

Modelagem de cânions urbanos em clima tropical de savana: relação entre os parâmetros geométricos e o microclima ao nível do pedestre

Luana Karla de Vasconcelos Brandão

Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFAL, Brasil.
luana.brandao@arapiraca.ufal.br

Ricardo Victor Rodrigues Barbosa

Professor Doutor do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFAL, Brasil.
rvictor@fau.ufal.br

RESUMO

O aumento populacional nas cidades tem impulsionado um gradativo processo de modificação do ambiente natural para o construído. Essas transformações condicionam um clima tipicamente urbano, frequentemente caracterizado pelo aumento da temperatura do ar, fenômeno denominado ilha de calor urbano (ICU). Na busca por cidades sustentáveis e resilientes, a literatura aponta o modelo de cidade compacta, e a verticalização surge como uma alternativa para viabilizar a demanda populacional. O objetivo desta investigação foi analisar os efeitos da geometria de cânions urbanos no microclima, a partir da relação H/W e da orientação das vias, tomando como objeto de estudo a cidade de Arapiraca, Alagoas, de clima tropical de savana. Para tanto foi utilizada simulação computacional no software ENVI-met v.4 Beta em análise preditiva, a partir de 18 cenários hipotéticos. Os cenários possuem variações quanto à aplicação de recuo mínimo inicial e progressivo ao número de pavimentos, com incidência da ventilação predominante perpendicular ($N = 0^\circ$) e oblíqua ($N = 45^\circ$) às edificações, para o período quente e seco. O desempenho do cânion foi avaliado por meio da comparação da temperatura do ar, temperatura radiante média e velocidade dos ventos às 15h, período com maior temperatura do ar. Os resultados revelaram que em cânions profundos com uso do recuo inicial, a extensão de área sombreada foi maior, o que diminuiu a temperatura radiante média. Contudo, os cenários com uso do recuo progressivo apresentaram melhor desempenho quanto à velocidade dos ventos. Nesse caso, a orientação oblíqua das vias potencializou esse resultado.

PALAVRAS-CHAVE: Clima Urbano. Planejamento Urbano. Urbanismo Bioclimático. Simulação Computacional. ENVI-met.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional é um dos indutores de todo ciclo de modificações no clima urbano, uma vez que conduz ao adensamento construtivo e à verticalização das áreas urbanas, afetando as condições climáticas locais (MUNIZ-GÄAL et al., 2018). O aumento na altura das edificações gera sombreamentos, influencia na velocidade e na direção dos ventos, na forma de recebimento de radiação por ondas curtas e na liberação de calor por ondas longas (WAI et al., 2020; XUE et al., 2020).

Nesse contexto, o planejamento urbano é uma importante ferramenta com o potencial de promover condições térmicas ideais e confortáveis para os usuários dos espaços ao ar livre, ao mesmo tempo que alivia a demanda por refrigeração nas edificações (GIVONI, 1998), mas, para isso, o estudo do microclima urbano torna-se imprescindível para o conhecimento das especificidades climáticas de cada localidade, fundamentados nos preceitos do urbanismo bioclimático (NOGUEIRA et al., 2018; TALEGHANI, 2018).

A respeito dos efeitos do adensamento construtivo nos microclimas, cabe destacar a importância da forma dos cânions urbanos, compreendidos como uma composição formada por uma rua margeada por edificações verticalizadas (TORRES, 2017). De acordo com Afiq et al. (2012), o cânion urbano pode ser classificado a partir da relação H/W como *avenida* ($H/W < 0,5$), *regular* ($H/W = 1$) ou *profundo* ($H/W > 2$). Da mesma forma, o valor da razão L/H permite distinguir entre cânions *curtos* ($L/H < 3$), *médios* ($L/H = 5$) ou *longos* ($L/H > 7$). Os cânions alinhados a partir de prédios de altura aproximadamente iguais são ditos *simétricos*, enquanto uma diferença significativa entre as alturas é característica dos cânions *assimétricos*.

Dentre os fatores que influenciam no microclima no cânion urbano destaca-se sua geometria, usualmente expressa pela relação entre a altura média das edificações (H) e a largura das vias (W), relação H/W; o Fator de Céu Visível (SVF), que indica o grau de obstrução da abóbada celeste, e pela orientação do eixo do cânion (ERELL; PEARLMUTTER; WILLIAMSON, 2011). A relação H/W e o SVF exerce influência na incidência de radiação solar direta no interior

do cânion urbano, como também na capacidade de troca térmica radioativa do interior do cânion com a abóbada celeste (ACHOUR-YOUNSI; KHARRAT, 2016); e a sua orientação em relação à radiação solar, pelo potencial de otimizar o sombreamento das superfícies em seu interior, e à direção predominante dos ventos, pelo aproveitamento da ventilação natural com aumento das trocas térmicas convectivas, beneficiando as condições climáticas urbanas (TORK et al., 2017).

Os efeitos da relação H/W no microclima urbano em cidades de clima quente foi tema de diversas pesquisas. Em clima tropical, foi observado que a redução dos afastamentos entre as edificações amplia o sombreamento gerado pelas edificações nas superfícies do cânion, proporcionando a redução na temperatura radiante média durante o dia, o que favorece o conforto térmico no nível do pedestre, principalmente no período de verão (ANDREOU, 2013; MUNIZ-GÄAL et al., 2018). Esse fato indica que o sombreamento das edificações, ocasionado pela altura e pela proximidade entre os edifícios, tem maior impacto no conforto térmico dos pedestres do que uma condição de maior ventilação do cânion (MUNIZ-GÄAL et al., 2018). Contudo, é preciso considerar que a ventilação é fundamental para acelerar as trocas de calor e garantir o conforto em regiões de clima quente (DE; MUKHERJEE, 2018; XUE et al., 2020).

Inserido na zona climática tropical, tem-se o clima tropical de savana (As), caracterizado pela ocorrência das chuvas coincidir com o período do inverno e por apresentar ausência de chuvas no verão, aliada às altas temperaturas. No Brasil, de acordo com Alvares et al. (2013), o clima As cobre 5,5% do território, cerca de 468.366 km² e ocorre, principalmente, na região Nordeste. No estado de Alagoas, por exemplo, o clima As ocorre em 71,2% de seu território. Alguns estudos buscaram compreender a influência da relação H/W no microclima de cânions urbanos e no conforto térmico a nível do pedestre em cidades de clima As, como Yahia et al. (2017) em Dar es Salaam, Tanzânia; Sharmin et al. (2017) em Dhaka, Bangladesh; De e Mukherjee (2018) em Rajarhat Newtown, Índia; Huang e Chen (2020) em Kaohsiung, Taiwan; Srivanit e Jareemit (2020) em Bangkok, Tailândia. Mas no contexto brasileiro, ainda há poucos estudos para auxiliar os planejadores urbanos no processo de planejamento das cidades. Dessa forma, destaca-se a importância do presente estudo dos efeitos dos parâmetros geométricos de cânions urbanos no microclima em cidade de clima tropical de savana.

2 OBJETIVO

A presente investigação objetivou analisar os efeitos dos parâmetros geométricos de cânions urbanos na conformação de microclimas, no nível dos pedestres em cidade de clima tropical de savana (As'). Para tanto, tomou-se a cidade de Arapiraca, localizada na região do semiárido alagoano, como estudo de caso.

3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos adotados na presente investigação consistiram em três etapas distintas: (1) Seleção e caracterização de fração urbana com tendência à verticalização na cidade em estudo; (2) Composição dos dados de entrada no modelo para simulação computacional; e (3) Elaboração dos modelos e simulação dos cenários real e hipotéticos no *software* Envi-met v.4 Beta.

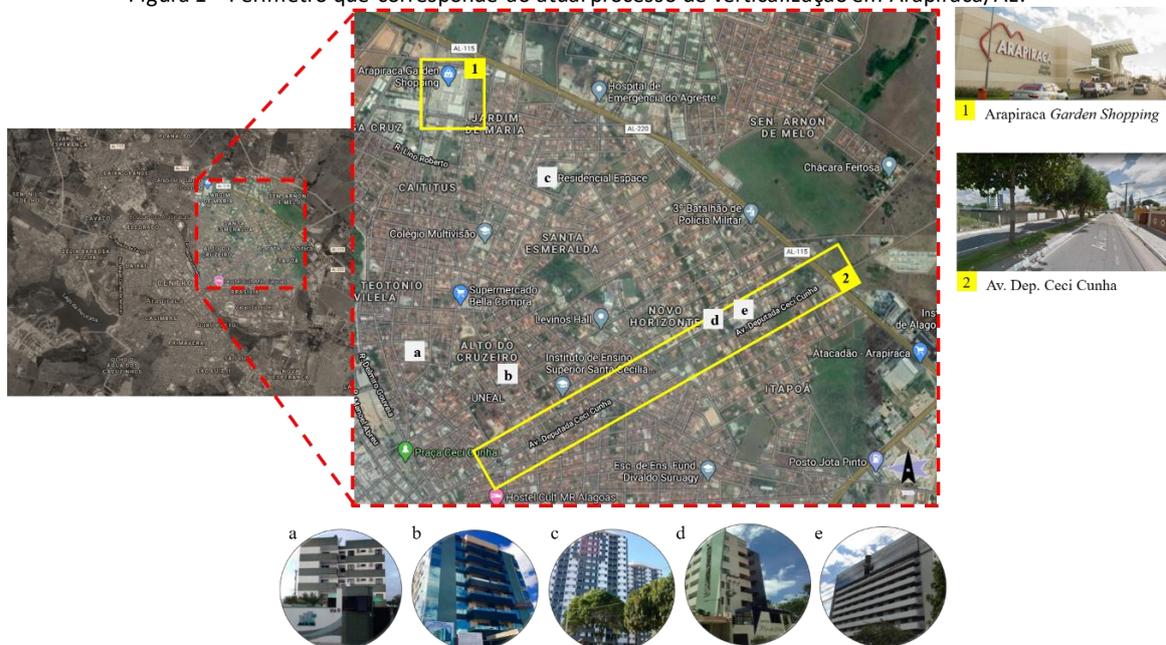
3.1 Caracterização do Estudo de Caso

A cidade de Arapiraca está localizada no interior do estado de Alagoas, na região do semiárido do Nordeste brasileiro, a uma altitude de, aproximadamente, 280 m. Possui população estimada de 234.309 habitantes (IBGE, 2021), em uma área territorial de 356,179 km². É a segunda maior cidade do estado e um importante centro comercial e de serviço, apresentando intenso crescimento populacional nas últimas décadas.

O clima da cidade é tropical de savana, do tipo As, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (BARROS et al., 2012), caracterizado por chuvas no período de outono-inverno, com uma estação seca bem definida. Apresenta temperatura média anual de 24,7 °C, umidade relativa do ar média anual de 73,9% e pluviosidade média anual de 890,0 mm (SILVA, 2019). Os ventos predominantes são de Leste, com direção secundária de Sudeste, com velocidades de ventos fracos e bonançosos, e ocorrência de calmarias em 13,73% das horas anuais (SILVA; BARBOSA, 2022).

A escolha da fração urbana para modelagem dos cenários urbanos hipotéticos foi baseada no tipo de tecido com tendência à verticalização, o Horizontal Disperso, conforme apontou Torres (2017). Recentemente, observou-se que no perímetro que se configura entre Shopping Center da cidade (Ponto 1) e uma importante Avenida que liga a rodovia ao centro de Arapiraca (Ponto 2), é composto pelos seguintes bairros: Alto do Cruzeiro, Novo Horizonte, Santa Esmeralda, Itapoã, Brasília e Caititus; há uma crescente mudança no uso do solo urbano, com a construção de edificações verticalizadas para atividades residencial e empresarial, que variam de 3 m (térreas) a 30 m (verticalizadas) de altura, como é possível observar na Figura 1.

Figura 1 – Perímetro que corresponde ao atual processo de verticalização em Arapiraca/AL.

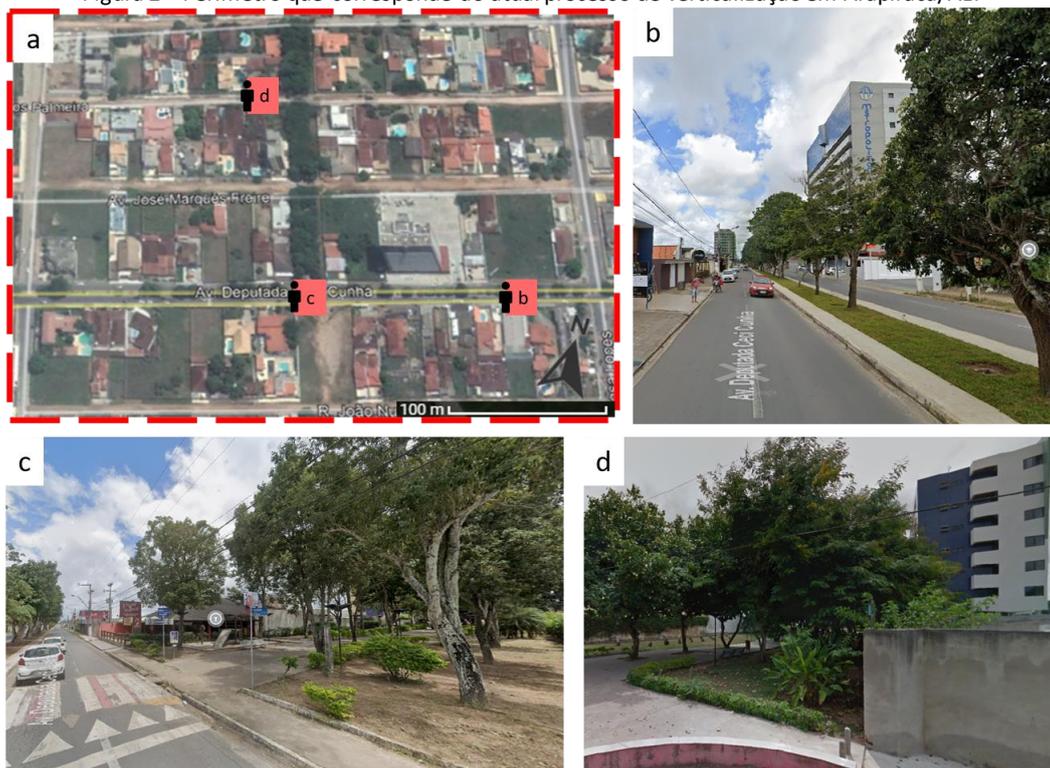


Fonte: Adaptado de Google Maps, 2020.

Para a elaboração dos cenários hipotéticos, buscou-se compreender o padrão recorrente de ocupação nessa fração urbana (ver Figura 2a), com base no desenho das quadras e dos lotes, e na largura das vias e das calçadas, por meio de base cartográfica atualizada,

disponibilizada pela Prefeitura Municipal. A Avenida conta com um canteiro central continuamente arborizado (Figura 2b), e entre as quadras existe uma área verde linear com presença de arborização de grande porte, como apresentam as Figuras 2c e 2d. Acerca das características observadas *in loco* do perímetro selecionado: o revestimento das ruas é asfalto ou cobertura natural, as calçadas são em concreto ou com revestimento cerâmico, e as fachadas são em cerâmica ou pintadas com diferentes cores. Os materiais de cobertura predominantes são telhas cerâmicas, fibrocimento ou lajes de concreto. A área de estudo foi de 129.454,93m², com orientação Sudoeste/Nordeste.

Figura 2 – Perímetro que corresponde ao atual processo de verticalização em Arapiraca/AL.



Fonte: Adaptado de Google Maps, 2023.

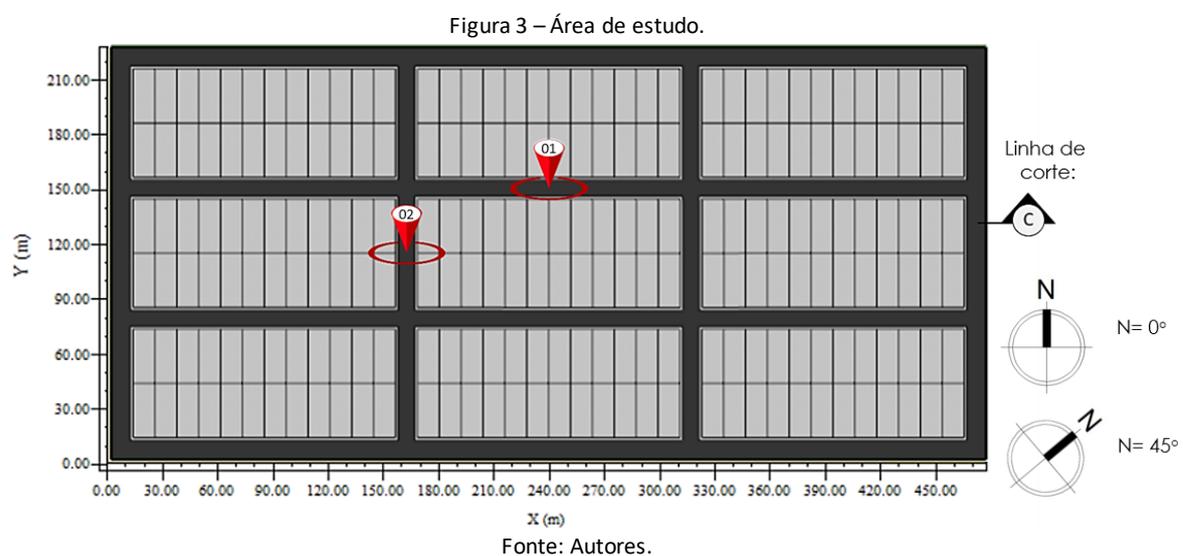
3.2 Dados de Entrada no Modelo

No *software* ENVI-met, a simulação requer dois principais arquivos: um arquivo de configuração urbana, no qual a área de estudo é modelada (incluindo a localização de edifícios, vegetação, solo, superfícies e receptores); e um arquivo de configuração climática com todos os valores e horários de inicialização (MUNIZ-GAAL et al., 2020). O processo é descrito abaixo.

O modelo da área de estudo foi construído com resolução de grade de 2 m x 2 m x 3 m, mantendo boa representatividade, totalizando uma área de 478 m x 228 m, em 239 x 114 x 29 grids. A área é constituída por nove quadras com 24 lotes, medindo 12 m x 30 m separadas por ruas com 8 m de largura. A quantidade de lotes por quadra, o tamanho médio dos lotes e a largura das ruas correspondem ao padrão de parcelamento do solo observado na fração urbana adotada como referência para o estudo.

A altura do topo do modelo foi de 90,98 m, obtida a partir do método telescópico de geração da grade vertical com fator de aumento de 2%, a partir da altura de 45 m, haja vista a altura mínima exigida pelo modelo ser o dobro da altura do edifício mais alto inserido no modelo (GUSSON, 2014). Para manter a estabilidade do modelo, foram inseridas 5 grades de nidificação em torno da área modelada (YANG et al., 2013). Foram adotadas duas inclinações para o norte: 0° e 45°, representativas para incidência perpendicular e oblíqua da ventilação predominante (leste) em relação às edificações, respectivamente.

Com o intuito de analisar apenas o efeito da massa construída, não foram inseridas vegetações nos cenários. A área foi modelada conforme indicado na Figura 3. Nos cenários de estudo foram estabelecidos 2 pontos receptores para coleta de dados climáticos, a fim de analisar o resultado das simulações. O ponto 01 (120,73) está situado paralelo à barlavento e ao ponto 02 (84,66), situado à sotavento.



Os materiais utilizados na modelagem dos cenários hipotéticos foram baseados nos materiais existentes no banco de dados do *software* ENVI-met v.4 Beta (Quadro 01).

Quadro 1 – Características dos materiais utilizados na modelagem da área de estudo e dos cenários.

Coberta	ID	Material	Albedo	Emissividade
	R2	Telha cerâmica	0.50	0.90
Paredes	B2	Tijolos cerâmicos	0.40	0.90
Calçadas	PG	Concreto cinza	0.40	0.89
Ruas	ST	Asfalto	0.12	0.90
Solo	LO	Argiloso	0.00	0.98

Fonte: Autores.

A ferramenta de ajuste solar, que permite ajustar a radiação solar de ondas curtas, calculada para as condições meteorológicas de entrada para a simulação computacional, foi usada para ajustar a radiação solar global incidente ao valor registrado na estação meteorológica de referência (INMET – A353). Em algumas situações, os fluxos de energia solar estimados usando métodos internos do ENVI-met podem ser sistematicamente muito altos ou muito baixos. Assim, foi utilizado o fator de ajuste solar de 0,92, de acordo com Torres (2017).

Adotou-se 21h como o horário de início da simulação, devido à ausência de radiação solar e haver disponibilidade de dados acerca de umidade específica no topo do modelo a 2500 m (00h UTC – atmosfera neutra). Os dados de umidade específica foram tomados da estação do aeroporto de Natal/RN, por ser o ponto mais próximo com este tipo de dado disponível. Com o intuito de obter dados climáticos de 2 dias (dois ciclos completos). O primeiro ciclo é considerado como um período para estabilidade da simulação e no segundo ciclo os dados climáticos foram considerados para análise. Os dados de um dia extremo para o período quente e seco foram utilizados para temperatura do ar e umidade relativa (SILVA, 2019). Os parâmetros de entrada para simulação computacional estão descritos no Quadro 2.

Quadro 2 – Parâmetros de dados de entrada para simulação computacional.

Parâmetro	Verão
Data de início	26/11/2015
Horário de início	21:00
Total de horas simuladas	52
Velocidade do vento medida a 10 m de altura (m/s)*	2.7
Direção do vento (graus)*	94
Comprimento da rugosidade no local da medição	0.1
Temperatura inicial da atmosfera (K)*	302.34
Umidade específica no topo do modelo (2500 m - g/kg) **	2.92
Umidade relativa a 2 m (%)*	62.9
Fator de ajuste solar****	0.92

*Silva, 2019

**Dados do aeroporto de Natal/RN obtidos pelo site do Dep. de Ciências Atmosféricas da Universidade de Wyoming.

***Padrão do modelo

****Torres, 2017.

Fonte: Autores.

3.3 Elaboração dos Cenários Hipotéticos para Simulação

Os cenários hipotéticos foram modelados sobre a base digitalizada. As edificações verticalizadas foram modeladas considerando o remembramento de três lotes padrão, haja vista que o remembramento de dois lotes resultou em áreas de pavimentos muito reduzidas para edificações em altura quando aplicado o recuo progressivo ao número de pavimentos. Os cenários foram modelados a partir de combinações de parâmetros urbanísticos de forma a conferir variações na geometria do cânion urbano, a partir da relação H/W. Foram consideradas variações quanto à altura das edificações, aos recuos entre os edifícios e à direção de incidência da ventilação predominante.

A altura das edificações considerou cenários com baixa, média e alta verticalizações, a partir do atual padrão de número de pavimentos existentes na cidade em estudo, resultando em edificações com 5, 10 e 15 pavimentos, respectivamente. Foram modelados cenários com alturas homogêneas e heterogêneas, resultando em variações na rugosidade da geometria urbana. A distribuição espacial dos edifícios com diferentes alturas na quadra foi feita aleatoriamente por sorteio, considerando a mesma quantidade de exemplares de cada altura em cada quadra.

A distância entre as edificações foi calculada a partir da aplicação de recuos mínimos, atualmente vigentes na legislação urbanística da cidade (ARAPIRACA, 2001), e de recuos progressivos ao número de pavimentos, de acordo com a Equação 1. Este cálculo corresponde

ao mesmo adotado para edificações verticalizadas, de acordo com a legislação urbanística vigente na capital do estado (MACEIÓ, 2007).

$$RP = (Ri + (n-2)) / 2$$

Equação 1

Onde:

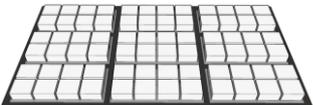
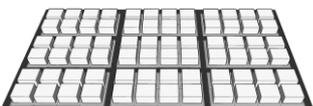
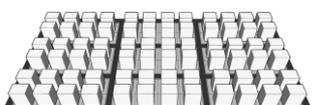
RP corresponde ao recuo progressivo resultante, em metros;

Ri corresponde ao recuo inicial ou mínimo, em metros, aplicado na zona em questão; e

n corresponde ao número de pavimentos da edificação.

A aplicação do recuo progressivo ao número de pavimentos resultou em afastamentos maiores entre as edificações mais altas, conferindo variações na porosidade da geometria urbana. Os parâmetros adotados na modelagem resultaram em nove cenários hipotéticos, considerando o cenário de referência com todas as edificações térreas. A mudança quanto à incidência da ventilação no modelo resultou na realização de 18 simulações (Quadro 3).

Quadro 3 – Parâmetros dos cenários hipotéticos.

Modelo	Padrão de verticalização	Nº Pav.	ID	Recuos (m)		Largura cânion (m)	H/W
				Frontal	Lateral/ Posterior		
	REF.	1	RF	3	1,5	18	0,16
	Baixo	5	RI-05	3	1,5	18	0,83
			RP-05	4,5	3	21	0,7
	Médio	10	RI-10	3	1,5	18	1,6
			RP-10	7	5,5	26	1,15
	Alto	15	RI-15	3	1,5	18	2,5
			RP-15	9,5	8	31	1,45

	Misto	5/10/1 5	RI- Misto	*	*	18	*
			RP- Misto	*	*	*	*

*Valores variáveis dentro do cânion urbano.

Fonte: Autores.

A razão L/H foi constante em todos os cenários. De acordo Muniz-Gäal et al. (2020), a variação na relação deste parâmetro não tem efeito significativo na sensação de conforto térmico no nível de pedestres. A análise comparativa dos resultados obtidos foi realizada a partir da variabilidade microclimática no interior do cânion às 15h, observada na altura de 1,5 m do solo.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Temperatura do Ar

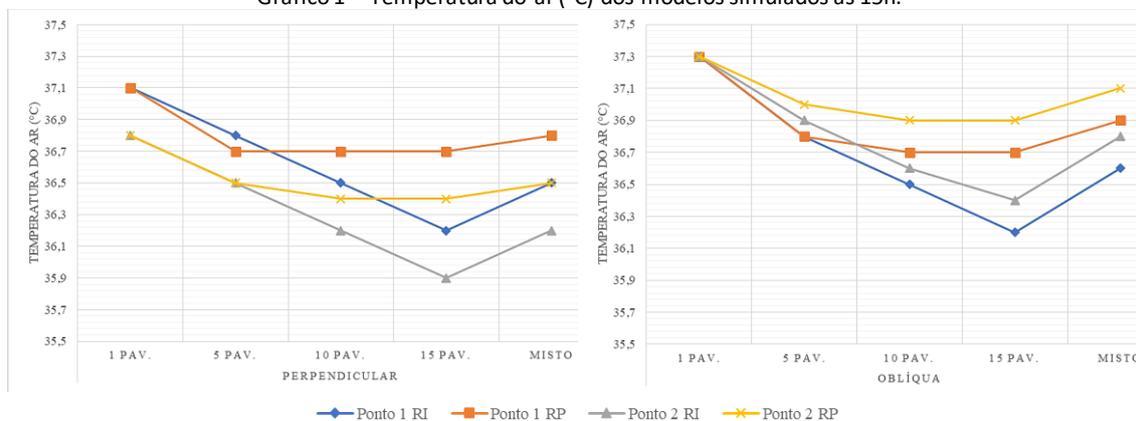
A respeito da variabilidade da temperatura do ar, a Tabela 1 e o Gráfico 1 apresentam os dados quantitativos, às 15h. Os valores destacados em vermelho têm como característica serem os mais elevados da variante em análise, enquanto os valores em destaque verde são mais amenos.

Tabela 1 – Variação da temperatura do ar (°C) para às 15h.

Pontos	PERPENDICULAR					OBLÍQUA					
	REF	5P	10P	15P	Misto	REF	5P	10P	15P	Misto	
P1	RI	37,1	36,8	36,5	36,2	36,5	37,3	36,8	36,5	36,2	36,6
	RP	37,1	36,7	36,7	36,7	36,8	37,3	36,8	36,7	36,7	36,9
P2	RI	36,8	36,5	36,2	35,9	36,2	37,3	36,9	36,6	36,4	36,8
	RP	36,8	36,5	36,4	36,4	36,5	37,3	37,0	36,9	36,9	37,1

Fonte: Autores.

Gráfico 1 – Temperatura do ar (°C) dos modelos simulados às 15h.



Fonte: Autores.

Para o horário das 15h, período mais quente do dia – de acordo com o clima local, foi possível observar que, nos modelos de incidência da ventilação perpendicular às edificações, entre os pontos à barlavento (1) e à sotavento (2) há uma diferença de, em média, 0,5°C, devido à orientação da malha urbana, que naquele ponto e no horário do dia obteve maior incidência de radiação solar direta e menor área de sombra.

Com relação ao recuo inicial e progressivo, nos cenários REF e de 5 pavimentos a temperatura se manteve com valores próximos, mas a partir do cenário de 10 pavimentos houve uma crescente diferença entre os valores correspondentes de cada cenário, com relação ao uso do recuo progressivo. Essa diferença se mostrou menor nos cenários mistos. Isso se deve à área de sombra ser maior nos cenários com uso do recuo inicial, em comparação com os cenários com uso do recuo progressivo, o que diminui a incidência de radiação solar direta. Muniz-Gaal et al. (2018) também observaram menores temperaturas do ar em cenários com menor espaço entre edifícios e relacionaram esse desempenho à menor exposição ao sol.

Assim, torna-se importante destacar o efeito da verticalização no comportamento da temperatura do ar, visto que há uma tendência decrescente na temperatura máxima do ar com o aumento da relação H/W do cânion urbano. No ponto 1, por exemplo, os cenários REF apresentaram 37,1°C e 37,3°C, nas incidências perpendicular e oblíqua, respectivamente, enquanto os cenários de 15 pavimentos apresentaram os valores de temperatura do ar mais baixos, com 36,2°C, o que gerou uma diferença de 0,9°C a 1.1°C. Fica, assim, evidente a influência que o sombreamento exerce no comportamento da temperatura do ar, na altura de 1,5 m do chão.

4.2. Temperatura radiante média

Visto que diversos estudos apontam a temperatura radiante média como variável climática com forte influência em índices de conforto térmico urbano, como o PET (temperatura fisiologicamente equivalente) e o PMV (voto médio previsto) – juntamente com a velocidade dos ventos (KRÜGER; MINELLA, 2011; ANDREOU, 2013; XUE et al., 2020), espera-se obter respostas quanto à influência da geometria urbana na conformação do microclima, em realidade de cidade de clima tropical de savana seca.

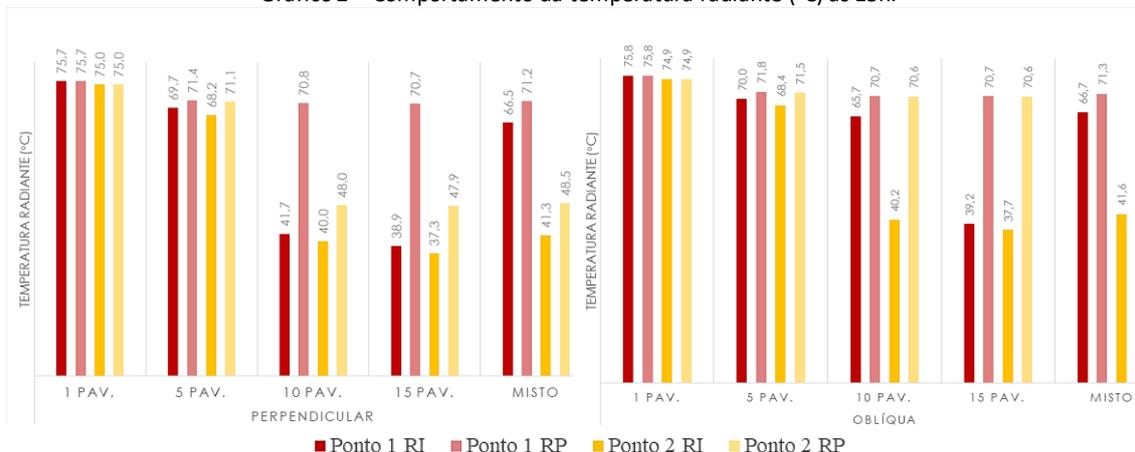
A Tabela 2 e o Gráfico 2 apresentam os dados quantitativos às 15h. Os valores destacados em vermelho têm como característica serem os mais elevados da variante em análise, enquanto que os valores em destaque verde são mais amenos.

Tabela 2 – Comportamento da temperatura radiante (°C) para às 15h.

Pontos		PERPENDICULAR					OBLÍQUA				
		REF	5P	10P	15P	Misto	REF	5P	10P	15P	Misto
P1	RI	75,7	69,7	41,7	38,9	66,5	75,8	70,0	65,7	39,2	66,7
	RP	75,7	71,4	70,8	70,7	71,2	75,8	71,8	70,7	70,7	71,3
P2	RI	75,0	68,2	40,0	37,3	41,3	74,9	68,4	40,2	37,7	41,6
	RP	75,0	71,1	48,0	47,9	48,5	74,9	71,5	70,6	70,6	71,2

Fonte: Autores.

Gráfico 2 – Comportamento da temperatura radiante (°C) às 15h.



Fonte: Autores.

Nos modelos de incidência da ventilação predominante perpendicular às edificações, a partir da análise dos dados quantitativos às 15h, é possível observar que o cenário com os valores mais elevados de temperatura radiante nos pontos 01, à barlavento, e 02, à sotavento, foi o REF, que possui somente edificações térreas, em função do solo exposto à radiação solar direta, com 75,7°C e 75,0°C, respectivamente. Nos pontos 01 e 02, os cenários que apresentaram temperaturas mais amenas (em verde) foram os RI-15, devido a maior área de sombra gerada pelo uso do recuo inicial, com 38,9°C e 37,3°C.

No ponto 01 dos cenários com uso do recuo progressivo, nota-se valores elevados de temperatura radiante em comparação com os demais, pois nesse horário específico o lugar onde ele está situado não foi assombrado, recebendo radiação solar direta. Percebe-se também que nos cânions rasos e profundos, com relação H/W maior que 1,0, os valores de temperatura radiante diminuem, em decorrência do baixo fator de céu visível, que interfere diretamente no sombreamento.

O recuo utilizado também influencia no comportamento da temperatura radiante, pois no ponto 02 a diferença entre os dados obtidos a partir das simulações computacionais entre os cenários com uso do recuo inicial e progressivo de 15 pavimentos chega a 10,6°C, visto que as edificações verticalizadas com uso do recuo inicial possuem uma área de sombra maior, pois a área construída no lote possui uma área maior.

A orientação do traçado viário em relação à direção predominante da ventilação, tratados no presente estudo a partir dos ângulos de 0° e 45°, não apresentou diferença significativa entre os cenários, de forma geral, contudo, houve o aumento da temperatura radiante no ponto 02, à sotavento, nos cenários RP-10, RP-15 e RP-Misto, neste último cenário, por exemplo, a diferença chega a 22,7°C.

4.3. Velocidade dos ventos

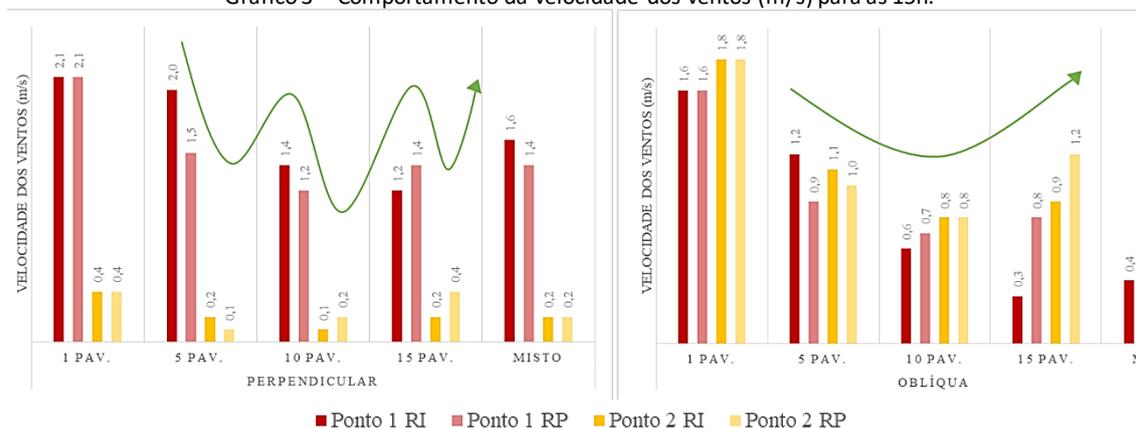
O software ENVI-met, utilizado no presente estudo, considera a velocidade constante durante o dia, nesse sentido, optou-se por analisar o comportamento da direção e da velocidade do vento às 15h, a partir de dados quantitativos. A Tabela 3 e o Gráfico 3 demonstram, quantitativamente, o comportamento da velocidade dos ventos no Ponto 01, à barlavento, e no Ponto 02, à sotavento.

Tabela 3 – Comportamento da velocidade dos ventos (m/s) para às 15h.

Pontos		PERPENDICULAR					OBLÍQUA				
		REF	5P	10P	15P	Misto	REF	5P	10P	15P	Misto
P1	RI	2,1	2,0	1,4	1,2	1,6	1,6	1,2	0,6	0,3	0,4
	RP	2,1	1,5	1,2	1,4	1,4	1,6	0,9	0,7	0,8	0,6
P2	RI	0,4	0,2	0,1	0,2	0,2	1,8	1,1	0,8	0,9	1,3
	RP	0,4	0,1	0,2	0,4	0,2	1,8	1,0	0,8	1,2	1,1

Fonte: Autores.

Gráfico 3 – Comportamento da velocidade dos ventos (m/s) para às 15h.



Fonte: Autores.

Na Tabela 3, os dados destacados em verde correspondem aos maiores valores de velocidade dos ventos, enquanto os dados em vermelho, aos menores valores de velocidade dos ventos para os Pontos 01 e 02. É importante destacar que o aumento da densidade de construção geralmente retarda o fluxo de ar próximo à superfície (OKE, 2017), o que justifica as velocidades mais altas se concentrarem nos cenários REF.

Nos modelos urbanos hipotéticos de incidência da ventilação predominante perpendicular às edificações, é possível observar a disparidade entre o ponto à barlavento (01) e à sotavento (02), por conta da canalização do fluxo do ar nas vias de circulação com eixo Leste-Oeste, que gera o aumento da velocidade dos ventos, com uma diferença de até 1,8 m/s no cenário RI-05. Enquanto nos modelos de incidência da ventilação predominante oblíqua às edificações, essa diferença foi atenuada, com uma diferença de 0,1 m/s no mesmo cenário em questão. Isso porque a orientação do traçado viário otimizou a permeabilidade dos ventos na malha urbana.

Tork et al. (2017) também constataram que em vias orientadas a Nordeste-Sudeste, oblíqua à direção predominante do vento, o desempenho térmico é superior quanto à

velocidade do vento e ao potencial de ventilação cruzada. A velocidade dos ventos é importante para a qualidade do ar e a dispersão de poluentes atmosféricos e do calor antropogênico (OKE, 2017; XUE et al., 2020). Ainda sobre a questão da orientação do traçado viário, Achour-Younsi; Kharratb (2016), afirmaram que a orientação das ruas se mostra crucial na avaliação do conforto térmico ao ar livre, pois a orientação Norte-Sul, por exemplo, perpendicular à direção predominante do vento, permite que a luz solar se infiltre durante um longo período do dia, especialmente no verão.

Com relação à adoção do recuo inicial e progressivo, observou-se um padrão presente em todos os cenários: apesar das velocidades dos ventos se apresentarem mais altas nos cenários REF e RI-05, decorrentes da canalização do fluxo dos ventos, mas à medida que as edificações se verticalizam, gradualmente, a velocidade aumenta nos cenários com uso do recuo progressivo. Segundo Torres (2017), a diminuição da porosidade da malha urbana entre o edifício e o limite do lote reduzem a velocidade dos ventos, sendo a porosidade da malha urbana determinada pela taxa de penetração de ventos na composição urbana e ela está relacionada diretamente com a capacidade das edificações e com os arranjos construtivos para permitir a dissipação dos ventos através de sua própria estrutura, a partir dos afastamentos entre edifícios, a taxa de ocupação, a existência de espaços vazios e a largura das vias.

Ao analisar o comportamento da velocidade dos ventos com relação à forma urbana, dois fatores devem ser considerados: a porosidade, citada há pouco, e a rugosidade, que influencia no perfil vertical do vento, conhecido como gradiente de vento. O cenário misto possibilita analisar a rugosidade da malha urbana frente ao desempenho do aproveitamento da ventilação natural. Nos modelos de incidência da ventilação predominante perpendicular às edificações, nota-se que o cenário misto apresenta resultados similares aos cenários verticalizados, e nos modelos de incidência oblíqua, o resultado se repete.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, o desempenho climático dos cânions urbanos foi avaliado com base na variação de três características de sua geometria: relação H/W, com base no espaço entre edifícios (uso do recuo inicial ou progressivo) e a orientação das vias ($N=0^\circ$ / $N=45^\circ$); a partir dos dados climáticos obtidos de temperatura do ar, temperatura radiante e velocidade dos ventos.

Os dados de temperatura do ar não apresentaram diferença significativa entre os cenários urbanos hipotéticos, visto que a diferença entre eles chegou a $0,3^\circ\text{C}$. Nesse caso, a compreensão do microclima do cânion com relação a sua geometria se deu com a análise da temperatura radiante e a velocidade dos ventos. O comportamento da temperatura radiante esteve diretamente ligado à área de sombreamento gerada pelas edificações, pois determina a quantidade de radiação solar a ser absorvida, refletida e/ou emitida. Nos cenários de cânions urbanos profundos houve a diminuição da temperatura do ar e da temperatura radiante, pontos positivos para o conforto térmico a nível do pedestre, pois a área de sombra gerada pelos edifícios era maior. A adoção do recuo inicial potencializou esse resultado, devido a maior ocupação da área do lote, gerando uma área de sombra mais extensa. A orientação das vias não apresentou diferenças significativas entre os modelos no comportamento das variáveis climáticas em questão.

A relação H/W, a partir do uso do recuo inicial ou progressivo, e a orientação das vias, apresentaram forte influência no comportamento dos ventos. Os resultados dos cenários de incidência da ventilação perpendicular às edificações revelaram que os cânions com maiores proporções H/W aumentaram a velocidade do vento no ponto 01 (à barlavento), devido à canalização dos ventos, acarretando em áreas de sombra de vento no ponto 02, à sotavento, e no interior dos lotes. Vale ressaltar que o ponto 01 está situado em uma via de eixo Leste-Oeste, paralela à incidência predominante da ventilação local, já o ponto 02, em uma via perpendicular à incidência predominante da ventilação.

Nos cenários de incidência da ventilação oblíqua às edificações houve a diminuição da velocidade dos ventos, visto que o efeito de canalização dos ventos diminui, como também é possível observar a melhora na permeabilidade dos ventos na malha urbana, devido à orientação das vias sentido Nordeste-Sudeste. Assim, os dados de velocidade dos ventos nos pontos 01 e 02 se aproximaram. Os dados referentes aos cenários com uso do recuo progressivo, por aumentar o espaçamento entre as edificações e gerar benefícios à porosidade da malha urbana, assim como nos cenários mistos, em que houve o aumento da rugosidade, com base nas diferentes alturas das edificações, apresentaram desempenho superior aos demais no aproveitamento da ventilação natural, que é uma das estratégias bioclimáticas no clima em questão.

Este estudo avaliou as condições climáticas e a sensação térmica dos cenários para o clima tropical de savana de latitude média e sem considerar os efeitos das interações da vegetação. Uma das principais conclusões deste artigo leva à notável importância do sombreamento para reduzir o estresse térmico. Com base nos resultados mencionados, os parâmetros geométricos dos cânions urbanos afetam fortemente o microclima e o nível de conforto térmico no nível de pedestres, destacando a necessidade de desenvolver diretrizes de planejamento urbano baseadas nesses parâmetros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFIQ, W. M. Y.; AZWADI, C. S. N.; SAQR, K. M. Effects of buildings aspect ratio, wind speed and wind direction on flow structure and pollutant dispersion in symmetric street canyons: a review. *Int. J. Mech. Mater. Eng.*, v. 7, p. 158–165, 2012.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

ACHOUR- YOUNSI, S.; KHARRAT, F. Outdoor thermal comfort: Impact of the geometry of an urban street canyon in a Mediterranean subtropical climate – Case study Tunis, Tunisia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 216, p. 689-700, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.062>

ANDREOU, E. The effect of urban layout, street geometry and orientation on shading conditions in urban canyons in the Mediterranean. *Renew. Energy*, v. 63, p. 587–596, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.09.051>

Código de Obras e Edificações no Município de Arapiraca. Lei Municipal nº 2.220, de 2001. Recuperado de 02 de abril de 2023, de www.arapiraca.al.gov.br

Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió. Lei Municipal nº 5.593, de 8 de fevereiro de 2007. Recuperado de 20 de abril de 2023, de www.maceio.al.gov.br

DE, B.; MUKHERJEE, M. Optimisation of canyon orientation and aspect ratio in warm-humid climate: Case of Rajarhat Newtown, India. **Urban Climate**, n. 24, p. 887–920, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.11.003>

ERELL, E.; PEARLMUTTER, D.; WILLIAMSON, T. **Urban microclimate: designing the spaces between buildings**. London: Earthscan, 2011.

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

GUSSON, C. dos S. **Efeito da Densidade Construída Sobre o Microclima Urbano**: construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos no microclima para a cidade de São Paulo (Dissertação de mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

HUANG, J.; CHEN, L. A Numerical Study on Mitigation Strategies of Urban Heat Islands in a Tropical Megacity: A Case Study in Kaohsiung City, Taiwan. **Sustainability**, v. 12, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su12103952>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2010). **Censo Demográfico - 2010**. Arapiraca: IBGE. Recuperado em 15 de janeiro de 2023, de www.ibge.gov.br

KRÜGER, E. L.; MINELLA, F.O.; RASIA, F. Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. **Building and Environment**, v. 46, p. 621-634, 2011. DOI: [DOI:10.1016/j.buildenv.2010.09.006](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.006).

MUNIZ-GÄAL, L. P.; PEZZUTO, C. C.; CARVALHO, M. F. H. de; MOTA, L. T. M. Parâmetros urbanísticos e o conforto térmico de cânions urbanos: o exemplo de Campinas, SP. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 177-196, abr./jun, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000200249>

MUNIZ-GÄAL, L. P.; PEZZUTO, C. C.; CARVALHO, M. F. H. de; MOTA, L. T. M. Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate. **Building and Environment**, v. 169, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106547>

NOGUEIRA, A. M. P.; ARAÚJO, I. A. L. de; BITTENCOURT, L. S.; RESTAINO, G. Impacto da verticalização no microclima urbano: o caso do bairro Guaxuma, em Maceió-AL, Brasil. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 9, n. 2, p. 72-85, jun, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v9i2.8650267>.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban Climates**. 1. ed. New York: Sheridan Books, 2017.

SHARMINA, T.; STEEMERSA, K.; MATZARAKIS, A. Microclimatic modelling in assessing the impact of urban geometry on urban thermal environment. **Sustainable Cities and Society**, v. 34, p. 293–308, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.006>

SILVA, M. F. da. **Estratégias bioclimáticas para seis cidades alagoanas**: contribuições para a adequação da arquitetura ao clima local (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

SILVA, M. F. da.; BARBOSA, R. V. R. Regime de ventos em cidades de diferentes regiões geográficas de Alagoas a partir de dados meteorológicos recentes. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 31, 2022, ISSN 2237-8642.

SRIVANIT, M.; JAREEMIT, D. Modeling the influences of layouts of residential townhouses and tree-planting patterns on outdoor thermal comfort in Bangkok suburb. **J. Build. Eng.**, v. 30, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101262>

TALEGHANI, M. Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies - A review. **Renew. Sustain. Energy Rev.**, v. 81, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.010>.

TORK, L. D.; TIBIRIÇÁ, A. C. G.; TIBIRIÇÁ, Á. M. B. Análise da ventilação natural conforme planos diretores: resultados de pesquisa em Belém, PA. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 329-351, jan./mar., 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100138>

TORRES, S. C. **Forma e Conforto**: estratégias para (re)pensar o adensamento construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática (Tese de doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

XUE, Y.; WANG, Y.; PENG, H.; WANG, H.; SHEN, J. The impact of building configurations and anthropogenic heat on daily urban air temperature cycles. **Building and Environment**, v. 169, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106564>

YAHIA, M. W.; JOHANSSON, E.; THORSSON, S.; LINDBERG, F.; RASMUSSEN, M. I. Effect of urban design on microclimate and thermal comfort outdoors in warm-humid Dar es Salaam, Tanzania. **Int. J. Biometeorol.**, 2017. DOI 10.1007/s00484-017-1380-7

YANG, H.; ZHAO, L.; BRUSE, M.; MENG, Q. Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. **Build. Environ.**, v. 60, p. 93-104, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.00>