91	18.83	18.90	18.06	15.65	13.77	12.44	12.91	14.91	17.46	18.83	18.98
	12	19.26	19.29	19.46	18.75	16.60	15.01	13.70	13.98	15.67	17.85	19.09	19.33
	13	19.50	19.53	19.79	19.11	17.15	15.68	14.45	14.62	16.15	18.15	19.40	19.58
	14	19.65	19.75	19.94	19.36	17.44	16.06	14.86	14.95	16.46	18.34	19.49	19.72
	15	19.65	19.74	19.99	19.37	17.50	16.10	14.95	15.09	16.62	18.38	19.55	19.81
	16	19.63	19.76	19.91	19.21	17.44	16.07	14.97	15.20	16.71	18.31	19.56	19.75
	17	19.61	19.64	19.88	19.12	17.43	16.02	14.98	15.24	16.71	18.32	19.46	19.68
	18	19.54	19.60	19.80	19.03	17.40	15.99	14.92	15.20	16.67	18.28	19.39	19.57
	19	19.47	19.56	19.67	18.98	17.29	15.89	14.81	15.14	16.56	18.14	19.29	19.45
	20	19.37	19.44	19.54	18.90	17.25	15.75	14.65	14.94	16.42	17.99	19.20	19.32
	21	19.22	19.31	19.44	18.78	17.11	15.52	14.32	14.60	16.16	17.89	19.09	19.18
	22	19.09	19.08	19.25	18.54	16.83	15.11	13.88	14.11	15.76	17.70	18.91	19.02
	23	19.00	19.01	19.08	18.41	16.57	14.83	13.60	13.72	15.39	17.54	18.83	18.90

Tabela 5.8 – Fator F_{ij} para temperatura de bulbo úmido.

Fij		MESES											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
HORAS	0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	1.00
	2	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.96	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99
	3	0.98	0.98	0.97	0.97	0.95	0.94	0.92	0.93	0.95	0.97	0.98	0.98
	4	0.97	0.97	0.97	0.96	0.93	0.91	0.90	0.91	0.94	0.96	0.97	0.97
	5	0.96	0.96	0.96	0.95	0.91	0.88	0.87	0.89	0.92	0.95	0.96	0.96
	6	0.95	0.95	0.95	0.94	0.89	0.87	0.85	0.87	0.90	0.94	0.96	0.96
	7	0.93	0.92	0.92	0.91	0.87	0.82	0.81	0.82	0.86	0.91	0.93	0.93
	8	0.92	0.92	0.91	0.90	0.86	0.81	0.80	0.80	0.85	0.91	0.93	0.92
	9	0.92	0.91	0.91	0.89	0.84	0.80	0.79	0.79	0.84	0.90	0.93	0.92
	10	0.95	0.93	0.92	0.90	0.86	0.81	0.79	0.81	0.88	0.94	0.96	0.95
	11	0.98	0.98	0.97	0.96	0.94	0.92	0.91	0.92	0.95	0.98	0.99	0.98
	12	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	13	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.05	1.05	1.03	1.02	1.02	1.01
	14	1.02	1.02	1.02	1.03	1.05	1.07	1.08	1.07	1.05	1.03	1.02	1.02
	15	1.02	1.02	1.03	1.03	1.05	1.07	1.09	1.08	1.06	1.03	1.02	1.02
	16	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01
	17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01
	18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	19	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99
	20	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99
	21	0.98	0.99	0.98	0.99	0.98	0.97	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98
	22	1.01	1.01	1.01	1.01	1.03	1.03	1.04	1.06	1.05	1.02	1.01	1.01
	23	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	1.01	1.00

Algumas medidas foram tomadas para testar o quão próximos eram os dados do INPE e os do INMET que foram calculados pelo método dos fragmentos. Selecionou-se todos os meses do período de 2000 a 2018 que não possuíam sequer uma única falha horária. Os meses selecionados foram junho e novembro de 2008, janeiro, abril, junho e setembro de 2009, janeiro, março, abril, maio e dezembro de 2010, janeiro, fevereiro, maio, junho, julho e dezembro de 2011, junho julho e agosto de 2015. A figura 5.1 traz todos os pontos horários dos meses selecionados, mostrando a temperatura de bulbo seco do INPE no eixo X e a temperatura de bulbo seco do INMET no eixo Y.

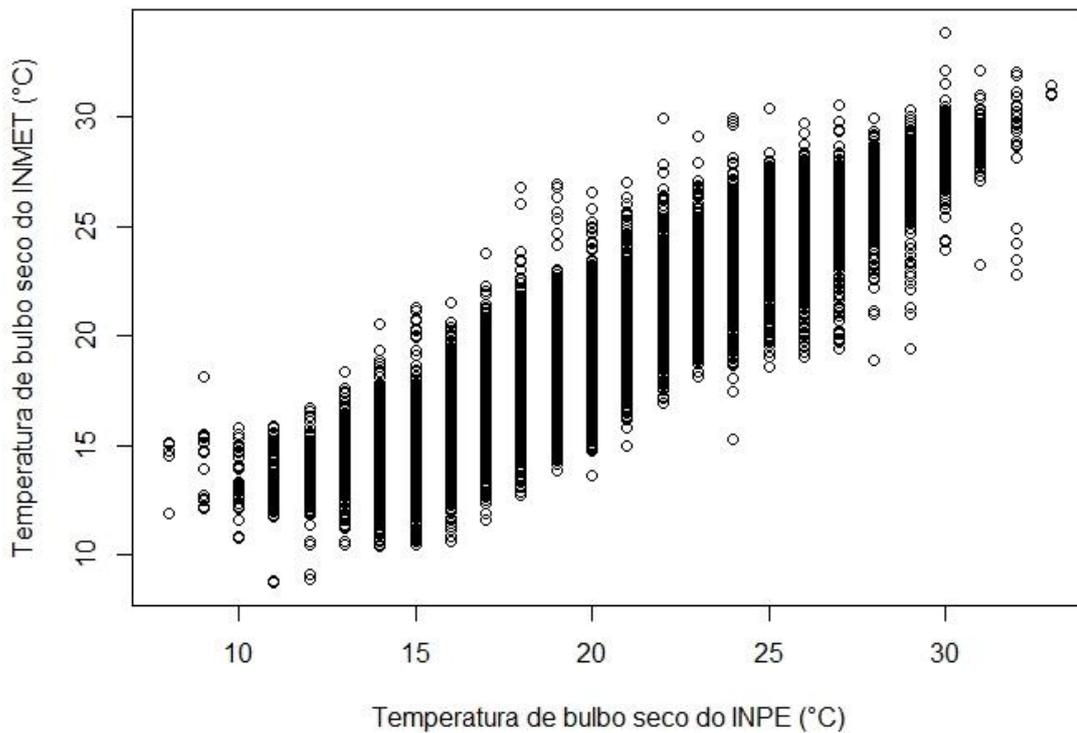


Figura 5.1 – Temperaturas de bulbo seco INPE x INMET.

A correlação obtida entre as temperaturas de bulbo seco do INPE e do INMET, obtida através do *software* R, foi de 0,9154. O intervalo de confiança a um nível de significância de 5% vai de 0,9127 a 0,9180. O p-valor é de $2,2 * 10^{-16}$, permitindo que se refute a hipótese nula de uma correlação igual a zero.

Assim como a figura 5.1, a figura 5.2 traz todos os pontos horários dos meses selecionados, porém agora mostrando a temperatura de bulbo úmido do INPE no eixo X e a temperatura de bulbo úmido do INMET no eixo Y.

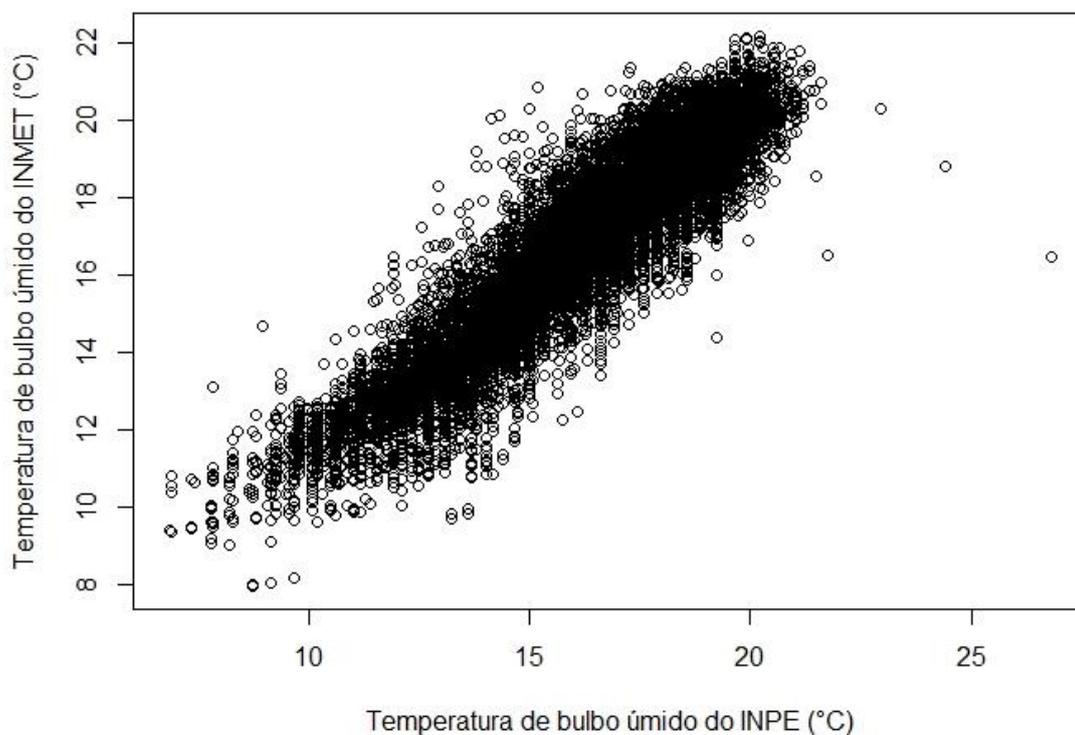


Figura 5.2 – Temperaturas de bulbo úmido INPE x INMET.

A correlação obtida entre as temperaturas de bulbo úmido do INPE e do INMET, obtida através do *software* R, foi de 0,9220. O intervalo de confiança a um nível de significância de 5% vai de 0,9195 a 0,9244. O p-valor é de $2,2 * 10^{-16}$, permitindo que se refute a hipótese nula de uma correlação igual a zero.

5.3 ESTATÍSTICA

A tabela 5.9 traz um resumo estatístico do que se tem para a temperatura de bulbo seco ao longo dos dezenove anos analisados. Observando-se as médias mensais, destaca-se o mês de outubro como sendo o mais quente e o único a ultrapassar os 23 °C, alcançando 23,63 °C. Enquanto isso o mês mais frio é julho, que registrou uma média de 19,17 °C.

Tabela 5.9 – Temperatura de bulbo seco (2000-2018) (°C).

	MAX	99%	95%	90%	MÉD	10%	5%	1%	MÍN
ANO	37,00	31,00	29,00	28,00	21,74	16,00	14,00	11,67	7,00
JAN	36,00	31,00	29,00	28,00	22,61	19,00	18,00	17,00	14,00
FEV	34,00	30,00	29,00	28,00	22,51	19,00	18,00	17,00	14,00
MAR	35,00	30,00	28,00	27,00	22,30	18,27	18,00	16,34	14,00
ABR	31,00	30,00	28,00	27,00	22,12	18,00	17,00	15,00	9,00
MAI	31,00	29,00	28,00	26,50	20,69	15,00	14,00	11,00	8,00
JUN	31,00	28,00	26,00	25,96	19,40	13,00	12,00	10,00	8,00
JUL	31,87	29,00	27,00	26,00	19,17	13,00	11,00	9,00	7,00
AGO	34,38	31,0	29,00	28,00	20,76	14,00	13,00	11,00	8,00
SET	35,00	33,00	31,00	29,94	22,75	16,46	15,00	13,00	9,00
OUT	37,00	33,00	31,92	30,00	23,63	18,89	18,00	16,00	13,00
NOV	35,00	31,00	29,00	27,00	22,43	19,00	18,00	16,73	13,97
DEZ	34,00	31,00	29,00	28,00	22,56	19,00	18,00	17,00	10,50

A figura 5.3 ilustra, por meio de *box plots*, as temperaturas máximas registrada ao longo de cada um dos meses nos dezenove anos. A figura 5.4, obtida de Maciel (2002) também traz essas informações de temperaturas máximas mensais, porém para séries históricas mais antigas. Para que se possa comparar os resultados das figuras 5.3 e 5.4, deve-se olhar para os valores máximos de cada mês da figura 5.3, cujo exato valor numérico pode ser observado na tabela 5.9.

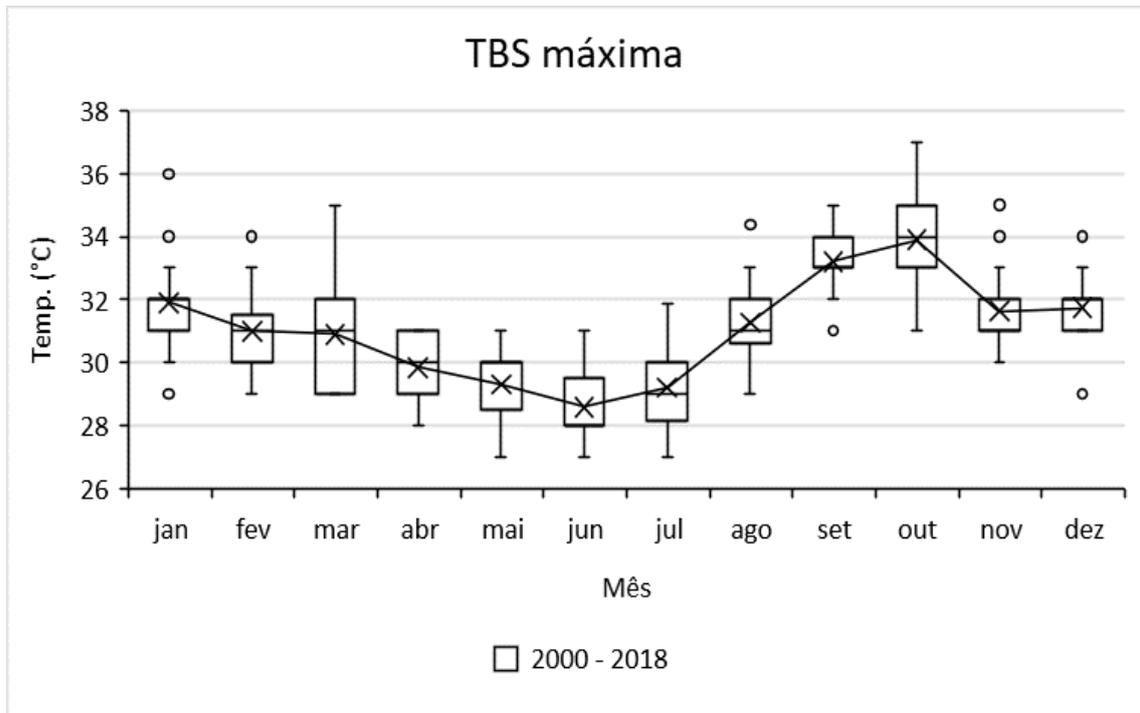


Figura 5.3 – Registro das máximas temperaturas de bulbo seco mensais (2000-2018).

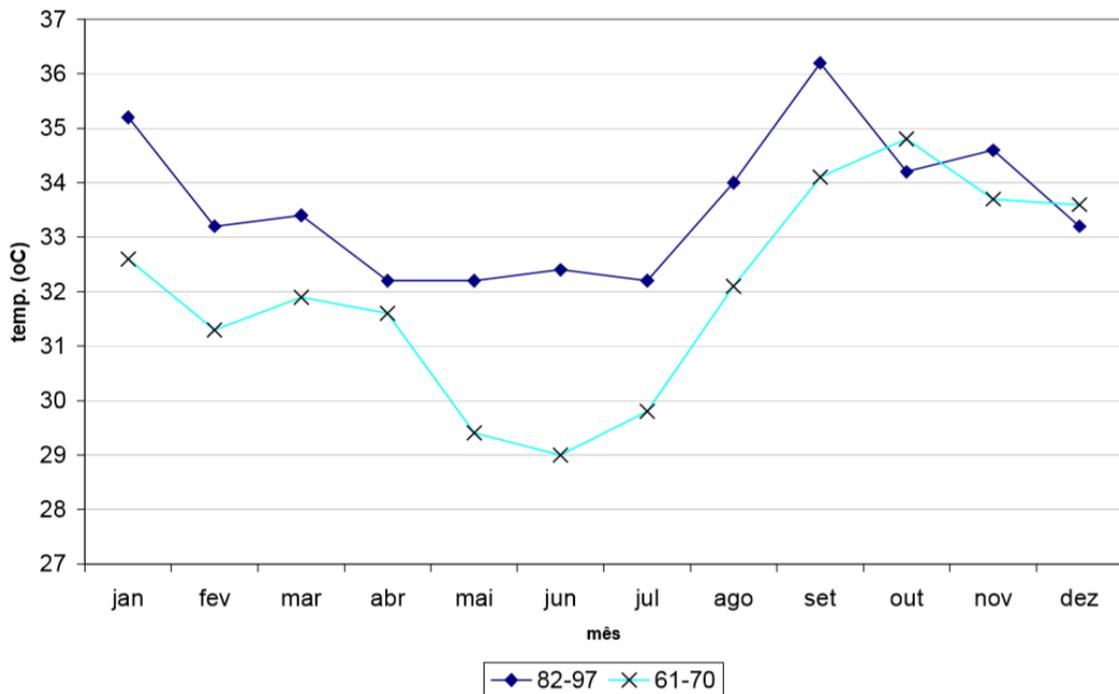


Figura 5.4 – Registro das máximas temperaturas de bulbo seco mensais em outros períodos (Fonte: Maciel, 2002).

A tabela 5.10 mostra o comportamento da amplitude diária de temperatura ao longo dos meses entre 2000 e 2018. A figura 5.5 mostra, por meio de *box plots*, o comportamento da média da amplitude diária registrada ao longo de cada um dos meses nos dezenove anos. Analogamente, a figura 5.6, extraída de Maciel (2002), traz a mesma informação, porém para séries históricas mais antigas. Para que se possa comparar os resultados das figuras 5.5 e 5.6, deve-se olhar para a linha que liga todos os valores médios de cada mês da figura 5.5, cujo exato valor numérico pode ser observado na tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Amplitude diária de temperatura (2000-2018) (°C).

	MAX	99%	95%	90%	MÉD	10%	5%	1%	MÍN
ANO	22,20	19,00	17,00	16,00	11,12	7,00	6,00	4,00	2,00
JAN	18,00	15,00	13,00	12,68	9,00	6,00	5,00	3,00	2,00
FEV	17,00	14,00	13,00	13,00	9,51	7,00	6,00	4,00	2,00
MAR	17,00	15,00	13,00	12,00	9,30	6,80	6,00	4,00	2,00
ABR	16,00	15,00	14,00	13,00	9,97	7,00	6,00	5,00	4,00
MAI	18,00	17,00	16,00	15,00	11,77	8,00	7,00	5,00	4,00
JUN	20,00	18,00	17,00	16,00	12,87	10,00	9,00	6,00	3,00
JUL	21,87	20,00	18,00	17,00	13,91	11,00	10,00	8,00	5,00
AGO	22,20	20,00	18,00	18,00	14,37	11,00	10,00	7,00	6,00
SET	22,00	20,00	19,00	17,00	13,44	10,00	8,51	5,00	5,00
OUT	20,00	18,00	17,00	16,00	11,31	7,66	6,00	3,00	2,00
NOV	19,00	16,00	13,00	12,00	8,93	6,00	5,00	3,00	2,00
DEZ	18,00	15,00	13,00	12,00	8,97	6,00	5,00	3,00	2,00

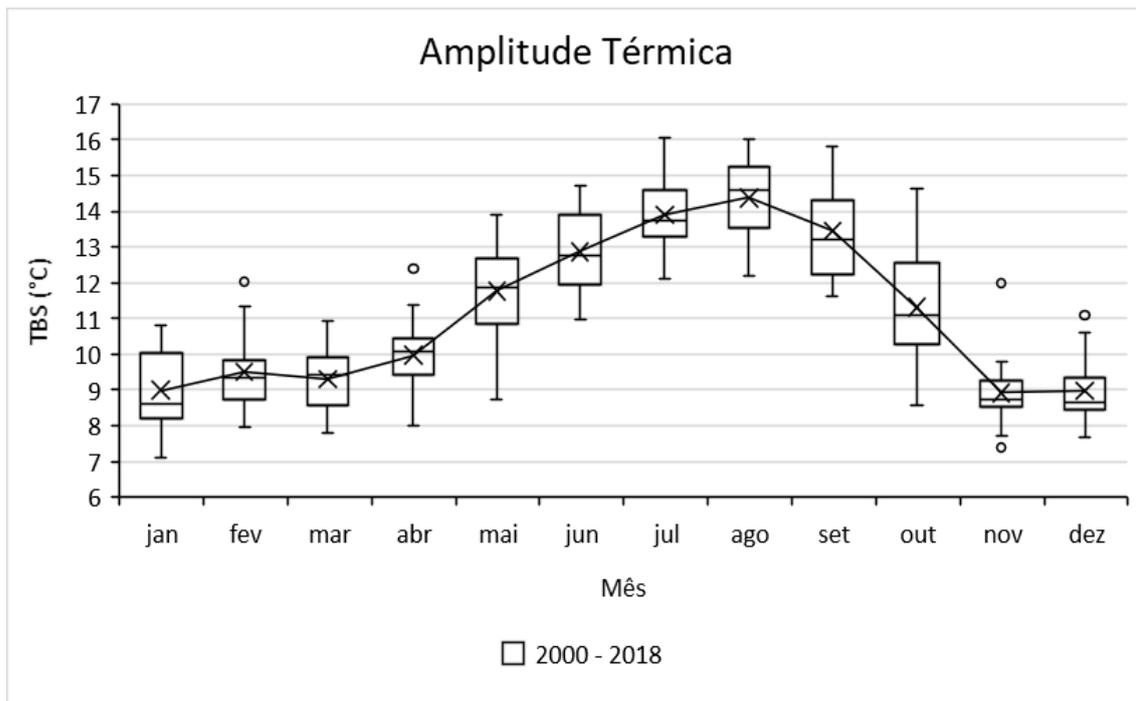


Figura 5.5 – Amplitude térmica média mensal (2000-2018).

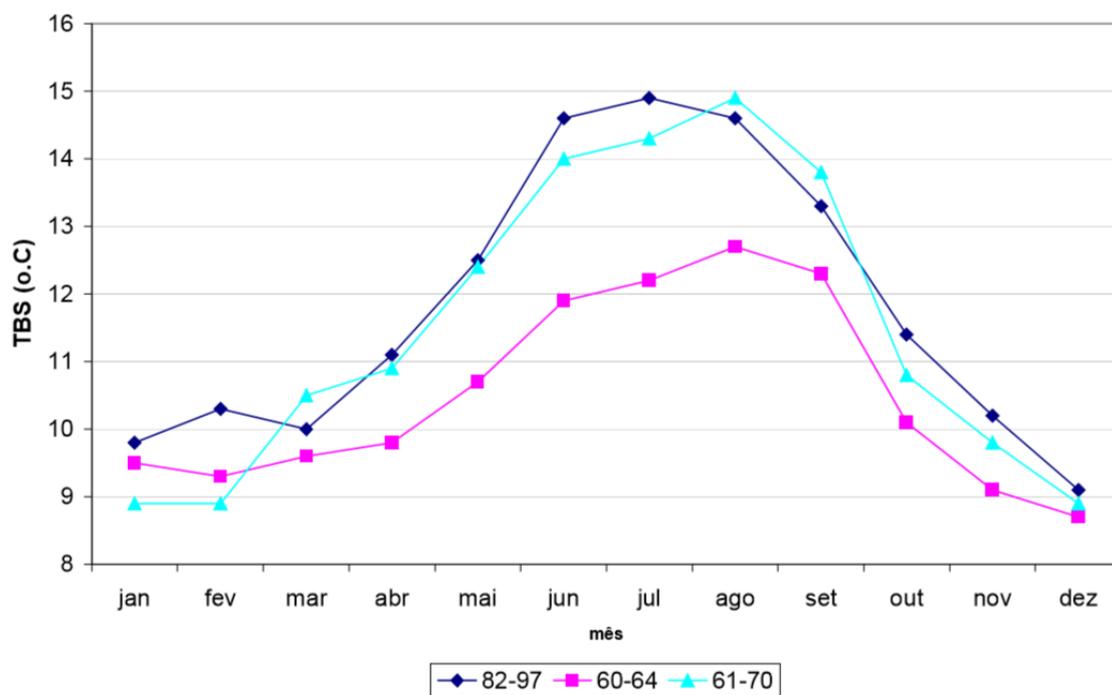


Figura 5.6 – Amplitude térmica média mensal em outros períodos (Fonte: Maciel, 2002).

As tabelas 5.11 e 5.12 trazem, respectivamente, o horário de ocorrência das temperaturas máximas e mínimas diárias, e um resumo estatístico da temperatura de bulbo úmido para o período de 2000 a 2018.

Tabela 5.11 – Horário de ocorrência das temperaturas máximas e mínimas diárias (2000-2018) (horas).

	Hora das Máximas	Média Temp.	Hora das Mínimas	Média Temp.
JAN	14,20		5,18	
FEV	14,26		5,20	
MAR	14,09		5,37	
ABR	14,47		5,42	
MAI	14,65		5,56	
JUN	14,85		5,60	
JUL	15,04		5,56	
AGO	14,88		5,65	
SET	14,64		5,54	
OUT	14,06		5,37	
NOV	13,99		5,39	
DEZ	13,96		5,34	

Tabela 5.12 – Temperatura de bulbo úmido (2000-2018) (°C).

	MAX	99%	95%	90%	MÉD	10%	5%	1%	MÍN
ANO	27,77	21,64	20,56	20,00	16,86	12,70	11,40	9,25	4,96
JAN	25,33	22,27	21,32	20,77	18,86	16,93	16,33	15,18	12,70
FEV	27,14	22,00	21,11	20,56	18,83	16,96	16,33	15,29	13,68
MAR	26,37	22,00	21,05	20,56	18,93	17,24	16,60	15,08	11,52
ABR	24,19	21,73	20,77	20,23	18,18	15,73	14,99	13,60	8,95
MAI	26,80	20,85	19,52	18,79	16,13	13,23	12,12	10,20	7,41
JUN	23,50	19,05	17,87	17,18	14,44	11,37	10,48	8,82	6,83
JUL	21,59	17,98	16,73	16,09	13,28	10,20	9,15	7,74	4,96
AGO	21,32	18,17	16,93	16,28	13,49	10,48	9,57	8,18	5,01
SET	27,15	20,00	19,05	18,29	15,26	11,85	10,69	9,04	6,38
OUT	24,01	21,46	20,28	19,72	17,39	14,51	13,45	11,79	9,03
NOV	23,62	21,74	20,84	20,38	18,74	17,04	16,38	15,08	11,55
DEZ	27,77	22,00	21,05	20,56	18,90	17,24	16,60	15,42	9,76

A tabela 5.13 informa como se comportou a umidade relativa média ao longo do período estudado. A figura 5.7 ilustra, por meio de *box plots*, essa umidade relativa média mensal ao longo de cada um dos meses nos dezenove anos. A figura 5.8, extraída de Maciel (2002) traz a mesma informação da figura 5.7, porém para séries históricas mais antigas. Para que se possa comparar os resultados das figuras 5.7 e 5.8, deve-se olhar para a linha que liga todos os valores médios de cada mês da figura 5.7, cujo exato valor numérico pode ser observado na tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Umidade relativa média mensal (2000-2018) (%).

	ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MÁX	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
MÉD	66,1	74,0	74,0	76,2	72,2	67,3	63,6	57,1	49,8	51,0	59,7	74,1	74,4
MÍN	10,4	19,6	19,3	22,2	19,1	14,5	15,4	15,4	13,7	13,0	10,4	17,5	19,8

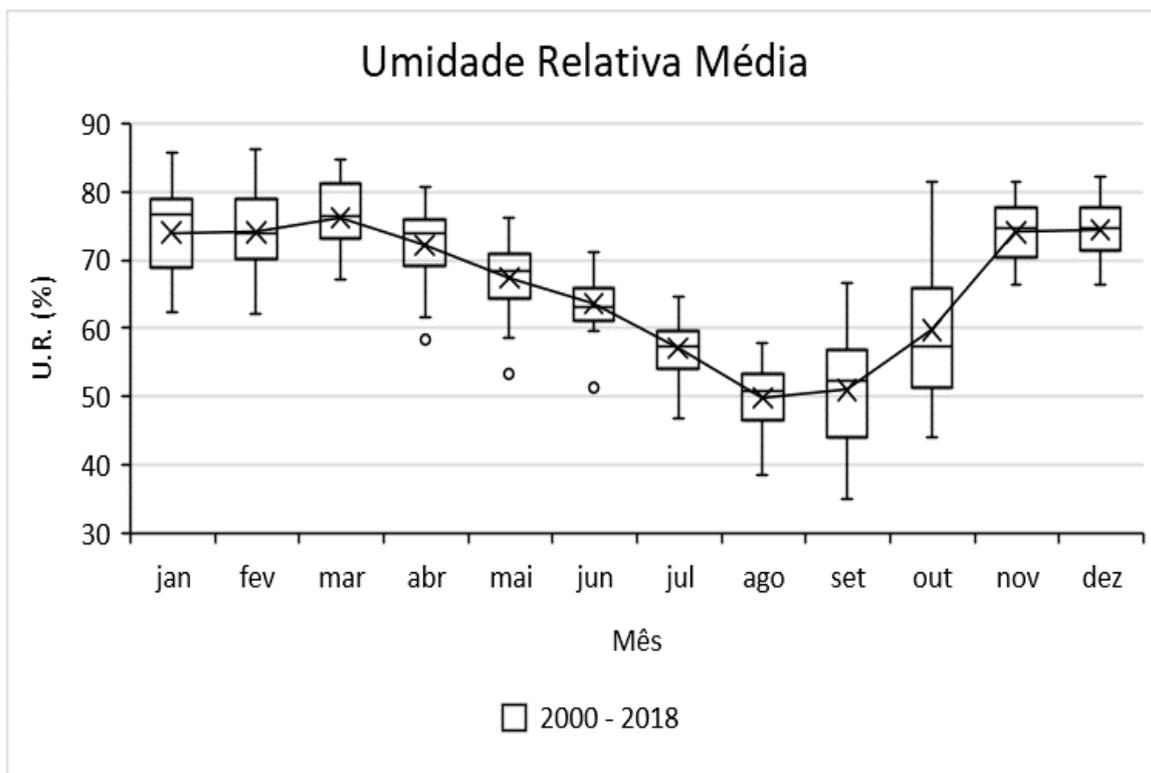


Figura 5.7 – Umidade relativa média mensal (2000-2018).

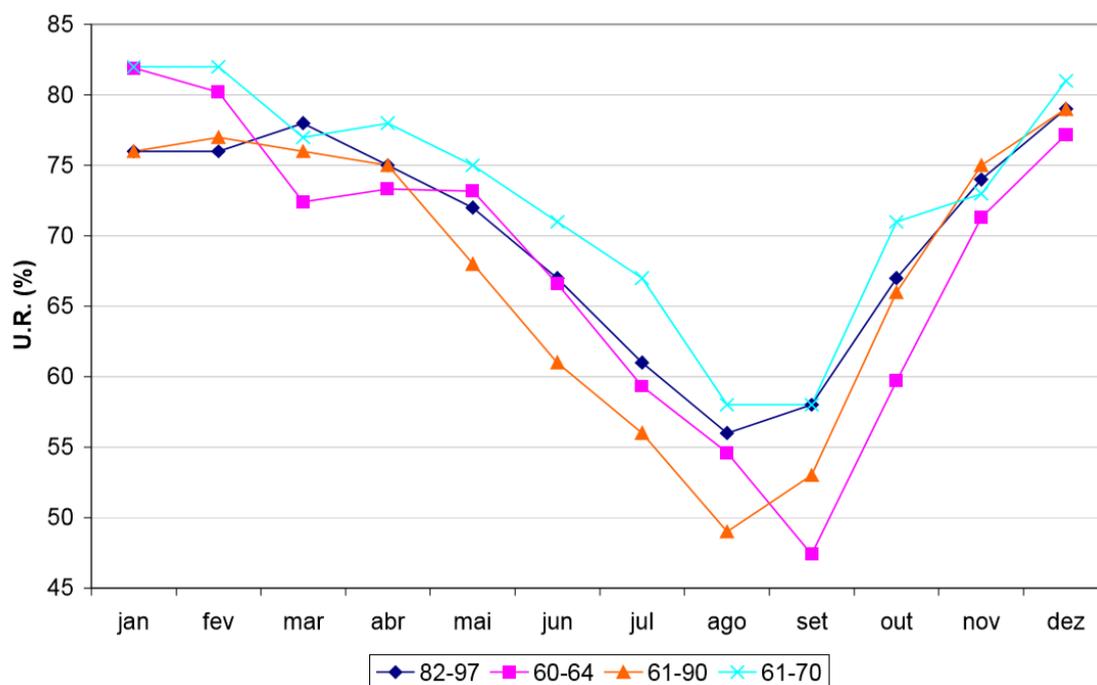


Figura 5.8 – Umidade relativa média mensal em outros períodos (Fonte: Maciel, 2002).

Comparando-se o que se obteve nesse estudo com o que se tem para décadas anteriores, constata-se uma diminuição geral da umidade relativa ao longo dos meses.

Uma tendência possível ser observada foi entre as médias mensais da umidade relativa e da amplitude, conforme ilustrado na figura 5.9. Essas duas grandezas são inversamente proporcionais. Conforme a umidade relativa aumenta a amplitude térmica diminui.

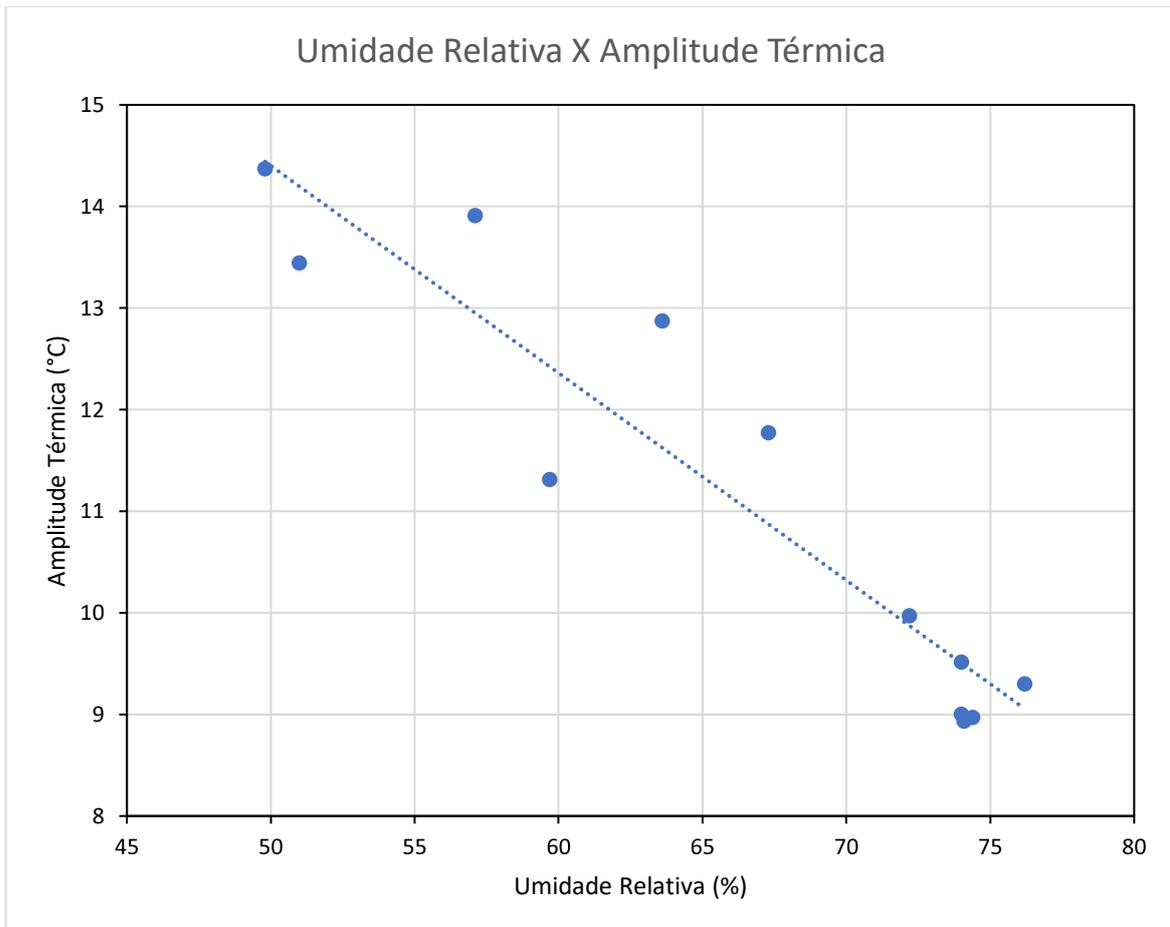


Figura 5.9 – Umidade Relativa X Amplitude Térmica (2000-2018)

A tabela 5.14 resume o comportamento da velocidade dos ventos ao longo de cada um dos anos compreendidos entre 2000 e 2018.

Tabela 5.14 – Velocidade dos ventos (m/s).

	MÁX	99%	95%	90%	MÉD	10%
2000	22,00	8,00	6,00	6,00	2,78	0,00
2001	51,00	7,20	5,70	5,00	1,87	0,00
2002	59,70	7,20	5,70	5,00	1,95	0,00
2003	58,00	7,20	5,70	5,00	2,13	0,00
2004	53,00	7,70	6,00	5,20	2,31	0,00
2005	9,30	7,00	5,70	5,00	2,14	0,00
2006	9,00	7,00	5,70	5,00	2,17	0,00
2007	12,00	8,00	7,00	6,00	3,12	1,00
2008	16,00	8,00	6,00	5,70	3,07	1,00
2009	48,40	7,20	5,70	5,20	2,44	0,00
2010	9,80	7,70	6,20	5,20	2,71	0,00
2011	59,20	7,70	6,20	5,20	2,82	0,00
2012	12,87	7,21	6,18	5,15	2,78	0,00
2013	16,99	7,21	5,66	5,15	2,74	0,00
2014	19,56	7,21	5,66	5,15	2,50	0,00
2015	47,88	7,21	5,66	5,15	2,50	0,00
2016	15,44	7,21	6,18	5,15	2,63	0,00
2017	13,90	7,72	6,18	5,66	2,86	0,00
2018	11,33	7,21	5,66	5,15	2,38	0,00

A figura 5.10 ilustra o comportamento da velocidade do vento com o passar dos anos, observando-se uma leve tendência de aumento.

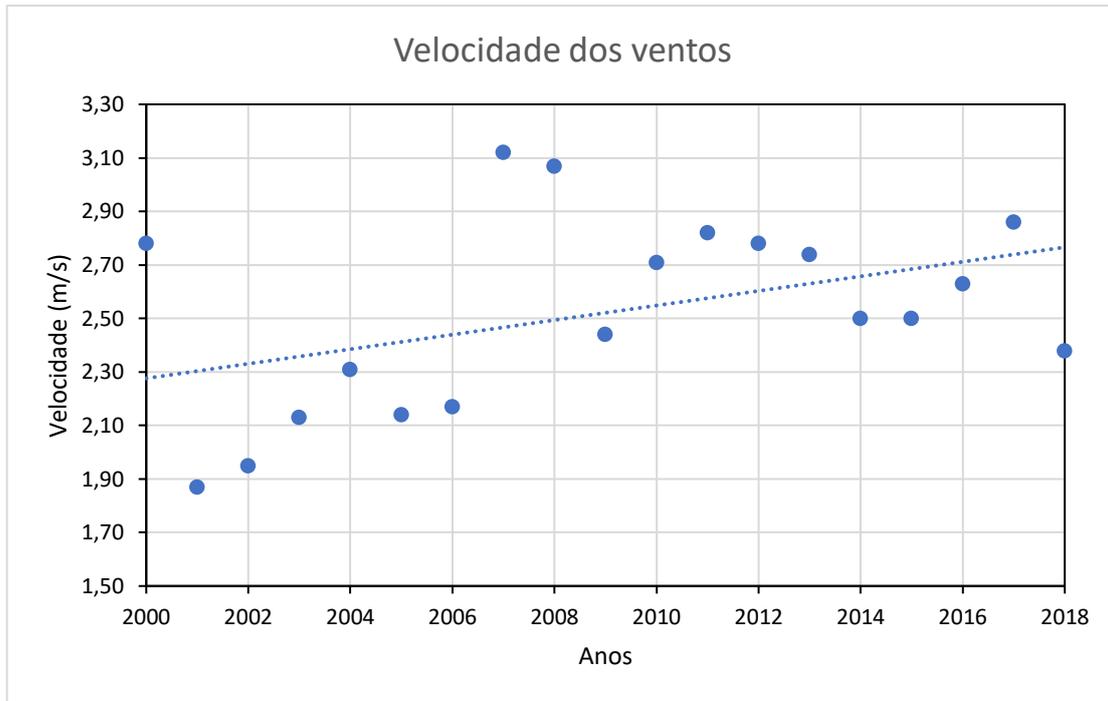


Figura 5.10 – Velocidade dos ventos (2000-2018)

Todas as figuras, da 5.11 até a 5.29, trazem a frequência percentual de para qual direção os ventos sopraram em cada um dos meses dos dezoito meses estudados.

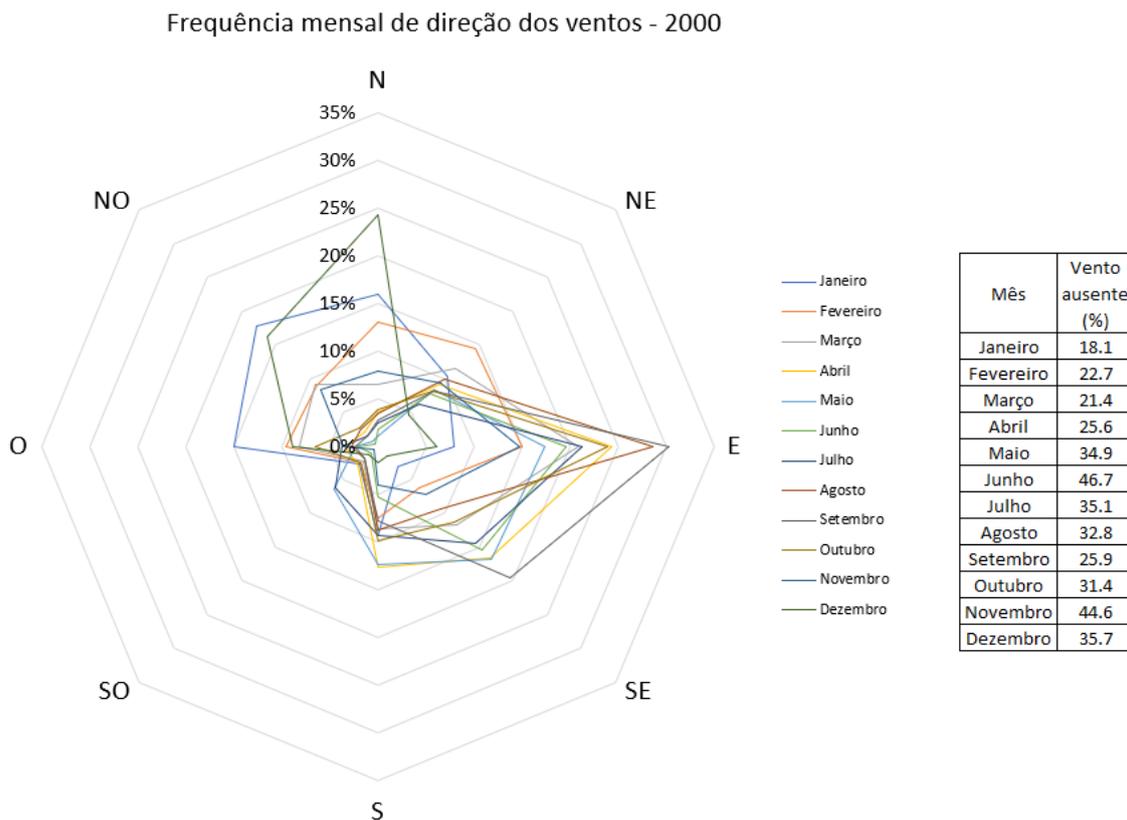


Figura 5.11 – Direção dos ventos em 2000.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2001

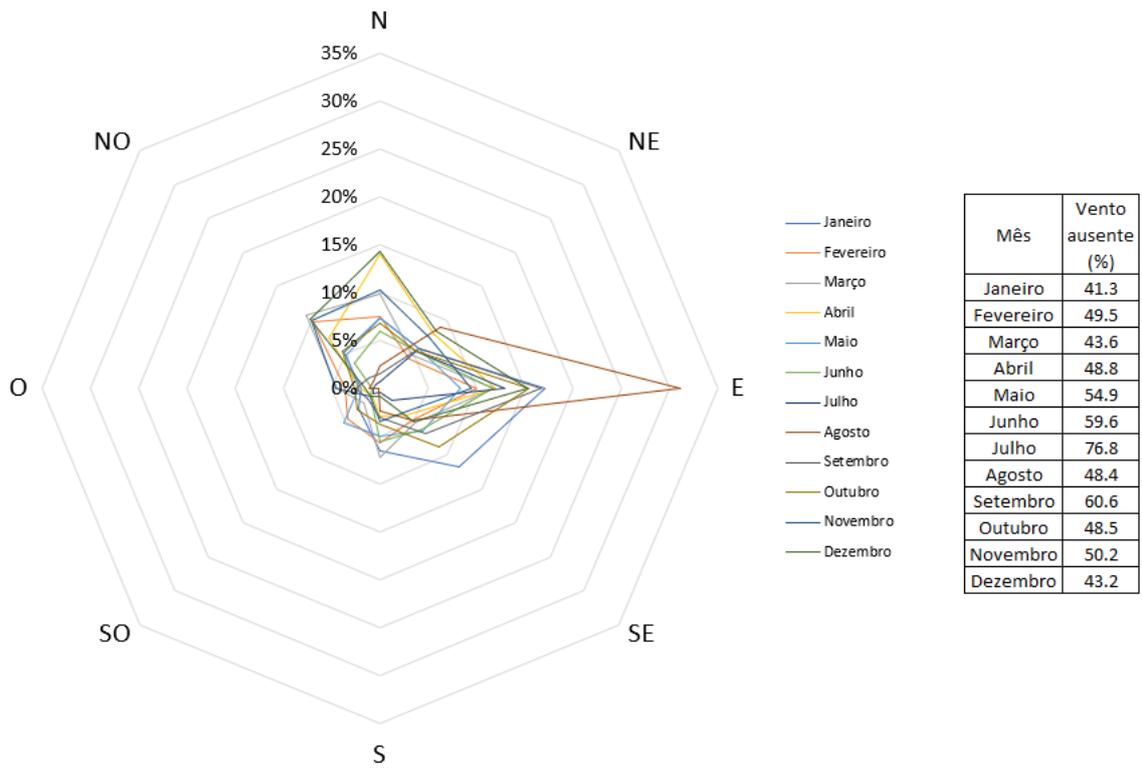


Figura 5.12 – Direção dos ventos em 2001.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2002

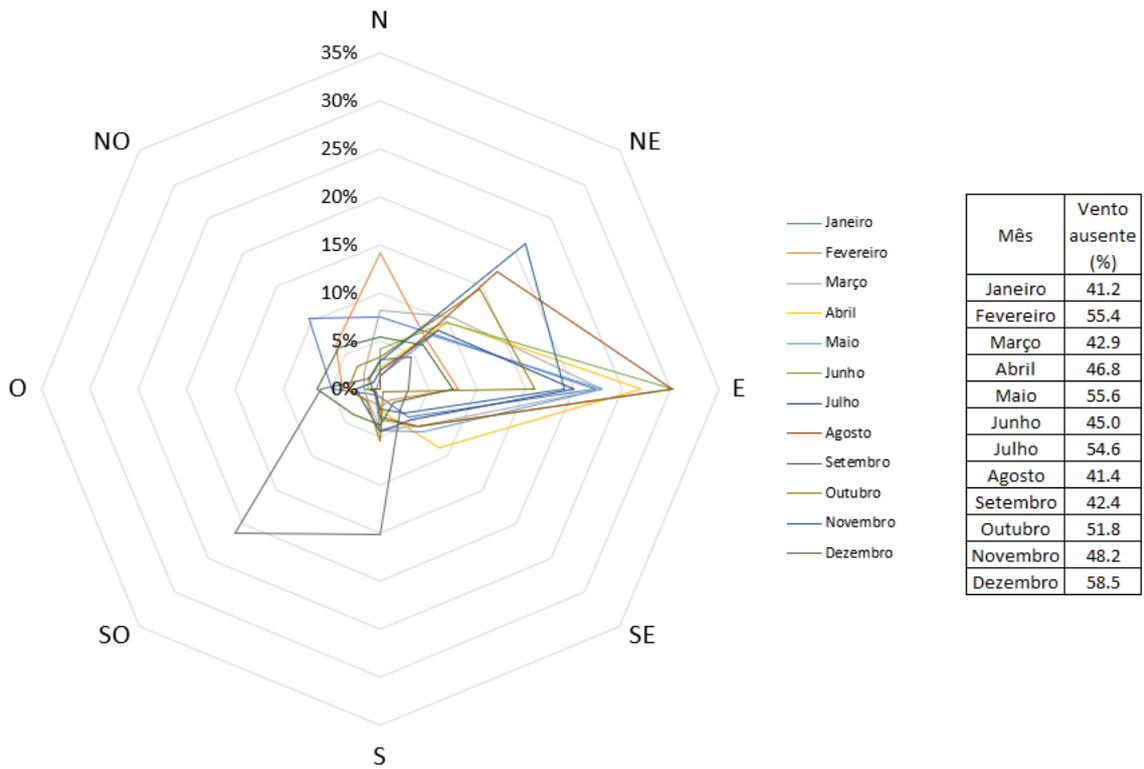


Figura 5.13 – Direção dos ventos em 2002.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2003

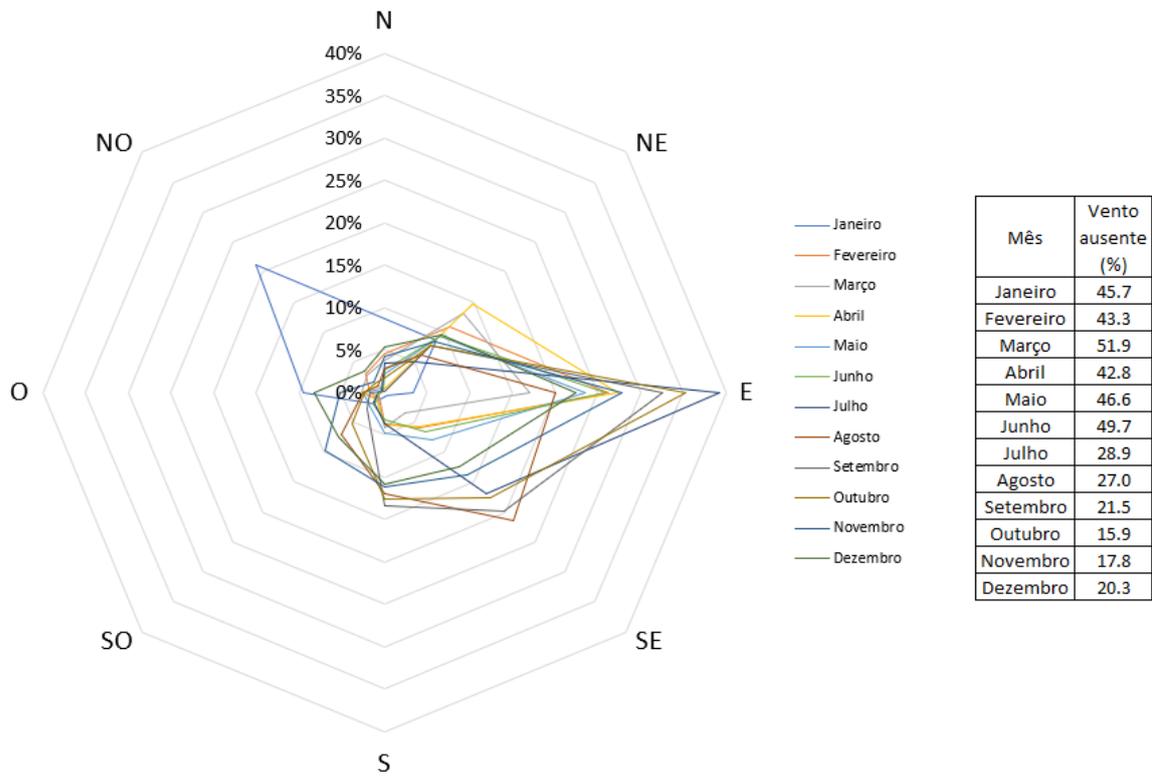


Figura 5.14 – Direção dos ventos em 2003.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2004

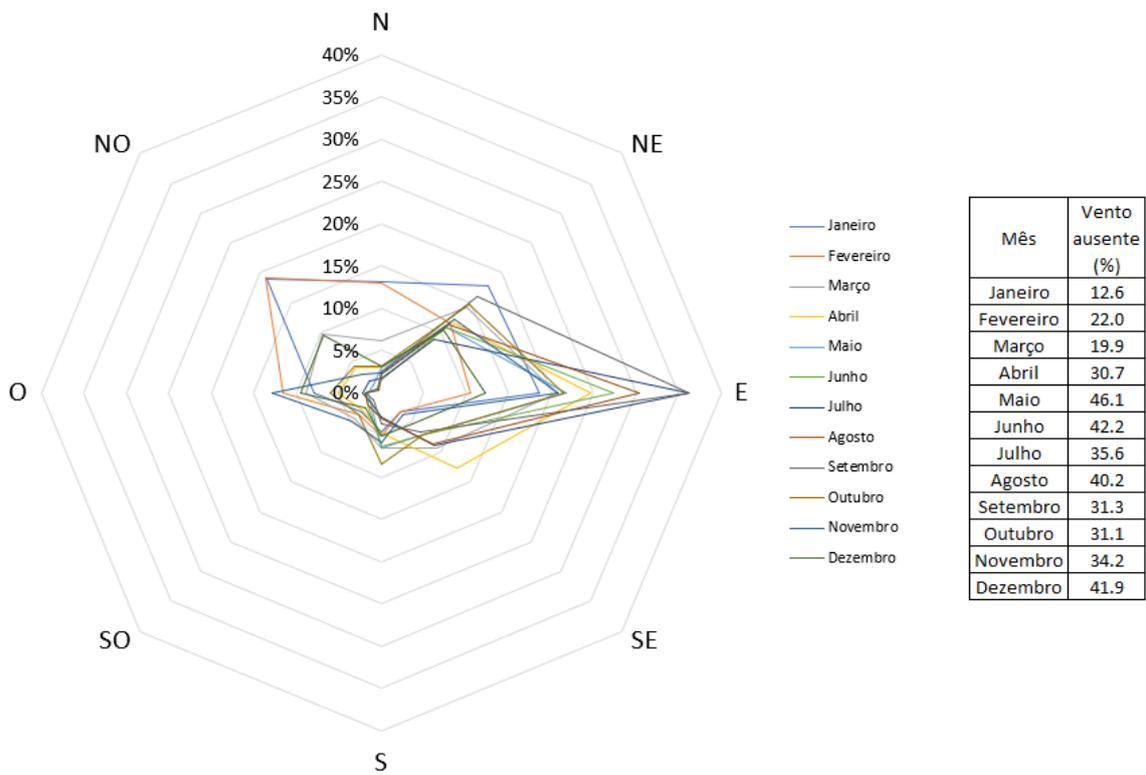


Figura 5.15 – Direção dos ventos em 2004.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2005

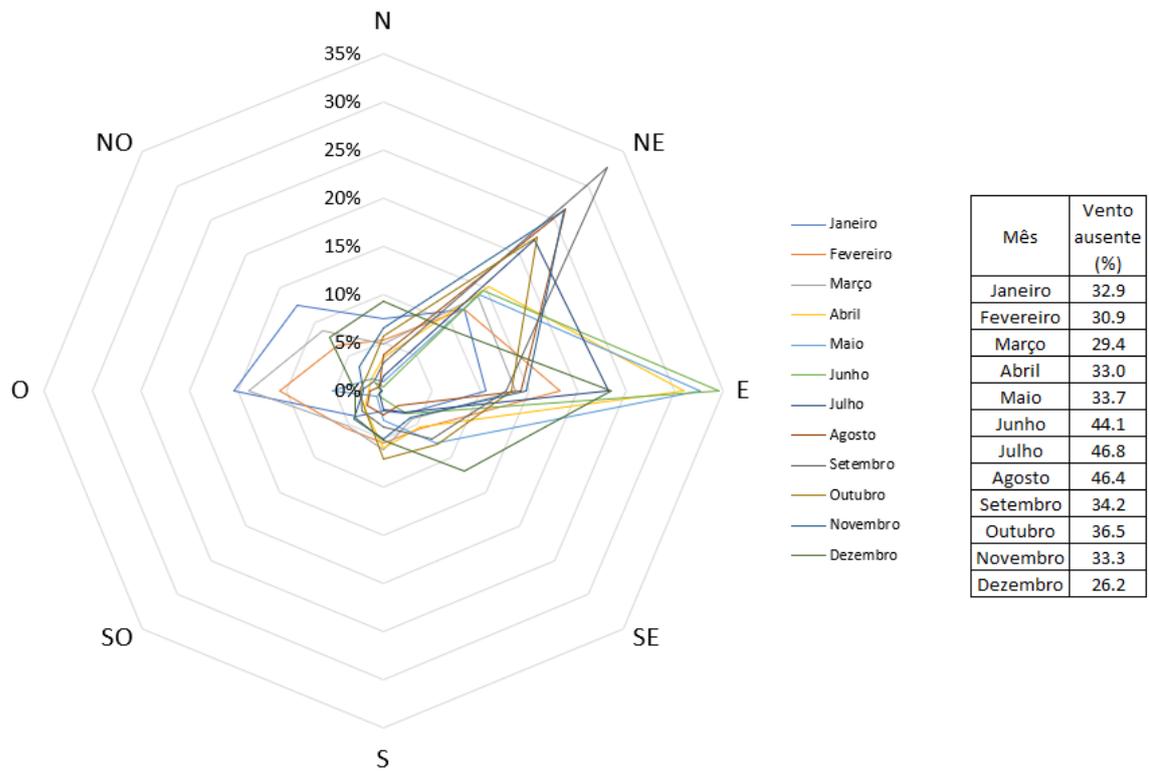


Figura 5.16 – Direção dos ventos em 2005.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2006

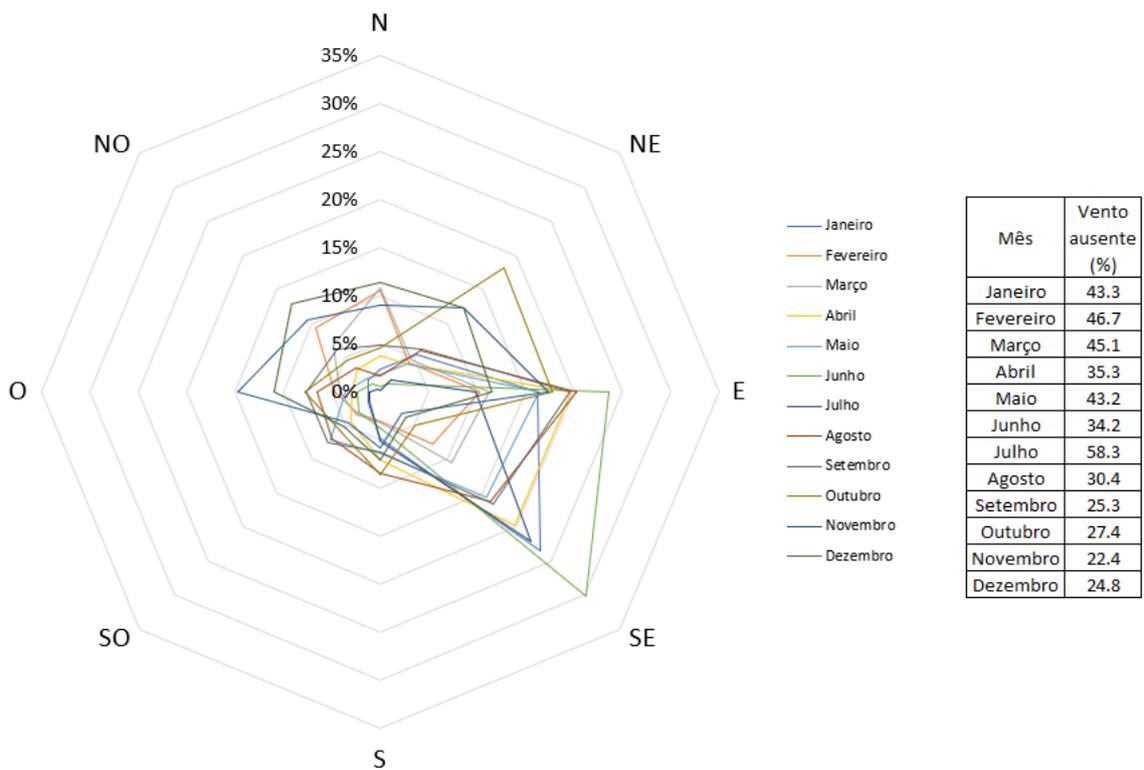


Figura 5.17 – Direção dos ventos em 2006.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2007

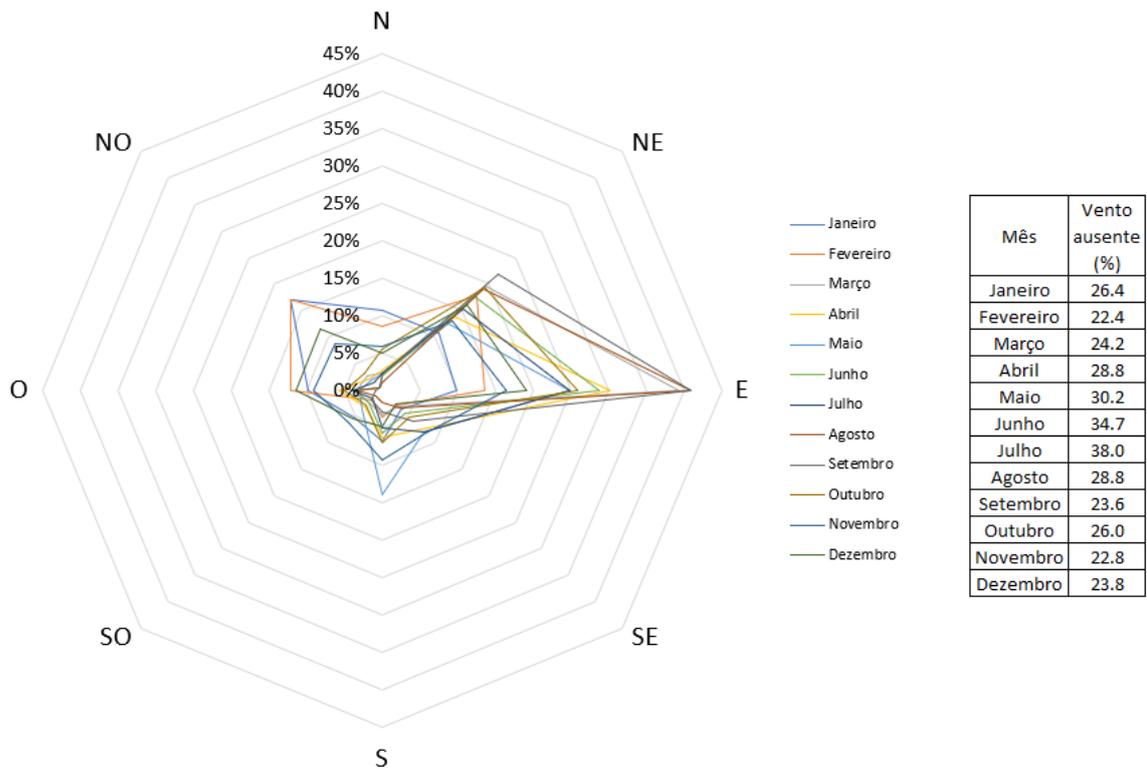


Figura 5.18 – Direção dos ventos em 2007.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2008

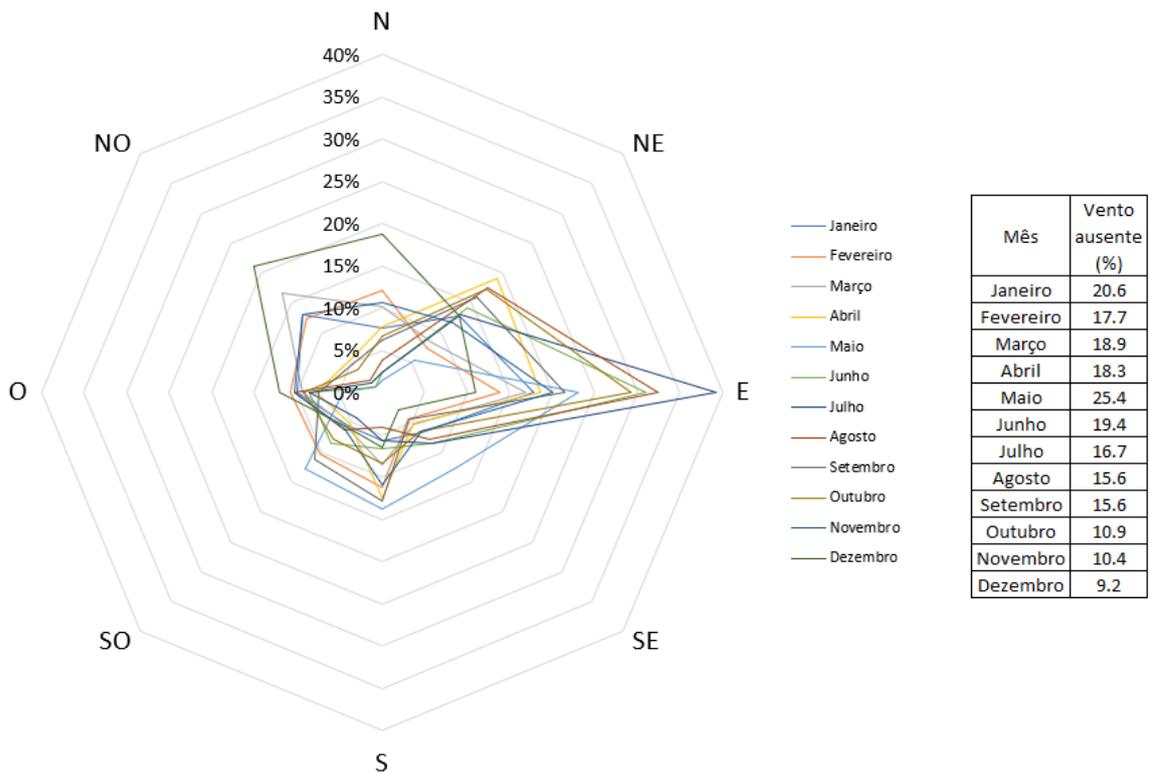


Figura 5.19 – Direção dos ventos em 2008.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2009

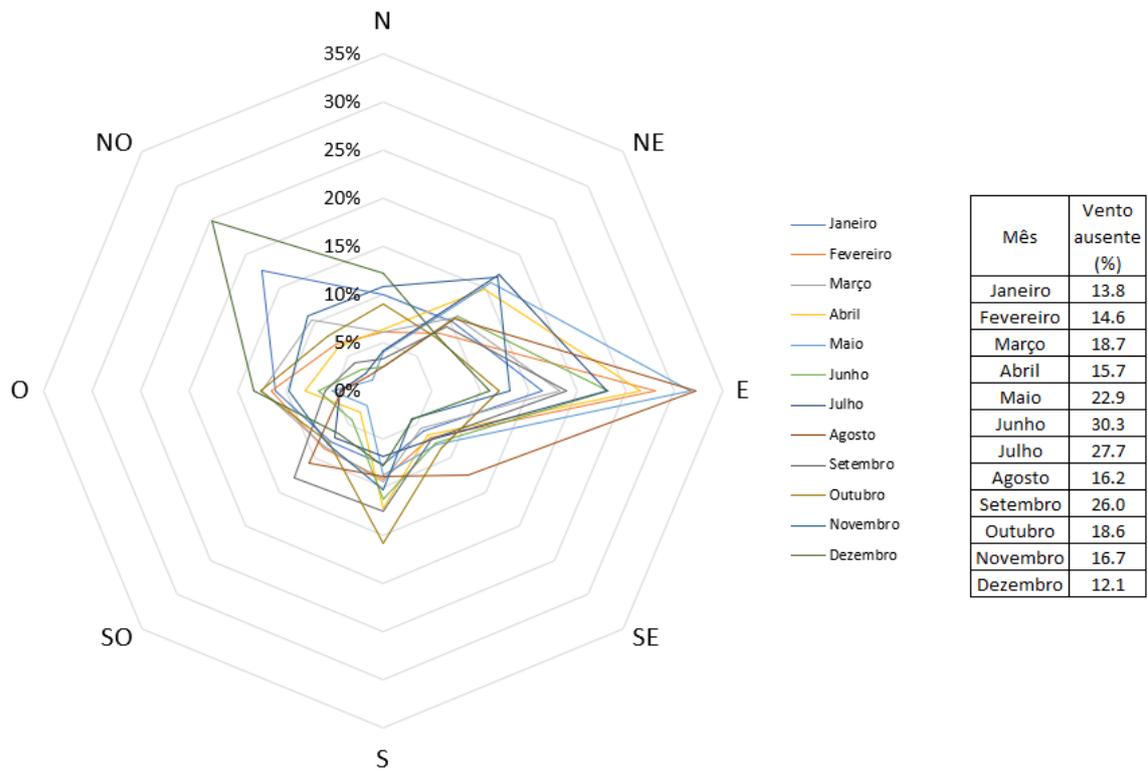


Figura 5.20 – Direção dos ventos em 2009.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2010

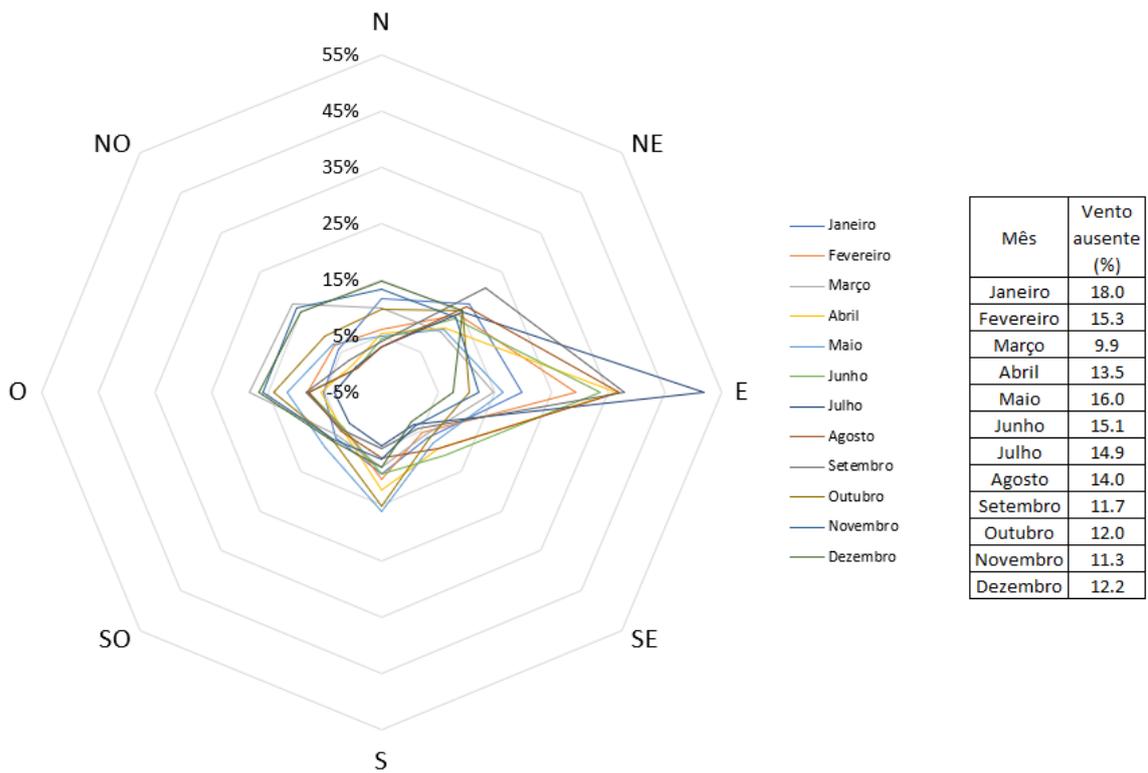


Figura 5.21 – Direção dos ventos em 2010.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2011

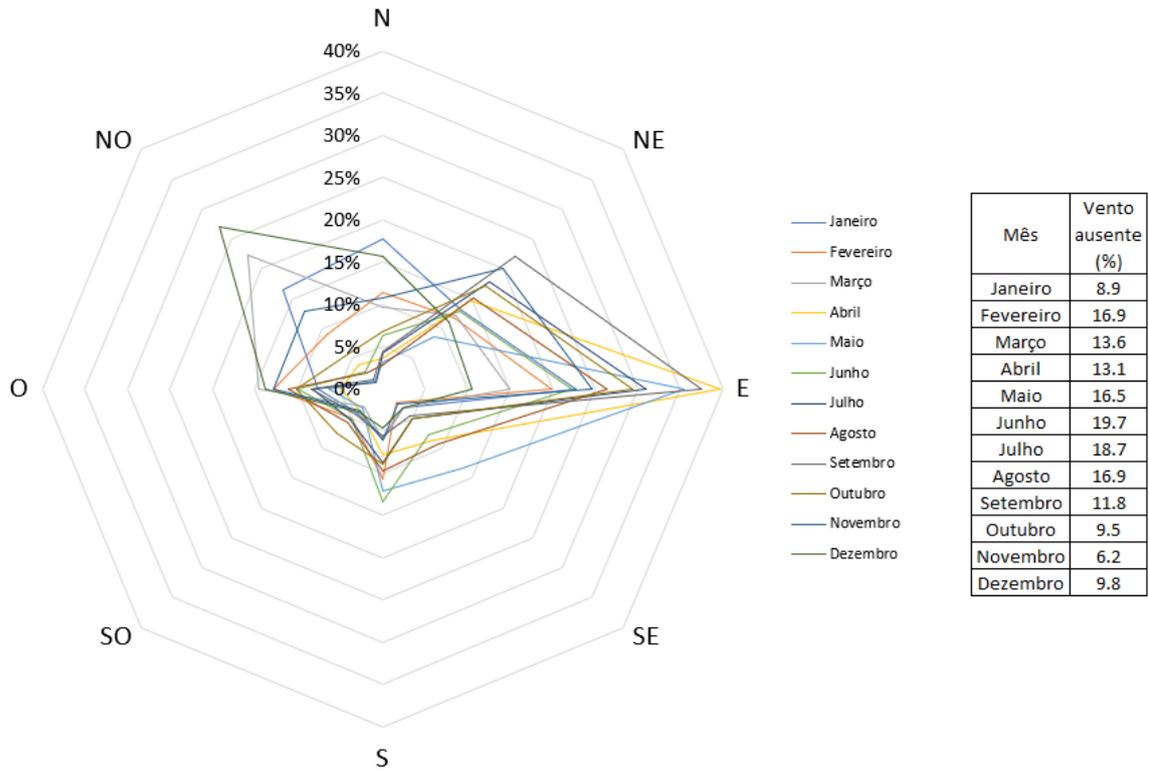


Figura 5.22 – Direção dos ventos em 2011.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2012

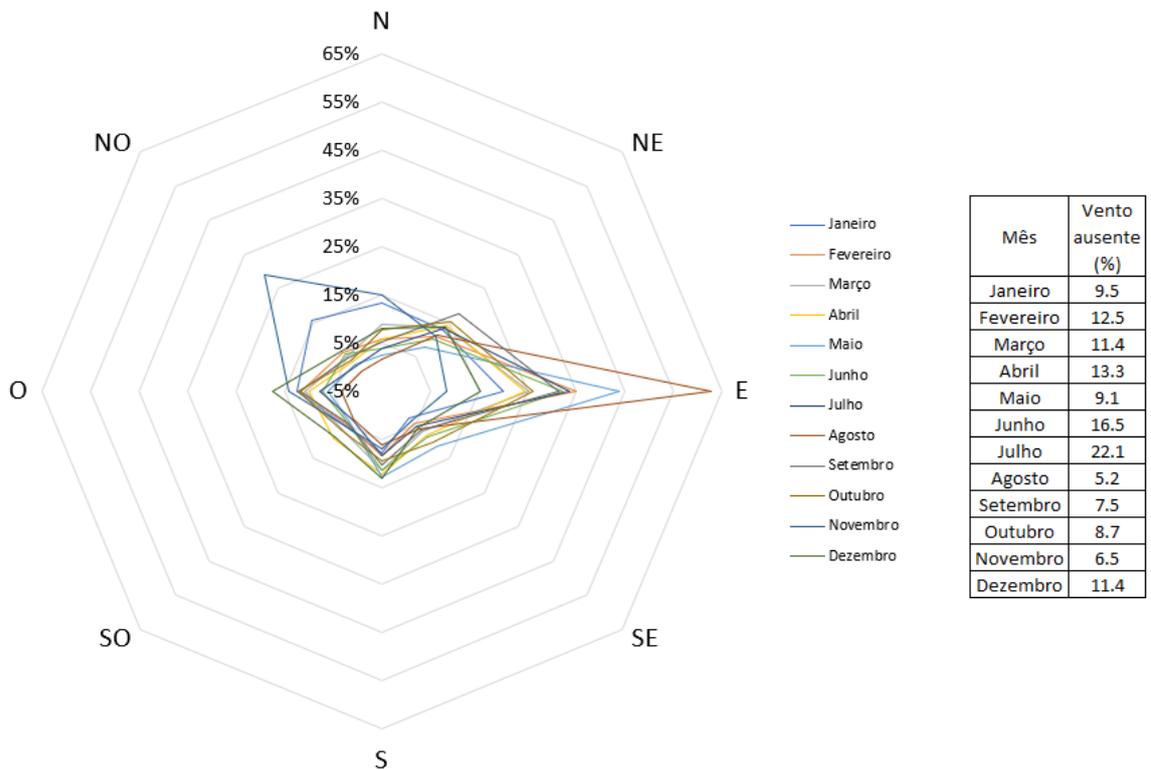


Figura 5.23 – Direção dos ventos em 2012.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2013

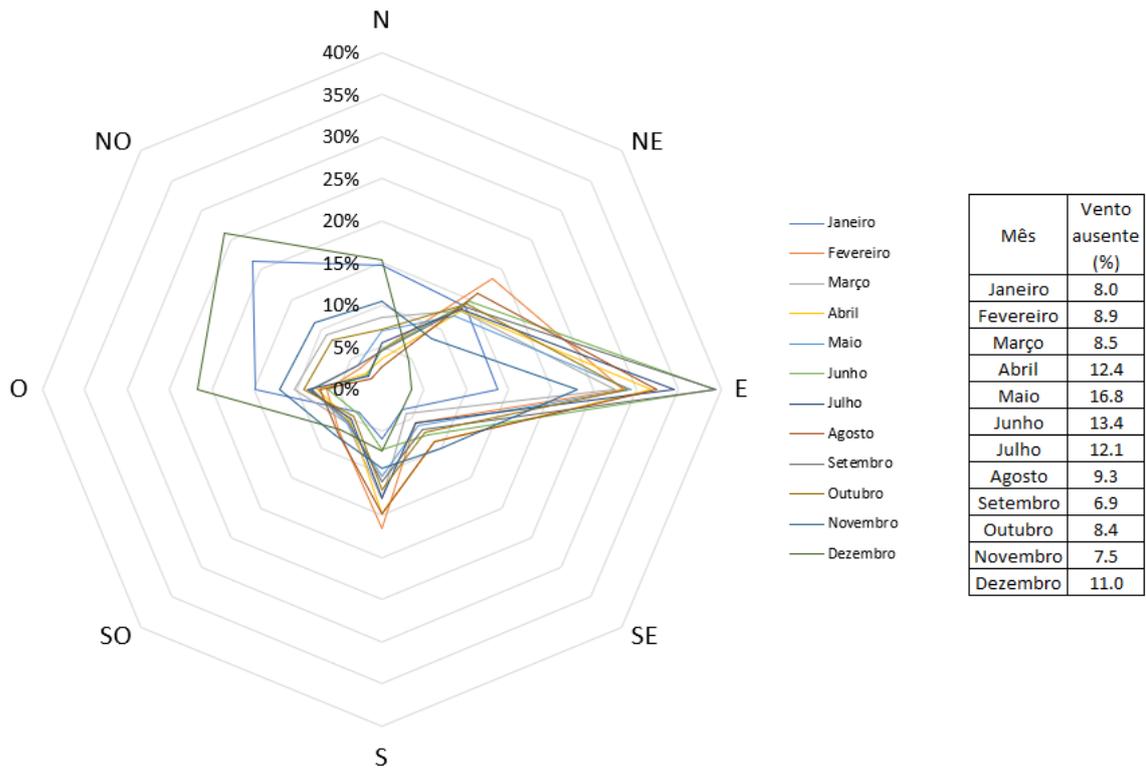


Figura 5.24 – Direção dos ventos em 2013.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2014

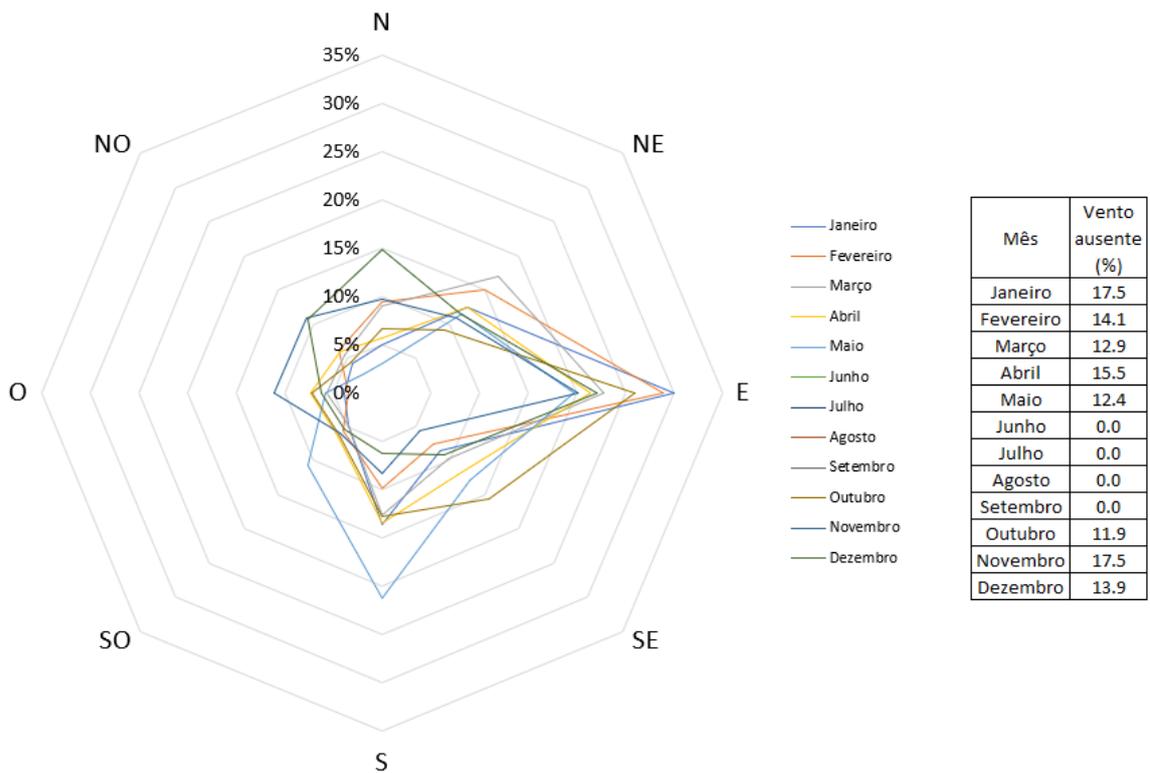


Figura 5.25 – Direção dos ventos em 2014.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2015

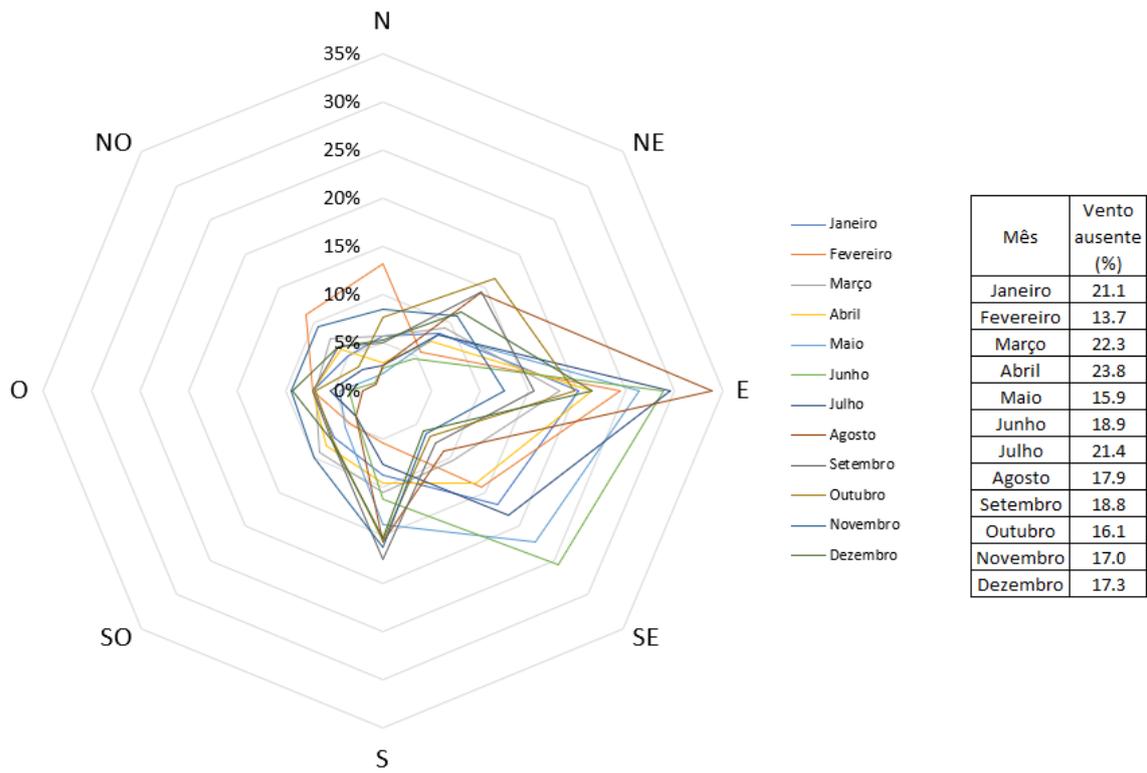


Figura 5.26 – Direção dos ventos em 2015.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2016

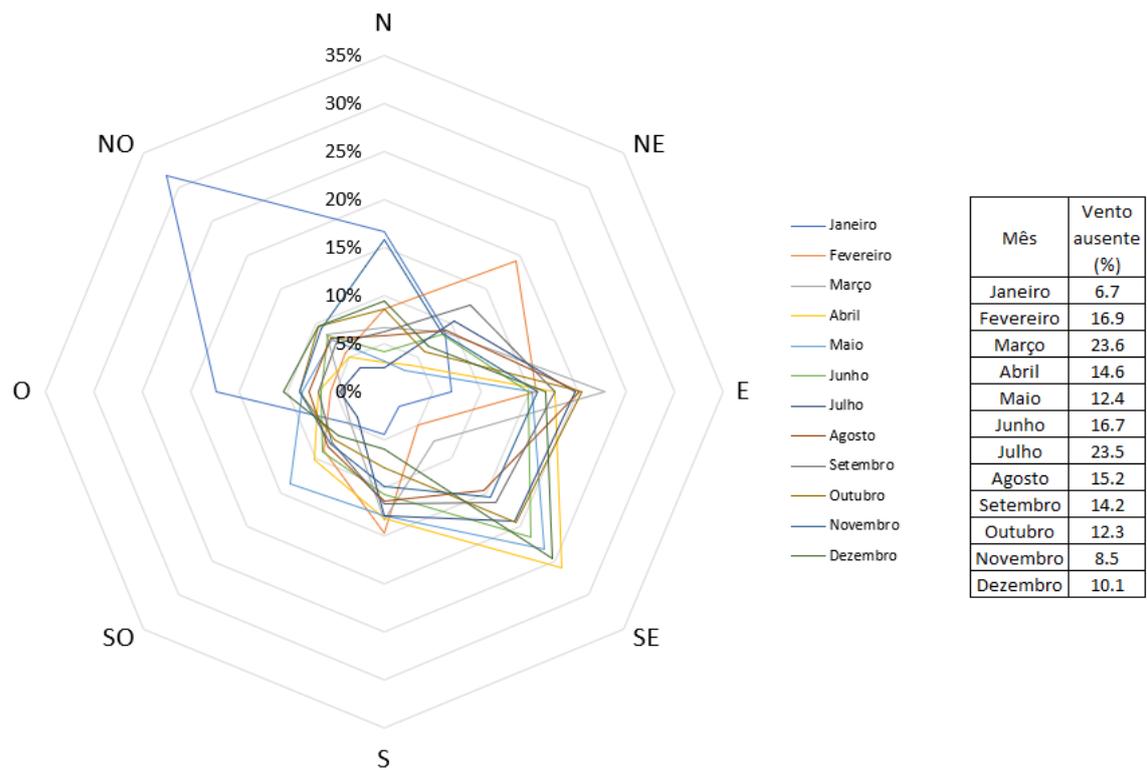


Figura 5.27 – Direção dos ventos em 2016.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2017

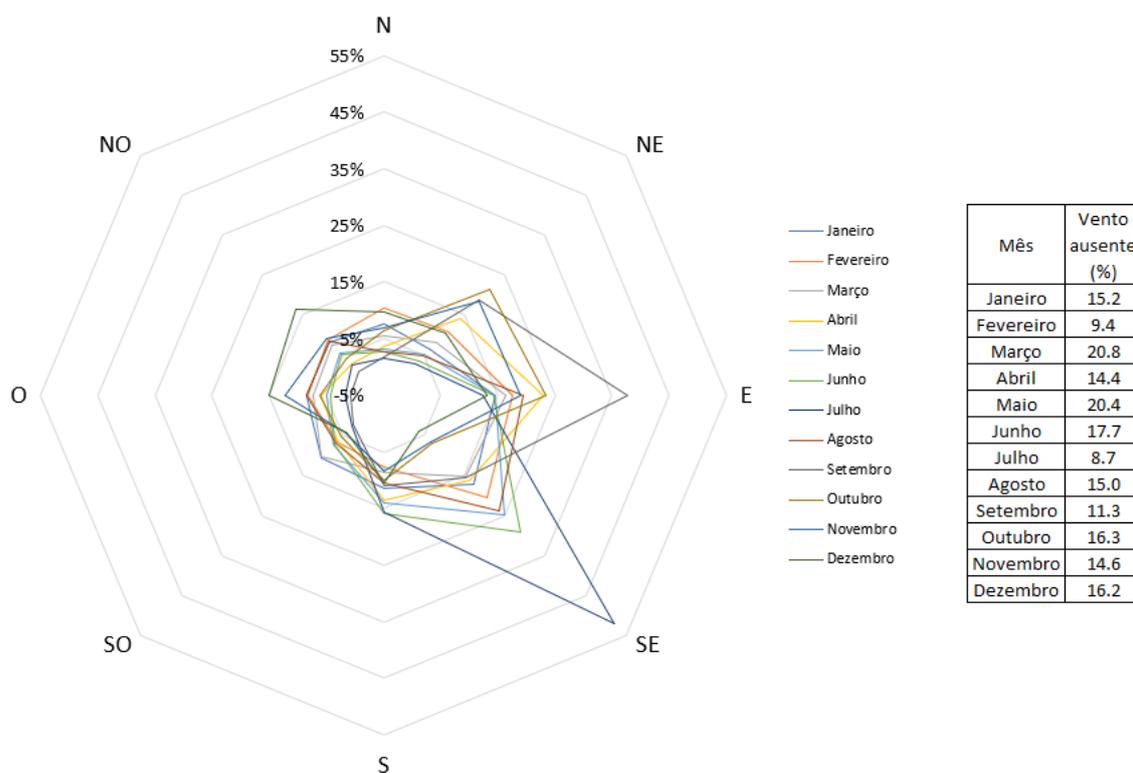


Figura 5.28 – Direção dos ventos em 2017.

Frequência mensal de direção dos ventos - 2018

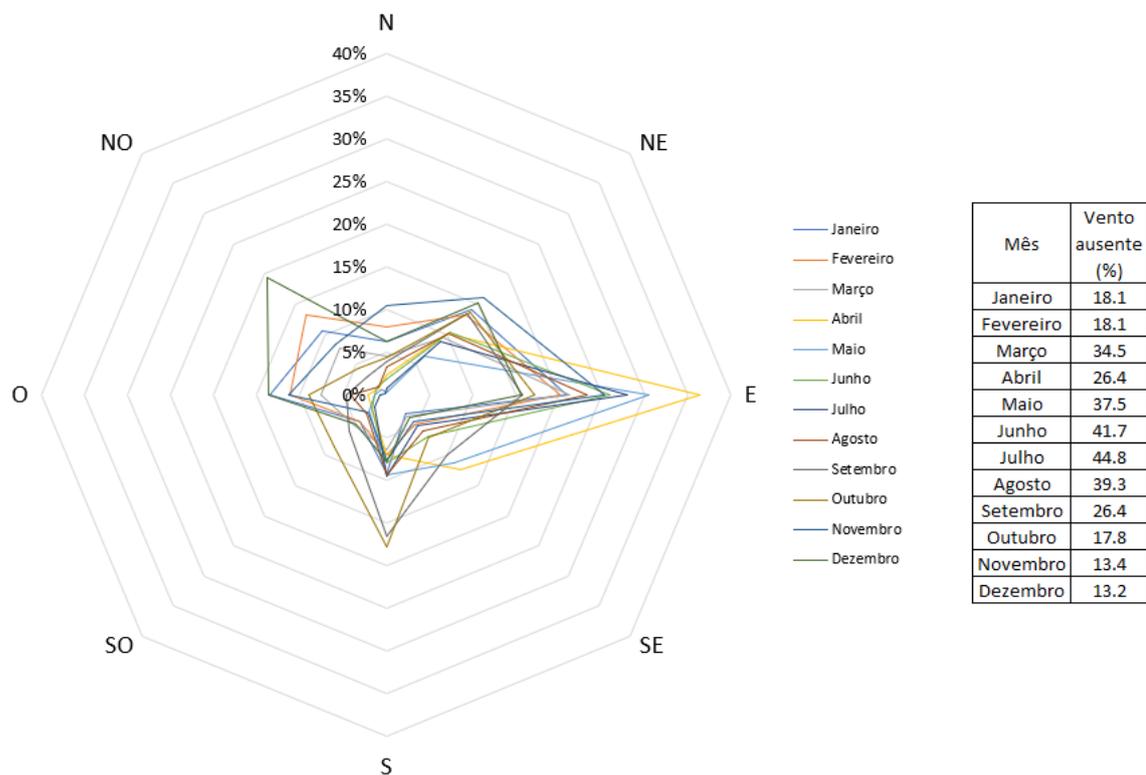


Figura 5.29 – Direção dos ventos em 2018.

5.4 DETERMINAÇÃO DO ACR

As tabelas 5.15, 5.16 e 5.17 mostram todo o processo de escolha do ACR para o período de 2000 a 2018. A tabela 5.15 foi preenchida de modo a apresentar a média da temperatura mensal em cada ano. Posteriormente, tirou-se a média final de cada um dos meses (levando-se em consideração todos os anos juntos), encontrando-se os mesmos valores que também já tinham sido mostrados na tabela 5.9. Ao final, ordenou-se cada um dos meses do mais quente ao mais frio. A partir daí, deu-se prosseguimento ao método de Stamper (1977), onde se foi anotando os meses mais extremos nas tabelas 5.16 e depois na 5.17 e por consequência os anos que continham tais meses iam sendo eliminados. Esses meses extremos que iam sendo eliminados também eram registrados na tabela 5.15. Ao final, chegou-se ao ano de 2003 como sendo o ACR do intervalo de 2000 a 2018.

Tabela 5.15 – Ranqueamentos dos meses mais quentes e frios e marcação dos meses extremos.

	1 (°C)	2 (°C)	3 (°C)	4 (°C)	5 (°C)	6 (°C)	7 (°C)	8 (°C)	9 (°C)	10 (°C)	11 (°C)	12 (°C)
2000	22,17	21,70	21,23	21,38	20,85	19,68	19,31	21,51	21,67	24,00	21,50	23,02
2001	23,42	23,24	22,16	22,29	21,02	19,56	19,76	19,99	23,02	22,59	22,72	22,88
2002	23,31	22,38	22,82	22,66	21,16	19,35	20,24	21,34	21,47	24,76	22,56	22,50
2003	22,58	22,83	21,51	22,29	19,91	19,01	18,04	20,15	22,03	22,02	21,60	22,74
2004	23,22	22,78	23,06	22,47	22,23	19,71	19,49	21,90	24,71	24,91	22,72	22,31
2005	21,92	22,34	21,55	21,89	19,58	18,64	18,24	20,47	22,79	24,40	21,42	20,76
2006	21,81	21,89	21,33	21,03	19,71	17,73	18,21	21,15	21,81	21,20	21,50	21,69
2007	21,94	21,39	22,41	21,80	20,22	19,00	19,51	19,63	22,74	23,68	22,57	21,91
2008	21,64	21,38	21,17	22,03	19,07	19,07	18,19	20,91	22,89	24,15	21,81	22,00
2009	22,98	22,95	23,15	21,81	20,91	19,94	20,37	20,30	22,80	22,83	23,20	22,23
2010	22,55	22,34	23,25	22,48	22,36	19,97	20,14	20,68	23,53	24,32	22,65	23,15
2011	23,11	22,69	22,28	22,04	20,44	19,57	19,56	21,77	22,94	21,42	21,86	21,79
2012	21,25	22,25	22,53	22,83	19,97	20,68	19,63	20,13	23,51	24,11	22,21	23,22
2013	22,12	23,48	22,93	21,53	21,10	20,49	19,99	20,54	22,93	23,04	23,18	23,25
2014	23,45	23,41	23,19	23,43	22,20	19,22	18,59	21,03	23,35	24,94	23,68	23,24
2015	23,57	22,05	20,86	21,69	19,75	19,13	20,13	20,08	23,27	24,55	23,71	23,12
2016	22,15	23,22	22,53	23,10	21,98	19,80	19,72	20,96	23,20	23,96	22,73	23,66
2017	23,56	23,02	23,42	22,91	21,85	20,00	17,54	21,51	21,44	24,83	22,65	22,42
2018	22,77	22,34	22,29	20,66	18,76	18,11	17,63	20,46	22,07	23,18	21,99	22,75
Temperatura média de cada mês	22,61	22,51	22,30	22,12	20,69	19,40	19,17	20,76	22,75	23,63	22,43	22,56
Ranking dos meses	3º + quente	5º + quente	6º + frio	5º + frio	3º + frio	2º + frio	1º + frio	4º + frio	2º + quente	1º + quente	6º + quente	4º + quente

Tabela 5.16 – Anotação dos anos que iam sendo eliminados.

MÊS	ANO	T (°C)	MÊS	ANO	T (°C)
Outubro mais quente	2014	24,94	Outubro mais frio	2006	21,20
Julho mais frio	2017	17,54	Julho mais quente	2009	20,37
Setembro mais quente	2004	24,71	Setembro mais frio	2017	21,44
Junho mais frio	2006	17,73	Junho mais quente	2012	20,68
Janeiro mais quente	2015	23,57	Janeiro mais frio	2012	21,25
Maiο mais frio	2018	18,76	Maiο mais quente	2010	22,36
Dezembro mais quente	2016	23,66	Dezembro mais frio	2005	20,76
Agosto mais frio	2007	19,63	Agosto mais quente	2004	21,90
Fevereiro mais quente	2013	23,48	Fevereiro mais frio	2008	21,38
Abril mais frio	2018	20,66	Abril mais quente	2014	23,43
Novembro mais quente	2015	23,71	Novembro mais frio	2005	21,42
Março mais frio	2015	20,86	Março mais quente	2017	23,42

Tabela 5.17 – Segunda rodada com anotação dos anos que iam sendo eliminados.

MÊS	ANO	T (°C)	MÊS	ANO	T (°C)
2º Outubro mais quente	2004	24,91	2º Outubro mais frio	2011	21,42
2º Julho mais frio	2018	17,63	2º Julho mais quente	2002	20,24
2º Setembro mais quente	2010	23,53	2º Setembro mais frio	2002	21,47
2º Junho mais frio	2018	18,11	2º Junho mais quente	2013	20,49
2º Janeiro mais quente	2017	23,56	2º Janeiro mais frio	2008	21,64
2º Maio mais frio	2008	19,07	2º Maio mais quente	2004	22,23
2º Dezembro mais quente	2013	23,25	2º Dezembro mais frio	2006	21,69
2º Agosto mais frio	2001	19,99	2º Agosto mais quente	2011	21,77
2º Fevereiro mais quente	2014	23,41	2º Fevereiro mais frio	2007	21,39
2º Abril mais frio	2006	21,03	2º Abril mais quente	2016	23,10
2º Novembro mais quente	2014	23,68	2º Novembro mais frio	2000	21,50
2º Março mais frio	2008	21,17	2º Março mais quente		

5.4.1 Análises bioclimáticas

A tabela 5.18 relembra as estratégias de conforto a serem utilizadas para cada zona da carta bioclimática. As tabelas 5.19 e 5.20 são uma compilação dos resultados obtidos após a inserção dos dados completos de cada ano no Analysis Bio, mostrando o percentual de tempo em que cada ano se manteve nas diferentes zonas de conforto. Já a figura 5.30 ilustra a carta bioclimática do ano de 2003. Os resultados observados em tal figura e os vistos na tabela 5.19 para o ano de 2003 são os mesmos, diferenciando-se apenas na forma como estão expostos. Por fim a tabela 5.21 expõe como as zonas de conforto foram se alterando em Brasília com o passar do tempo. Salienta-se que nessa tabela são utilizados os ACRs de cada período estudado.

Tabela 5.18 – Estratégias de conforto para cada zona.

Zonas	Estratégias de conforto
1	Nenhuma (zona de conforto)
2	Ventilação natural
3	Resfriamento evaporativo
4	Inércia térmica para resfriamento
5	Zona de ar condicionado
6	Zona de umidificação
7	Inércia térmica para aquecimento
8	Aquecimento solar
9	Aquecimento artificial

Tabela 5.19 – Zonas de conforto ao longo dos anos.

	Zonas	2000 (%)	2001 (%)	2002 (%)	2003 (%)	2004 (%)	2005 (%)	2006 (%)	2007 (%)	2008 (%)	2009 (%)
Conforto	1	52,4	54,7	56,2	53,9	42,8	50,4	50,6	57,0	53,3	60,6
Desconforto	2	17,6	21,8	20,5	15,1	37,2	17,3	14,2	13,2	14,1	18,5
	3	3,76	4,96	5,46	2,72	7,79	3,05	1,06	2,91	3,97	3,29
	4	3,75	4,96	5,46	2,64	7,77	3,05	1,06	2,91	3,97	3,29
	5	0,0000	0,0114	0,0457	0,0114	0,1140	0,0344	0,0342	0,0114	0,0114	0,0000
	6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	7	25,9	20	19,7	26,3	15,2	28	30,3	24,8	26	18,4
	8	3,20	3,04	2,79	3,41	2,39	3,24	4,05	3,93	4,66	1,92
	9	0,1370	0,0000	0,1480	0,8680	0,1260	0,5370	0,7530	0,4570	0,9710	0,2740
Somatório das zonas por ano		106,75	109,47	110,30	104,95	113,39	105,61	102,06	105,22	106,98	106,27

Tabela 5.20 – Continuação das zonas de conforto ao longo dos anos.

	Zonas	2010 (%)	2011 (%)	2012 (%)	2013 (%)	2014 (%)	2015 (%)	2016 (%)	2017 (%)	2018 (%)	
Conforto	1	71,7	60,7	61,0	59,3	65,7	52,9	53,3	52,2	50,5	
Desconforto	2	10,1	14,7	13,5	19,5	16,8	16,6	24,5	23,6	18,4	
	3	5,01	2,79	4,22	4,37	6,31	7,80	6,00	7,36	3,65	
	4	5,01	2,76	4,22	4,37	6,31	7,79	6,00	7,36	3,65	
	5	0,0000	0,0114	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0114	0,0000
	6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	7	15	20,8	22,7	18,7	13,1	25	18,7	19,4	23,8	
	8	2,25	3,00	1,74	1,82	3,24	2,37	2,57	3,08	5,06	
	9	0,1940	0,2280	0,1260	0,1370	0,0457	0,4220	0,3880	0,4800	1,8700	
Somatório das zonas por ano		109,26	104,99	107,51	108,20	111,51	112,88	111,46	113,49	106,93	

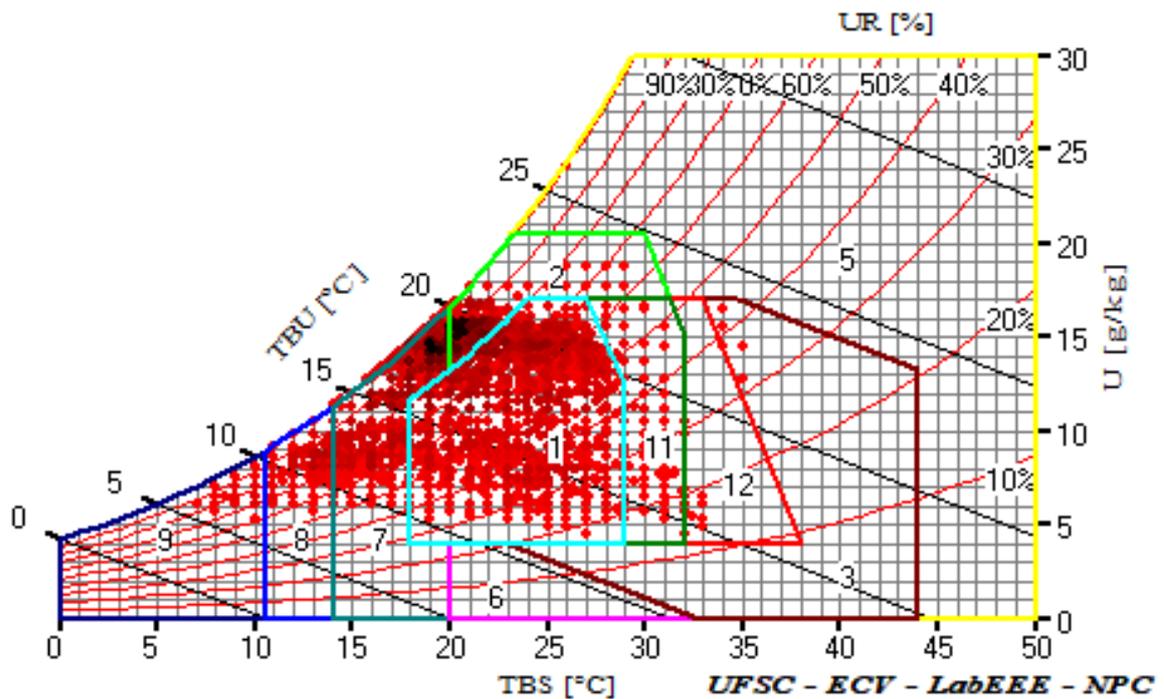


Figura 5.30 – Carta bioclimática obtida para o ACR.

Tabela 5.21 – Evolução das zonas de conforto utilizando-se o ACR.

	Zonas	1961 – 1970 (%)	1982 – 1997 (%)	2000 – 2018 (%)
Conforto	1	41,4	41,2	53,9
Desconforto	2	17,3	21,2	15,1
	3	3,28	8,38	2,72
	4	3,28	8,29	2,64
	5	0,0342	0,0799	0,0114
	6	*	*	0,0000
	7	34,1	31,3	26,3
	8	6,16	4,37	3,41
	9	0,993	0,993	0,8680

5.5 GRAUS-DIA E GRAUS-HORA

As tabelas 5.22 e 5.23 mostram os resultados obtidos de graus-dia e graus-hora para Brasília, tanto para resfriamento como aquecimento. O valor computado para cada mês levou em conta os dezenove anos juntos.

Tabela 5.22 – Graus-dia mensais.

	Graus-dia					
	Resfriamento (°C)			Aquecimento (°C)		
	25	26	27	16	17	18
Janeiro (2000 a 2018)	18,26	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fevereiro (2000 a 2018)	7,72	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
Março (2000 a 2018)	8,44	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00
Abril (2000 a 2018)	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mai (2000 a 2018)	0,00	0,00	0,00	0,17	4,29	21,97
Junho (2000 a 2018)	0,00	0,00	0,00	0,00	6,25	50,47
Julho (2000 a 2018)	0,00	0,00	0,00	13,53	46,55	137,42
Agosto (2000 a 2018)	4,03	0,35	0,00	0,00	1,44	9,90
Setembro (2000 a 2018)	51,60	11,71	2,38	0,00	0,45	3,09
Outubro (2000 a 2018)	165,12	54,00	12,30	0,00	0,83	2,63
Novembro (2000 a 2018)	16,52	0,81	0,00	0,00	0,67	1,67
Dezembro (2000 a 2018)	25,00	5,92	0,94	0,00	0,00	0,00
Somatório dos meses (2000 a 2018)	297,40	76,99	15,62	13,70	60,49	227,14

Tabela 5.23 – Graus-hora mensais.

	Graus-hora					
	Resfriamento (°C)			Aquecimento (°C)		
	25	26	27	16	17	18
Janeiro (2000 a 2018)	8464,96	5392,33	3148,09	12,94	58,50	329,16
Fevereiro (2000 a 2018)	7693,52	4776,09	2662,51	13,78	102,72	454,26
Março (2000 a 2018)	7214,67	4309,14	2259,92	49,37	202,92	733,61
Abril (2000 a 2018)	6716,72	3784,15	1833,24	250,35	752,17	1880,16
Mai (2000 a 2018)	4908,40	2575,65	1154,63	3660,16	6271,68	9926,34
Junho (2000 a 2018)	2365,76	957,78	304,37	8552,22	12803,05	17967,56
Julho (2000 a 2018)	3504,94	1704,76	649,46	11960,38	16889,60	22640,14
Agosto (2000 a 2018)	8776,96	5522,66	3154,45	6574,53	10112,47	14558,77
Setembro (2000 a 2018)	16007,10	11573,09	7894,18	1631,33	3010,08	5143,55
Outubro (2000 a 2018)	18105,74	13477,05	9612,82	118,20	387,09	1039,82
Novembro (2000 a 2018)	7395,64	4655,13	2690,69	39,19	165,14	568,17
Dezembro (2000 a 2018)	8399,66	5357,94	3163,85	18,54	77,39	363,30
Somatório dos meses (2000 a 2018)	99554,08	64085,79	38528,20	32881,00	50832,80	75604,86

6 CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido mostrou outubro como sendo o mais quente para Brasília, enquanto julho se estabeleceu como o mais frio. Observando-se as temperaturas máxima absoluta mensais do trabalho desenvolvido em comparação com os outros dois períodos ilustrados na figura 5.6, percebe-se que onze meses tiveram uma temperatura superior ao período de 1961 a 1970. Em relação ao período de 1982 a 1997 houve um aumento da temperatura máxima em sete meses. Constata-se que a maioria dos meses em que aumentaram sua temperatura máxima eram aqueles que já possuíam os maiores valores em relação à média anual, enquanto que quatro dos cinco meses que apresentaram uma temperatura máxima menor, já registravam valores abaixo da média.

Em relação à amplitude térmica, o trabalho mostrou que julho, agosto e setembro são meses com maiores médias mensais de amplitude térmica. Em relação a estudos em épocas anteriores, o período de 2000 a 2018 apresenta amplitudes térmicas inferiores à maioria dos meses, utilizando-se como base os estudos de Goulart et al. (1998), referente ao período de 1961 a 1970, e de Maciel (2002), referente ao período de 1982 a 1997. Essa diminuição da amplitude térmica pode estar ligada à intensificação do efeito estufa, que por atuar mais fortemente no período noturno, acaba elevando as temperaturas mínimas proporcionalmente mais, contribuindo para a diminuição dessa amplitude.

Com relação a velocidade média dos ventos, observa-se uma leve tendência de aumento, mas que deve ser analisada com muito cuidado. Esse cuidado se deve ao fato de que, diferentemente do que foi feito com as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido, os dados brutos referentes aos ventos não foram submetidos a nenhuma análise qualitativa e nem trabalhados a fim de eliminar erros de leitura e preencher as falhas existentes. Além disso, não realizou-se nenhum levantamento a respeito da quantidade e distribuição temporal dos erros de leitura ou ausência de dados. Já com relação à direção dos ventos em Brasília, o que se observa é uma predominância direcional de ventos de leste. Assim como para a velocidade, os resultados finais das direções dos ventos, nas figuras 5.9 a 5.27, devem ser analisados com cautela.

O ACR escolhido para o período entre 2000 e 2018 foi 2003. Em relação à zona de conforto, tal ano se manteve nessa zona em 53,9% do tempo. Esse valor de 53,9% é a exata mediana das zonas de conforto de todos os anos, confirmado a representatividade que se se esperava do ACR em relação a esse aspecto.

Analisando-se a tabela 5.21, observa-se que apenas duas zonas mantiveram um padrão de mudança (fosse crescente ou decrescente) ao longo das séries para Brasília. Essas zonas são a sete e a oito, sendo que ambas indicam estratégias para aquecer o ambiente. O número de horas que se enquadram nessas zonas está caindo desde a década de sessenta. Essa diminuição sugere o aumento da temperatura local nas últimas décadas.

Esse aumento de temperatura também é capaz de justificar a observada diminuição da umidade relativa. Para uma quantidade constante de vapor d'água na atmosfera, um aumento de temperatura acaba por ocasionar a diminuição da umidade relativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). *NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Parte 1: definições, símbolos e unidades*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Bogo, A., Pietrobon, C. E., Barbosa, M. J., Goulart, S., Pitta, T. & Lamberts, R. (1994). *Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico* (Relatório interno/1994), Florianópolis, SC, Núcleo de Pesquisa em construção, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Recuperado em 25 junho, 2019, de <https://bit.ly/2Yde7oq>
- Cardoso, M. R. D., Marcuzzo, F. F. N. & Barros, J. R. (2014). “Classificação climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal”. *ACTA Geográfica*, 8(16), 40-55. Recuperado em 25 junho, 2019, de <http://dx.doi.org/10.5654/acta.v8i16.1384>
- Companhia do Desenvolvimento do Planalto Central. (2006). *Distrito Federal: síntese de informações socioeconômicas 2006*. Brasília: Codeplan. Recuperado em 25 junho, 2019, de <https://bit.ly/2Rz8E94>
- Fernandes, J. T. (2009). *Código de obras e edificações do DF: inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil. Disponível: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/7281>
- Gartland, L. (2008). *Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas*. London: Earthscan.
- Givoni, B. (1992). “Comfort, climate analysis and building design guidelines”. *Energy and Buildings*, 18(1), 11-23. Recuperado em 25 junho, 2019, de [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K)
- Goulart, S. V. G., Lamberts, R. & Firmino, S. (1998). *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*. (2a ed.). Recuperado em 25 junho, 2019, de <https://bit.ly/2YcXzNk>
- Lamberts, R., Ghisi, E., Pereira, C. D. & Batista, J. O. (Ed.). (2010). *Casa eficiente: bioclimatologia e desempenho térmico*. Florianópolis: UFSC.
- Lamberts, R., Dutra, L. & Pereira, F. O. R. (2014). *Eficiência energética na arquitetura*. (3a ed.). Rio de Janeiro: Eletrobras.

- Maciel, A. A. (2002). *Projeto bioclimático em Brasília: estudo de caso em edifício de escritórios*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. Disponível: <https://bit.ly/31LMZiC>
- Monteiro, C. A. F. (1971). “Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho”. *Climatologia*, **1**(1), 1-21.
- Monteiro, C. A. F. (1991). *Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico*. Florianópolis: Editora da UFSC.
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D & Bailey, M. B. (2013). *Princípios de termodinâmica para Engenharia*. (7a ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- Olgay, V. (1963). *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Universidade de Princeton, Nova Jersey.
- Sette, D. M. & Ribeiro, H. (2011). “Interações entre o clima, o tempo e a saúde humana”. *InterfacEHS: Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade*, **6**(2), 37-51. Recuperado em 25 junho, 2019, de <https://bit.ly/2liZVZw>
- Silva, A. C. S. B. (1994). *Zoneamento bioclimático brasileiro para fins de edificação*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Florianópolis, SC, Brasil. Disponível: <http://www.labeee.ufsc.br/node/566>