ZONAS BIOCLIMÁTICAS, VARIABILIDADE CLIMÁTICA E ÁREAS DE TRANSIÇÃO BIOCLIMÁTICA

João Roberto Gomes de Faria (1)
(1) Dr., Professor Associado Voluntário, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, joao.rg.faria@unesp.br, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru, Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, 17033-360 – Bauru-SP, (014)3103-4710

RESUMO
As atuais zonas bioclimáticas (ZBs) de localidades brasileiras são calculadas a partir de valores médios de séries temporais de variáveis climáticas. Tal procedimento ignora variabilidades climáticas em diversas amplitudes e períodos, que interferem no desempenho térmico das edificações projetadas segundo estratégias bioclimáticas indicadas para o estado climático médio. O presente trabalho teve por objetivo demonstrar que a variabilidade climática altera periodicamente as ZBs de uma série de localidades, dando origem a áreas de transição bioclimática. Foram calculadas ZBs ano a ano para 212 localidades no período de 1961 a 2020, usando séries de médias mensais de temperaturas máxima e mínima do ar e de umidade relativa média do ar. Dessa amostra, 26 localidades apresentaram pelo menos uma ZB com ocorrência igual ou superior a 60% da frequência da ZB prevalente. Essa duplicidade de ZBs, resultante variabilidade climática ao longo do período estudado, indica a necessidade de considerar estratégias bioclimáticas de mais de uma ZB para um bom desempenho térmico das edificações em áreas de transição bioclimática. A despeito da dificuldade que algumas situações possam causar na compatibilização de estratégias bioclimáticas, essa abordagem para a atribuição de ZBs para áreas de transição bioclimática resulta em projetos mais resilientes a variabilidades climáticas.

Palavras-chave: zonas bioclimáticas, variabilidade climática, áreas de transição bioclimática

ABSTRACT
The current Brazilian bioclimatic zones (BZs) are calculated from the average values of climatic variables time series. This procedure ignores climatic variability in different amplitudes and periods of duration, which interfere in the thermal performance of buildings designed according to bioclimatic strategies indicated for the mean climatic state. The present work aimed to demonstrate that climate variability periodically changes the BZs of several places, giving rise to areas of bioclimatic transition. Sets of monthly averages of maximum and minimum air temperatures and air relative humidity, generated for 212 Brazilian cities from 1961 to 2020 with INMET daily average data, were used to calculate annual values of BZs. From this sample, 26 places had at least one BZ with an occurrence equal to or greater than 60% of the prevalent BZ frequency. This result indicates the need to consider bioclimatic strategies of these secondary BZs for a good thermal performance of buildings in that transition areas. Despite the difficulty that some situations may cause in the compatibility of bioclimatic strategies, this approach for designation of BZs for areas of bioclimatic transition results in projects more resilient to climate variability.

Keywords: bioclimatic zones, climatic variability, bioclimatic transition places

1. INTRODUÇÃO

Dados de variáveis climáticas são manuseados de forma a gerar informações adequadas a um determinado uso. Assim, podem compor normais climatológicas, valores que, no caso de temperatura e umidade do ar expressam a média de um período longo (p. ex. 30 anos), de forma a minimizar flutuações que ocorrem em intervalos de tempo dentro de sua abrangência. É com essa abordagem que são caracterizados tradicionalmente os climas, o estado médio das condições de tempo meteorológico para uma localidade e um período de tempo particulares (WMO, 2017). Arquivos de dados de ano de referência (*Test Reference Year* – TRY) ou de ano meteorológico típico (*Typical Meteorological Year* – TMY), por sua vez, surgem da necessidade de se estimar, via simulação computacional, consumos energéticos médios em edificações em situações que permitam considerar a continuidade temporal dos fenômenos não lineares relacionados à inércia térmica. Nesse caso, as variáveis não podem ser superpostas a partir de dados de normais climatológicas, mas seus valores precisam ser síncronos; por outro lado, pela forma como os arquivos climáticos são compostos, os resultados das simulações eliminam condições extremas (EVOLA *et al.*, 2021; LUNT, 1975).

Ambas as abordagens descritas consideram que os valores médios ou os do ano de referência/típico sejam suficientes para representar as características climáticas de uma localidade, e que o clima regional seja suficientemente homogêneo ao longo do tempo, considerações não necessariamente válidas em todas as circunstâncias. Assim, ao não se levar em conta a dispersão e as tendências de variação temporal dos valores, simplificam-se as aplicações, mas perde-se a representatividade dos resultados.

Além do estado médio, os valores das variáveis climáticas sofrem oscilações relacionadas, em geral, a estados de circulação atmosférica e oceânica e a propriedades superficiais (como umidade do solo), e ocorrem em diferentes escalas temporais, com períodos que vão de intrassazonal a multidecenal (WMO, 2018). São bem documentadas pela literatura as oscilações de temperatura sobre os oceanos, como o El Niño-Oscilação Sul – ENOS, principal causa da variabilidade climática em escala interanual, com efeitos diversos ao longo da extensão do Brasil, e outras, com períodos de outras escalas espaciais, como a Oscilação Interdecenal do Pacífico – ODP (15 a 30 anos), e a Oscilação Multidecenal do Atlântico – OMA (5 a 8 décadas) (CAVALCANTI; FERREIRA, 2021). Em particular, os ENOS afetam principalmente as chuvas, com consequências na umidade do ar e, indiretamente, na variação das temperaturas do ar (CIRINO *et al.*, 2015), gerando anos ora mais quentes e secos, ora mais frios e úmidos.

A variabilidade climática, associada aos ritmos de circulação atmosférica e oceânica, é defendida por Monteiro (1962) como base para a climatologia dinâmica. Os estudos realizados no Brasil sobre variabilidade climática adotam dois tipos de abordagem: correlacional ou de distribuição de grandezas associadas a variáveis climáticas. O primeiro tipo de abordagem é comum nas áreas ligadas ao setor agropecuário (CIRINO *et al.*, 2015) e de saúde (KOCK; OLIVEIRA, 2015; DUARTE *et al.*, 2019). Com a segunda abordagem, Medeiros *et al.* (2018) estudaram a variação temporal da sensação térmica em meio urbano em função da variabilidade climática, enquanto Dubreuil *et al.* (2018) e Zavattini e Fratianni (2018) propuseram distribuições de frequências de tipos de clima regionais em função da variabilidade climática. Nesses dois últimos trabalhos, os autores concluíram que algumas regiões não possuem um único clima que as caracterize, mas uma distribuição dos tipos climáticos das áreas vizinhas que se alternam, dependendo do período e do fenômeno de variabilidade climática atuante. Essas conclusões também haviam sido objeto do trabalho de Ab'Saber (2003) na definição de domínios morfoclimáticos: nele aparecem as áreas de transição morfoclimáticas, nas quais convivem ou se alternam características de domínios subjacentes.

A essa variabilidade, de origem física, se sobrepõem outras, de caráter antropogênico, como as alterações provocadas pelas áreas urbanizadas (climas urbanos) (LANDSBERG, 1981) e pelas atividades humanas, de forma geral (MASSON-DELMOTTE *et al.*, 2021). Enquanto a variabilidade climática de natureza física envolve ciclos em diferentes períodos e abrangências espaciais, as de natureza antropogênica representam, em geral, tendências de mudanças temporais associadas a cenários (como de taxas de crescimento urbano e de produção de CO_2) (NUNES; LOMBARDO, 1995). As mudanças climáticas se manifestam em alterações sistemáticas nas propriedades das variáveis (como média e variância) em períodos prolongados (décadas ou séculos) (WMO, 2018). Em termos estatísticos, o estado médio (ou clima propriamente dito) seria determinado pelos valores médios da série de dados, enquanto a variabilidade poderia ser expressa pela variância da distribuição e as mudanças climáticas por coeficientes de regressão da série temporal.

Postas essas considerações, pode-se perguntar, então, qual seria o impacto dessas alterações climáticas sobre o projeto bioclimático de edificações habitacionais. Seus componentes críticos, estruturas e vedações externas, são projetados para vidas úteis mínimas de, respectivamente, 50 e 40 anos (ABNT, 2021a), e estratégias bioclimáticas nelas aplicadas precisam ser efetivas durante a maior parte desse tempo.

A *NBR 15220-3: desempenho térmico de edificações. Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social* (ABNT, 2005) é a única ferramenta prescritiva que fornece ao projetista, para a fase inicial de projeto da habitação, orientações sobre estratégias bioclimáticas adequadas para o bom desempenho térmico da edificação. Como essas estratégias estão vinculados às características climáticas regionais, é essencial que o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBBR) constante dessa norma seja uma base confiável para sua implementação. Tal zoneamento foi elaborado a partir de uma base de dados para 330 municípios, composta por temperaturas máximas e mínimas médias mensais e umidades relativas médias mensais das Normais Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de 1961-1990, e por outras fontes, a partir de 1931 (ABNT, 2005). Portanto, para a elaboração do atual ZBBR, os dados disponíveis para as localidades, cobrindo áreas e períodos diferentes, foram tratados conjuntamente para gerar um único resultado temporalmente estático, correspondente ao estado meteorológico médio dos locais nos períodos abrangidos pelas bases. Assim, ao se usar esses dados: a) pressupõe-se que o estado médio das variáveis seja representativo para as localidades, desprezando-se o efeito de variabilidades climáticas e b) incorporam-se possíveis mudanças climáticas ocorridas em períodos distintos para diferentes localidades, uma vez que não houve retirada de tendências das séries.

Trabalhos posteriores do Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) propuseram, além do aumento de localidades abrangidas, equações de cálculos, desta vez, apenas de variáveis relacionadas à temperatura do ar, para a elaboração de um novo ZBBR (RORIZ, 2012a, b, 2013a, b, 2014). As equações levavam em conta, além de médias, medidas de dispersão da distribuição das variáveis, e resultavam em um único tipo climático por localidade, preocupação relevante para a aplicabilidade em uma norma. Infelizmente, esses trabalhos não chegaram a propor estratégias bioclimáticas adequadas aos tipos climáticos resultantes daquelas equações.

Dois fatores relacionados a variabilidade climática podem afetar o desempenho de estratégias bioclimáticas recomendadas para uma localidade: a amplitude das variações e a frequência de sua ocorrência. A amplitude da variação das variáveis higrotérmicas tem efeito sobre a alteração das estratégias bioclimáticas em relação às indicadas para o estado climático médio, enquanto a frequência de ocorrências indica a relevância do uso das estratégias diferenciadas decorrentes das variações climáticas.

Para demonstrar os efeitos da variabilidade climática sobre as estratégias bioclimáticas indicadas para uma localidade (e, em última análise, sobre decisões arquitetônicas), foi realizado, neste trabalho, um estudo sobre as ZBs determinadas segundo o método da NBR 15220-3, mas a partir de dados climáticos desagregados anualmente. Dessa abordagem, resultam distribuições de frequência de ocorrência de diferentes ZBs numa localidade, ao contrário do uso de dados agregados, dos quais resulta apenas uma ZB por localidade. A hipótese foi que, a exemplo dos trabalhos de Dubreuil *et al.* (2018) e Zavattini e Fratianni (2018), da aplicação dessa abordagem resultariam áreas de transição bioclimática, caracterizadas pela ocorrência de mais de uma ZB prevalente que se alternariam no período estudado. Da mesma forma que nos trabalhos anteriormente citados, a abordagem a partir de distribuições de índices é também comumente usada na calibração de faixas locais de sensação térmica para o índice de temperatura fisiológica equivalente (*physiological equivalent temperature – PET*) (ANDRADE *et al.*, 2016; KRÜGER *et al.*, 2018) e dela resultam faixas de condições nas quais aquela sensação não é claramente discernível.

Embora não se tivesse a preocupação em aplicar os resultados do estudo a uma norma, uma classificação de ZBs levando em conta a variabilidade climática apresentaria, por um lado, a complexidade de atribuir a uma mesma localidade mais de uma ZB; por outro lado, apresentaria também a vantagem de representar mais fielmente a realidade climática regional e abre a possibilidade para a indicação de estratégias bioclimáticas que tornem a edificação mais resiliente às flutuações das variáveis higrotérmicas.

2. OBJETIVO

O presente trabalho teve por objetivo demonstrar que a variabilidade climática dá origem a áreas de transição bioclimática, caracterizadas pela presença de mais de uma ZB com alta frequência de ocorrência no intervalo de tempo considerado.

3. MÉTODO

3.1. Abordagem metodológica e recorte temporal

O trabalho emprega uma abordagem exploratória para detectar variações de ZBs calculadas anualmente para um conjunto de localidades brasileiras ao longo de um período. Não fizeram parte do escopo do estudo explicações sobre os fenômenos que causam a variação anual dos dados higrotérmicos ou a

relação deles com as ZBs resultantes, que podem ser objeto de futuros trabalhos. Da mesma forma, o trabalho não avança além da constatação da necessidade de compatibilizar estratégias bioclimáticas por vezes antagônicas, cuja solução demandaria uma nova pesquisa.

Para esse tipo de classificação há uma mudança radical na base de dados climáticos, que deixa de ser uma média de longos períodos, como as normais climatológicas, ou um extrato representativo de um período, como os arquivos de anos típicos ou de referência, e passa a ser uma série temporal do período estudado. Para que fosse possível a comparação entre os resultados do presente estudo e as ZBs constantes na NBR 15220-3, idealmente as bases de dados deveriam ter a mesma composição, mas as informações disponíveis sobre a base de dados usada na norma não possibilitaram tal procedimento. Assim, no presente estudo foram calculadas ZBs anualmente por localidade ao longo do período de 1961 a 2020 a partir de uma série de dados de médias mensais por ano, elaborada com os dados médios diários de variáveis meteorológicas de estações do INMET. O recorte temporal adotado é suficientemente longo para cobrir períodos de variações climáticas interanuais, interdecenais e a quase totalidade de multidecenais. A unidade de tempo seguida pelo presente trabalho, o ano, corresponde à adotada nos procedimentos da NBR 15220-3.

3.2 Composição das séries de dados

Inicialmente foi montada uma base composta por 284 localidades comuns à lista da NBR 15220-3 e à relação de estações manuais do INMET (BRASIL, 2022a). Foram então baixados do portal do INMET os dados diários dessas estações (temperaturas do ar máxima e mínima e umidade relativa média do ar), através das interfaces (APIs) disponibilizadas pela instituição (BRASIL, 2022b). Não foram feitas análises de consistência ou homogenização dos dados, assim como também não foram empregados procedimentos de preenchimento de falhas, exceto no caso descrito a seguir.

Para reduzir a grande quantidade de falhas das séries, optou-se por incluir os dados de estações meteorológicas automáticas do INMET, que começaram a ser implantadas a partir de 2000, complementando as informações das estações manuais. Os dados horários dessas estações foram tratados conforme WMO (1989) para a obtenção de valores diários e, posteriormente, seguiram-se os procedimentos anteriormente descritos para a obtenção dos dados médios mensais.

Como posteriormente seria necessário realizar transformações matemáticas com a umidade do ar, converteu-se a umidade relativa média diária do ar em umidade absoluta média diária, a partir das equações constantes em (STULL, 2017).

O tratamento dos dados, incluindo os critérios para validação dos resultados (número máximo permitido de falhas mensais e anuais, alternadas e consecutivas) seguiu as orientações de cálculos de normais climatológicas da Organização Mundial de Meteorologia (WMO, 2017): tolerância de, no máximo, 10 falhas alternadas ou 4 consecutivas por mês. Os dados climáticos necessários para a determinação das estratégias bioclimáticas e das ZBs de cada localidade, médias mensais das temperaturas máxima e mínima e da umidade absoluta média do ar (Tmax, Tmin e UAmed, respectivamente), foram calculados como médias aritméticas mensais das médias diárias. Como requisito para a determinação de ZBs, cada ano deveria ter necessariamente conjuntos de Tmax, Tmin e UAmed válidos para todos os meses. Por esse critério, 6 das estações originalmente selecionadas não apresentaram dados válidos em ano algum, reduzindo o total de séries para 278 localidades (97,9% da lista da NBR 15220-3).

Metade das localidades selecionadas tem, no máximo, 31 anos de dados (Figura 1), enquanto, em 90% delas, o número de anos de dados chega a apenas 44, ou seja, as séries apresentam, no geral, grande número de falhas, como já havia sido constatado por Roriz (2012a).

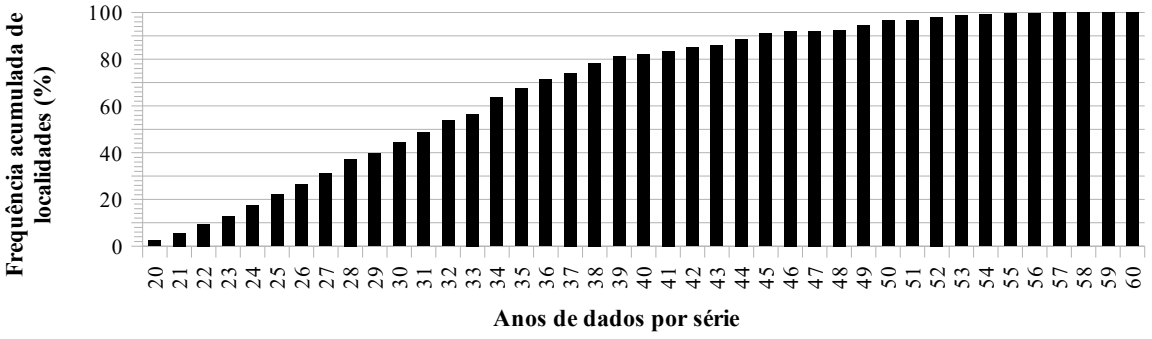

Figura 1 – Distribuição do número de localidades por quantidade de anos de dados

Possíveis alterações de tendências nas médias anuais das séries de Tmin e Tmax e UAmed devido à inclusão dos dados das estações automáticas foram verificadas pela aplicação do teste não paramétrico de Mann-Kendall (HELSEL; MUELLER; SLACK, 2006) com nível de significância de 5%, antes e após a inclusão. Quando foram detectadas mudanças de tendências (crescente para decrescente ou vice-versa) em, pelo menos, duas das variáveis em 21 séries, mantiveram-se apenas os dados das estações manuais.

A NBR 15220-3 é omissa quanto ao número mínimo de dados de uma série quando não há normais climatológicas para a localidade em estudo; entretanto, para assegurar uma consistência mínima dos resultados, foram analisadas somente as séries com, pelo menos, 1/3 dos dados anuais no período (20 anos), mesmo critério empregado pelo INMET para a composição de normais climatológicas (BRASIL, 2022c). Após a aplicação desse último filtro, a amostra final ficou composta por 212 localidades, 70,6% da lista das estações comuns à NBR 15220-3 e ao INMET, (Figura 1 e Tabela 1), com distribuição de ZBs bastante semelhante à daquela lista.

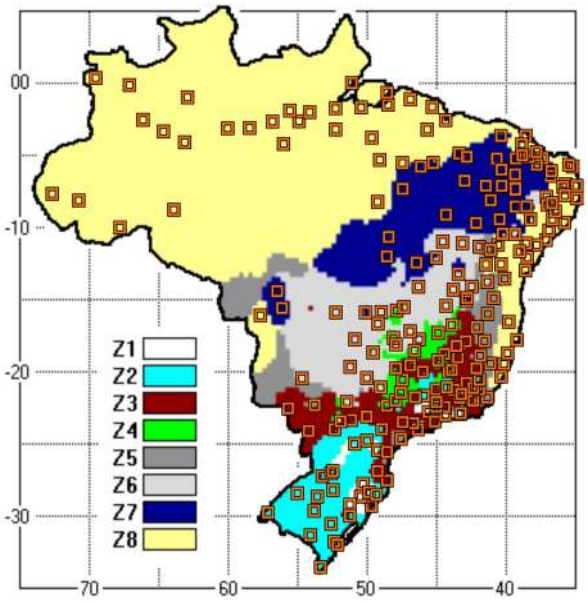

Figura 2 – Distribuição espacial das localidades selecionadas para o estudo em relação ao ZBBR.
Fonte da base cartográfica: Roriz (2004)

Tabela 1 – Distribuição das ZBs das localidades selecionadas em relação às da lista da NBR 15220-3

ZB (NBR 15220-3)	Localidades da NBR 15220-3 com estações do INMET		Localidades selecionadas para estudo	
	n	%	n	%
1	11	3,9	9	4,2
2	27	9,5	19	9,0
3	47	16,5	35	16,5
4	14	4,9	8	3,8
5	24	8,5	17	8,0
6	36	12,7	26	12,3
7	39	13,7	37	17,5
8	86	30,3	61	28,8
TOTAL	**284**	**100,0**	**212**	**100,0**

3.3 Procedimentos e critérios de cálculo e de análise

A preparação dos dados de entrada, os procedimentos descritos na NBR 15220-3 para a determinação das estratégias bioclimáticas e das ZBs das localidades, assim como os tratamentos dos resultados, foram executados através de rotinas computacionais.

Como ao presente trabalho interessava estudar o impacto das variações climáticas, eliminou-se possíveis tendências de mudanças climáticas das séries de Tmin, Tmax e UAmed pela aplicação de parâmetros da regressão linear de Sen obtidos a partir do teste não paramétrico de Kendall sazonal (HELSEL; MUELLER; SLACK, 2006). Tal procedimento retira das séries tendências de aumento ou de redução dos valores no período da série como um todo (ou seja, as mudanças climáticas), mantendo as variações sazonais anuais e outras intra ou interdecenais no intervalo de tempo da série. Considerou-se que as séries apresentavam tendências de mudanças climáticas quando o valor absoluto do indicador de associação τ era maior ou igual a 0,21 (associação média) (VAN DER BERG, 2022), com significância de 5%. Assim, foi possível comparar a influência apenas da variabilidade climática ao longo dos períodos das séries, sem as alterações provocadas pelas mudanças climáticas. A partir das séries de dados resultantes foram calculadas as ZBs ano a ano para as localidades segundo os procedimentos da NBR 15220-3; além disso, para comparação com os valores daquela norma, calculou-se também, com as mesmas séries, as ZBs a partir da média dos dados climáticos no período estudado.

Para a análise dos resultados das distribuições de ZBs anuais, definiu-se localidade em área de transição bioclimática como aquela na qual relação entre a frequência de ZBs com a segunda maior ocorrência e a de maior ocorrência fosse de, pelo menos, 60%. Nessas circunstâncias, portanto, a

representatividade da ZB de maior ocorrência, que corresponde ao estado médio das condições climáticas, é de, no máximo, 1 / (1 + 0,6) = 62,5% dos anos.

Os resultados foram analisados quanto à similaridade das frequências de ocorrência da ZB predominante em relação ao valor calculado para as médias das variáveis climáticas, às frequências de ocorrência predominante e secundária das ZBs, à distribuição espacial e ao impacto na recomendação das estratégias bioclimáticas.

4. RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta as 29 localidades (13,7% da amostra) caracterizadas na seção anterior como em áreas de transição bioclimática.

Tabela 2 – Distribuição das ocorrências de ZBs anuais em localidades em áreas de transição bioclimática no período de 1960 a 2020, tendo por referência as ZB constantes na NBR 15220-3 e as ZBs calculadas a partir das médias mensais dos valores diários no período (Média 1961-2000)

Nº	Código da estação automática	Código da estação manual	Localidade	UF	ZB NBR 15220-3	ZB média 1961-2000	Ocorrências de ZB anual								Nº de anos
							1	2	3	4	5	6	7	8	
1	A429	83179	Barra do Rio Grande	BA	6	7	0	0	0	0	0	**10**	**12**	0	**22**
2		83292	Ituaçu	BA	6	**6**	0	0	0	0	2	**11**	7	1	**21**
3	A415	83076	Santa Rita de Cássia (Ibipetuba)	BA	6	**6**	0	0	0	14	0	**23**	0	0	**37**
4	A414	83344	Vitória da Conquista	BA	5	**5**	0	0	13	0	**14**	0	0	0	**27**
5	A002	83423	Goiânia	GO	6	**6**	0	0	0	21	0	**33**	1	0	**55**
6		83522	Ipameri	GO	4	**4**	0	0	2	**12**	0	9	0	0	**23**
7	A225	82564	Imperatriz	MA	7	**7**	0	0	0	0	0	0	**23**	14	**37**
8	A534	83595	Aimorés	MG	5	8	0	0	0	0	**12**	4	5	**18**	**39**
9	A505	83579	Araxá	MG	3	5	0	1	**3**	7	**15**	11	0	0	**37**
10	A521	83587	Belo Horizonte	MG	3	5	0	0	**6**	3	**24**	17	0	0	**50**
11		83589	Conceição do Mato Dentro	MG	3	**3**	0	7	**10**	9	0	0	0	0	**26**
12	A543	83338	Espinosa	MG	6	**6**	0	0	0	0	0	**17**	13	0	**30**
13	A532	83543	Governador Valadares	MG	5	**5**	0	0	0	0	**7**	**11**	0	3	**21**
14	A560	83570	Pompéu	MG	3	4	0	0	**2**	15	1	**16**	0	0	**34**
15	A514	83688	São João del-Rei	MG	2	3	0	**12**	**15**	2	0	0	0	0	**29**
16	A709	83704	Ivinhema	MS	5	**5**	0	0	**7**	5	**4**	**7**	0	0	**23**
17	A703	83702	Ponta Porã	MS	3	**3**	0	1	**17**	11	0	1	0	0	**30**
18	A241	82861	Conceição do Araguaia	PA	8	**8**	0	0	0	0	1	2	**26**	**16**	**45**
19	A334	82792	Monteiro	PB	6	7	0	0	0	0	1	**16**	13	2	**32**
20		83769	Jacarezinho	PR	3	**3**	0	4	**10**	8	0	0	0	0	**22**
21	A835	83767	Maringá	PR	1	5	**0**	0	**12**	8	10	**12**	0	0	**42**
22	A628	83788	Angra dos Reis	RJ	8	5	0	0	0	0	0	**11**	0	**10**	**21**
23	A852	83907	São Luiz Gonzaga	RS	2	3	0	**20**	12	17	0	0	0	0	**49**
24	A895	83883	Chapecó	SC	3	**3**	0	**18**	**14**	1	0	0	0	0	**33**
25	A865	83891	Lages	SC	1	2	**16**	**25**	0	0	0	0	0	0	**41**
26	A708	83630	Franca	SP	4	5	0	0	5	**9**	**17**	15	0	0	**46**
27	A712	83821	Iguape	SP	5	**5**	0	0	12	0	**14**	0	0	1	**27**
28	A711	83726	São Carlos	SP	4	3	0	1	17	**18**	5	2	0	0	**43**
29		83786	Ubatuba	SP	3	5	0	0	**15**	0	**16**	0	0	0	**31**

Observações: **negrito**: ZB calculada igual à da NBR 15220-3; **negrito vermelho**: ZB com frequência de ocorrência prevalente discordante da ZB da norma; fundo amarelo: frequências de ocorrência atendem ao critério de definição de localidade em área de transição bioclimática

Inicialmente, observam-se alterações em alguns dos valores de ZBs calculadas a partir de valores médios das variáveis climáticas na série de dados de 1961-2020 em relação às ZBs constantes na NBR 15220-3, o que é justificado pela não coincidência das séries empregadas nos dois estudos. Assim, do total de 212 estações estudadas, em 168 (79%) as ZBs calculadas corresponderam aos valores da listagem da norma; na Tabela 2 essa porcentagem cai para 48,3%. Por outro lado, 195 (92,0%) das ZBs predominantes correspondem às ZBs calculadas a partir dos valores médios das séries integrais e, na Tabela 2, ZBs predominantes ou secundárias coincidentes com as calculadas a partir de valores médios correspondem a 19

das 29 localidades (65,5%). Em 25 (86,2%) das localidades em áreas de transição a frequência de ocorrência da ZB predominante é menor do que 60% e nas demais menor que 62,5%, ou seja, como salientado anteriormente, de baixa representatividade no período estudado. Por outro lado, também em 20 delas (66,7%) a frequência da ocorrência de uma segunda ZB ultrapassa 70% da frequência de ocorrência da ZB predominante e em 12 localidades (40%) essa frequência é maior que 80% da frequência de ocorrência da ZB predominante. Ou seja, nas áreas caracterizadas como de transição bioclimática no presente estudo, as ZBs com segunda prevalência são bastante representativas para localidades.

A Figura 3 exemplifica a periodicidade da variabilidade climática traduzida pelos valores de ZBs anuais de duas localidades da Tabela 2: enquanto em Santa Rita de Cássia (BA) ela é predominantemente interdecenal e de pequena amplitude (ocorrência de duas ZBs), em Lages é praticamente interanual, também de pequena amplitude. Maringá (PR) é o caso de maior amplitude de variabilidade climática, com 4 ZBs, sendo duas delas de mesma frequência de ocorrência predominante (ZBs 3 e 6) e outras duas com frequência de ocorrência superior a 60% daquelas (ZBs 3 e 4), com periodicidade predominantemente interanual.

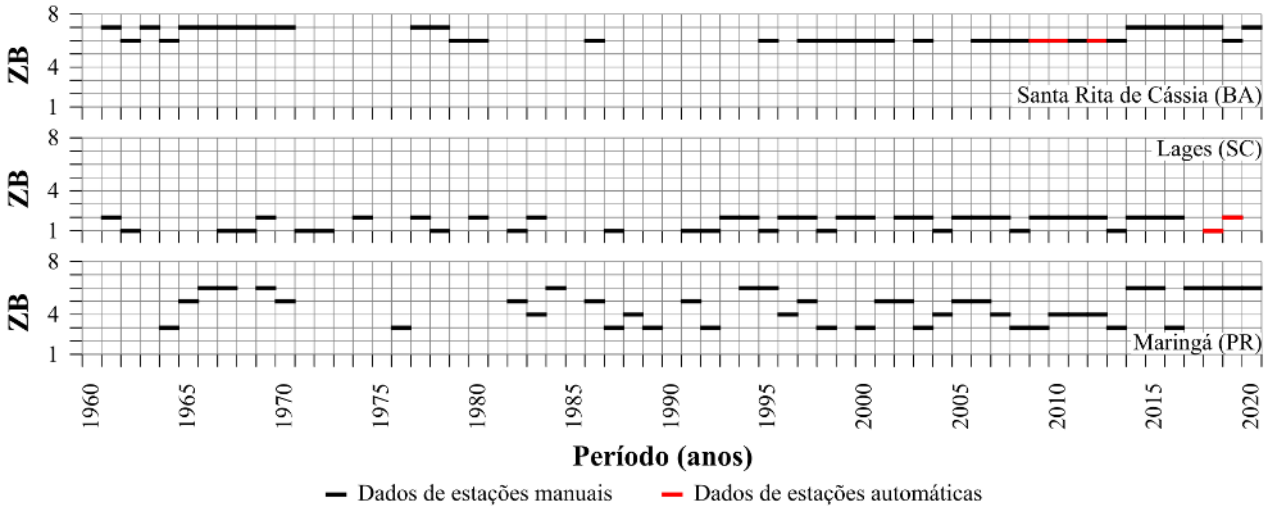

Figura 3 – Exemplos de distribuição temporal de ocorrência de ZBs anuais

Desses gráficos, deduz-se que nem as normais climatológicas nem os arquivos de anos típicos, que traduzem as variáveis climáticas em médias ou "valores típicos" únicos, dão conta das variações de ZBs que ocorrem nessas cidades nos respectivos intervalos de tempo abrangidos pelos conjuntos de dados: as normais climatológicas (1961-1990, 1981-2010 e 1991-2020) englobam tanto variações interdecenais quanto interanuais, enquanto os arquivos de anos típicos da NBR 15575 (ABNT, 2021b) (2001-2010) contêm apenas o efeito da variabilidade interanual.

As séries de dados de Santa Rita de Cássia e de Maringá foram corrigidas para retirar a tendência de crescimento, tendo por referência os valores de 1992 e 1993, respectivamente. Entretanto, o que se verifica na Figura 3 é que, seja em localidades sem tendência de mudança climática estatisticamente significativa ou naquelas nas quais essa tendência foi retirada, a amplitude da variabilidade se mantêm ao longo da série de ZBs anuais. Esse resultado é coerente com os de Gay, Estrada e Conde (2007), que mostraram que as características da variabilidade climática se mantêm a despeito da ocorrência de mudanças climáticas. Dessa forma, arquivos climáticos com dados mais recentes podem ser usados no cálculo das ZBs anuais, mas continuarão a ocorrer as mesmas flutuações de valores, talvez em outros patamares.

Quanto à distribuição espacial das localidades em áreas de transição bioclimática, observa-se que a maioria delas se situa próxima a limites do ZBBR (Figura 4 a), ou em domínios morfoclimáticos de transição (Figura 4 b), ou ainda em áreas de transição climática (Figura 4 c). Embora obtidas por métodos diferentes, essas áreas representam descontinuidades provocadas, com maior ou menor impacto, por diferenças climáticas. Quanto maior o interfaceamento da ZB, maior a quantidade de ZBs anuais distintas, como são os casos de Ivinhema (MS) e Maringá (PR). Santa Rita de Cássia (BA) e Goiânia (GO) constituem-se em exceções aos casos citados anteriormente, pois se localizam em posições afastadas de limites, tanto de ZBs como de domínios morfoclimáticos. A explicação dessas ocorrências deverá ser objeto de pesquisas futuras. A posição de Maringá em relação ao ZBBR mostra claramente a instabilidade da ZB (limites a uma célula de distância), embora em seu entorno não haja a presença das ZBs 5 e 6. Entretanto, o cálculo de ZBs feito para a localidade a partir das normais climatológicas (não demonstrado no presente trabalho), resulta nas ZBs 3 (1961-1990), 5 (1981-2010) e 6 (1991-2020), o que é compatível, portanto, com o presente trabalho.

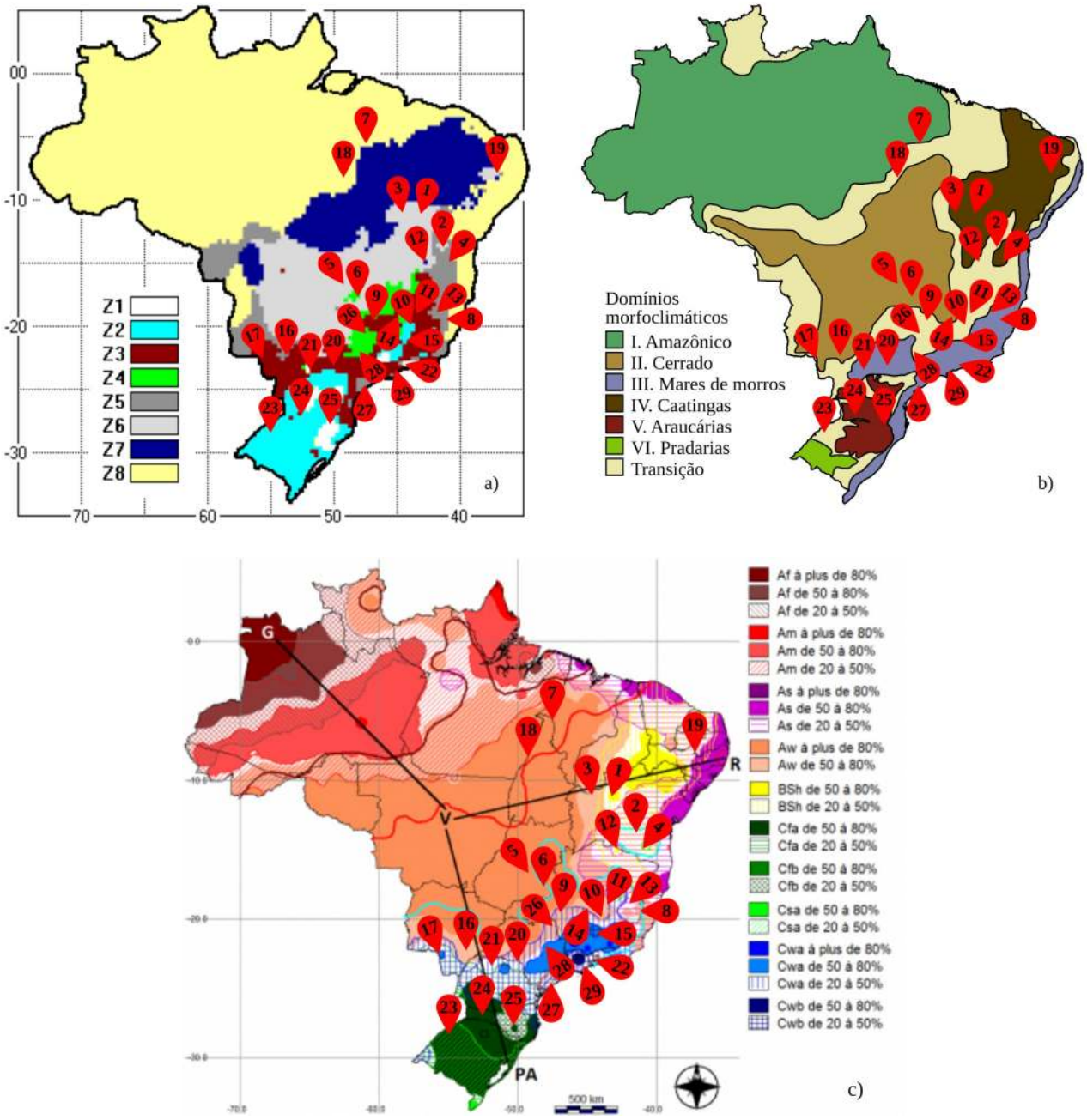

Figura 4 – Distribuição espacial das localidades em áreas de transição em relação: a) ao ZBBR; b) aos domínios morfoclimáticos brasileiros de transição; c) às áreas de transição climática (20 a 50% dos tipos climáticos).
Fontes das bases cartográficas: a) Roriz (2004); b) Brasil (2010); c) Dubreuil *et al.* (2018)

Em termos de compatibilização de estratégias bioclimáticas, algumas são bastante simples, como as das ZBs 1 e 2, que ocorrem em Lages (SC), ou 2 e 3, que ocorrem em São João del-Rei (MG) e Chapecó (SC): o aquecimento solar pode ser usado em ambas as ZBs; a calefação, indicada na ZB 1, pode permanecer desligada nos invernos menos rigorosos, e nada impede que as paredes de edificações nas ZBs 1 e 2 sejam refletoras. Da mesma forma, no caso das estratégias das ZBs 7 e 8, em Barra do Rio Grande (BA), Imperatriz (MA) e Conceição do Araguaia (PA), as diferenças de tamanho de aberturas ou o resfriamento evaporativo na primeira ou ático ventilado na última podem ser resolvidos por elementos ajustáveis. Por outro lado, são de difícil compatibilização as estratégias das ZBs 3 e 4, em Conceição do Mato Dentro (MG), Ivinhema (MS), Ponta Porã (MS) e São Carlos (SP), que implicam alteração da massa térmica de paredes, assim como das ZBs 6 e 7, em Ituaçu (BA) e Espinosa (MG), que envolvem a alteração das propriedades térmicas da cobertura. Algumas situações são ainda mais complexas, como as de São Luiz Gonzaga (RS), que, possui uma terceira ZB com alta frequência de ocorrência, e o caso extremo, Maringá, com quatro ZBs com frequência de ocorrência expressiva (ZBs 3, 4, 5 e 6).

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho abordou, em síntese, o problema da baixa representatividade de valores médios de séries temporais de variáveis climáticas na indicação de estratégias bioclimáticas para o projeto de edificações habitacionais. Tal problema decorre de variabilidades climáticas que, em última análise, aumentam a dispersão dos valores ao redor da média. Isso resulta na indicação de diferentes conjuntos de estratégias de relevância similar para uma mesma localidade, considerada, nesse estudo como em área de transição bioclimática.

A presente pesquisa demonstrou que, quando o método de cálculo da NBR 15220-3 é aplicado a uma base de dados mensais no período de 1961 a 2020, mais de 10% das localidades selecionadas a partir da base de dados daquela norma se situam em áreas de transição bioclimática. Nelas, não há uma única ZB que caracterize a localidade, e estratégias bioclimáticas das ZBs secundárias devem ser levadas em consideração para que o projeto da edificação seja resiliente às variações climáticas presentes na região. Embora no presente estudo tenha se empregado o conceito de zona bioclimática da NBR 15220-3, a abordagem proposta pode ser estendida a outras formas de determinação de ZBs, com as devidas adaptações.

O grande número de falhas nas séries, fato comum em estudos climatológicos no Brasil, foi a principal limitação do trabalho. Além de eliminar uma série de localidades do conjunto de estações meteorológicas disponíveis, as falhas comprometem a consistência dos resultados, uma vez que, em alguns casos, vários anos sequenciais ficaram sem dados.

Esse primeiro estudo teve uma abordagem estritamente acadêmica. Não houve preocupação em viabilizar os achados para uma aplicação em norma, apenas se constatou o problema da baixa representatividade dos valores médios de variáveis climáticas e apontoaram-se possíveis consequências na abordagem atual de determinação de ZBs. Estudos complementares são necessários para melhor delimitar o intervalo de tempo mais representativo, escolher métodos de retirada de tendência mais específicos para as localidades e determinar limites mais representativos de frequências de ocorrência de ZBs. Além disso, seria interessante analisar aplicabilidade do método a outras abordagens de definição de ZBs.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 4. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ANDRADE, T. C.; NERY, J.; MIRANDA, S.; PITOMBO, C.; MOURA, T.; KATZSCHNER, L. Medição do conforto térmico em áreas públicas urbanas de Salvador-BA e calibração do índice de conforto PET usando a técnica árvore de decisão. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 4, n. 2, p. 278–296, 2016. https://doi.org/10.9771/gesta.v4i2.16821.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: desempenho térmico de edificações. Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: edificações habitacionais: desempenho - Parte 1: requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1-1: edificações habitacionais: desempenho. Parte 1-1: base-padrão de arquivos climáticos para a avaliação de desempenho térmico por meio de simulação computacional**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. CENTRO DE DOCUMENTAÇÃO E DISSEMINAÇÃO DE INFORMAÇÕES. Atlas nacional 2010. Território e meio ambiente. Recursos naturais e questões ambientais. Domínios morfoestruturais e morfoclimáticos – compartimentos de relevo. Domínios morfoestruturais e morfoclimáticos. **Atlas nacional digital do Brasil – PGI**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/atlas_nacional/#/home. Acesso em: 10 jul. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Manual de uso da API estações e dados meteorológicos. 2022a. **Instituto Nacional de Meteorologia**. [Institucional]. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/manual/manual-de-uso-da-api-estações. Acesso em: 25 mar. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Normais climatológicas do Brasil. 2022b. **Instituto Nacional de Meteorologia**. [Institucional]. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais. Acesso em: 24 mar. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas do Brasil 1991-2020**. Brasília: INMET, 2022c. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais#. Acesso em: 24 mar. 2022.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J. (Orgs.). **Clima das regiões brasileiras e variabilidade climática**. São Paulo, SP, Brasil: Oficina de Textos, 2021.

CIRINO, P. H.; FÉRES, J. G.; BRAGA, M. J.; REIS, E. Assessing the impacts of ENSO-related weather effects on the Brazilian agriculture. **Procedia Economics and Finance**, v. 24, p. 146–155, 2015. https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00635-8.

DUARTE, J. L.; DIAZ-QUIJANO, F. A.; BATISTA, A. C.; DUARTE, A. F.; MELCHIOR, L. A. K.; GIATTI, L. L. Variabilidade climática e internações por doenças diarreicas infecciosas em um município da Amazônia Ocidental brasileira. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 24, p. 2959–2970, 5 ago. 2019. https://doi.org/10.1590/1413-81232018248.21232017.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil : uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie / Revista franco-brasilera**

de geografia, n. 37, 24 set. 2018. DOI https://doi.org/10.4000/confins.15738. Disponível em: http://journals.openedition.org/confins/15738. Acesso em: 17 jun. 2021.
EVOLA, G.; COSTANZO, V.; INFANTONE, M.; MARLETTA, L. Typical-year and multi-year building energy simulation approaches: A critical comparison. **Energy**, v. 219, p. 119591, 15 mar. 2021. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119591.
GAY, C.; ESTRADA, F.; CONDE, C. Some implications of time series analysis for describing climatologic conditions and for forecasting: An illustrative case: Veracruz, México. **Atmósfera**, v. 20, n. 2, p. 147–170, abr. 2007.
HELSEL, D. R.; MUELLER, D. K.; SLACK, J. R. **Computer program for the Kendall family of trend tests**. Scientific Investigations Report, n. 2005–5275. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2006. Disponível em: https://pubs.usgs.gov/sir/2005/5275/. Acesso em: 30 set. 2022.
KOCK, K. de S.; OLIVEIRA, G. Variabilidade climática e internações hospitalares na população do sul de Santa Catarina. **Rev. Saúde Pública St. Catarina**, v. 8, n. 2, p. 87–97, 2015. https://doi.org/10.1590/1413-81232018248.21232017.
KRÜGER, E. L.; ROSSI, F. A.; CRISTELI, P. S.; SOUZA, H. A. de. Calibração do índice de conforto para espaços externos Physiological Equivalent Temperature (PET) para Curitiba. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 3, p. 135–148, set. 2018. https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000300272.
LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academic Press, 1981(International geophysics series, v. 28).
LUNT, H. **"Test reference year", weather data for environmental engineering and energy consumption in buildings**. Report, n. 67. Lyngby, Denmark: Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering, 1975. Disponível em: https://orbit.dtu.dk/en/publications/test-reference-year-weather-data-for-environmental-engineering-an. Acesso em: 5 dez. 2022.
MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A.; PÉAN, C.; CONNORS, S. L.; BERGER, S.; CAUD, N.; CHEN, Y.; GOLDFARB, L.; GOMIS, M. I.; HUANG, M.; K. LEITZELL; LONNOY, E.; MATTHEWS, J. B. R.; MAYCOCK, T. K.; WATERFIELD, T.; YELEKÇI, O.; YU, R.; ZHOU, B. (Orgs.). IPCC, 2021: summary for policymakers. **Climate Change 2021: the physical science basis. contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge (UK), New York: Cambridge University Press, 2021. p. 3–32. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf. Acesso em: 26 mar. 2021.
MEDEIROS, R. M.; KOZMHINSKY, M.; HOLANDA, R. M.; SILVA, V. P. Variabilidade e sensação térmica do período 1962-2015 na Grande Metrópole Recife-PE, Brasil (Variability and thermal sensation of the period 1962-2015 in the great metropolis Recife-PE, Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 1, p. 016–027, 14 fev. 2018. https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.1.p016-027.
MONTEIRO, C. A. de F. Da necessidade de um caráter genético à classificação climática: (algumas considerações metodológicas a propósito do estudo do Brasil Meridional). **Revista Geográfica**, v. 31, n. 57, p. 29–44, 1962.
NUNES, L. H.; LOMBARDO, M. A. A questão da variabilidade climática. Uma reflexão crítica. **Revista do Instituto Geológico**, v. 16, n. 1–2, 1995. DOI https://doi.org/10.5935/0100-929X.19950002. Disponível em: http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/0100-929X.19950002. Acesso em: 7 mar. 2022.
RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil – versão 2**. Relatório Técnico. São Carlos, BR: ANTAC, 2013a. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas_v2.pdf. Acesso em: 19 nov. 2020.
RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil – versão 2.1**. Relatório Técnico. São Carlos, BR: ANTAC, 2013b. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas_v2-1.pdf. Acesso em: 19 nov. 2020.
RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil – versão 3.0**. Relatório Técnico. São Carlos, BR: ANTAC, 2014. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas_v3.pdf. Acesso em: 19 nov. 2020.
RORIZ, M. **Segunda proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil**. Relatório Técnico. São Carlos, BR: ANTAC, 2012a. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Zoneamento.pdf. Acesso em: 19 nov. 2020.
RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. Relatório Técnico. São Carlos, BR: ANTAC, jan. 2012b. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Proposta_Revisao_Zoneamento_Bioclimatico.pdf. Acesso em: 19 nov. 2020.
RORIZ, M. **ZBBR – Classificação bioclimática dos municípios brasileiros**. São Carlos, BR: Universidade Federal de São Carlos, 2004. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbr. Acesso em: 19 nov. 2020.
STULL, R. **Practical meteorology: an algebra-based survey of atmospheric science**. v 1.02b. Vancouver: University of British Columbia, 2017. Disponível em: https://www.eoas.ubc.ca/books/Practical_Meteorology/. Acesso em: 23 mar. 2021.
VAN DER BERG, R. G. **Kendall's Tau – Simple Introduction**. 2022. **SPSS Tutorials**. Disponível em: https://www.spss-tutorials.com/kendalls-tau/. Acesso em: 8 dez. 2022.
WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals**. Technical Report, n. 341. Geneva: WMO, 1989. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9521. Acesso em: 23 mar. 2021.
WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to climatological practices**. 2018 ed. Geneva: WMO, 2018(Weather Climate Water, 100). Disponível em: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=5668#.Y8hhRa3MKM8. Acesso em: 23 mar. 2021.
WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **WMO guidelines on the calculation of climate normals**. Geneva: WMO, 2017(WMO, 1203). Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4166. Acesso em: 23 mar. 2021.
ZAVATTINI, J. A.; FRATIANNI, S. Os climas regionais do Brasil (estudo preliminar). **Revista Geonorte**, v. 9, n. 32, p. 93–106, 29 jun. 2018. https://doi.org/10.21170/geonorte.2018.V.9.N.32.93.106.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.