AMPLITUDES TÉRMICAS DIÁRIAS NO ESTADO DO PARANÁ: SUBSÍDIO PARA PROJETO DE EDIFICAÇÕES

Camila Kramel (1); Radmyla T. Nunes (2); Sabrina Szulek (3); Fabio J. L. Zhou (4); Brunno Klosowski (5); Pedro A. B. Fontão (6); Leandro C. Fernandes (7).
(1) Eng. civil, mestranda do Prog. de Pós-Grad. em Eng. Civil, camilakramel@gmail.com, UFPR
(2) Estudante de arquitetura e urbanismo, radmyladriveuni@gmail.com, UFPR.
(3) Estudante de arquitetura e urbanismo, sabrinaszulek@gmail.com, UFPR.
(4) Estudante de arquitetura e urbanismo, fabiojon.long.zh1@gmail.com, UFPR
(5) Estudante de arquitetura e urbanismo, bklosowski9@gmail.com, UFPR
(6) Dr., Geógrafo, Programa de Pós-Graduação em Geografia, pedrofontao@yahoo.com.br, Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, Edifício J. J. Bigarella, Sala 208 - Bairro Jardim das Américas, Curitiba-PR.
(7) Dr., arq. e urb., Programa de Pós-Grad. em Engenharia Civil, fernandes.ufpr@gmail.com, Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, Edifício de Ciências Exatas - PA, 4º Andar - Bairro Jardim das Américas, Curitiba – PR, CEP 81.531-970, Tel. 41-3361-3652.

RESUMO
As habitações devem cumprir a função de abrigo com baixo impacto ambiental. Entre os parâmetros para projetos de edificações eficientes estão os modelos de conforto térmico, que impõem limites para as amplitudes térmicas diárias em ambientes internos. Para respeitar tais limites é necessário conhecer as amplitudes térmicas diárias do ambiente externo a fim de definir medidas (paredes com alta capacidade térmica, isolamento resistivo nas faces externas do envelope, compacidade alta, revestimentos reflexivos, entre outras) para controlar as oscilações internas de temperatura. No entanto, no Brasil, não estão disponíveis mapas de amplitudes térmicas diárias específicos para a construção civil. Esta pesquisa teve como objetivo mapear as amplitudes térmicas diárias no estado do Paraná a fim de produzir subsídios para projetos de habitações com baixo consumo energético. Foram utilizados dados de estações meteorológicas de 49 municípios. Os mapas produzidos permitem aos projetistas, a partir das coordenadas de uma localidade, obterem as amplitudes térmicas diárias de referência para projeto nos percentis 99, 97,5 e 95.

Palavras-chave: Amplitude térmica diária. Edificações passivas. Edificações com baixo consumo energético.

ABSTRACT
Buildings must fulfill the function of a shelter with low environmental impact. Among the parameters for efficient building projects are adaptive thermal comfort models, which impose limits on the daily thermal amplitudes in indoor environments. In order to respect such limits in a given climate, it is necessary to know the daily thermal amplitudes of the external environment in order to define measures to control internal temperature fluctuations. Techniques are used such as: walls with high thermal capacity, resistive insulation on the external faces of the envelope, shapes with high compactness, among others. However, in Brazil, maps of specific daily thermal amplitudes for civil construction are not available. This research aimed to map the daily thermal amplitudes in the state of Paraná in order to produce subsidies for housing projects with low energy consumption. Data from meteorological stations in 49 municipalities were used. The maps produced allow designers, from the coordinates of localities in the state, to obtain daily thermal amplitudes of reference for the project in the 99, 97.5 and 95 percentiles.

Keywords: Daily thermal amplitude. Passive buildings. Near Zero Energy Buildings (NZEB).

1. INTRODUÇÃO

A edificação é um artifício para antropização, transformação de um ambiente para sua adequação às demandas ambientais humanas. Nesta perspectiva, o objeto é o ambiente a ser produzido e a edificação é um recurso para obtê-lo. Entre as edificações, destacam-se as destinadas para habitação. No Brasil, existem aproximadamente 72,4 milhões de domicílios particulares permanentes (casas, apartamentos ou cômodos), sendo aproximadamente 62 milhões caracterizados como casas e 10 milhões como apartamentos (IBGE, 2020). Destes domicílios, uma minoria é climatizada artificialmente. Estima-se 0,4 aparelhos para condicionamento de ar por residência. Essa realidade contrasta com a de países como China e Estados Unidos, que possuem aproximadamente 1 e 2 aparelhos por residência, respectivamente (EPE, 2018). Assim sendo, é importante que no Brasil sejam realizados esforços para que o condicionamento térmico natural vá de encontro com as demandas dos usuários. Para projetar corretamente o ambiente térmico das habitações é necessário conhecer:

a) As demandas humanas quanto ao ambiente térmico em habitações condicionadas naturalmente;
b) O clima para o qual a habitação é projetada;
c) As propriedades dos materiais e componentes construtivos disponíveis;
d) E os artifícios para relacionar corretamente os três itens anteriores.

a) As demandas humanas quanto ao ambiente térmico em habitações condicionadas naturalmente são expressas por modelos de conforto térmico. A adoção desses modelos implica na utilização de seus parâmetros para projeto, entre eles, seus limites para as amplitudes térmicas diárias (ΔTd) das temperaturas operativas internas. Várias publicações apresentam valores máximos para as ΔTd internas a fim de servirem de referência para o projeto de edificações: 4 °C (AULICIEMS, 1981), 11 °C (BOGO et al., 1994), 7 °C para países desenvolvidos e 9 °C para países em desenvolvimento (GIVONI, 1998), 8,3 °C (EVANS, 2007); 6 °C e 8 °C (CEN, 2007), 5 °C e 7 °C (ASHRAE, 2017), 5 °C e 7 °C (ABNT/CB-055, 2016). No Brasil, estão vigentes duas normas técnicas nas quais são adotadas faixas de conforto térmico estáticas adaptadas da carta bioclimático de Givoni (GIVONI, 1992), a NBR 15.220 (ABNT, 2005) e a NBR 15.575 (ABNT, 2013). No entanto, pesquisadores advogam a adoção de modelos adaptativos de conforto térmico (dinâmicos), que considerem o fator aclimatação (CÂNDIDO; LAMBERTS; DEAR, 2010). Os modelos adaptativos mais difundidos e utilizados no Brasil são o modelo americano (ASHRAE, 2017) e o modelo europeu (CEN, 2007). No modelo da ASHRAE, são adotadas temperaturas operativas neutras em torno das quais são definidas duas faixas de conforto térmico: para 90 % de aceitabilidade; e para 80 % de aceitabilidade (ASHRAE, 2017).

b) Cabe à climatologia aplicada às edificações realizar análises e prover com métodos e dados os processos de projeto (CESAR; ALVES; AKUTSU, 2005). O tipo de dado requerido vai depender da etapa e das especificidades do projeto: 1) *Dados climáticos sintéticos*. São utilizados nas etapas iniciais do projeto do desempenho de um ambiente térmico. Geralmente, são dados médios ou representativos de períodos rigorosos (ou extremos), tais como: temperatura e umidade relativa (máximas, médias, mínimas e em diferentes percentis); amplitude térmica diária (máximas e em percentis); velocidade, direção e frequência de ocorrência de ventos. Para obter dados sintéticos é necessário processar grandes volumes de dados horários ou diários, geralmente abrangendo períodos de vários anos. Dados deste tipo são disponibilizados pela American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE (http://ashrae-meteo.info). Os dados da ASHRAE apresentam valores médios em percentis de vários subconjuntos de dados, cada um abrangendo um ano (8760 horas de dados processados). Os valores referentes aos percentis de verão, 99,6, 99, 98 e 95, indicam que, em média, tais valores são excedidos em 35 (0,4%), 88 (1%), 175 (2%) e 438 (5%) das horas do ano, respectivamente. Para o período frio, são informadas as temperaturas médias nos percentis 1 e 0,4, significando que, em média, 88 e 35 horas do ano poderão apresentar temperaturas mais baixas (ASHRAE, 2009). No Brasil, dados semelhantes foram calculados e disponibilizados para 14 cidades (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998). 2) *Normais climatológicas*. São valores médios mensais calculados para períodos relativamente longos, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas (DINIZ; RAMOS; REBELLO, 2014). Recentemente, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponibilizou normais climatológicas para 440 estações meteorológicas de superfície, mas sem dados sobre amplitudes térmicas diárias (DINIZ; RAMOS; REBELLO, 2014). De qualquer modo, médias mensais das amplitudes térmicas são dados pouco indicados para subsidiar projetos de edificações com alto desempenho térmico, sendo mais úteis os valores relativos aos períodos extremos ou aos percentis superiores, pois tais edificações devem, além de responder adequadamente nos períodos amenos, responder adequadamente nos períodos extremos. São exemplos de ferramentas de apoio ao projeto

baseadas em dados de normais climatológicas, entre eles os valores médios das ΔTd: as Tabelas de Mahoney (KOENIGSBERGER et al., 1973) e os Triângulos de Evans' (EVANS, 2003). 3) *Conjuntos de dados horários abrangendo períodos anuais*. São dados horários para o período de um ano (8760 horas), selecionados de conjuntos maiores, com dados de 10, 20 ou até 30 anos. São exemplos de dados anuais: os anos climáticos de referências (Test Reference Year - TRY) e os anos meteorológicos típicos (Typical Meteorological Year - TMY3). O TRY apresenta dados horários de um ano real, médio, escolhido dentre um conjunto de anos climáticos (FLORES, 2016). O TMY3 apresenta um ano de valores horários, extraídos de conjuntos de até 30 anos (WILCOX; MARION, 2008) e de no mínimo 10 anos (RENNÉ, 2016). Para gerar um TMY, são identificados meses típicos. Estes meses são concatenados, formando um ano típico. Ou seja, o TRY é um ano médio e o TMY3 é um conjunto de meses médios. Como comentado, dados médios não são próprios para análises de desempenho quando a ideia é considerar condições rigorosas (temperaturas máximas, temperaturas mínimas ou amplitudes térmicas diárias máximas). Dois exemplos de usos para os dados anuais são: a) Análises visando determinar estratégias de projeto adequadas aos climas, como as análises utilizando as ferramentas Diagrama de Givoni (GIVONI, 1976) e Diagramas Antropoclimáticos (FERNANDES, 2020). b) Simulações computacionais para validar e ajustar decisões de projeto.

c) Pesquisas recentes permitiram conhecer melhor as propriedades térmicas dos materiais (ARMELIN *et al*., 2004; INMETRO, 2013), dos componentes (ABNT, 2005b) e das edificações enquanto unidades (DEWSBURY; FAY; NOLAN, 2008). Entre as propriedades dos materiais de maior interesse para o estudo do desempenho térmico das edificações estão: a condutividade térmica (λ); o calor específico (c); e a densidade de massa aparente (ρ). Entre as propriedades térmicas dos *componentes*, citam-se: a transmitância térmica (U); a resistência térmica (Rt); a capacidade térmica (CT); a difusidade térmica; e o atraso térmico. Das propriedades térmicas das *edificações*, citam-se: a resistência térmica total / transmitância térmica total; a capacidade térmica global; e a inércia térmica. Para a especificação destas propriedades é importante conhecer as amplitudes térmicas diárias e as temperaturas e ter em mente que a inércia térmica de uma edificação é especialmente dependente da sua transmitância e capacidade térmica (FERNANDES, 2020).

d) Entre os artifícios para adequação térmica de um ambiente estão aqueles que visam dotar a edificação de inércia térmica, reduzindo as amplitudes térmicas diárias do ambiente interno comparativamente às oscilações térmicas do ambiente externo. Para adequação do desempenho térmico de uma edificação, quanto maior a ΔTd no local de implantação, maior deverá ser o Nível de Inércia Térmica (NIT) da edificação (FERNANDES, 2020). São exemplos de artifícios a serem dosados para regular o nível de inércia térmica de uma edificação: o sombreamento, a capacidade térmica, o isolamento térmico e a ventilação. Níveis altos de inércia térmica são recomendados para seis das oito zonas climáticas da NBR 15.220 para habitações de interesse social (ABNT, 2005a), abrangendo grande parte do território brasileiro. Dos artifícios citados para regulagem do NIT, embora demande cuidados, a capacidade térmica é uma das estratégias mais recomendadas (VERBEKE; AUDENAERT, 2018). Em climas com temperaturas médias baixas, recomenda-se que seja utilizada em associação com ventilação seletiva, apropriada orientação da edificação, isolamento térmico e aquecimento solar passivo (DORNELLES, 2004). Em climas com períodos quentes, a massa térmica também pode proporcionar efeitos positivos, mas é necessário cuidado quanto à incidência solar (PAPST, 1999). Infelizmente, a regulagem do nível de inércia térmica a partir do uso adequado dos materiais e componentes esbarra na falta de dados sobre as amplitudes térmicas diárias (ΔTd).

Os dados sintéticos, item 'b', os são especialmente válidos para as etapas iniciais do processo de projeto. Para as localidades que contam com estações meteorológicas, podem estar disponíveis sob a forma de tabelas. Para as demais localidades, é necessário recorrer a mapas gerados por interpolação. Para o estado do Paraná estão disponíveis o Atlas Climático do Estado do Paraná (NITSCHE *et al*., 2019) e o Atlas Climático dos Estados do Sul do Brasil (WREGE *et al*., 2012), ambos baseados no sistema de classificação de Köppen-Geiger. No entanto, são mapas elaborados a partir de normais climatológicas, insuficientes para uma análise aprofundada da variabilidade climática e não detalham as amplitudes térmicas diárias. Por outro lado, a ΔTd e seus fatores de influência não são suficientemente contemplados nas classificações climáticas utilizadas no estado, havendo a necessidade de avançar no conhecimento científico desta variável na região. No Paraná, predominam dois tipos climáticos, o Cfa (clima subtropical úmido com verão quente) e o Cfb (clima subtropical úmido com verão temperado). Também existem fragmentos dos tipos Am e Aw no noroeste do estado. No entanto, a classificação sintetiza a área com base em poucas informações generalistas, vinculadas à altimetria e a médias pluviais e térmicas.

Em resumo, embora a alta inércia térmica seja recomenda para todo o estado do Paraná e para seis das oito zonas bioclimáticas do território brasileiro (ABNT, 2005a), a principal variável para dimensioná-la, a amplitude térmica diária local, não está facilmente disponível para os projetistas.

2. OBJETIVO

Considerando o exposto, esta pesquisa teve como objetivo mapear as amplitudes térmicas diárias no estado do Paraná a fim de produzir subsídios para projetistas de habitações com baixo consumo energético.

3. MÉTODO

3.1. Dados e região abrangida pela pesquisa

Nesta pesquisa, foram utilizados dados de estações meteorológicas localizadas no estado do Paraná e, para interpolação nas regiões de fronteira, dados de estações dos estados Mato Grosso do Sul, Santa Catarina e São Paulo. Os dados foram obtidos em sites mantidos pelo: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (http://www.inmet.gov.br); Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR (http://www.iapar.br/); e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA/Agritempo - Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (https://www.agritempo.gov.br). Os dados obtidos no site do projeto Agritempo foram medidos em estações pertencentes à rede INMET. A localização das estações é indicada na Tabela 1.

Foram levantados dados diários das temperaturas máximas e mínimas. Após tratamento e eliminação de inconsistências, para cada dia, foram calculadas as respectivas amplitudes térmicas diárias (ΔTd). Foram considerados apenas os dados disponíveis para o período 2000-2019. Devido a falhas e avarias em sensores, a disponibilidade de dados variou de uma estação meteorológica para a outra (Tabela 1). Para Castro, Curitiba, Ivaí, Londrina e Maringá havia dados disponíveis para três estações. Para Chapecó, Irati e Presidente Prudente havia dados para duas estações. Foram utilizados os dados das estações com maior número de anos inteiros de registros.

Tabela 1 – Municípios, fonte dos dados, tipo de estação meteorológica e anos de dados disponíveis.

	Município, estado	Fonte*/ Tipo de estação**	Anos de dados utilizados																				Total
			00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1	Campo Mourão, PR	1/C	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	11
2	Curitiba, PR	1/C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	19
3	Irati, PR	1/C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	20
4	Ivaí, PR	1/C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	16
5	Londrina, PR	1/C	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	18
7	Maringá, PR	1/C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	20
7	Paranaguá, PR	1/C	X	-	X	-	X	X	-	-	-	X	X	X	X	-	X	X	-	X	X	X	13
8	Lapa, PR	2/C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	-	5
9	Palmas, PR	2/C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	3
10	Paranavaí, PR	2/C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	-	5
11	Pato Branco, PR	2/C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	2
12	Castro, PR	3/C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	14
13	Ilha do Mel, PR	3/C	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	12
14	Nova Fátima, PR	3/C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	20
15	Palotina, PR	3/C	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
16	Terra Rica, PR	3/C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	20
17	Clevelândia, PR	3/A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	20
18	Diamante do Norte, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	8
19	Foz do Iguaçú, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	8
20	General Carneiro, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	8
21	Ibaiti, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	8
22	Icaraíma, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
23	Inácio Martins, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
24	Iretama, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
25	Joaquim Távora, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	8
26	Mal. Cândido Rondon, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
27	Morretes, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	8
28	Paranapoema, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	8

29	Planalto, PR	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X		8
30	Itaquiraí, MS	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X		8
31	Ivinhema, MS	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		12
32	Juti, MS	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X		8
33	Sete Quedas, MS	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X		8
34	Campos Novos, SC	1/C	X	X	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-		13
35	Chapecó, SC	1/C	X	-	-	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	-	-		14
36	Indaial, SC	1/C	X	X	-	-	-	-	X	X	X	X	X	-	-	-	X	X	-	-	-	-		9
37	Itapoá, SC	3/C	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		12
38	Joaçaba, SC	3/C	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		12
39	Dionísio Cerqueira, SC	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X		8
40	Itajaí, SC	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X		8
41	Major Vieira, SC	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X		8
42	Rio Negrinho, SC	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X		8
43	São Miguel do Oeste, SC	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X		8
44	Xanxerê, SC	3/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X		8
45	Iguape, SP	3/A	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		13
46	Itapeva, SP	3/A	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		13
47	Ourinhos, SP	3/A	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		13
48	Presidente Prudente, SP	3/A	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		13
49	Rancharia, SP	3/A	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		13

*Fonte: 1. INMET; 2. IAPAR; 3. EMBRAPA/INMET. **Tipo de estação: C - Convencional; A – Automática.

3.2. Amplitudes térmicas diárias

Para cada ano de dados, foram calculadas 365 amplitudes térmicas diárias, conforme a Equação 1.

$$\Delta T_d = T_{máx} - T_{mín} \qquad \text{Equação 1}$$

Na qual:

ΔTd	é a amplitude térmica diária [°C].
$T_{máx}$	é a temperatura diária máxima do ar [°C].
$T_{mín}$	é a temperatura diária mínima do ar [°C].

Reunidos os anos de dados de cada estação, para cada uma delas foram calculadas as médias das amplitudes térmicas diárias nos percentis 99,5, 99, 97,5, 95 e 90. Tais percentis significam que, em média, para um ano de dados, as amplitudes térmicas diárias serão excedidas em 0,5% (1,8 dias), 1% (3,65 dias), 2,5% (9,1 dias), 5% (18,25 dias) e 10% (36,5) dos dias.

A opção pelos percentis 99,5, 99, 97,5, 95 e 90 levou em consideração os padrões de dados para projetos disponibilizados pela ASHRAE (2009) e por Goulart, Lamberts e Firmino (1998). Também foram obtidas as amplitudes térmicas diárias máximas ($\Delta T_{d\,máx}$) para cada localidade.

3.3. Produção dos mapas das amplitudes térmicas diárias

Para cada percentil, foram gerados mapas abrangendo o território do Paraná (Tabela 1). Após o cálculo das amplitudes térmicas diárias de referência em cada localidade, aplicou-se o método de interpolação geoestatística krigagem ordinária (ou *ordinary kriging*) para visualizar a distribuição espacialmente. Esse procedimento permite observar a continuidade dos fenômenos no espaço, inclusive nas lacunas entre os pontos de amostragem (YAMAMOTO; LANDIM, 2015). Optou-se pela krigagem porque esse método apresentou bom desempenho em outros estudos comparativos envolvendo parâmetros de validação de modelos geoestatísticos e a variável temperatura (DOBESCH *et al*., 2007; MENG *et al*., 2013). Os softwares utilizados neste processo foram o Golden Surfer 13 e o QGIS 3.14.

Foram produzidos mapas para as médias das amplitudes térmicas diárias nos percentis 99, 97,5 e 95, considerados pelos autores como os mais relevantes paras os projetistas.

3. RESULTADOS

Considerando os dados desta pesquisa, a maior amplitude térmica diária (ΔTd) observada no estado do Paraná (Tabela 2), 28,7 °C, ocorreu no município de Castro, localizado no Primeiro Planalto Paranaense. O menor dos valores máximos foi observado no em Ibaiti, 18,5 °C, localizado no Segundo Planalto Paranaense. Curitiba apresentou $\Delta Td_{máx}$ de 22,4 °C. Estes resultados iniciais foram os primeiros indícios de que: o estado apresenta diferenças importantes quanto às ΔTd máximas; no interior do estado, em locais distantes do litoral, também ocorrem valores relativamente baixos para as ΔTd, o que reforça a necessidade do mapeamento; e que Curitiba não ocupa lugar de destaque no estado quando considerados os valores máximos.

O levantamento também reforçou a necessidade de cuidado quanto aos dados das ΔTd a serem considerados pelos projetistas. Se observadas apenas as ΔTd médias (Tabela 2), tem-se uma ideia de homogeneidade de amplitudes no estado. No entanto, para um mesmo local, podem existir grandes diferenças entre os valores das amplitudes térmicas diárias máximas ou nos percentis superiores e os valores das médias locais. Por exemplo, para a estação localizada no município Inácio Martins, a ΔTd média é 8,98 °C enquanto a ΔTd máxima é 25,12 °C, uma diferença de 16,14 °C.

Tabela 2 – Amplitudes térmicas diárias máximas e médias e nos percentis 99,5, 99, 97,5, 95 e 90.

	Amplitudes térmicas diárias (°C)						
Município	**ΔTd máx**	**ΔTd no P 99,5**	**ΔTd no P 99**	**ΔTd no P 97,5**	**ΔTd no P 95**	**ΔTd no P 90**	**ΔTd méd**
Castro	28,70	23,59	22,58	21,10	19,60	17,80	11,84
Irati	26,10	21,05	20,20	19,00	17,80	16,40	11,02
General Carneiro	26,10	24,41	23,63	22,40	21,00	19,19	12,50
Inácio Martins	25,12	16,94	16,30	15,10	14,10	13,00	8,98
Joaquim Távora	24,30	22,40	21,70	20,20	18,80	16,98	11,35
Icaraíma	24,30	17,00	16,36	15,50	14,60	13,60	10,31
Mal. Cândido Rondon	24,20	20,00	19,00	18,00	17,00	15,90	11,25
Paranapoema	24,10	21,70	21,00	19,50	18,30	17,00	12,07
Campo Mourão	23,80	21,20	20,40	18,90	17,80	16,60	12,09
Ivai	23,30	20,58	19,80	18,71	17,70	16,50	11,71
Foz do Iguaçú	22,70	20,40	19,50	18,70	17,60	16,30	11,14
Londrina	22,40	19,80	19,20	18,20	17,40	16,40	10,89
Curitiba	22,40	19,90	18,70	17,20	16,10	14,70	10,00
Paranavaí	21,80	17,20	16,60	15,40	14,52	13,70	9,96
Palmas	21,80	20,11	19,01	17,68	16,40	15,20	10,52
Terra Rica	21,30	17,69	16,88	15,35	14,60	13,60	10,50
Morretes	21,10	19,40	18,30	16,50	15,10	13,60	8,80
Paranagua	21,00	16,30	14,72	13,20	11,90	10,70	7,42
Lapa	20,90	18,83	17,83	16,80	15,70	14,48	9,54
Diamante do Norte	20,80	17,70	17,11	16,40	15,60	14,70	10,89
Clevelândia	20,70	18,20	17,20	16,22	15,50	14,40	10,30
Planalto	20,70	18,58	18,10	17,19	16,37	15,10	10,54
Palotina	20,20	18,45	17,73	15,16	14,37	13,54	10,93
Maringa	20,00	17,20	16,50	15,50	14,70	13,70	10,33
Nova Fátima	19,95	17,00	16,50	15,50	14,70	13,70	9,99
Ilha do Mel	19,95	15,37	14,00	12,26	10,82	9,30	6,30
Iretama	19,80	18,06	17,20	16,30	15,40	14,60	10,59
Pato Branco	18,60	17,33	16,74	15,80	15,00	14,08	9,85
Ibaiti	18,50	16,80	16,50	15,65	14,80	13,70	10,14

A plotagem das médias das amplitudes térmicas diárias nos percentis 99, 97,5 e 95 (Figura 1, Figura 2 e Figura 3) possibilita estimar valores para qualquer coordenada no estado. Os maiores valores nos percentis superiores foram observados ao longo do Segundo Planalto e em regiões próximas, com concentração em três áreas, no entorno dos municípios de General Carneiro, Castro e Joaquim Távora. Embora existam regiões no interior do estado onde os valores das amplitudes nos percentis superiores são relativamente baixos, a principal concentração desses valores relativamente baixos ocorre na região da Baía de Paranaguá, no litoral. Por outro lado, a maior parte das áreas do interior do estado, situadas no Terceiro Planalto, apresentam amplitudes térmicas diárias com valores menos heterogêneos.

Em se tratando do percentil 99 (Tabela 2 e Figura 1) das amplitudes térmicas diárias, o maior valor ocorreu em General Carneiro (23,63 °C), no extremo sul, no Terceiro Planalto. O menor valor ocorreu na Ilha do Mel (14,0 °C), na Baía de Paranaguá, Região Leste do estado. Neste percentil, Curitiba apresentou o valor 18,7 °C. As diferenças entre o maior e o menor valor observados no percentil 99 (quase 10 °C), também apontam para a necessidade de estratégias de projeto diferenciadas de um lugar para ou outro quando o objetivo for o conforto térmico dos usuários das edificações.

Chama atenção a diferença de 5,07 ºC observada entre a $\Delta Td_{máx}$ e o maior valor no percentil 99, o que comprova o caráter de excepcionalidade dos valores máximos.

Novamente, cabe destacar os valores para Curitiba ($\Delta Td_{máx}$ = 22,4 °C e ΔTd no percentil 99 = 18,7 °C), considerada cidade de referência para a Zona Bioclimática 1, na NBR 15.220 (ABNT, 2005a), e a capital mais fria do Brasil (KRÜGER *et al*., 2004). Em se tratando das amplitudes, embora apresente valores altos, são superados em vários outros municípios paranaenses. Ou seja, vale refletir se cabe ao clima de Curitiba o posto de clima de referência para análises de desempenho térmico em condições extremas no estado do Paraná e no Brasil.

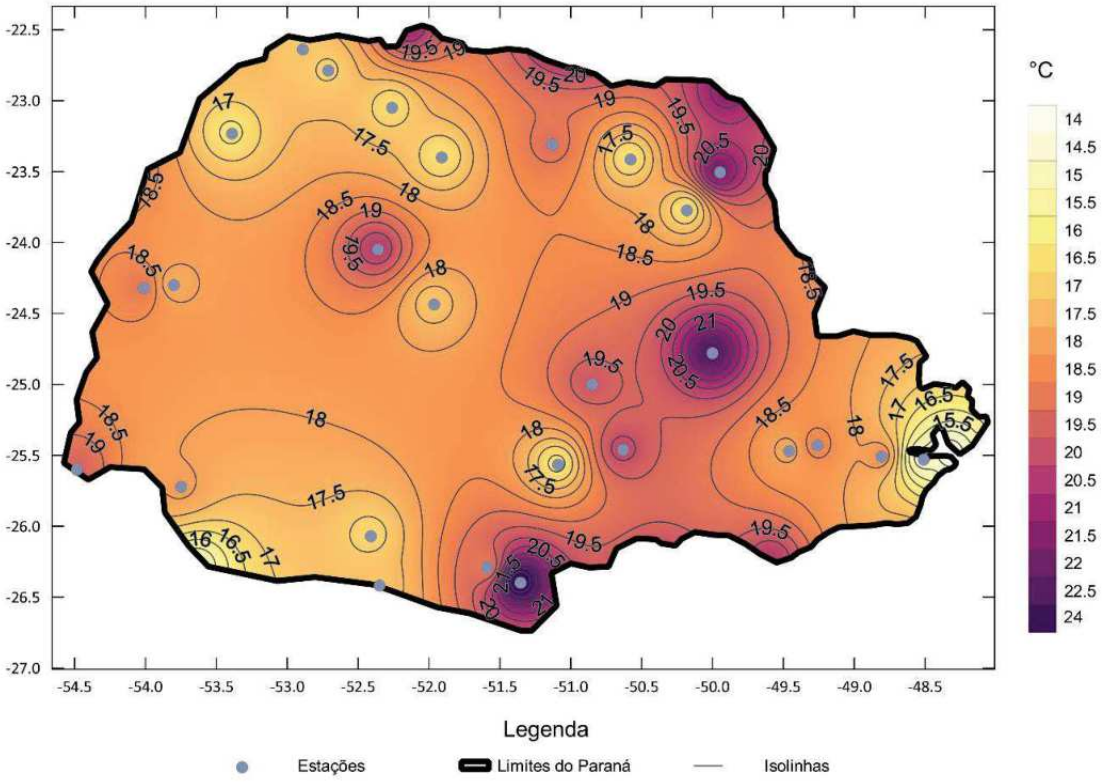

Figura 1 – Médias das amplitudes térmicas diárias no percentil 99 (ΔTd P99) no estado do Paraná.

Quando observados os mapas das médias das amplitudes térmicas diárias nos percentis 97,5 (Figura 2) e (Figura 3) 95, diferentemente do esperado pelos autores, a diferença entre os maiores e os menores valores permaneceu constante, em torno de 10 °C, ao invés de diminuírem. Ou seja, mesmo se o projetista utilizar como referência as amplitudes nos percentis 97,5 e 95, ao invés das amplitudes máximas ou no percentil 99, ainda assim pode ser necessário diferenciar as características das edificações de uma região para a outra no estado. Valores relativamente homogêneos somente foram observados quando visualizados os valores médios, conforte a coluna direita da Tabela 2.

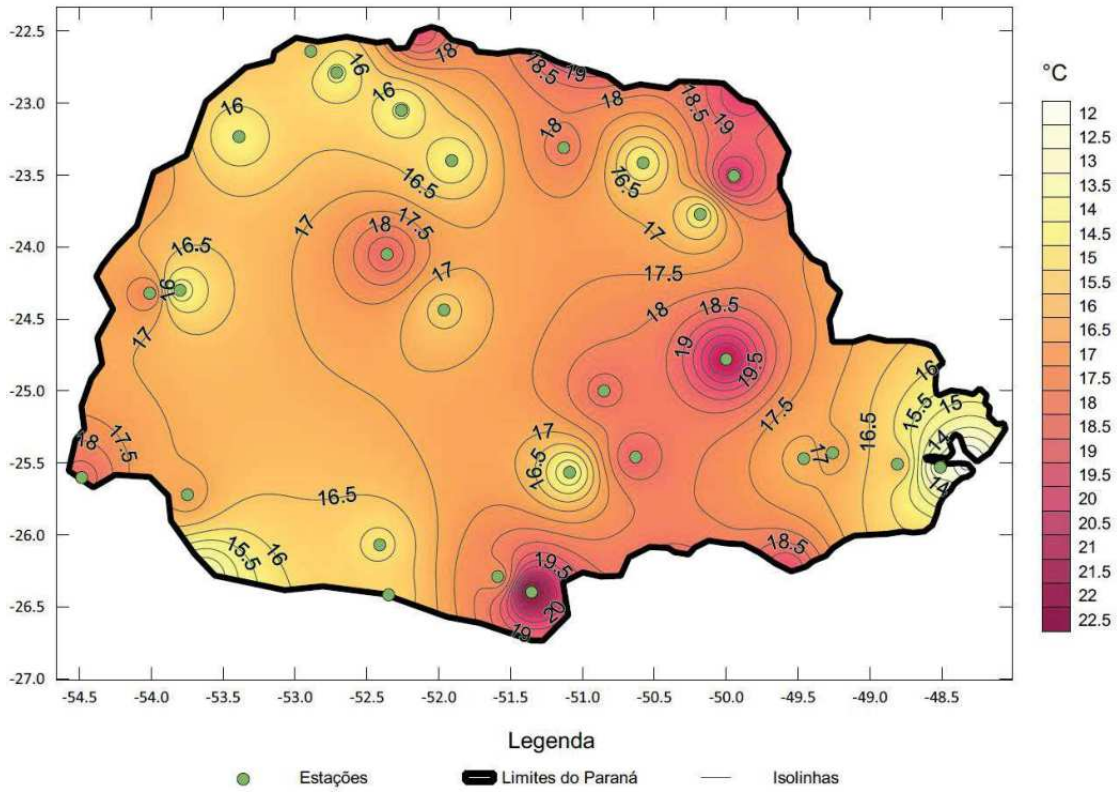

Figura 2 – Médias das amplitudes térmicas diárias no percentil 97,5 (ΔTd P97,5) no estado do Paraná.

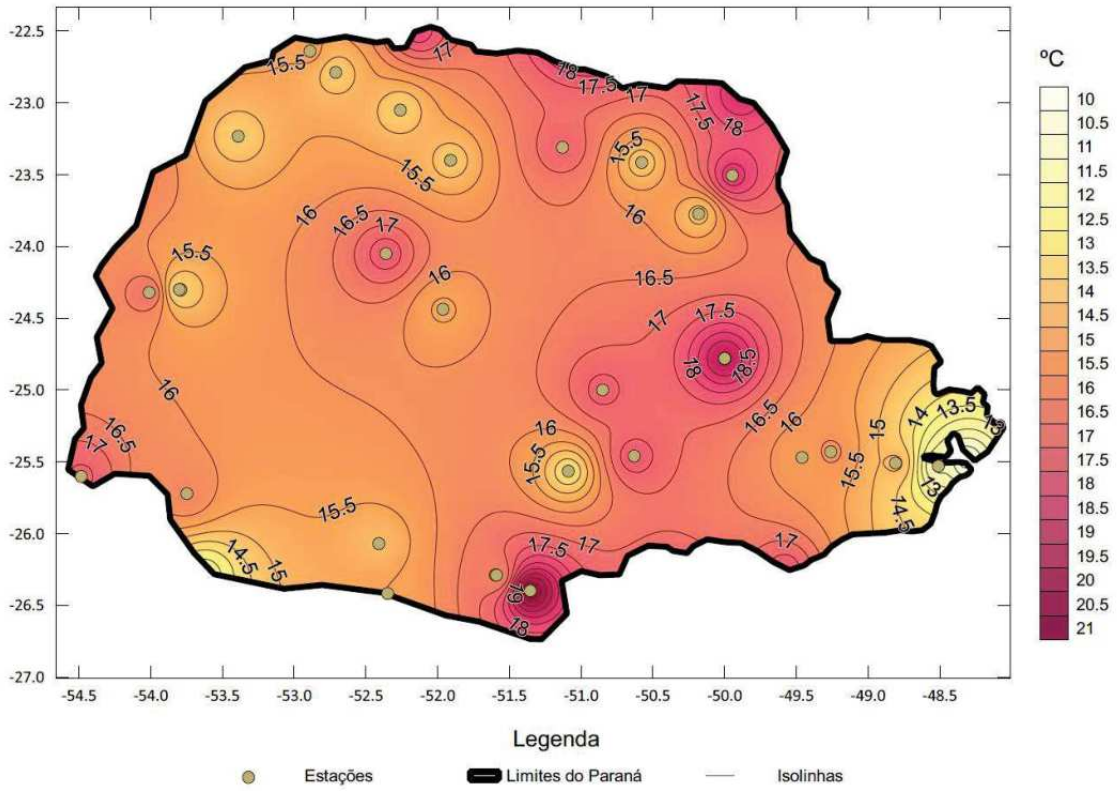

Figura 3 – Médias das amplitudes térmicas diárias no percentil 95 (ΔTd P95) no estado do Paraná.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo mapear as amplitudes térmicas diárias no estado do Paraná a fim de produzir subsídios para projetistas de habitações com baixo consumo energético. Foram utilizados dados de três instituições de pesquisa e monitoramento meteorológico (INMET, IAPAR e EMBRAPA) referentes a 29 cidades no estado do Paraná e 20 cidades de outros estados.

Os dados mostraram que a distribuição das amplitudes térmicas diárias no estado não é uniforme e que as diferenças de uma região para a outra são expressivas, justificando a necessidade maiores estudos e análises específicas.

Os dados da estação meteorológica de Curitiba mostraram que o município está em uma região de amplitudes térmicas diárias intermediárias para o estado. A região da Ilha do Mel se destacou por seus valores relativamente baixos em todos os percentis. Também chamou atenção o fato do município de Morretes, localizado próximo ao litoral paranaense e em altitude baixa, apresentar um perfil de amplitudes semelhante ao de municípios localizados no interior do estado, em altitudes maiores e com temperaturas médias diferentes das verificadas próximo ao litoral. Cabe destaque aos municípios Castro, Irati e General Carneiro, que, entre aqueles analisados, apresentam os regimes de amplitudes térmicas diárias mais rigorosos no estado do Paraná.

Considerando os dados disponíveis, a maior amplitude térmica diária no estado do Paraná foi verificada na estação meteorológica localizada no município de Castro (28,7 °C). O menor dos valores máximos foi observado em Ibaiti (18,5 °C), também no interior do estado. A grande diferença entre esses valores ilustra a diversidade de contextos em se tratando das amplitudes térmicas no estado.

Por fim, quando os valores das amplitudes térmicas diárias verificadas são comparados com os limites máximos admitidos para o interior de edificações condicionadas naturalmente (5 °C para a faixa de aceitabilidade térmica contemplando 90 % da população e 7 °C para a faixa contemplando 80 % da população), indicados pela norma ANSI/ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017), fica evidente que as características das edificações também precisam variar de uma região para a outra para adequação dos níveis de inércia térmica, sendo necessário regular o isolamento térmico, a capacidade térmica, as dimensões das aberturas, o sombreamento e compacidade, entre outras características das edificações.

Como sugestão para estudos futuros os autores apontam a possibilidade de mapeamento dos níveis de inércia térmica demandados para as diferentes regiões do estado do Paraná.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook**: Fundamentals. Atlanta, 2009.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 55-2017** - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2017.

ARMELIN, J. L. *et al*. **Desenvolvimento de Métodos de Avaliação de Transferência de Calor em Materiais e Componentes de Edificações - Caixa Quente**. Florianópolis: FURNAS & UFSC, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS / COMITÊ DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO - CB-55. **3º Projeto Revisão ABNT NBR 16401-2**. Rio de Janeiro, 2016.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: 2013.

AULICIEMS, A. Psycho-Physiological Criteria for Global Thermal Zones of Building Design. **International Journal of Biometeorology**, v. 26, p. 69–86, 1981.

BOGO, A. et al. Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico. **Relatório Interno - 02/94**. Florianópolis: 1994.

CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R.; DEAR, R. De. Towards a Brazilian standard for naturally ventilated buildings: guidelines for thermal and air movement acceptability. In: WINDSOR CONFERENCE - ADAPTING TO CHANGE: NEW THINKING ON COMFORT, Windsor, 2010. **Proceedings...** Windsor: 2010.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 15251** - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Brussels: CEN, 2007.

CESAR, T.; ALVES, P.; AKUTSU, M. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Engenharia Civil**, v. 58, n. 2, p. 133–138, 2005.

DEWSBURY, M.; FAY, R.; NOLAN, G. Thermal performance of light-weight timber test buildings. In: WORLD CONGRESS OF TIMBER ENGINEERING, Miyazaki, 2008, **Proceedings...** Miyazaki: 2008.

DINIZ, F. de A.; RAMOS, A. M.; REBELLO, E. R. G. **Normais Climatológicas do Brasil, Período 1982-2010**. Brasília: INMET, 2014.

DOBESCH, H.; DUMOLARD, P.; DYRAS, I. (Ed.). **Spatial interpolation for climate data: the use of GIS in climatology and meteorology**. John Wiley & Sons, 2007.

DORNELLES, K. A. **Estudo de casos sobre a inércia térmica de edificações na cidade de São Carlos**. 2004. 150 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota Técnica EPE 030/2018** - Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. Rio de Janeiro: EPE, 2018.

EVANS, John Martin. Evaluating comfort with varying temperatures: a graphic design tool. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1, p. 87-93, 2003.

EVANS, John Martin. **The Comfort Triangles**: A New Tool for Biocliatc Desgin. 2007. Thesis - Technische Universiteit Delft, 2007.

FERNANDES, L. C. Diagramas de apoio ao projeto baseados na ideia do conforto térmico adaptativo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 11, n. 1, p. e020030.10- e020030.30, 2020.

FLORES, M. G. et al. Tratamento de dados climáticos de Santa Maria, RS, para análise de desempenho térmico de edificações. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 123-141, 2016.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. 2ª ed: Applied Science Piblishers Ltd., 1976.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. John Wiley & Sons, 1998.

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. 2 ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Características gerais dos domicílios e dos moradores 2019 - PNAD Contínua**. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua, Rio de Janeiro, 2020.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Anexo Geral V** – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros. Anexo da Portaria Inmetro N° 50/2013, Brasil, 2013.

KRÜGER, E. L. et al. O uso de protótipos experimentais de baixo custo para avaliação de materiais de vedações quanto ao seu desempenho térmico. *In*: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS E X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

MENG, Q.; LIU, Z.; BORDERS, B. E. Assessment of regression kriging for spatial interpolation–comparisons of seven GIS interpolation methods. **Cartography and geographic information science**, v. 40, n. 1, p. 28-39, 2013.

NITSCHE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019.

PAPST, A. L. **Uso de Inércia Térmica no Clima Subtropical**: Estudo de Caso em Florianópolis. p. 180, 1999. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

RENNÉ, D. S. Resource assessment and site selection for solar heating and cooling systems. *In*: **Advances in Solar Heating and Cooling. Elsevier**, 2016.

VERBEKE, S.; AUDENAERT, A. Thermal inertia in buildings: A review of impacts across climate and building use. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, 2018.

WILCOX, S.; MARION, W. **Users manual for TMY3 data sets**. Golden: National Renewable Energy Laboratory, 2008.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. Barbosa. **Geoestatística**: conceitos e aplicações. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Araucária e o CNPq pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.