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

GERAÇÃO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA EDIFICAÇÕES EM FUNÇÃO DE DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS DE UMA METRÓPOLE

Natasha Hansen Gapski Pereira (1); Sergio Leandro Batista Jr. (2) Eduardo Krüger (3)
(1) Engenheira Civil, UTFPR, natasha.gapski@gmail.com
(2) Engenheiro Civil, UTFPR, sergioj@alunos.utfpr.edu.br
(3) Doutor em Arquitetura, Professor do Departamento acadêmico de construção civil, ekruger@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000, Ecoville, Curitiba-PR, (41) 3279-6800

RESUMO
O clima urbano se constitui em função de características morfológicas e de uso do solo no espaço urbano. Aspectos como grau de verticalização, presença de vegetação e densidade urbana influenciam diretamente variáveis climáticas gerando microclimas diferenciados na cidade. Esta pesquisa teve por objetivo gerar estratégias bioclimáticas em função de dados climáticos verificados em pontos distintos quanto ao uso e ocupação do solo, exemplificados para a cidade de Londres, Inglaterra. Avaliaram-se se as variações nos microclimas são significativas o bastante para influenciar as diretrizes projetuais de edificações, sendo geradas as estratégias bioclimáticas pelo pacote "Climate Consultant", versão 6.0, a partir de diagramas psicrométricos. Para a classificação das diferentes morfologias do espaço urbano de Londres foi utilizado o conceito de zonas climáticas locais (LCZs) desenvolvido por Stewart e Oke. Os dados meteorológicos para cada ponto de estudo foram obtidos a partir da plataforma online "Weather Underground". Pela análise do perfil longitudinal das temperaturas, a pesquisa constatou a formação de ilhas de calor nos locais com maior intensidade de ocupação e menor cobrimento vegetal. Com relação às diretrizes projetuais, notaram-se diferenças consideráveis em função da LCZ na qual cada ponto analisado estava localizado.
Palavras-chave: clima urbano, estratégias bioclimáticas, zonas climáticas locais, LCZ.

ABSTRACT
Urban climate originates from morphology and land-use characteristics in urban spaces. The level of verticalization, the presence of vegetation and urban density are influencing factors of climatic variables generating different microclimates within the city. The aim of this study was to obtain bioclimatic strategies arising from local climate data from different locations in terms of land use and occupation, exemplified for the city of London, England. The significance of distinct microclimates was evaluated in terms of obtained building directives using the Climate Consultant package version 6.0 and its psychrometric charts. Stewart and Oke's proposal of Local Climate Zones was used for classifying different morphologies. Weather data were obtained from the online platform Weather Underground. The analysis of the longitudinal profile of ambient temperature revealed the formation of urban heat islands in more densely occupied areas with reduced vegetation cover. As for architectural guidelines, psychrometric charts displayed considerable differences with respect to the LCZ of the several points analyzed.
Keywords: urban climate, bioclimatic strategies, local climate zones, LCZ.

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas sobre clima urbano revelam crescente preocupação com as mudanças climáticas, principalmente nas últimas décadas. O efeito das ilhas de calor, por exemplo, caracterizado pelo significativo aumento da temperatura em centros urbanos em comparação às zonas mais afastadas, é um fenômeno cada vez mais estudado e resultante da antropização dos espaços.

Sabe-se que são diversos os fatores que afetam o microclima urbano. Segundo Ugeda Júnior e Amorim (2016), a ocupação do solo, a presença de vegetação, a intensidade de tráfego, o nível de verticalização e os materiais construtivos empregados são fatores que distinguem bairros de uma mesma cidade, influenciando seu microclima.

Para padronizar os estudos climáticos urbanos, Iain Stewart e Tim Oke (2012) desenvolveram uma classificação denominada zona climática local ("Local Climate Zone" ou LCZ), que leva em consideração a morfologia do espaço e a ocupação do solo. Zonas climáticas locais (doravante denominadas LCZs) são definidas como regiões com características uniformes de cobertura de superfície, estrutura, material de superfície e atividade humana em um raio que pode variar de 100-200 metros a vários quilômetros em uma escala horizontal (STEWART; OKE, 2012).

Variações microclimáticas, por sua vez, afetam a demanda energética em climatização artificial. O conceito de eficiência energética na arquitetura significa possibilitar conforto ambiental aliado ao baixo consumo de energia (LAMBERTS et al., 2014). Nesse contexto, a utilização de recursos da arquitetura bioclimática possibilita a obtenção de projetos com maior eficiência energética. Projeto bioclimático, conforme seu idealizador Victor Olgyay (1963), é um termo utilizado para definir projetos arquitetônicos desenvolvidos a partir dos requisitos climáticos locais. Ao considerar tais requisitos, sugere-se que a construção deva ser projetada segundo princípios de adequação climática, muitas vezes seguindo exemplos de construções vernaculares. No norte da China, por exemplo, onde o clima é desértico, eram construídas edificações subterrâneas (RUDOFSKY, 1964), pois a massa térmica do solo permite que haja um significativo atraso térmico no fluxo de calor. Dessa forma, evitava-se de maneira natural o superaquecimento durante o dia e o resfriamento durante a noite. Exemplos mais comuns na habitação indígena brasileira envolvem edificações leves, com estratégias de sombreamento e ventilação, embora na região sul do país grupos indígenas como os Kaingang também utilizassem enterramento de suas habitações, construindo os denominados "buracos de bugre" (D'ANGELIS; SANTOS, 2014).

Estratégias bioclimáticas, portanto, são orientações de projeto passivo para prevenção de possíveis problemas de desconforto térmico. Existem diversos métodos de obtenção dessas diretrizes projetuais a partir de dados climáticos locais. Nesta análise, é comum utilizar-se os dados climáticos de estações meteorológicas oficiais. Porém, segundo Corbella e Yannas (2003), tais dados, tomados pelo serviço de meteorologia, podem não ser representativos de uma grande cidade, pois a urbanização cria microclimas diferenciados. Isto acontece principalmente em metrópoles, onde a extensão e a ocupação do espaço urbano ocorrem de múltiplas maneiras.

Considerando que a morfologia de uma região influencia o microclima local, assume-se que deveria haver diferenças na definição de estratégias bioclimáticas para regiões com diferentes atributos de morfologia urbana, uso e ocupação do solo. Assim, o presente trabalho se apoia no conceito de zonas climáticas locais de uma metrópole, analisando variações nos dados climáticos coletados em estações localizadas no perímetro urbano, a fim de verificar se variabilidades no microclima causam diferenças significativas na geração de estratégias bioclimáticas. O estudo se concentra na malha urbana de Londres, Inglaterra, sendo que a escolha pela capital inglesa se deu pela disponibilidade de dados meteorológicos de superfície em rede e devido a uma base sólida de estudos prévios de LCZs e climatologia urbana para essa cidade.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é gerar estratégias bioclimáticas para diferentes LCZs de Londres, Inglaterra, a partir de dados climáticos obtidos em estações meteorológicas não-oficiais alinhados a dois transectos: Norte-Sul e Leste-Oeste, ambos perpassando a região central da cidade.

3. MÉTODO

A metodologia aplicada neste trabalho divide-se em quatro etapas:

- Definição de LCZs e dos transectos para análise;
- Processamento dos dados climáticos;
- Geração de estratégias bioclimáticas para cada ponto de análise;

- Comparação entre pontos quanto aos fatores climáticos e estratégicas bioclimáticas obtidas.

3.1. Definição de zonas climáticas locais e dos transectos de análise

A cidade escolhida para realizar os estudos foi Londres, capital da Inglaterra. A cidade está localizada na latitude 51°30'28'' e longitude 0°7'41'' e a 11 metros do nível do mar. Atualmente, é a maior cidade da Inglaterra e do Reino Unido com uma população de 8,4 milhões de habitantes (ONS, 2011). Possui clima temperado oceânico segundo a classificação de Köppen-Geiger. A escolha dessa cidade foi pautada pela grande quantidade de estações meteorológicas oficiais e não-oficiais distribuídas em sua área urbana, algumas delas cadastradas na rede "Weather Underground" (http://www.wunderground.com), e pela classificação existente das LCZs para sua área urbana. A Weather Underground é uma rede digital que reúne dados coletados por estações meteorológicas amadoras ou não, localizadas em sítios diversos em cidades do planeta. O serviço contempla dados de estações oficiais e privadas, o que aumenta sua rede de cobertura e permite uma análise climática em menor escala.

A classificação das LCZs foi desenvolvida por Geletic (2016) para Londres, por meio de uma metodologia que utiliza sistema de informação geográfica conciliando análise de imagens de satélites com parâmetros de geometria e trocas de calor derivados das LCZs propostas por Stewart e Oke (GELETIC; LEHNERT, 2016).

O sistema criado por Stewart e Oke (2012) consiste na classificação de sítios com diferentes morfologias segundo até 17 diferentes categorias. Cada categoria é única por ser uma combinação da estrutura da superfície (edifícios/altura da árvore e espaçamento), cobertura (taxa de permeabilidade), configuração (albedo, intercâmbio de calor) e metabolismo (fluxo de calor antropogênico). As 17 zonas climáticas locais pré-estabelecidas estão dispostas no Quadro 1.

1. Compacto e altura elevada Alta concentração de edifícios com mais de dez pavimentos. Pouca ou nenhuma árvore. Terreno em sua maioria pavimentado. Materiais de construção: concreto, vidro, aço e pedra.	10. Industrial Estruturas de altura baixa e média. Pouca ou nenhuma árvore. Terreno pavimentado ou de chão de terra. Materiais de construção: metal, aço e concreto.
2. Compacto e altura mediana Concentração alta de edifícios de três a nove pavimentos. Pouca ou nenhuma árvore. Terreno em sua maioria pavimentado. Materiais de construção: pedra, tijolo e concreto.	A. Concentração de árvores Terreno completamente coberto com árvores. Terreno em sua grande maioria permeável. A zona é uma floresta natural ou um parque urbano.
3. Compacto e altura baixa Concentração alta de edifícios de um a três pavimentos. Terreno em sua maioria pavimentado. Materiais de construção: pedra, tijolo e concreto.	B. Árvores espalhadas Terreno levemente coberto com árvores. Terreno em sua grande maioria permeável. A zona é uma floresta natural ou um parque urbano.
4. Aberto e altura elevada Boa distribuição de edifícios com mais de dez pavimentos. Boa permeabilidade (árvores espalhadas). Materiais de construção: concreto, aço, pedra e vidro.	C. Arbustos e mato Distribuição muito espaçada de arbustos, mato e pequenas árvores. Terreno em sua grande maioria permeável. A zona é uma área destinada a agricultura ou matagal.
5. Aberto e altura mediana Boa distribuição de edifícios de três a nove pavimentos. Boa permeabilidade (árvores espalhadas). Materiais de construção: concreto, aço, pedra e vidro.	D. Vegetação baixa Terreno coberto por grama. Pouca ou nenhuma árvore. A zona representa um gramado, um parque urbano ou uma área de agricultura.
6. Aberto e altura baixa Boa distribuição de edifícios de um a três pavimentos. Boa permeabilidade (árvores espalhadas). Materiais de construção: madeira, tijolo, pedra e concreto.	E. Pedra bruta ou pavimento Terreno coberto de pedras ou é pavimentado. Pouca ou nenhuma árvore. A função da zona é um deserto de pedras ou transporte urbano
7. Leve e baixa altura Concentração alta de edificações de um pavimento. Pouca ou nenhuma árvore. Terreno em sua maioria de chão de terra. Materiais de construção: palha, madeira e chapas onduladas.	F. Areia ou terra bruta Terreno natural ou coberto de areia. Pouca ou nenhuma árvore. A zona é um deserto natural ou uma área de agricultura.
8. Largos e baixa altura Boa distribuição de edifícios largos de um a três pavimentos. Pouca ou nenhuma árvore. Terreno em sua maioria pavimentado. Materiais de construção: aço, concreto, chapas e pedra.	G. Água Grandes, abertos corpos de água como mares e lagos ou pequenos corpos de água tais como rios, represas e lagoas.
9. Pouco construído Pouquíssimas construções de nível pequeno ou médio em um ambiente natural. Muita área permeável.	

Quadro 1 – Definições das Zonas Climáticas Locais.
Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012).

As zonas climáticas locais identificadas pelos números de 1 a 10 representam os tipos de construções que compõem uma determinada região enquanto as zonas climáticas locais identificadas pelas letras de A a G representam os vários tipos de cobertura vegetal ou processos associados a corpos d'água em uma região (STEWART OKE, 2012).

Na definição dos transectos, os critérios adotados foram: 1) existência de estações meterológicas de superfície em dois eixos com orientação axial de aproximadamente Norte-Sul e Leste-Oeste, respectivamente; 2) verificação de completude e consistência dos dados climáticos da rede Weather Underground; 3) simultaneidade dos dados climáticos. Estações meteorológicas com menos de um ano completo de dados e dados climáticos com inconsistências notáveis foram desconsideradas. Definiu-se o ano de estudo o que se inicia em setembro de 2017 até agosto de 2018. Após a filtragem de estações com dados incompletos ou inconsistentes, traçaram-se os dois transectos, plotados na Figura 1 sobre a classificação das LCZs por Geletic (2016).

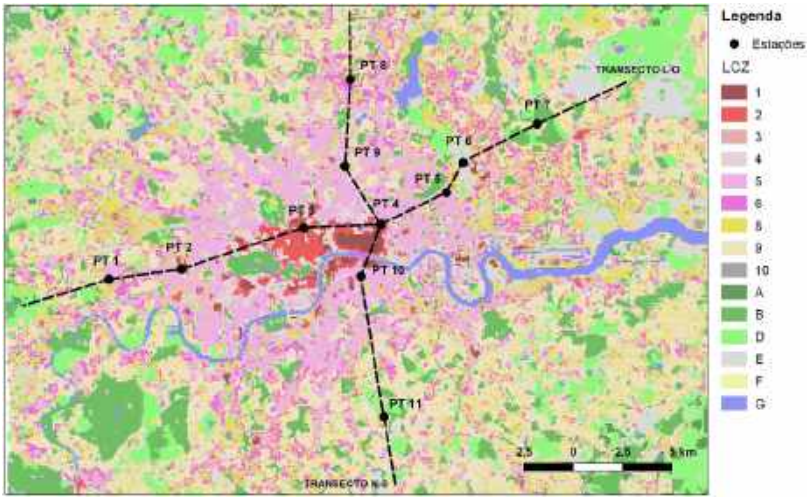

Figura 01 – Mapa das zonas climáticas locais de Londres, Inglaterra, e transectos leste-oeste e norte-sul.
Fonte: Adaptado de Geletic (2016).

Observa-se na Figura 1 que na região central, onde estão localizados marcos históricos como o Big Ben e a Abadia de Westminster, predominam edificações mais concentradas e altas, classificando-se como LCZs 1 e 2. Ao redor da zona central, nota-se uma melhor distribuição de edifícios, com maiores espaçamentos e alturas mais baixas, caracterizando a LCZ 5, proposta por Stewart e Oke. Por fim, nas regiões perimétricas predomina a LCZ 9, com construções de pequeno porte e maior permeabilidade.

Em relação às zonas climáticas locais de cobertura natural, verifica-se principalmente a presença de parques em todo mapa, representando as LCZs A, B e D, e a do rio Tâmisa que atravessa a cidade, LCZ G. Definidas as estações a serem utilizadas, classificaram-se suas localidades segundo o mapa desenvolvido por Geletic (2016). Na Tabela 1 é possível reconhecer as estações meteorológicas escolhidas, identificadas conforme sua nomenclatura no Weather Underground, suas coordenadas geográficas em graus decimais e à qual LCZ cada uma pertence segundo a classificação de Geletic (2016).

Tabela 1 – Estações meteorológicas transectos leste-oeste e norte-sul.

Estação	**Ponto**	**LCZ**	**Distância a partir do ponto inicial (km)**	**Latitude** (°)	**Longitude** (°)
TRANSECTO LESTE-OESTE					
ILONDON1172	PT 1	6	0	51,503	-0,276
ILONDON876	PT 2	2	3,7	51,506	-0,223
ILONDON636	PT 3	2	10,2	51,522	-0,133
ILONDON1407	***PT 4***	***4***	***14,1***	***51,522***	***-0,077***
IENGLAND499	PT 5	8	17,8	51,535	-0,028
ILONDON579	PT 6	10	19,5	51,548	-0,015
ILONDONL22	PT 7	9	23,7	51,564	0,040
TRANSECTO NORTE-SUL					
ILONDON1334	PT 8	6	0	51,588	-0,094
ILONDON1449	PT 9	9	4,4	51,549	-0,101
ILONDON1407	***PT 4***	***4***	***7,8***	***51,522***	***-0,077***
ILONDON59	PT 10	5	10,6	51,499	-0,093
ILONDON553	PT 11	9	14,4	51,435	-0,081

Fonte: os Autores.

A coluna intitulada Distância corresponde à distância em quilômetros entre o primeiro ponto do transecto até a estação correspondente. A estação ILONDON1407, ponto 4, é comum aos dois transectos e representa o ponto de interseção entre eles.

3.2. Processamento dos dados climáticos

O pacote Climate Consultant versão 6.0 foi utilizado para o processamento dos dados climáticos de cada ponto. O Climate Consultant possibilita a geração de saídas gráficas simplificadas para análise climática. As variáveis utilizadas para a geração de estratégias bioclimáticas pelo Climate Consultant foram temperatura e umidade relativa do ar. Como o programa processa os dados climáticos das 8760 horas anuais somente no formato *EnergyPlus Weather Data* (EPW), foi feita a conversão dos dados coletados para o formato EPW utilizando-se o aplicativo "Elements", desenvolvido pela Big Ladder Software (https://bigladdersoftware.com/projects/elements/), destinado à geração de arquivos climáticos diversos para simulações termo-energéticas.

A fonte de dados Weather Underground abrange uma rede de estações amadoras, assim frequentemente há falta de dados, seja por falha de conexão à internet, manutenção ou má configuração do equipamento. Desta forma, foi necessário adaptar o estudo aos dados disponíveis, sendo que, para as estações meteorológicas utilizadas neste estudo, não foi possível contar com dados contínuos das 8760 horas do ano selecionado. Para possibilitar comparações a partir dos dados climáticos, compatibilizaram-se os registros para dados horários comuns a todas as estações nos transectos. Para não reduzir muito o número de horas comuns, procedeu-se a esta compatibilização por cada transecto, de forma que os dois transectos não são completamente compatíveis entre si no que se refere à base de dados.

3.3. Geração de estratégias bioclimáticas

A geração de estratégias bioclimáticas foi realizada através do pacote Climate Consultant. Foi utilizado o modelo de conforto proposto pelo *Handbook of Fundamentals* da ASHRAE para edificações residenciais. Desenvolvido pela ASHRAE, nos Estados Unidos, o modelo de conforto considera que a faixa de temperatura efetiva se situa entre 20 °C e 23,3 °C para condições de inverno com um deslocamento desta faixa de 2,8°C para condições de verão.

A saída utilizada para obter as estratégias bioclimáticas é a carta psicrométrica, analisada no Climate Consultant em termos da efetividade de aplicação de diferentes estratégias de projeto, isto é, para quantas horas anuais são recomendadas cada estratégia. Ao todo são 16 estratégias projetuais, quais sejam: conforto, sombreamento, inércia térmica, inércia térmica com ventilação noturna, resfriamento evaporativo direto, resfriamento evaporativo duplo-estágio, ventilação natural, ventilação artificial, ganho de calor interno, aquecimento solar passivo, baixa e alta inércia térmica, proteção contra o vento, umidificação, desumidificação, resfriamento e aquecimento artificial. A categoria de conforto indica que as condições higrométricas estão confortáveis, não se necessitando, no caso, de aplicar estratégias projetuais. Um exemplo de aplicação do diagrama psicrométrico da ASHRAE (2005) com a definição de estratégias principais para Phoenix, Arizona, EUA, é mostrado na Figura 2. As estratégias que mais se destacam são baseadas no uso de resfriamento evaporativo e sombreamento das janelas.

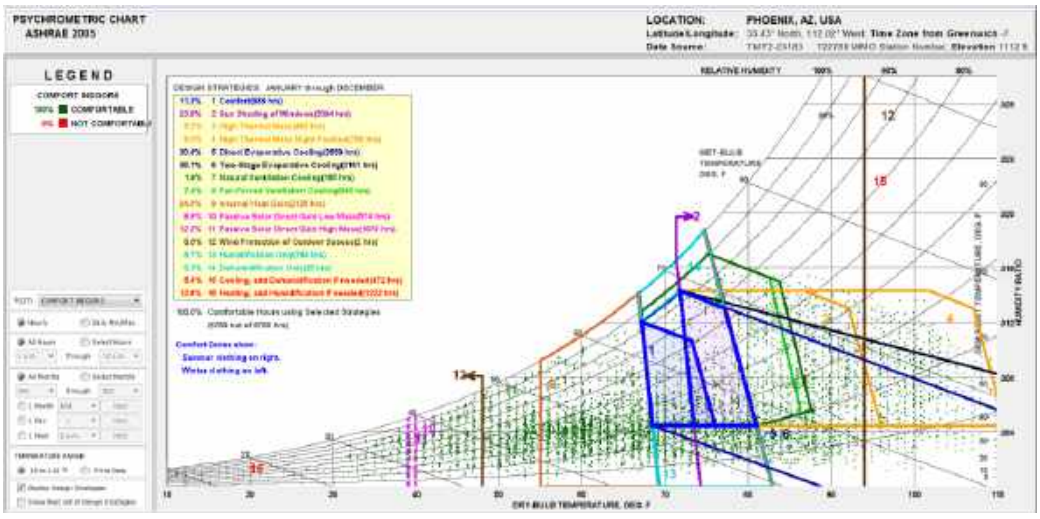

Figura 2 – Zonas e estratégias para Phoenix, Arizona, geradas pelo Climate Consultant (ASHARE, 2005).
Fonte: Climate Consultant versão 6.0

Para facilitar a interpretação dos resultados, neste estudo categorizaram-se os resultados em três possibilidades: conforto, necessidade de aquecimento e necessidade de resfriamento. As estratégias bioclimáticas de ganho de calor interno, aquecimento solar passivo, proteção contra o vento e aquecimento artificial foram consideradas na categoria de aquecimento; e as demais, excetuando conforto, na categoria de resfriamento.

4. RESULTADOS

Os resultados do transecto Leste-Oeste são referentes às 6397 horas comuns a todos os pontos do transecto, enquanto os do transecto Norte-Sul referem-se às 7707 horas comuns a todos os pontos. Assim, os transectos não são comparáveis entre si. Com o objetivo de demonstrar que existem diferenças climáticas entre os pontos analisados e observar a influência da LCZ em cada ponto, foram feitas análise das variáveis climáticas e das estratégias bioclimáticas.

4.1. Variáveis climáticas

Para melhor visualização das variáveis climáticas, agruparam-se as médias das mínimas diárias por estação. Optou-se por representar graficamente as mínimas diárias, pois, segundo Arnfield (2003), a intensidade da ilha de calor é maior no período noturno.

A Figura 3 apresenta o gráfico de temperaturas mínimas para o transecto Leste-Oeste. O gráfico evidencia o aumento da temperatura na região central da metrópole em todas as estações do ano, particularmente nos pontos 3 e 4, caracterizando uma ilha de calor. Segundo Yow e Carbone (2006), variações de temperatura maiores que 0,5 °C são representativas de ilhas de calor. Embora o ponto 4 seja classificado como LCZ 4, segundo Geletic (2016), o local está a menos de 100 metros de uma ampla região de LCZ 1. O raio de influência do microclima relaciona-se com a geometria das edificações, rugosidade da superfície, velocidade e direção do vento. Para Stewart et al. (2014), as LCZ devem ter um raio mínimo a partir de 100 metros, no entanto, o raio mínimo utilizado por Geletic para definição das zonas climáticas é de 50 metros. Assim, é de se supor que o ponto 4 tenha sofrido influência do entorno (LCZ 1).

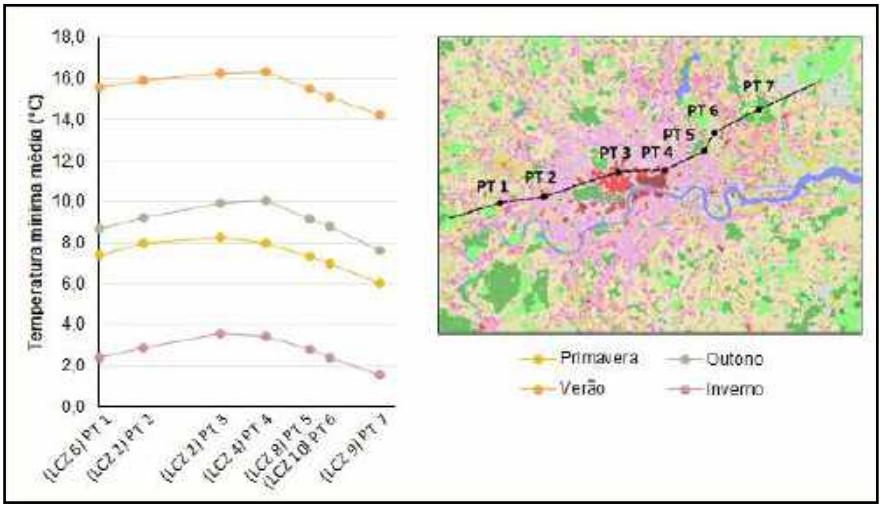

Figura 3 – Perfis longitudinais de temperatura mínima diária por estação do ano para o transecto Leste-Oeste
Fonte: os Autores.

Da mesma forma, o ponto 7, com temperaturas mais baixas entre os pontos, está envolto em uma região com LCZs A e B, com presença de vegetação. A diferença relativa entre o ponto 7 e os pontos mais centrais foi maior ou igual a 2°C, em todas as estações do ano.

Os perfis longitudinais do transecto Norte-Sul são apresentados na Figura 4. Notam-se valores mais altos de temperatura nos pontos 4 e 10. Esse aumento da temperatura nessa zona é justificado pelo fato desses pontos estarem localizados na região mais urbanizada da cidade. Além de sua localização, os pontos 4 e 10 são representativos das LCZs 4 e 5 respectivamente, o que significa que a região é composta por edifícios de altura média a elevada. Esses dois pontos localizam-se próximos à região central de LCZs 1 e 2, sofrendo também influências do entorno.

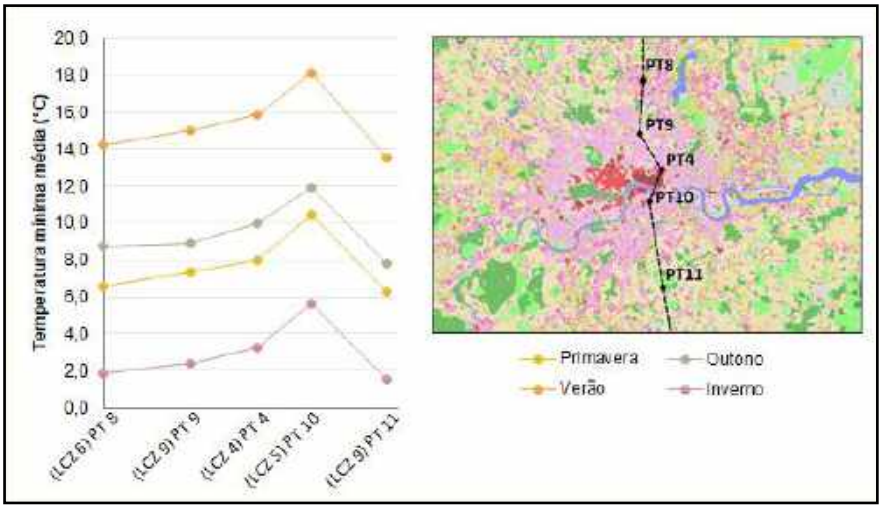

Figura 4 – Perfis longitudinais de temperatura mínima diária por estação do ano para o transecto Norte-Sul
Fonte: os Autores.

Os pontos 9 e 11, embora representativos de uma mesma LCZ, apresentam entre si uma diferença de até 1,5 °C na média por estação das mínimas diárias. Novamente, tal diferença pode ser explicada pelo entorno da região, já que o ponto 9 se localiza em uma área mais urbanizada e o ponto 11 mais próximo a uma área verde.

4.2. Estratégias bioclimáticas

A análise da temperatura e umidade relativa do ar ao longo do ano aponta para diferenças climáticas entre as LCZs consideradas. Assim, quantificou-se a representatividade de cada estratégia bioclimática sugerida no diagrama psicrométrico gerado pelo Climate Consultant. As estratégias e respectivos percentuais de horas do ano para os pontos dos dois transectos são apresentados nas Tabelas 2 e 3, e a Tabela 4 mostra de forma agrupada a variação máxima encontrada por estratégia (em número de horas e em porcentagem a partir da média), identificando quais pontos foram mais díspares nos dois transectos.

Tabela 2 – Representatividade das estratégias bioclimáticas geradas no Climate Consultant para o transecto Leste-Oeste

Estratégia	**PT1**		**PT2**		**PT3**		**PT4**		**PT5**		**PT6**		**PT7**	
	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%
Conforto	676	**7,72**	723	**8,25**	685	**7,82**	710	**8,11**	645	**7,36**	611	**6,97**	526	**6,00**
Sombreamento	320	**3,65**	279	**3,18**	259	**2,96**	293	**3,34**	226	**2,58**	221	**2,52**	250	**2,85**
Inércia térmica	206	**2,35**	153	**1,75**	154	**1,76**	160	**1,83**	110	**1,26**	116	**1,32**	151	**1,72**
Inércia térmica com ventilação noturna	245	**2,80**	189	**2,16**	194	**2,21**	209	**2,39**	138	**1,58**	145	**1,66**	179	**2,04**
Resfriamento evaporativo direto	300	**3,42**	180	**2,05**	149	**1,70**	198	**2,26**	131	**1,50**	133	**1,52**	123	**1,40**
Resfriamento evaporativo duplo-estágio	314	**3,58**	205	**2,34**	186	**2,12**	226	**2,58**	155	**1,77**	156	**1,78**	153	**1,75**
Ventilação natural	50	**0,57**	68	**0,78**	81	**0,92**	71	**0,81**	71	**0,81**	63	**0,72**	135	**1,54**
Ventilação artificial	164	**1,87**	164	**1,87**	166	**1,89**	173	**1,97**	140	**1,60**	134	**1,53**	210	**2,40**
Ganho de calor interno	1894	**21,62**	2016	**23,01**	2122	**24,22**	2105	**24,03**	2016	**23,01**	1950	**22,26**	1888	**21,55**
Aquecimento solar passivo direto - baixa inércia térmica	494	**5,64**	523	**5,97**	536	**6,12**	533	**6,08**	552	**6,30**	547	**6,24**	524	**5,98**
Aquecimento solar passivo direto - alta inércia térmica	352	**4,02**	358	**4,09**	351	**4,01**	356	**4,06**	364	**4,16**	359	**4,10**	348	**3,97**
Proteção contra o vento	60	**0,68**	58	**0,66**	62	**0,71**	63	**0,72**	63	**0,72**	71	**0,81**	65	**0,74**
Umidificação	1	**0,01**	0	**0,00**	2	**0,02**	3	**0,03**	1	**0,01**	0	**0,00**	0	**0,00**
Desumidificação	13	**0,15**	6	**0,07**	20	**0,23**	4	**0,05**	13	**0,15**	12	**0,14**	68	**0,78**
Resfriamento artificial	0	**0,00**	5	**0,06**	5	**0,06**	4	**0,05**	0	**0,00**	0	**0,00**	12	**0,14**
Aquecimento artificial	3222	**36,78**	3143	**35,88**	3080	**35,16**	3067	**35,01**	3277	**37,41**	3370	**38,47**	3430	**39,16**

Fonte: os Autores.

Tabela 3 – Representatividade das estratégias bioclimáticas geradas no Climate Consultant para o transecto Norte-Sul

	PT8		PT9		PT4		PT10		PT11	
Estratégia	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%
Conforto	832	**9,50**	907	**10,35**	940	**10,73**	1360	**15,53**	573	**6,54**
Sombreamento	447	**5,10**	405	**4,62**	381	**4,35**	250	**2,85**	379	**4,33**
Inércia térmica	336	**3,84**	254	**2,90**	266	**3,04**	128	**1,46**	266	**3,04**
Inércia térmica com ventilação noturna	391	**4,46**	299	**3,41**	308	**3,52**	148	**1,69**	308	**3,52**
Resfriamento evaporativo direto	341	**3,89**	309	**3,53**	276	**3,15**	109	**1,24**	140	**1,60**
Resfriamento evaporativo duplo-estágio	378	**4,32**	326	**3,72**	309	**3,53**	127	**1,45**	188	**2,15**
Ventilação natural	114	**1,30**	76	**0,87**	93	**1,06**	86	**0,98**	221	**2,52**
Ventilação artificial	255	**2,91**	218	**2,49**	236	**2,69**	139	**1,59**	321	**3,66**
Ganho de calor interno	2472	**28,22**	2520	**28,77**	2723	**31,08**	2958	**33,77**	2363	**26,97**
Aquecimento solar passivo direto - baixa inércia térmica	604	**6,89**	622	**7,10**	623	**7,11**	640	**7,31**	626	**7,15**
Aquecimento solar passivo direto - alta inércia térmica	464	**5,30**	455	**5,19**	457	**5,22**	464	**5,30**	447	**5,10**
Proteção contra o vento	70	**0,80**	70	**0,80**	69	**0,79**	52	**0,59**	73	**0,83**
Umidificação	7	**0,08**	11	**0,13**	4	**0,05**	0	**0,00**	0	**0,00**
Desumidificação	21	**0,24**	8	**0,09**	4	**0,05**	59	**0,67**	142	**1,62**
Resfriamento artificial	5	**0,06**	0	**0,00**	5	**0,06**	1	**0,01**	69	**0,79**
Aquecimento artificial	3676	**41,96**	3632	**41,46**	3422	**39,06**	2946	**33,63**	3931	**44,87**

Fonte: os Autores.

Tabela 4 – Variação relativa das estratégias bioclimáticas geradas no Climate Consultant para os dois transectos

	TRANSECTO LESTE-OESTE					*TRANSECTO NORTE-SUL*				
Estratégia	**média**	**variação**	**variação**	**PT**	**PT**	**média**	**variação**	**variação**	**PT**	**PT**
	(h)	**(h)**	**(%)**	**max**	**min**	**(h)**	**(h)**	**(%)**	**max**	**min**
Conforto	**654**	**197**	**30**	**2**	**7**	**922**	**787**	**85**	**10**	**11**
Sombreamento	264	99	38	1	6	372	197	53	8	10
Inércia térmica	150	96	64	1	5	250	208	83	8	10
Inércia térmica com ventilação noturna	186	107	58	1	5	291	243	84	8	10
Resfriamento evaporativo direto	173	177	102	1	7	235	232	99	8	10
Resfriamento evaporativo duplo-estágio	199	161	81	1	7	266	251	95	8	10
Ventilação natural	77	85	110	7	1	118	145	123	11	9
Ventilação artificial	164	76	46	7	6	234	182	78	11	10
Ganho de calor interno	**1999**	**234**	**12**	**3**	**7**	**2607**	**595**	**23**	**10**	**11**
Aquecimento solar passivo direto - baixa inércia térmica	**530**	**58**	**11**	**5**	**1**	**623**	**36**	**6**	**10**	**8**
Aquecimento solar passivo direto - alta inércia térmica	355	16	5	5	7	457	17	4	8	11
Proteção contra o vento	63	13	21	6	2	67	21	31	11	10
Umidificação	1	3	300	4	2	4	11	250	9	10
Desumidificação	19	64	329	7	4	47	138	295	11	4
Resfriamento artificial	4	12	323	7	1	16	69	431	11	9
Aquecimento artificial	**3227**	**363**	**11**	**7**	**4**	**3521**	**985**	**28**	**11**	**10**

Fonte: os Autores.

Ressalta-se que as porcentagens não somam 100% pois não se obtém dados das 8760 horas anuais, além da sobreposição de algumas estratégias. Além disso, os transectos não devem ser comparados entre si, pois a base de dados para cada qual é distinta.

Na Tabela 4, agrupada, identificam-se as estratégias com maior número de horas no ano (negritadas na tabela), sendo naturalmente o aquecimento artificial a estratégia mais evidente. Nos dois transectos, o aquecimento artificial sofreu variação, com o ponto mais central tendo maior necessidade de aquecimento do que o ponto com maior quantidade de vegetação e menos massa construída (PT7/LCZ 4 versus PT4/LCZ 9 no transecto NS; PT11/LCZ 5 versus PT10/LCZ 9 no transecto EW). A variação, neste caso, foi maior para o transecto Norte-Sul, atingindo 28% de redução de necessidade de aquecimento na região mais central. Consequentemente, os níveis de conforto apresentam tendência contrária, nos dois transectos.

Nas Figuras 5 e 6 são apresentados graficamente os resultados para os transectos Leste-Oeste e Norte-Sul, respectivamente. Observa-se na Figura 5, transecto Leste-Oeste, que os pontos 2, 3 e 4, localizados nas LCZs 2 e 4, apresentam maior porcentagem de horas em conforto. Isso ocorre, pois Londres é uma cidade de clima predominantemente frio, sendo a urbanização benéfica para a redução do desconforto por frio. Quanto ao aquecimento, os pontos 5, 6 e 7 têm valores mais altos, pois se localizam nas LCZs 8, 10 e 9, respectivamente, mais afastadas do centro urbano e com maior grau de arborização. No entanto, as diferenças relativas entre as estratégias geradas para os pontos do transecto Leste-Oeste são pequenas, chegando a apenas 2,5% entre os pontos 1 e 6 na categoria de aquecimento.

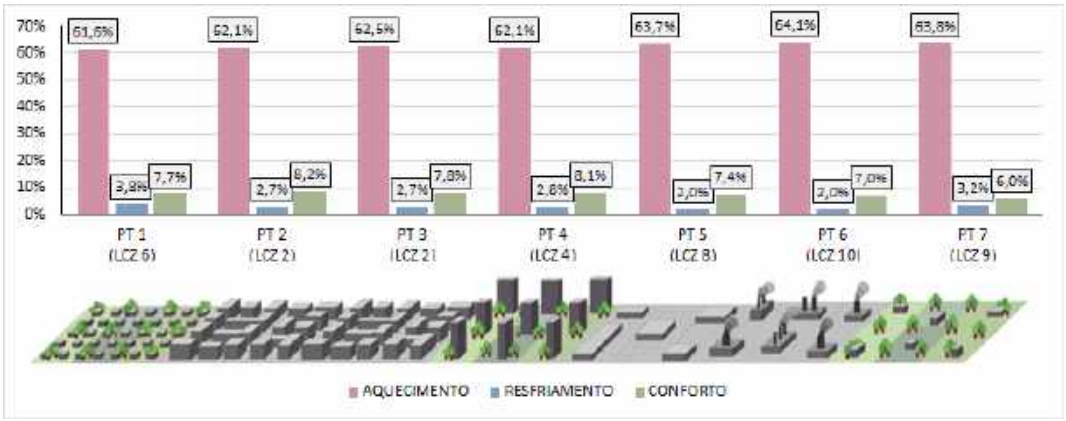

Figura 5 – Representatividade das estratégias bioclimáticas geradas no Climate Consultant para o transecto Leste-Oeste
Fonte: os Autores.

Na Figura 6, referente ao transecto Norte-Sul, notam-se maiores diferenças entre LCZs. Assim como no transecto Leste-Oeste, as regiões de maior ocupação apresentam maior percentual de horas em conforto. Na categoria de aquecimento, os pontos mostram valores próximos, se destacando mais os pontos 10 e 11, com 5,2% de diferença entre eles. A diferença entre esses pontos é ainda mais evidente em termos de alteração nos percentuais de conforto, com 9,1%. Isto se justifica pela proximidade do ponto 10 ao centro urbano, zonas climáticas locais 1 e 2, enquanto o ponto 11 está mais afastado, em uma região arborizada.

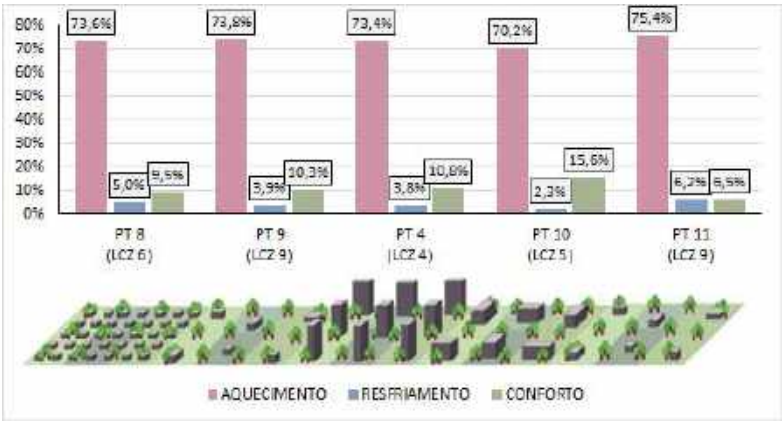

Figura 6 – Representatividade das estratégias bioclimáticas geradas no Climate Consultant para o transecto Norte-Sul
Fonte: os Autores.

5. CONCLUSÕES

O clima urbano nas grandes cidades se apresenta em função das características da morfologia dos espaços urbanos. Em Londres, é notável a influência da morfologia na caracterização do clima local.

Por meio da análise das estratégias bioclimáticas geradas, confirma-se a hipótese de que o clima urbano de uma metrópole apresenta variações significativas o bastante para alterar as diretrizes projetuais arquitetônicas de edificações ao longo de sua extensão. Comparativamente, no transecto Leste-Oeste as diferenças por categoria não foram tão significativas como no transecto Norte-Sul.

De maneira geral, os ambientes mais próximos ao centro urbano (LCZs 1 e 2) se mostram mais confortáveis termicamente, enquanto os mais afastados e/ou próximos a áreas verdes são mais desconfortáveis e necessitam de estratégias de aquecimento. No entanto, observam-se algumas inconsistências nos dados utilizados como base para a realização desse trabalho. Primeiramente, o mapa com a caracterização de zonas climáticas locais proposta por Geletic, em termos de definição de escala, não é coerente com os princípios definidos por Stewart e Oke. Geletic utiliza o valor de 50 metros como raio mínimo de influência para a formação de uma LCZ enquanto Stewart e Oke (2012) sugerem um valor mínimo para o mesmo da ordem de 100 metros em áreas de maior adensamento (Stewart et al., 2014), levando em consideração as demais variáveis climáticas, como vento e radiação solar.

Outra questão é a disponibilidade de dados climáticos para cada LCZ. O Weather Underground, embora possibilite o acesso a estações meteorológicas em diversos pontos da malha urbana, apresenta irregularidades em seu registro histórico de dados. A falta de dados completos disponibilizados pelo Weather Underground, a não divulgação dos erros associados a cada estação, além do não conhecimento da situação de instalação da estação podem também ter contribuído para resultados imprecisos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNFIELD, A. John. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology.**, Malden, v. 23, p. 1–26, 2003.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2003.

D'ANGELIS, Wilmar R.; SANTOS, Juracilda. Habitação e acampamentos Kaingang hoje e no passado. **Revista Cadernos do Ceom**, v. 17, n. 18, p. 213-242, 2014.

GELETIC, Jan. **Mapa de zonas climáticas locais de Londres**, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/310774923_Local_climate_zones_in_London>. Acesso em 10 jun. 2018.

GELETIC, Jan; LEHNERT, Michal. **GIS-based delineation of local climate zones: The case of medium-sized Central European cities.** Moravian Geographical Reports. Set. 2016.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3a ed. ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

OLGYAY, Viktor. **Design with climate – bioclimatic approach to architectural regionalism.** Nova Jersey: Princeton University Press, 1963.

RUDOFSKY, Bernard. **Architecture without architects.** Nova Iorque: Doubleday & Company. 1964.

STEWART, Iain S., OKE; Timothy R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 93, n. 12, p. 1879–1900, 2012.

STEWART, Iain D.; OKE, Timothy R.; KRAYENHOFF, E. Scott. Evaluation of the 'local climate zone'scheme using temperature observations and model simulations. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 4, p. 1062-1080, 2014.

UGEDA JÚNIOR, João Carlos; AMORIM, Margarete C. C. T. Reflexões acerca do sistema clima urbano e sua aplicabilidade: pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas. **Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo**, v. especial, p. 160-173, 2016.

YOW, Donald M.; CARBONE, Gregory J. The urban heat island and local temperature variations in Orlando, Florida. **Southeastern Geographer**, Athens, v. 46, n. 2, p. 297–321, 2006.