



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ANÁLISE CLIMÁTICA E BIOCLIMÁTICA: COMPARAÇÃO ENTRE CIDADES CLASSIFICADAS NA ZONA BIOCLIMÁTICA 03

Laiana C. Sarvezuk (1); Marieli A. Lukiantchuki (2)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa Associado de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, laiana_chopek@hotmail.com

(2) PhD, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, malukiantchuki2@uem.br
Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, av. Colombo, 5700, Maringá-PR, 87020-900, Tel.: (44) 3011-4145

RESUMO

Como forma de auxiliar a aplicação de metodologias de projeto bioclimático ao processo de projeto de habitações de interesse social, foi elaborada, em 2005, a primeira norma de desempenho térmico de edificações no Brasil: a NBR 15220 (ABNT, 2005). Em sua terceira parte (ABNT, 2005b), o território brasileiro foi dividido em 8 Zonas Bioclimáticas, classificadas com base nas características climáticas das cidades. Para cada zona, são recomendadas estratégias de condicionamento térmico passivo a serem utilizadas para alcançar o desempenho térmico da edificação. No entanto, esta classificação contempla generalizações, constatadas em diversas pesquisas científicas, que apontam que algumas cidades não poderiam ser consideradas com características climáticas semelhantes. Assim, esse trabalho tem como objetivo verificar as semelhanças e as diferenças, em relação às características climáticas e as estratégias de condicionamento térmico passivo, de quatro cidades classificadas na Zona Bioclimática 03, com base na NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) e na última proposta de revisão, apresentada por Roriz (2014). Com isso, busca-se entender se as recomendações de projeto podem realmente ser generalizadas para diferentes cidades classificadas na mesma Zona Bioclimática. Foi então realizada uma análise climática e uma análise bioclimática comparativa entre as cidades de Maringá, Porto Alegre, Florianópolis e São Paulo, a partir de dados climáticos do INMET 2016 e da plataforma Projeteee. As diferenças encontradas demonstram a importância de análises mais detalhadas do clima das cidades em diferentes períodos do ano, a fim de garantir a adequação das melhores estratégias para cada local específico.

Palavras-chave: análise climática, análise bioclimática, zoneamento bioclimático brasileiro.

ABSTRACT

As a way of assisting the application of bioclimatic design methodologies to the designing process of housing of social interest, the first thermal performance standard for buildings in Brazil was elaborated in 2005: NBR 15220 (ABNT, 2005). In its third part (ABNT, 2005b), the Brazilian territory was divided into 8 bioclimatic zones, classified based on the climatic characteristics of the cities. For each zone, passive thermal conditioning strategies to be used to achieve the thermal performance of the building are recommended. However, this classification contemplates generalizations, evidenced in several scientific researches, that point out that several cities could not be considered with similar climatic characteristics. The aim of this study is to verify the similarities and differences between the climatic characteristics and the strategies of passive thermal conditioning of cities classified in the Bioclimatic Zone 03, based on NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) and the last revision proposal presented by Roriz (2014). With this, it is tried to understand if the project recommendations can really be generalized to different cities classified in the same Bioclimatic Zone. A climatic analysis and a comparative bioclimatic analysis were carried out between the cities of Maringá, Porto Alegre, Florianópolis and São Paulo, using climatic data from INMET 2016 and the Projeteee platform. The differences found demonstrate the importance of more detailed analyzes of the climate of the cities at different times of the year, in order to guarantee the adequacy of the best strategies for each specific site.

Keywords: climatic analysis, bioclimatic analysis, Brazilian bioclimatic zoning.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação em produzir edificações adequadas ao clima local é existente desde as práticas primitivas. De forma vernacular, na construção de seus abrigos, o homem utilizava os materiais disponíveis e as características favoráveis do clima local como estratégias para controlar as menos favoráveis. Com o objetivo de amenizar os problemas ambientais decorrentes do desenvolvimento de novas tecnologias e técnicas construtivas na Revolução industrial e da devastação da Segunda Guerra mundial, surgem diversas linhas de pesquisa sobre a adaptação de projetos de edificações às variáveis do meio (ROMERO, 2001; CORBELLA, YANNAS, 2009).

Em 1947, o arquiteto James Marston Fitch lança as bases científicas da aplicação da climatologia à arquitetura ao abordar a relação entre edifícios, seus ocupantes e o meio ambiente (BOGO *et al*, 1994). Posteriormente, na década de sessenta, Victor Olgyay apresenta um método racional para relacionar graficamente os elementos climáticos com o conforto humano e estabelece os primeiros índices de conforto térmico. O termo “projeto bioclimático”, utilizado pela primeira vez por Olgyay (1998), foi precursor de outros termos como “arquitetura solar”, “arquitetura passiva” e “arquitetura bioclimática”, sendo esta definida por Romero (2001, p. 28) como “uma forma de desenho lógico que reconhece a persistência do existente, é culturalmente adequada ao lugar e aos materiais e utiliza a própria concepção arquitetônica como mediadora entre o homem e o meio”. Para Maciel, Ford e Lamberts (2006), o projeto de edificações deve considerar, em primeiro lugar, as características climáticas da região em questão, a fim de identificar as melhores estratégias projetuais a serem empregadas para garantir um bom desempenho térmico da edificação e o conforto térmico do usuário.

Quando se trata de projetos de habitação de interesse social, diversos fatores sociais, econômicos e políticos ocasionaram um esquecimento das preocupações com o entorno. No Brasil, as pesquisas de avaliação pós-ocupacional apresentam a prevalência da produção em massa, com projetos padrão, desvinculados das necessidades climáticas locais, desde a implantação, forma e materiais utilizados, o que resulta em projetos totalmente inadequados do ponto de vista do conforto térmico (KOWALTOWSKI *et al*, 2015; BERR *et al*, 2015).

Na tentativa de facilitar a aplicação de metodologias de projeto bioclimático ao processo de projeto e adapta-las à realidade climática do país, foi elaborada, em 2005, a primeira norma de desempenho térmico de edificações: a NBR 15220 (ABNT, 2005). Na terceira das seis partes que compõem a normativa (ABNT, 2005b) é proposto o zoneamento climático brasileiro, que compreende oito diferentes zonas, classificadas de acordo com semelhanças das características climáticas. É proposto ainda um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social com até três pavimentos, relativas a aberturas, paredes e coberturas, além de estratégias de condicionamento térmico passivo (ABNT, 2005b).

De acordo com Roriz, Ghisi e Lamberts (1999), o método utilizado para a classificação bioclimática foi a análise dos dados climáticos de 6500 pontos do território brasileiro sobre a Carta de Givoni, em uma versão adaptada¹ às características climáticas do país, sob a qual foram identificadas as zonas bioclimáticas. Destes 6500 pontos, 330 foram dados climáticos medidos. Os demais, (aproximadamente 95% do total) foram estimados por interpolação, considerando as médias mensais de temperaturas máxima e mínima e de umidade relativa do ar. Para a definição das recomendações construtivas, as estratégias de condicionamento térmico passivo indicadas por Givoni foram associadas aos limites aceitáveis de indicadores do desempenho térmico adaptados do método de Mahoney² (ABNT, 2005b).

Segundo Roriz (2012), a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) tem cumprido um importante papel na busca por melhorar o desempenho térmico destas edificações. No entanto, algumas limitações já foram identificadas, evidenciando a necessidade de revisões (PEREIRA e ASSIS, 2005; MARTINS, BITTENCOURT e KRAUSE, 2012; FERREIRA, SOUZA e ASSIS, 2014; BOGO, 2016). A primeira proposta de revisão foi apresentada em 2012 (RORIZ, 2012a) e, a partir dela foram elaboradas outras quatro, sendo a última em 2014 (RORIZ, 2014), que estabelece um zoneamento bioclimático de 24 zonas. As diferenças entre as propostas concentram-se basicamente na fonte dos dados medidos, que aumentou de 5%

¹ Givoni, em 1969, avalia limitações da Carta Bioclimática proposta por Olgyay e elabora uma Carta Bioclimática para Edifícios, traçada sobre uma carta psicrométrica, que relaciona as variáveis climáticas que exercem influência no conforto térmico e na superfície externa da edificação, baseado nas temperaturas internas dos edifícios (GIVONI, 1992). Para o zoneamento brasileiro, a Carta de Givoni foi adaptada levando em consideração aspectos da cultura construtiva típica de cada região do país, além de experiências acadêmicas e profissionais dos pesquisadores envolvidos (RORIZ, GHISI, LAMBERTS, 1999).

² Trata-se de um método simplificado de análise climática que utiliza dados das Normas Climatológicas locais dispostos em planilhas, comparados com limites de conforto indicados para cada tipo de clima, resultando em diferentes diretrizes para projetos de edificações (RORIZ, GHISI, LAMBERTS, 1999).

para 27% até a última versão, e na definição dos parâmetros a serem utilizados para a classificação climática. Em uma análise das quatro propostas de revisão, Amorim e Carlo (2017) demonstraram uma grande sensibilidade no método utilizado na última proposta. Os autores comprovaram que, dependendo dos arquivos climáticos utilizados, um mesmo município pode ser inserido em duas zonas climáticas diferentes por variações decimais nos valores de amplitude média anual e de desvio padrão de amplitude, por exemplo. Roriz (2012a) ressalta a necessidade de pesquisas que tragam contribuições para a revisão do zoneamento, a partir de avaliações entre as zonas bioclimáticas e entre cidades da mesma zona.

Diante disso, surge a premissa deste trabalho, que compara cidades classificadas em uma mesma zona bioclimática através de uma análise climática e uma análise bioclimática. Diversas discussões sobre o processo de projeto bioclimático propõem, para as fases iniciais do projeto, estas duas análises (OLGYAY, 1998; PIETROBON, TOLEDO, PIETROBON, 1995; ROMERO, 2000; FROTA E SCHIFFER, 2007). A análise climática é utilizada para compreender e determinar o clima. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), essa análise engloba uma avaliação isolada de variáveis climáticas como radiação solar, precipitações, temperatura e umidade relativa do ar. A partir do entendimento do clima, é necessário compreender os efeitos do mesmo na arquitetura e no ser humano, resultando em uma tradução das condicionantes ambientais em estratégias práticas de projeto. Este é o papel da análise bioclimática, que possibilita “uma visão geral da relação entre condições de conforto e situação climatológica, com informação detalhada sobre a importância dos elementos climáticos segundo o lugar de assentamento” (OLGYAY, 1998, p 31, tradução nossa).

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é verificar as semelhanças e as diferenças, em relação às características climáticas e as estratégias de condicionamento térmico passivo, de quatro cidades classificadas na Zona Bioclimática 03, com base na NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) e na última proposta de revisão (RORIZ, 2014). Com isso, busca-se avaliar se as recomendações de projeto podem realmente ser generalizadas para diferentes cidades classificadas na mesma Zona Bioclimática (ZB03).

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas principais:

1. Escolha da zona bioclimática e das cidades a serem analisadas
2. Análise climática das cidades selecionadas
3. Análise bioclimática das cidades selecionadas

3.1. Escolha da zona bioclimática e das cidades a serem analisadas

Dentre as oito zonas do atual Zoneamento Brasileiro (ABNT 2005b), optou-se por analisar a zona bioclimática 03 (ZB3), por contemplar cidades com situações climáticas e geográficas muito distintas que, em uma primeira análise superficial, não poderiam ser consideradas com características climáticas semelhantes. Como exemplo, têm-se as cidades de Maringá/PR, Porto Alegre/RS, São Paulo/SP, Florianópolis/SC, Chapecó/SC, entre outras.

Posteriormente, quatro cidades classificadas na ZB3 foram selecionadas para a análise. A escolha foi realizada através de uma análise comparativa entre a classificação da NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) e da última proposta de revisão (RORIZ, 2014), apresentada na Tabela 1, segundo os seguintes critérios: 1. Classificação climática (deveriam estar na mesma zona bioclimática tanto no zoneamento atual quanto no novo zoneamento proposto); 2. Localização em estados diferentes; 3. Características geográficas distintas (diferentes altitudes, por exemplo) e 4. Disponibilidade dos arquivos climáticos Epw.

Observou-se que as 63 cidades classificadas na ZB3 pela NBR 15220-3, dividiram-se em outras 10 zonas bioclimáticas na última proposta de revisão. A partir dos critérios acima relacionados, foram escolhidas para a análise as seguintes cidades: Maringá (PR), Porto Alegre (RS), Florianópolis (SC) e São Paulo (SP), pertencentes à ZB3 na primeira classificação (ABNT, 2005b) e à ZB13 na última revisão (RORIZ, 2014).

Tabela 1 – Comparativo entre a classificação climática das cidades pela NBR 15220-3 e pela Proposta de Revisão 3.0
(Elaborada pelas autoras)

CIDADES PERTENCENTES À ZB3 (NBR 15220-3)					CIDADES PERTENCENTES À ZB3 (NBR 15220-3)				
UF	Cidade	Zona (Rev. 3.0)	Altít. (m)	Fonte de Dados ¹	UF	Cidade	Zona (Rev. 3.0)	Altít. (m)	Fonte de Dados ¹
MG	Juiz de Fora	2	695	2	MG	Coronel Pacheco	16	484	2
MG	Barbacena	2	1.164	2	MG	Curvelo	16	632	2
MG	Diamantina	2	1113	2	MG	Pompéu	16	657	2
RJ	Petrópolis	2	809	1	MG	São João Evangelista	16	690	1
RS	Rio Grande	6	5	2	MG	Ubá	16	338	1
RS	Torres	6	16	2	MS	Dourados	16	430	2
SC	Chapecó	8	674	2	MS	Ponta Porã	16	655	2
MG	Araxá	10	997	2	RJ	Cordeiro	16	485	2
MG	Belo Horizonte	10	858	1	PR	Campo Mourão	16	585	2
MG	Itamarandiba	11	910	2	PR	Foz do Iguaçu	16	164	2
MG	Uberaba	12	801	2	PR	Jacarezinho	16	501	2
MG	Caratinga	13	578	2	PR	Londrina	16	585	2
PR	Paranaguá	13	3	2	RJ	Piraí	16	387	2
PR	Maringá ²	13	596	2	RJ	Vassouras	16	434	2
RS	Porto Alegre	13	3	2	SP	Avaré	16	766	2
SC	Camboriú	13	8	2	SP	Bariri	16	447	1
SC	Florianópolis	13	3	2	SP	Barra Bonita	16	457	1
SC	Indaial	13	64	2	SP	Campinas	16	854	2
SP	São Paulo	13	760	2	SP	Ibitinga	16	491	2
SP	Ubatuba	13	3	2	SP	Mogi Guaçu (Campininha)	16	591	1
MG	Muriae	14	209	2	SP	Pindamonhangaba	16	557	1
MG	Santos Dumont	15	839	1	SP	Salto Grande	16	396	1
MG	Viçosa	15	648	2	SP	Sorocaba	16	601	2
RJ	Carmo	15	347	2	SP	Tietê	16	508	1
PR	Guaíra	15	220	2	SP	Tremembé	16	560	2
RS	Iraí	15	235	2	SP	Bandeirantes	NC	-	-
MG	Itabira	15	779	1	SP	Graminha	NC	-	-
MG	Grão Mogol	16	829	1	SP	Jurumirim	NC	-	-
MG	Lavras	16	919	1	MT	Presidente Murtinho	NC	-	-
MG	Monte Alegre de Minas	16	730	1	RJ	Rezende	NC	-	-
MG	Bambuí	16	706	2	SP	Ribeirão das Antas	NC	-	-
MG	Conceição do Mato Dentro	16	701	2					

¹ Forma de obtenção dos dados climáticos para a Proposta de Revisão 3.0, segundo a qual:

1 = Dados obtidos por equação de regressão

2 = Dados medidos pelo INMET

² A cidade de Maringá foi inicialmente classificada na ZB1 pela NBR 15220, e posteriormente reclassificada na ZB03 (NOTA TÉCNICA 05, 2011).

3.2. Análise climática das cidades

Para esta análise foram utilizados os dados climáticos do INMET 2016, visualizados através da plataforma Projeteer (2019), que apresenta de forma didática e organizada os gráficos das variáveis acima mencionadas.

Os dados climáticos mais difundidos no Brasil, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), são as Normais Climatológicas, publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para centenas de cidades brasileiras. São compostas por valores médios e extremos mensais de temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, pluviosidade e irradiância global sobre o plano horizontal (RORIZ, 2012), medidos de forma padronizada a cada trinta anos. A NBR 15220 (ABNT, 2005b) utilizou como base as Normais Climatológicas medidas de 1961 a 1990 em 206 cidades, e dados das Normais Climatológicas e outras fontes medidos de 1931 a 1960 em 124 cidades.

A partir dos dados registrados pelo INMET, foram elaborados por Roriz (2012) um conjunto de arquivos climáticos em formato .epw para 411 cidades brasileiras. Esses arquivos englobam, além das oito variáveis com dados medidos, outras 27 variáveis estimadas por cálculo ou por meio de um aplicativo de conversão de arquivos climáticos. Além disso, foram preenchidas lacunas nos dados medidos, que apresentavam períodos sem registro, e identificados os anos climáticos de referência para cada localidade (RORIZ, 2012). Em 2016, foram feitas algumas correções nesses arquivos, através da análise das variáveis radiação global horizontal e de temperatura de bulbo seco (SCHELLER, MELO, LAMBERTS, 2016). Novas correções no cálculo da nebulosidade foram feitas em 2018 (LABEEE, 2018). Como a ferramenta de

apoio selecionada para realizar a análise bioclimática utiliza os dados do INMET de 2016, optou-se por utilizar os mesmos dados, a fim de garantir maior compatibilidade entre as análises.

A análise climática se deu de forma comparativa entre as cidades escolhidas, através de dados e variáveis isolados, a fim de verificar as semelhanças e diferenças entre os climas das cidades classificadas na mesma zona bioclimática. Inicialmente, foram observados os dados de localização, latitude, longitude, altitude e tipo de clima. Para este último, foram consideradas as classificações climáticas de Köppen³ e do IBGE⁴. Em seguida, foram analisados os dados das médias anuais das variáveis temperatura, amplitude térmica, radiação solar, umidade relativa e precipitações, que, segundo Romero (2000), são os elementos que definem e representam cada tipo de clima. Para possibilitar uma caracterização dos períodos de inverno e de verão, foram relacionados e comparados os dados das médias mensais dos três meses mais frios e dos três meses mais quentes. A partir disso, os dados climáticos das quatro cidades foram separados por variável e comparados em gráficos, a fim de ampliar a visualização do comportamento climático das mesmas.

3.3. Análise bioclimática das cidades

Após a análise das variáveis climáticas, realizou-se a análise bioclimática, através da mesma plataforma Projeteee, para cada cidade selecionada, com o objetivo de identificar as estratégias projetuais recomendadas para as estações de verão e de inverno e, posteriormente, comparar com as estratégias recomendadas pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) para a ZB3. Assim, foi possível ter um cruzamento das semelhanças ou diferenças da análise climática (análise das variáveis ambientais isoladas) com a análise bioclimática (a definição das estratégias projetuais que devem ser incluídas no projeto arquitetônico).

O Projeteee (2019), além dos dados climáticos de mais de 400 cidades brasileiras, indica as estratégias de projeto mais apropriadas para cada região e traz detalhamentos da aplicação prática das mesmas. Seu uso, segundo a própria plataforma, é indicado para análises em fase de estudo preliminar, indicando possibilidades a serem avaliadas de acordo com as especificidades de cada projeto. A utilização dessa ferramenta permite uma análise mais detalhada do comportamento do clima local, pois possibilita a escolha de diferentes períodos do dia e estações do ano.

A definição das estratégias bioclimáticas pela ferramenta foi realizada através da análise de todas as horas do ano de referência do arquivo climático de cada localidade e a metodologia de análise dividiu-se em duas etapas: 1) cálculo do número de horas do ano dentro da zona de conforto através do modelo de conforto térmico adaptativo da ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013); 2) análise das horas de desconforto com base na carta bioclimática de Givoni. Nesta etapa, para aumentar o nível de critério e a adequação das estratégias para o local específico, foi utilizado o método computacional analítico, que permitiu a combinação com outras variáveis como velocidade e direção do vento, níveis de radiação solar, dentre outros (PROJETEE, 2019a).

4. RESULTADOS E ANÁLISE

4.1. Análise climática das cidades selecionadas

Conforme os dados relacionados na Tabela 2, as quatro cidades analisadas localizam-se na região sul do Brasil, tendo as cidades de Maringá (PR) e São Paulo (SP) latitudes menores e as cidades de Florianópolis (SC) e Porto Alegre (RS) latitudes maiores. Como a latitude influencia na incidência dos raios solares, pode haver diferenças na quantidade de radiação solar recebida, o que se confirma com os dados climáticos dessa variável.

Segundo Köppen (1948), as cidades de Maringá, Porto Alegre e Florianópolis apresentam a mesma classificação climática: clima temperado úmido com verão quente (Cfa). São Paulo está classificada como clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa), por ter influência das chuvas de verão. Os dados climáticos de temperatura, precipitação e umidade relativa do ar também confirmam essa classificação, com exceção de Maringá, que possui apenas dois dos três meses mais frios com temperaturas entre -3°C e 18°C (Tabela 2).

³ Uma das classificações da terra em regiões climáticas mais tradicionais e universalmente aceitas é a de Köppen-Geiger, muito utilizada na geografia, climatologia e ecologia. O território brasileiro, segundo esta classificação, divide-se em três grandes zonas climáticas (Zona Tropical, Zona Seca e Zona Subtropical Úmida), subdivididas em 12 tipos de climas (KÖPPEN, 1948).

⁴ A classificação climática atualmente adotada pelo IBGE adota a classificação de Nimer, proposta em 1979, e é baseada em três sistemas: 1° – relativo aos padrões de circulação atmosférica, que definem três climas sazonais (equatorial, tropical e temperado); 2° – com base na frequência e médias dos valores extremos mensais, delimita as regiões térmicas (mesotérmico mediano ou brando, subsequente e quente); 3° - classifica as regiões quanto aos padrões de umidade e seca mensais (super úmido, úmido, semiúmido e semiárido) (FERREIRA, SOUZA, ASSIS, 2014).

Tabela 2 – Comparação entre os dados climáticos das cidades analisadas
(Fonte: Dados INMET 2016. Elaborado pelas autoras)

Dados		Maringá (PR)			Porto Alegre (RS)			Florianópolis (SC)			São Paulo (SP)		
Localização	No Brasil	Região Sul			Região Sul			Região Sul			Região Sudeste		
	No Estado	Região noroeste			Região leste			Região leste			Região sudeste		
	Latitude	-23.425			-30.033			-27.597			-23.852		
	Longitude	-51.939			-51.230			-48.549			-46.636		
	Altitude	596 m			3 m			3 m			760 m		
Classificação climática	Köppen	Cfa ¹			Cfa ¹			Cfa ¹			Cwa ²		
	IBGE	Temperado ³ , subquente ⁴ , super úmido, sem seca			Temperado ³ , mesotérmico brando ⁵ , super úmido, sem seca			Temperado ³ , subquente ⁴ e super úmido, sem seca			Temperado ³ , mesotérmico brando ⁵ e super úmido, subseca		
Médias anuais	Temperatura média	22,2°C			19,3°C			20,7°C			18,8°C		
	Variação de temp.	6,8°C			10,9°C			7,8°C			6,42°C		
	Umidade Relativa	82%			82%			85%			82%		
	Precipitação (média acumulada)	1415mm			1168mm			1424mm			1519mm		
	Radiação solar	211,4 (Wh/m2)			197,9 (Wh/m2)			173,6 (Wh/m2)			213,6 (Wh/m2)		
Inverno (médias mensais)	Meses mais frios	Mai	Jun	Jul	Mai	Jun	Jul	Jun	Jul	Ago	Mai	Jun	Jul
	Temp. do ar (°C)	20,2	19,1	17,9	14,8	14,9	13,7	16,7	17,5	17,1	16,7	16,8	16,0
	Amplit. Térmica (°C)	9,5	8,2	10,8	12,3	7,5	8,1	9,9	8,4	7,4	7,4	8,6	10,0
	Precipitação (mm)	52	7	256	171	62	77	81	35	9	71	68	0
	Umidade rel. (%)	76,5	78,8	72,2	83,9	89,6	87,7	83,7	85,4	83,9	88,2	84,9	80,2
	Rad. solar (Wh/m2)	159	139	160	133	116	113	126	114	132	155	156	155
Verão (médias mensais)	Meses mais quentes	Nov	Dez	Jan	Jan	Fev	Mar	Jan	Fev	Mar	Jan	Fev	Mar
	Temp. do ar (°C)	24,3	24,4	24,7	24,6	24,3	23,4	24,8	24,2	24,3	22,5	22,1	21,2
	Amplit. Térmica (°C)	11,2	9,2	10,2	10,9	9,1	9,8	7,6	6,9	6,7	10,2	8,4	8,9
	Precipitação (mm)	92	236	259	153	123	78	318	185	156	302	221	168
	Umidade rel. (%)	67,9	78,1	74,9	80,0	81,6	81,0	87,0	87,7	85,5	80,0	84,3	86,0
	Rad. solar (Wh/m2)	271	246	254	260	241	220	261	242	176	262	238	220

¹ Cfa – Clima temperado úmido com verão quente (estações de verão e inverno bem definidas, ocorrência de precipitação em todos os meses do ano, inexistência de estação seca definida, temperaturas médias do ar nos três meses mais frios entre -3°C e 18°C e no mês mais quente maior que 22°C).

² Cwa – Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (estações de verão e inverno bem definidas, temperaturas médias do ar nos três meses mais frios entre -3°C e 18°C e no mês mais quente maior que 22°C, verão mais chuvoso que o inverno).

³ Temperado – Média acima de 10°C nos meses mais quentes e entre -3°C e 18°C nos meses frios.

⁴ Subquente – Média entre 15°C e 18°C em pelo menos 1 mês

⁵ Mesotérmico brando – Média entre 10°C e 15°C

Em uma análise segundo a classificação utilizada pelo IBGE (2002), os dados das cidades de Maringá e Florianópolis condizem com as definições de clima temperado, subquente e super úmido. As cidades de Porto Alegre e São Paulo, no entanto, não se enquadrariam nas definições de clima mesotérmico brando, por não possuírem média de temperatura entre 10°C e 15°C, tendo assim as mesmas características climáticas das demais (Tabela 2).

Ao comparar as cidades entre si, com relação às médias anuais dos dados climáticos, observa-se uma diferença de 3,4°C entre as temperaturas das cidades de Maringá e São Paulo, que apresentam a maior e menor temperatura anual, respectivamente. É possível verificar ainda que a variação das médias mensais de temperatura é maior em Porto Alegre e menor em São Paulo. Além disso, os dados de precipitação e umidade relativa do ar apresentam poucas variações (Tabela 2).

As médias de temperaturas mensais no período de inverno apresentam maior diferença entre as cidades do que no período de verão, tendo Porto Alegre a menor temperatura no seu mês mais frio (13,7°C) e Maringá a maior (17,9°C). Esta diferença pode ser melhor observada na Figura 1(A). Nos três meses mais frios, Porto Alegre apresenta a menor média de temperatura para o período, com uma diferença de 2,1°C a 4,6°C para as demais cidades. O mesmo comportamento se dá para a radiação solar, conforme a Figura 1(B), na qual vê-se que as cidades de Porto Alegre e Florianópolis recebem menor radiação no período. Através da Figura 1(C), observa-se que em seu mês mais frio (julho), Porto Alegre apresenta menor amplitude térmica do que as demais cidades. Com relação à umidade relativa do ar, na Figura 1(D), o quadro se inverte. Porto Alegre passa a ter as maiores taxas de umidade, com uma diferença de até 11% para as demais cidades.

No período de verão, representado na Tabela 2 pelos três meses mais quentes de cada uma das cidades, a diferença de temperatura entre elas é menor. A principal discrepância no período refere-se à cidade de Florianópolis. A cidade catarinense apresenta a maior média para o período (24,5°C) e São Paulo a menor (21,9°C). A diferença entre a temperatura média de Florianópolis e as demais é de no máximo 2,5°C, mas possui taxas de umidade relativa de até 13% maior.

Como resultado da análise climática das cidades a partir das médias dos três meses mais frios e dos três meses mais quentes, representando os períodos de inverno e de verão, respectivamente, obtém-se um quadro geral das principais características climáticas das cidades. Todas, em geral, apresentam clima quente e úmido, com estações de inverno e verão bem definidas e precipitação significativa ao longo do ano. No entanto, ao compara-las por estações e entre si, é possível identificar algumas diferenças entre elas, resumidas na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação entre as características das estações de verão e de inverno das cidades de Maringá (MGA), Porto Alegre (POA), Florianópolis (FLN) e São Paulo (SÃO) (Fonte: Elaborado pelas autoras)

Cidades	Inverno	Verão
MGA	Bem definido e mais ameno que as demais; úmido, mas com a menor taxa de umidade relativa e chuvoso.	Bem definido, úmido, porém com a menor taxa de umidade relativa que as demais e chuvoso.
POA	Bem definido e mais rigoroso que as demais; úmido e chuvoso.	Bem definido, úmido e chuvoso.
FLN	Bem definido, úmido e bem menos chuvoso que o verão.	Bem definido, com a maior taxa de umidade relativa que as demais e bem mais chuvoso que o inverno.
SAO	Bem definido, úmido e bem menos chuvoso que o verão.	Bem definido, porém com temperatura um pouco menor que as demais, úmido e bem mais chuvoso que o inverno.

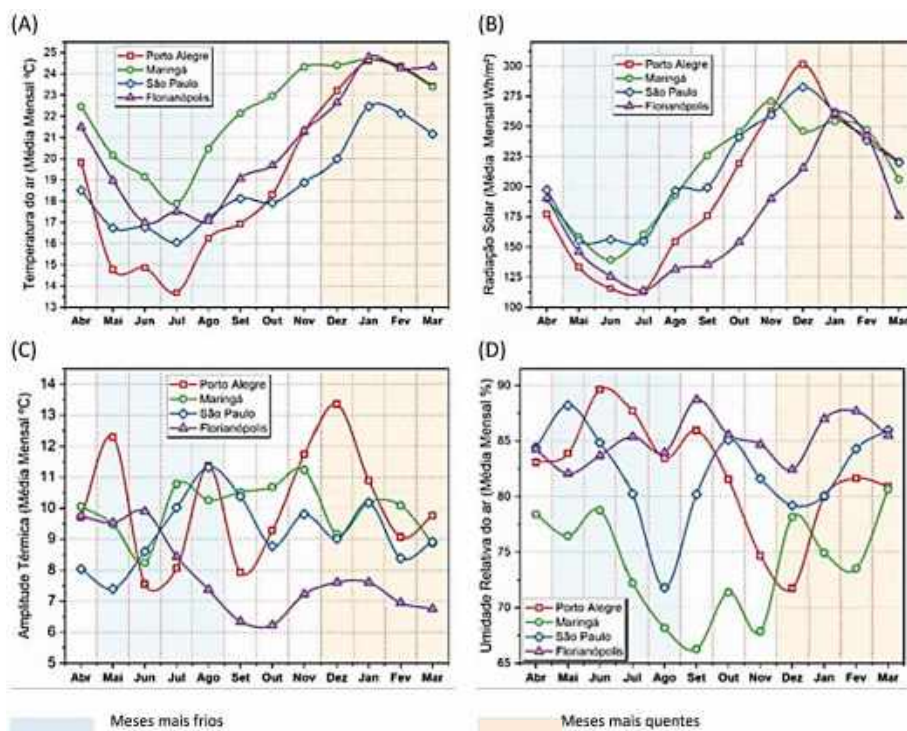


Figura 1 – Comportamento das variáveis de conforto térmico das cidades de Maringá, Porto Alegre, Florianópolis e São Paulo: (A) temperatura do ar; (B) radiação solar; (C) amplitude térmica; (D) umidade relativa do ar (Fonte: Dados INMET 2016. Elaborado pelas autoras)

4.2. Análise bioclimática das cidades

O uso da ferramenta Projeteee possibilita a análise tanto do período anual quanto de estações ou horários específicos. Com relação às condições de conforto térmico relacionadas na Tabela 4, em uma média anual, as diferenças entre as cidades no desconforto por frio vão de 8% (entre São Paulo e Porto Alegre) a 34% (entre São Paulo e Maringá) e por calor de 10% (entre Florianópolis e Maringá) a 25% (entre Florianópolis e São Paulo). Isso representaria um quadro com São Paulo apresentando piores condições no inverno e Florianópolis no verão.

Tabela 4 – Condições de conforto anual, no verão e no inverno nas cidades de Maringá, Porto Alegre, Florianópolis e São Paulo (Fonte: PROJETEEE)

Estações	Condições de conforto	MGA	POA	FLN	SAO
Inverno	DF	50%	84%	76%	76%
	CT	38%	12%	16%	20%
	DC	12%	4%	8%	4%
Verão	DF	8%	13%	4%	32%
	CT	40%	25%	13%	28%
	DC	52%	63%	83%	40%
Média Anual	DF	29%	55%	43%	63%
	CT	41%	21%	17%	22%
	DC	30%	25%	40%	15%

DF – Desconforto por frio
 CT – Conforto térmico
 DC – Desconforto por calor

Ao serem analisados os períodos de verão e de inverno individualmente, essa relação se modifica um pouco. No período mais frio, as condições de conforto térmico são menores em Porto Alegre e maiores em Maringá. Isso ocorre porque a análise por estação engloba também as horas de desconforto por calor existentes mesmo nos meses mais frios, bem como as horas de desconforto por frio existentes nos meses mais quentes. Percebe-se assim uma diferença de até 26% entre a cidade gaúcha e as demais cidades, comprovando as observações realizadas na análise climática. No verão, Florianópolis tem as piores condições de conforto e Maringá as maiores, o que representa uma diferença de até 27% entre a cidade catarinense e as demais cidades, novamente comprovando as observações da análise anterior.

Como estão classificadas em uma mesma zona bioclimática pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), as estratégias bioclimáticas recomendadas pela normativa são as mesmas para as quatro cidades, variando-se apenas os períodos de inverno e de verão. Em uma análise bioclimática mais detalhada, específica para cada localidade, verifica-se algumas diferenças entre as recomendações. A Tabela 5 apresenta a comparação entre a análise bioclimática feita pelo método da NBR 15220-3 e pela plataforma ProjetEEE (2019).

Para o inverno, além das estratégias recomendadas pela NBR 15220-3, recomenda-se a ventilação natural como uma das estratégias principais para Maringá e Florianópolis, com 14% e 9% de eficiência para o alcance do conforto térmico por meios passivos, respectivamente. Para Porto Alegre e São Paulo a ventilação natural também aparece como estratégia projetual, mas de forma complementar, registrando apenas 4% de aplicabilidade. As porcentagens mais baixas são referentes apenas à renovação do ar interno e não em termos de conforto térmico do usuário, típico do uso dessa estratégia durante o período de inverno. Além desta, outras estratégias são apresentadas como complementares, em pequena porcentagem, tais como: resfriamento evaporativo e sombreamento para todas as cidades e inércia térmica para resfriamento em Maringá.

Para o verão, a NBR 15220-3 traz como recomendação mínima apenas a ventilação cruzada. Pelo ProjetEEE, adiciona-se a ela o sombreamento e a inércia térmica para todas as cidades, com variações apenas nos índices de aplicabilidade. Outras recomendações aparecem em porcentagem menor, como a inércia térmica para resfriamento para Maringá e Porto Alegre e o resfriamento evaporativo para Porto Alegre, Florianópolis e Maringá.

Comparando as quatro cidades com relação ao Projeteeee, nota-se que no período do verão todas as cidades recebem a mesma recomendação de estratégias, diferenciando-se apenas o índice de aplicabilidade. Observa-se uma demanda maior de inércia térmica para aquecimento em São Paulo em relação às demais e uma maior demanda de ventilação natural em Florianópolis.

No período de inverno, é possível classificar as cidades em dois grupos, de acordo com as estratégias recomendadas: 1 - Porto Alegre e São Paulo; 2 – Maringá e Florianópolis. Em ambos os grupos variam-se apenas os índices de aplicabilidade das estratégias. Observa-se aqui uma maior demanda de inércia térmica para aquecimento em Florianópolis.

Tabela 5 – Estratégias bioclimáticas recomendadas para Maringá, Porto Alegre, Florianópolis e São Paulo pela NBR 15220-3 e pela plataforma ProjetEEE (Fonte: Elaborado pelas autoras)

	Método	Maringá	Porto Alegre	Florianópolis	São Paulo
Estratégias Bioclimáticas para o inverno	NBR 15220-3	Aquecimento solar da edificação Paredes internas pesadas Permitir insolação nos ambientes	Aquecimento solar da edificação Paredes internas pesadas Permitir insolação nos ambientes	Aquecimento solar da edificação Paredes internas pesadas Permitir insolação nos ambientes	Aquecimento solar da edificação Paredes internas pesadas Permitir insolação nos ambientes
	ProjetEEE	Principais: Inércia térmica para aquecimento (56%) Ventilação Natural (14%) Aquecimento solar passivo (11%)	Principais: Inércia térmica para aquecimento (56%) Aquecimento solar passivo (35%)	Principais: Inércia térmica para aquecimento (71%) Aquecimento solar passivo (11%) Ventilação Natural (9%)	Principais: Inércia térmica para aquecimento (57%) Aquecimento solar passivo (32%)
		Outras: Resfriamento evaporativo (9%) Sombreamento (4%) Inércia térmica para resfriamento (2%)	Outras: Ventilação Natural (4%) Sombreamento (2%) Resfriamento evaporativo (2%)	Outras: Sombreamento (6%) Resfriamento evaporativo (4%)	Outras: Ventilação Natural (4%) Sombreamento (2%) Resfriamento evaporativo (4%)
Estratégias bioclimáticas	NBR 15220-3	Ventilação cruzada	Ventilação cruzada	Ventilação cruzada	Ventilação cruzada
	ProjetEEE	Principais: Ventilação Natural (52%) Sombreamento (20%) Inércia térmica para aquecimento (14%)	Principais: Ventilação Natural (49%) Sombreamento (27%) Inércia térmica para aquecimento (11%)	Principais: Ventilação Natural (60%) Sombreamento (34%) Inércia térmica para aquecimento (5%)	Principais: Ventilação Natural (40%) Inércia térmica para aquecimento (34%) Sombreamento (18%)

		Outras: Inércia térmica para resfriamento (4%)	Outras: Inércia térmica para resfriamento (4%) Resfriamento evaporativo (3%)	Outras: Resfriamento evaporativo (1%)	Outras: Resfriamento evaporativo (3%)
--	--	---	--	--	--

5. CONCLUSÕES

Através da análise climática comparativa foi possível identificar algumas distinções entre as características do clima das cidades analisadas, classificadas em uma mesma zona bioclimática. Para o período de inverno, conclui-se que as maiores diferenças estão entre as cidades de Porto Alegre e Maringá. A primeira demonstra ter um inverno mais rigoroso que as demais, com menor radiação solar incidente, com temperaturas até 4,6°C mais baixas e mais constantes e com até 11% a mais de umidade. Maringá, ao contrário, apresenta as temperaturas mais altas para o período, com maior amplitude térmica e maior média de radiação solar incidente. Para o período de verão, Florianópolis destaca-se das demais, apresentando a maior média de temperatura do período. Apesar da diferença entre as outras três cidades ser de no máximo 2,5°C, possui até 13% a mais de umidade relativa, o que modifica a sensação térmica dos usuários. Dessa forma, ela representa um verão mais quente e mais úmido e com menor amplitude térmica.

As diferenças registradas são confirmadas através da análise bioclimática, na qual Porto Alegre aparece com as menores condições de conforto térmico no inverno e Florianópolis no verão. Com relação às estratégias projetuais, percebe-se que a NBR 15220 não recomenda o uso da ventilação natural como estratégia projetual principal, ao contrário das recomendações do Projeteer para duas das cidades. Isso é notado também para o uso do sombreamento e da inércia térmica para aquecimento, que foram adicionados à todas as cidades no verão. Essas diferenças podem estar relacionadas com as fontes de dados utilizadas, já que a norma utilizou dados de Normais Climatológicas e a plataforma utilizou os arquivos climáticos com correções nesses dados. Outra possível razão para essa diferença é a metodologia utilizada pelo Projeteer para a definição das estratégias, que através do método computacional analítico levou em consideração outras variáveis climáticas.

De acordo com o Projeteer (2019), as estratégias recomendadas são apenas indicativas e não é possível compará-las aos resultados de ferramentas de simulação, por exemplo. Destaca-se aqui a recomendação da necessidade do uso de inércia térmica para aquecimento em todas as cidades no verão, que possuem clima quente e úmido, com temperaturas significativamente elevadas no período. Essa estratégia não é muito compatível com a estação referida, o que demandaria uma análise mais detalhada sobre os parâmetros utilizados por essa plataforma para tal recomendação, e que será aprofundada nessa pesquisa.

Assim, como continuidade deste trabalho, em etapas posteriores as cidades serão analisadas através de simulações computacionais com o Energyplus, a fim de identificar a ordem de discrepância entre as diferenças encontradas e verificar o quanto elas realmente impactam no desempenho térmico do edifício e no conforto térmico do usuário, bem como na definição das estratégias projetuais para cada uma delas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- AMORIM, A. C.; CARLO, J. C. Análise das propostas de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro: estudo de caso de Colatina, ES. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 373-391, jan./mar. 2017.
- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2013.
- BERR, L. R. et al. Indicador de falhas de qualidade baseado na percepção dos usuários de Habitação de Interesse Social. **Ambient. constr. [online]**. 2015, vol.15, n.4, pp.19-35. ISSN 1415-8876. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212015000400037>.
- BOGO, A. J.; PIETROBON, C. E. BARBOSA, M.J.; GOULART, S.; PITTA, T.; LAMBERTS, R. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações visando o Conforto Térmico**. Florianópolis: UFSC; 1994. Relatório Interno 02/94 NPC/ECV-UFSC.
- BOGO, A. J. Reflexões críticas quanto às limitações do texto das normas brasileiras de desempenho NBR 15220-3 e 15575. **Holos**, Rio Grande do Norte, v. 7, p. 290-298, abr./set. 2016.
- CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro: Revan, 2009. 308p.
- FERREIRA, C.; SOUZA, H. A.; ASSIS, E. S. Estudo do Clima Brasileiro: reflexões e recomendações sobre a adequação climática de habitações. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Maceió, 2014. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2014.

- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 7. Ed. São Paulo: Studio Nobel, 2007. 244p.
- GIVONI, B. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n.1, p. 11-23, 1992.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de Clima do Brasil 2002**. Disponível em: < ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map_BR_clima_2002.pdf>. Acesso em: novembro 2018.
- KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K et al. **Métodos e instrumentos de avaliação de projetos destinados à habitação social**. (2015). In: ORNSTEIN, S. W., BARBOSA, S. Qualidade ambiental na habitação, avaliação pós-ocupação. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. Capítulo: 7, p. 149-184
- LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LABEEE). **Arquivos climáticos INMET 2016**. Disponível em: < <http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>>. Acesso em: novembro 2018.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª ed. São Paulo: ELETROBRAS/PROCEL, 2014. 382p.
- MARTINS, T. A. L.; BITTENCOURT, L.; KRAUSE, C. B. Contribuição ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro: Reflexões sobre o semiárido nordestino. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Búzios, 2011. **Anais...** Búzios: ANTAC, 2011.
- OLGYAY, V. **Arquitectura y clima : Manual de Diseño Bioclimático para arquitectos y urbanistas**. 2. Ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1998. 203p.
- PEREIRA, I; ASSIS, E. S. D. Discussão da Classificação Bioclimática de Belo Horizonte Proposta Pelo Projeto de Norma de Desempenho das Edificações. In: VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Maceió, 2004. **Anais...** Maceió: ENTAC, 2004.
- PIETROBON, C. E.; TOLEDO, L. M. A. de; PIETROBON, C. L. da R. A simulação computacional do desempenho térmico no contexto da arquitetura bioclimática. In: Encontro Nacional de Modelos de Simulação de Ambientes, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ENMSA, 1995. p. 325-339.
- PROJETEEE - PROJETANDO EDIFICAÇÕES ENERGETICAMENTE EFICIENTES. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/>>. Acesso em: mai. 2019.
- PROJETEEE - PROJETANDO EDIFICAÇÕES ENERGETICAMENTE EFICIENTES. **Metodologia de análise bioclimática**. Disponível em: < http://projeteee.mma.gov.br/wp-content/uploads/2017/02/Metodologia-de-an%C3%A1lise-bioclim%C3%A1tica_projeteee_atualizado.pdf />. Acesso em: mai. 2019a.
- ROMERO M. A. B. **Princípios Bioclimáticos para o desenho urbano**. 2. ed. São Paulo: ProEditores, 2000. 128p.
- ROMERO, M. A. B. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora UnB, 2001. 225p.
- RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS R. Uma Proposta de Norma Técnica Brasileira Sobre Desempenho Térmico de Habitações Populares. In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Fortaleza, 1999. **Anais...** Fortaleza: ENCAC-ELECAC, 1999.
- RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. In: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP, 2012.
- RORIZ, M. **Uma Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. 2012a. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>>. Acesso em: outubro 2018.
- RORIZ, M. **Classificação de Climas do Brasil – Versão 3**. 2014. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>>. Acesso em: outubro 2018
- SHELLER, C.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Correções realizadas nos arquivos INMET 2012**. 2016. (Relatório de pesquisa).