



Thermal Performance of Standard School
Building in Bioclimatic Zone 8: a Study in
Vitória / Es and Belém / PA

Gilda Laysa Oliveira de Gouveia, Mirella Dias Feydit,
Enzo De Melo Pereira, Daniella Marinho Lopes and
Erica Coelho Pagel

EasyChair preprints are intended for rapid
dissemination of research results and are
integrated with the rest of EasyChair.

June 11, 2020

DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFÍCIO ESCOLAR PADRÃO NA ZONA BIOCLIMÁTICA 8: UM ESTUDO EM VITÓRIA/ES E BELÉM/PA¹

PAPER XX

RESUMO

O conforto térmico no ambiente escolar exerce papel fundamental no processo de ensino aprendizagem. O cuidado ao planejar cada edificação associado à adequada implantação bioclimática a qual será inserida, são algumas estratégias arquitetônicas adotadas para essa finalidade. Entretanto, uma prática comum no Brasil, principalmente na construção de escolas públicas, é a adoção de projetos padronizados para todo território nacional. Tal prática facilita o tempo e a aquisição de verba, porém, se faz inoportuna ao atendimento das especificações climáticas de cada lugar. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi analisar os índices de conforto térmico em uma sala de aula pertencente ao projeto padrão do Proinfância Tipo B, implantado em duas cidades pertencentes a mesma Zona Bioclimática. A metodologia do trabalho subdividiu-se na caracterização do objeto de estudo, simulação computacional, determinação dos indicadores de conforto térmico - faixa de conforto adaptativo da ASHRAE 55/2017 e diagrama de fluabilidade. A avaliação demonstrou que, apesar de pertencerem à mesma ZB, os resultados obtidos são discrepantes de uma cidade para outra. O índice de desconforto ao longo do ano em Belém é maior do que em Vitória, independentemente da orientação de implantação da escola, evidenciando a necessidade de diretrizes construtivas individualizadas para cada região.

Palavras-chave: Desempenho Térmico. Proinfância. DesignBuilder. Zona Bioclimática 8.

ABSTRACT

Thermal comfort in school environment plays a fundamental role in the teaching-learning process. The care necessary when planning each building associated with the appropriate bioclimatic implantation to which it will be inserted, are some of the architectural strategies adopted for this purpose. Nevertheless, a common practice in Brazil, mainly in the construction of public schools, is the adoption of standardized projects for the entire national territory. Such practice facilitates time and the acquisition of funds, however, it is inappropriate to meet the climatic specifications of each place. Therefore, the objective of this work was to analyze the thermal comfort indexes in a classroom belonging to the standard project of Proinfância Tipo B, implanted in two cities belonging to the same Bioclimatic Zone (ZB). The work methodology was subdivided in the characterization of the object of study, computational simulation and determination of the thermal comfort indicators - adaptive comfort range of ASHRAE 55/2017 and buoyancy diagram. The evaluation showed that, despite belonging to the same ZB, the results obtained are different from one city to another. The discomfort rate throughout the year in Belém is much higher than in Vitória, regardless of the school's implementation orientation, highlighting the need for individualized construction guidelines for each region.

Keywords: Thermal Performance. Proinfância. DesignBuilder. Bioclimatic Zone 8.

¹ XX. Desempenho Térmico de Edifício Escolar Padrão na Zona Bioclimática 8: um estudo em Vitória/ES e Belém/PA. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

É senso comum que a educação no Brasil é considerada um problema social e apresenta desafios de várias ordens, dentre eles, a qualidade do ambiente escolar. Diante disso, compreende-se que um ambiente no qual o bem-estar do indivíduo esta comprometido, não pode ser visto como um lugar apropriado para o aprendizado. O espaço educativo deve ser confortável, acolhedor e estimulante, visando criar uma atmosfera propícia para o ensino (KOWALTOWSKI, 2011).

Considerando que o conforto térmico corresponde a uma parte do conforto ambiental, torna-se importante fazer avaliação do ambiente construído sob esse aspecto. Nogueira, Duarte e Nogueira (2005), aponta que quando submetidos a ambientes não adequados ao clima local, as reações fisiológicas dos alunos são afetadas, causando prejuízo ao ensino. Sendo assim, recomenda que, dentre outras particularidades as condições climáticas e ambientais sejam levadas em consideração durante a fase de projeto.

Devido ao tempo em que a educação infantil esteve desamparada por parte do estado, foi gerado um déficit significativo com relação a essas edificações. Com intenção de suprir essa demanda, adota-se a prática do uso de projetos padronizados, prática comum na história da arquitetura escolar brasileira, e bastante difundida sob a justificativa de se tratar de uma metodologia que proporciona redução de custos, promove agilidade ao processo construtivo e permite que os projetos de fato cheguem a regiões mais carentes do país. Dessa forma, por muito tempo acreditou-se que essa era uma forma eficiente de se planejar prédios públicos de forma geral (AZEVEDO; BASTOS; BLOWER, 2007).

Para apontar algumas das falhas existentes ao se adotar um único projeto e executá-lo em qualquer local do território brasileiro, o trabalho de Spagnuolo (2019) avaliou a variação dos índices de conforto térmico do projeto padrão do Proinfância tipo B quando implantados em várias cidades distintas, usando como indicador as horas em conforto obtidas na simulação térmica ao longo de um ano. A escolha das cidades se deu com base na divisão do território brasileiro em 8 Zonas Bioclimáticas (ZB), proposta pela norma brasileira de Desempenho Térmico em Edificações (ABNT, 2005). O trabalho de Spagnuolo (2019) aponta também que a divisão do território brasileiro em apenas 8 Zonas é insuficiente para caracterizar todas as regiões do Brasil. Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar os índices de conforto térmico em uma sala de aula do Projeto padrão Proinfância do Tipo B, quando implantados em duas cidades distintas, porém, pertencentes a uma mesma ZB.

2 METODOLOGIA

As etapas metodológicas são: caracterização do objeto de estudo; simulação computacional; e indicadores de avaliação de conforto térmico.

2.1 Caracterização do objeto e das cidades de estudo

Para representar boa parte dos edifícios escolares brasileiros, adotou-se como recorte do trabalho o estudo de caso do edifício padrão Tipo B, do Programa Proinfância, fundado em 2007 pelo Governo Federal com a finalidade de melhorar os índices de qualidade da educação básica através de investimento em infraestrutura (FNDE, 2020). Para a escolha do projeto padrão referente ao Tipo B foi levado em consideração a quantidade de unidades concluídas nos estados

envolvidos pela pesquisa, Espírito Santo (31 unidades) e Pará (101 unidades), assim como a quantidade de escolas construídas no Brasil, (2453 unidades) sendo em todos os casos, o projeto padrão Tipo B o mais adotado. O projeto tem capacidade para atender 224 crianças e é composto por cinco blocos que agrupam diversas funções, sendo eles: bloco administrativo, bloco de serviços, bloco multiuso e dois blocos pedagógicos.

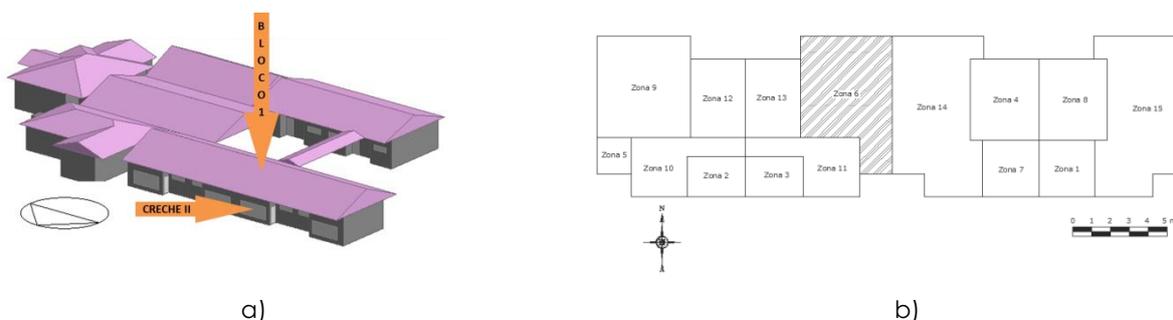
As cidades envolvidas nesse estudo, Vitória - ES no sudeste e Belém – PA no norte, pertencem a ZB 8, que por sua vez corresponde a 53,7% do território brasileiro e que possui as seguintes diretrizes construtivas: aberturas grandes (maior do que 40% da área do piso) para ventilação nas áreas consideradas de longa permanência; ventilação cruzada; sombreamento contínuo das aberturas; aberturas voltadas para os ventos dominantes, observando o entorno.

Apesar das cidades pertencerem a mesma ZB, é possível observar particularidades que as diferenciam significativamente, como por exemplo, a velocidade e frequência dos ventos que é bem mais expressiva na cidade de Vitória. Além disso, Vitória conta com um clima tropical atlântico com baixo índice de precipitação pluviométrica, possui baixa amplitude térmica, com temperaturas médias anuais variando entre 21,8 °C e 28,9 °C e a umidade relativa do ar é alta durante o ano, com médias mensais variando entre 74,9% e 79,2% (INMET, 2020). A cidade de Belém possui um clima equatorial decorrente da proximidade com a linha do Equador e da presença da floresta amazônica, características que fazem de Belém a cidade mais chuvosa do Brasil, sem período de seca e contando ainda com um clima quente e úmido ao longo de todo o ano (SOMAR METEOROLOGIA, 2015). Belém possui baixa amplitude térmica, com temperaturas médias anuais variando entre 22,7 °C e 31,8 °C e a umidade relativa do ar é alta durante o ano, com médias mensais entre 80,1% e 89,9% (INMET, 2020).

2.2 Simulações computacionais

Para a análise das condições climáticas da cidade de Vitória – ES e Belém - PA utilizou-se o arquivo climático no formato TRY (LABEEE..., 2019). A Figura 1 mostra o modelo tridimensional do Pro Infância Tipo B e a planta baixa do bloco 1, que possui a sala selecionada para estudo – Creche II, classificada pelo software como Zona 6.

Figura 1 – (a) modelo tridimensional do objeto de estudo e (b) planta baixa do bloco 1 destacando a Creche II



Fonte: Os autores

As simulações realizadas consideraram quatro orientações possíveis da fachada onde está situada a sala de aula (Creche II): Norte, Sul, Leste e Oeste. A Tabela 1 concentra os dados de entrada utilizados para configuração do modelo no software DesignBuilder versão 6.1.0.006 (DESIGNBUILDER, 2019).

Tabela 1– Caracterização do ambiente e dos materiais construtivos

DIMENSÕES	
Área do ambiente (sala de aula da creche II)	27,29 m²
Área de ventilação referente a janela de correr	1,98 m ²
Área de ventilação referente as portas	1,68 m ²
ENVOLTÓRIA	
Paredes: tijolos com 08 furos quadrados (9 x19 x19) cm, emboço de 2,5 cm	14 cm de espessura
Densidade de massa aparente do bloco cerâmico	1 600 kg/m ³
Condutividade térmica do bloco cerâmico	0,90 W/(m.K)
Calor específico do bloco cerâmico	0,92 kJ/(kg.K)
Densidade de massa aparente da argamassa comum do	2000 kg/m ³
Condutividade térmica da argamassa comum do emboço	1,15 W/(m.K)
Calor específico da argamassa comum do emboço	1,00 kJ/(kg.K)
Emissividade das paredes e piso (ε)	0,90
Absortância (a) das paredes e piso (a)	0,30
Cobertura (laje pré-moldada maciça + telha de barro)	laje = 10 cm de espessura
Densidade de massa aparente do concreto	2200 kg/m ³
Condutividade térmica do concreto	1,75 W/(m.K)
Calor específico do concreto	1,00 kJ/(kg.K)
Densidade de massa aparente da telha de barro	2000 kg/m ³
Condutividade térmica da telha de barro	1,05
Calor específico da telha de barro	0,92 kJ/(kg.K)
Altura do air gap	10 cm
Vidro incolor das janelas	6 mm de espessura
Transmitância térmica do vidro incolor	5,77 W/(m ² .K)
Moldura de alumínio das janelas	
Transmitância térmica do alumínio	5,88 W/(m ² .K)
CARGAS INTERNAS E PADRÃO DE OCUPAÇÃO	
Densidade de ocupação	0,36 pessoa/m ²
Vestimenta	0,26 clo
Taxa metabólica referente aos alunos - atividade	60,7 W/(pessoa.hora)
Potência instalada (iluminação)	280 W
Padrão de ocupação: 12 alunos (de 1 a 2 anos) + 02 professor	
Diurno	Noturno
100% (07:00 hs - 11:00 hs)	0% (17:00 hs - 07:00 hs)
0% (11:00 hs - 13:00 hs)	
100% (13:00 hs - 17:00 hs)	

Fonte: Adaptado de FNDE (2019); NBR 15220 (2005); Nico-Rodrigues (2015) e de Spagnuolo (2019)

2.3 Indicadores utilizados para avaliar o conforto térmico

Os indicadores usados para analisar os níveis de conforto térmico são: A determinação da faixa de conforto térmico, de acordo com a ASHRAE 55 (2017) e o diagrama de flutuabilidade, que serão detalhados nas próximas seções.

2.3.1 Determinação da Faixa de conforto para 90% de aceitabilidade

A pesquisa se concentrou nos limites máximos do intervalo de conforto de cada mês, visto que as cidades envolvidas no estudo estão submetidas ao desconforto

por calor na maior parte do tempo e que esse desconforto ocorre sempre que as temperaturas operativas médias ultrapassam a temperatura máxima de conforto. Para a definição do intervalo de conforto, foi adotado o método proposto pela ASHRAE 55 (2017), onde os parâmetros necessários são a temperatura operativa interna neutra mensal (TN), obtida através da Equação 1 que depende da temperatura média mensal do ar externo (TE).

$$TN = 17,8 + 0,31 \times TE \quad (1)$$

O estudo considerou o percentual de 90% de aceitabilidade, visto que o público alvo é infantil e possui maior sensibilidade térmica. Além disso, esse percentual foi adotado em outros trabalhos na região, como Nico-Rodrigues et al. (2015).

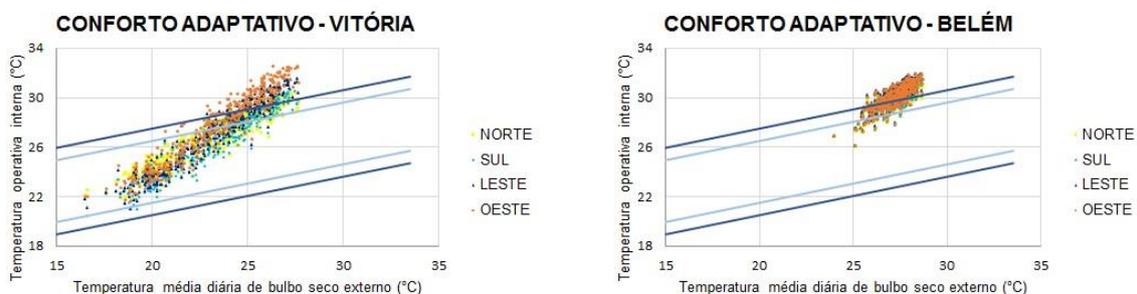
2.3.2 Diagrama de fluabilidade

O diagrama proposto por Sicurella, Evola e Wurtz (2012) tem o objetivo de promover uma análise mais aprofundada a respeito do comportamento do desconforto no ambiente estudado. O diagrama relaciona a Frequência de Desconforto Térmico – FDT, com os Graus-horas de desconforto térmico – GhDT. O FDT equivale ao percentual de tempo em hora inteira em que a temperatura operativa é superior ao limite máximo da temperatura de conforto. Nesta pesquisa, foi analisado o FDT diário, sendo assim, as 24 horas do dia correspondem ao percentual máximo de 100%. O GhDT representa a soma diária dos graus obtidos ao se subtrair a temperatura operativa horária e a temperatura de conforto estabelecida para o mês em referência. O diagrama caracteriza o desconforto térmico classificando-o em quatro zonas, com relação a frequência (FDT) e intensidade (GhDT), são elas: Zona 1- desconforto temporário e leve; Zona 2- desconforto frequente e leve; Zona 3- desconforto temporário e intenso e Zona 4- desconforto frequente e intenso.

3 RESULTADOS

A Figura 2 apresenta a distribuição dos dias com relação ao intervalo de conforto da Ashrae 55 (2017), para quatro orientações de fachada da Creche II.

Figura 2 – Intervalo de conforto adaptativo para cada cidade



Fonte: Adaptado de ASHRAE 55 (2017)

É possível observar que os pontos estão mais distribuídos ao longo do gráfico no caso da de Vitória do que em Belém. Uma das principais razões desse comportamento se deve ao fato da cidade de Belém ser caracterizada por um clima equatorial que faz com que as condições climáticas não apresentem grandes variações entre as estações do ano, diferentemente da cidade de Vitória, que possui estações bem marcadas.

Analisando a Tabela 2, observa-se que o percentual de dias confortáveis no ano para a cidade de Vitória é muito superior comparado a Belém. Em Vitória, é perceptível que a orientação de implantação interfere no conforto térmico de maneira mais significativa do que quando comparado Belém. A orientação da sala voltada para o Sul oferece o máximo de conforto térmico em Vitória (249 dias ao ano), enquanto a orientação Oeste oferece o mínimo de conforto térmico aos usuários (169 dias ao ano). Para a cidade de Belém, observa-se que as fachadas mais confortáveis são a norte e sul e as mais desconfortáveis são a leste e oeste.

Tabela 2 – Quantidade de dias e porcentagem do ano em que a sala de aula oferece conforto em cada cidade, considerando 90 % de aceitabilidade

Orientação Parâmetros	Norte		Sul		Leste		Oeste	
	Dias	%	Dias	%	Dias	%	Dias	%
Vitória	238	65,21	249	68,22	196	53,70	169	46,30
Belém	33	9,04	32	8,77	19	5,21	25	6,85

Os autores

De acordo com o Diagrama de fluabilidade apresentado na Figura 3 é possível observar que na cidade de Vitória, de forma geral, há uma maior concentração dos pontos que representam os dias em desconforto pertencentes as zonas 1 e 2, o que mostra que independente da estação do ano, a maior parte dos dias oferecem um desconforto leve, porém temporário (zona 1) em alguns dias e frequente (zona 2) em outros. Em contrapartida, a cidade de Belém, possui maior concentração de pontos entre as zonas 2 e 4, caracterizando o desconforto, no geral, em frequente, podendo variar entre leve e intenso. A ausência de pontos na zona 3, tanto na cidade de Vitória quanto em Belém, representa que o desconforto térmico por calor sentido pelos usuários da Creche II é intenso, e também ocorre de forma frequente, ou seja, em mais de 50% do dia.

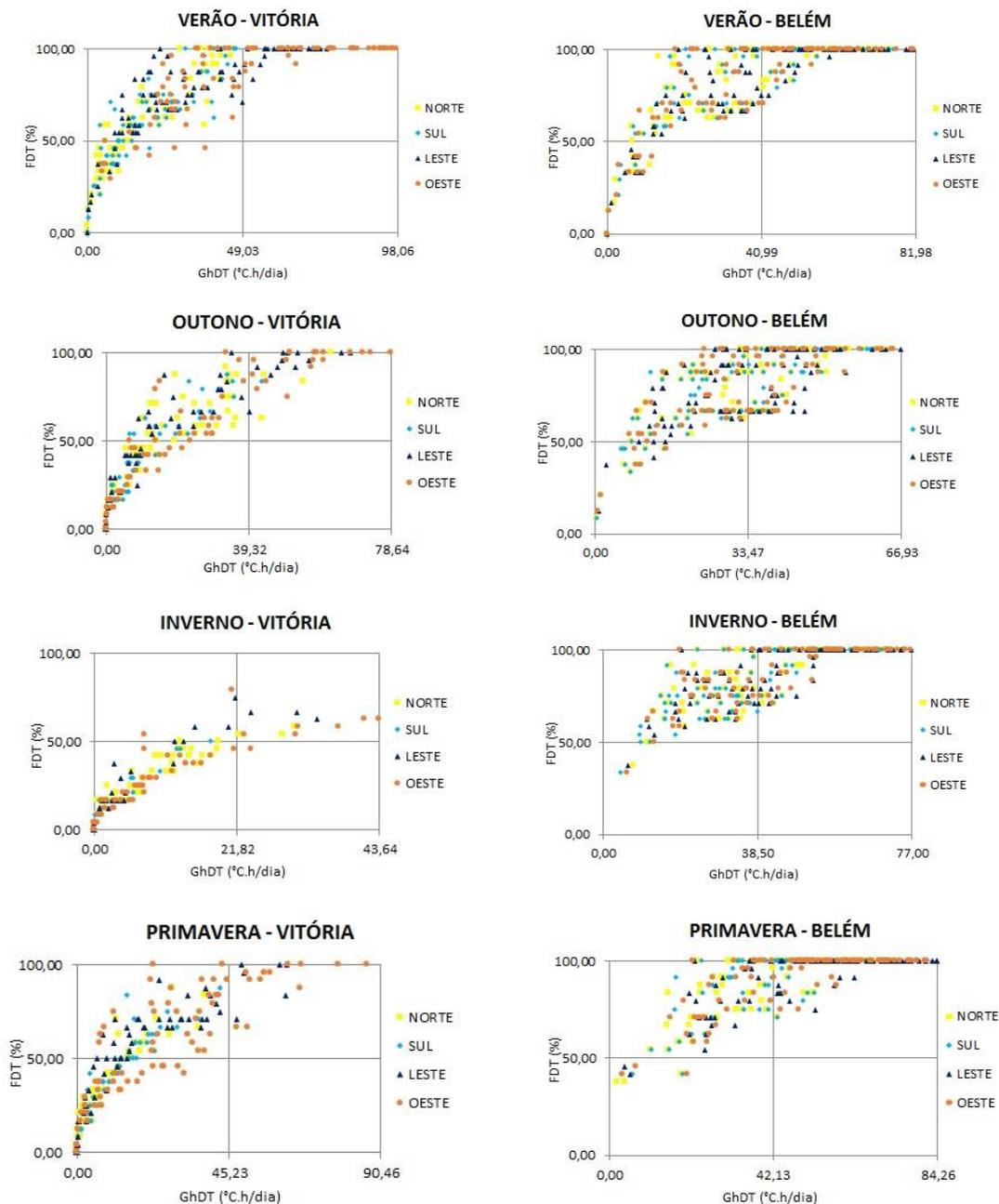
Comparando as estações do Outono e da Primavera de Vitória, observa-se que há semelhanças entre a distribuição dos pontos, porém no Outono observa-se que o desconforto é mais frequente, marcado por mais pontos contidos nas zonas 2 e 4, que possuem mais de 50% do dia em desconforto. Além disso, o outono conta com mais dias onde o desconforto ocorre durante as 24 horas do dia e ainda possui GhDT elevado, caracterizando-o como intenso. O outono da cidade de Belém apresenta uma parcela significativa de dias com desconforto frequente, observada pela quantidade de pontos no diagrama que estão bem distribuídos entre as zonas 2 e 4, com alguns poucos dias contidos na zona 1 (desconforto temporário e leve).

A primavera de Belém conta com poucos dias desconfortáveis, comparado às demais estações do ano e que diferentemente da primavera de Vitória, possui poucos dias com desconforto temporário e leve (pertencentes a zona 1). Outro ponto referente a Belém, diferente da cidade de Vitória, é a quantidade de dias com desconforto durante todo o dia (FDT = 100 %).

A estação do inverno em Vitória conta com os dias mais confortáveis do ano, por esse motivo, o diagrama apresenta poucos pontos de forma geral. Durante essa estação, os dias que possuem desconforto térmico contam com FDT, no geral, inferior a 50%, o que caracteriza o desconforto como temporário e como a maior parte dos pontos estão concentrados na zona 1, onde são registrados os valores de GhDT mais baixos, entende-se que esse desconforto é do tipo leve.

Com relação ao verão de Vitória, que é a estação mais desconfortável do ano, observa-se uma quantidade significativa de pontos distribuídos ao longo da zona 2 que representam dias com desconforto frequente, porém leve. O verão é marcado também por uma quantidade grande de dias com desconforto ao longo de todas as 24 horas (frequente), representados pelos pontos situados na extremidade superior das zonas 2 e 4. Comportamento semelhante ocorre em todas as estações para a cidade de Belém, já que todos os diagramas contam com muitos pontos situados na extremidade superior das zonas 2 e 4, demonstrando que em Belém, há ocorrência de dias frequentemente desconfortáveis (FDT = 100%) ao longo de todo o ano e que esse desconforto em alguns dias é leve e em outros é intenso.

Figura 3 – Diagrama de fluvariabilidade para as cidades de Vitória e Belém, por estação do ano, considerando quatro orientações de implantação



Fonte: Adaptado de Sicurella, Evola e Wurtz (2012)

4 CONCLUSÃO

Os resultados mostram que embora Vitória e Belém pertencem à mesma Zona Bioclimática, as estratégias para se atingir um maior índice de conforto térmico dentro da edificação devem ser diferentes para cada localidade. O estudo evidencia ainda que a adoção de projetos padronizados dificulta o planejamento da edificação considerando as particularidades climáticas do meio a que se está inserido. Verifica-se que Vitória possui maior quantidade de dias confortáveis termicamente, em relação a Belém, apresentando maior eficiência quando a fachada da Creche II está para orientação Sul (68,2% dos dias do ano em conforto) e maior desconforto quando voltada para a orientação Oeste (53,7% dos dias do ano). Já a cidade de Belém, devido a sua latitude próximo a linha do equador, há um equilíbrio entre as fachadas de maior conforto (norte e sul) e as de desconforto térmico (leste e oeste). Em Vitória, a estação do ano mais desconfortável é o verão, pois possui a maior quantidade de dias com desconforto intenso e durante todo o dia (FDT = 100%) e a estação mais confortável é o inverno, onde o desconforto é, em geral, leve e temporário. Em Belém, todas as estações do ano apresentam uma quantidade grande de dias em desconforto intenso ao longo do dia (FDT = 100%).

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

AZEVEDO, G. A.; BASTOS, L. E.; BLOWER, H. S. **O moderno já passado—o passado no moderno**. *Anais do III Seminário Projetar*, 2007.

DESIGNBUILDER. 2013. DESIGNBUILDER software Ltda. Versão 3.4.0.041.

FNDE - FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. **Proinfância: Dados referentes ao programa**. Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/index.php/programas/proinfancia>. Acesso em: 10 abril 2020.

INMET - INSTITUTO METEOROLÓGICO DE METEOROLOGIA. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 10 março 2020.

KOWALTOWSKI, Doris CCK. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. Oficina de textos, 2011.

LABEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Seção downloads: **Arquivos climáticos para simulação energética de edificações em formato EPW**. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/downloads>. Acesso em: 10 de junho de 2019.

NICO-RODRIGUES, Edna Aparecida et al. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 2, p. 7-23, 2015.

NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque et al. Conforto térmico na escola pública em Cuiabá-MT: Estudo de Caso. **REMEA-Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 14, 2005.

SICURELLA, Fabio; EVOLA, Gianpiero; WURTZ, Etienne. A statistical approach for the evaluation of thermal and visual comfort in free-running buildings. **Energy and buildings**, v. 47, p. 402-410, 2012..

SPAGNUOLO, Augusto Yuji Nojima. **Projeto padrão e conforto térmico: estudo de caso nas creches PROINFÂNCIA Tipo B**. 2019.

STANDARD, ASHRAE. Standard 55–2017 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. **American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers: Atlanta, GA, USA**, 2017.