ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DE CÂNIONS URBANOS EM CLIMA TROPICAL DE SAVANA

Luana Karla de Vasconcelos Brandão (1); Ricardo Victor Rodrigues Barbosa (2)
(1) Arquiteta, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado, luana.brandao@arapiraca.ufal.br, Universidade Federal de Alagoas
(2) Doutor, Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, rvictor@fau.ufal.br, Universidade Federal de Alagoas

RESUMO
O crescente aumento populacional nos centros urbanos tem impulsionado um gradativo processo de modificação do ambiente natural para o construído. Essas transformações condicionam um clima tipicamente urbano, muitas vezes caracterizado pelo aumento da temperatura do ar, fenômeno denominado ilhas 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 o aumento de densidade populacional. O estudo de cânions urbanos, pode contribuir para a conformação de condições microclimáticas favoráveis ao conforto térmico a nível do pedestre. O objetivo desta investigação foi analisar os efeitos da geometria do cânion urbano, a partir da relação H/W e da orientação das vias no microclima urbano, 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 em análise preditiva a partir de 18 cenários hipotéticos. Os cenários possuem variações quanto à aplicação de recuo mínimo e de recuo progressivo ao número de pavimentos, com incidência da ventilação predominante perpendicular (N=0°) e oblíqua (N=45°) às edificações, para o período quente e seco. O desempenho do cânion foi avaliado por meio da comparação da temperatura radiante média e direção/velocidade dos ventos às 15h, por ser o período mais quente do dia. 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 direção/velocidade dos ventos. Nesse caso, a orientação oblíqua das vias potencializou esse resultado.

Palavras-chave: microclima, cânion urbano, conforto térmico, geometria urbana.

ABSTRACT
The growing population growth in urban centers has driven a gradual process of modification from the natural to the built environment. These transformations condition a typically urban climate, often characterized by increased air temperature, a phenomenon known as urban heat islands (ICU). In the search for sustainable and resilient cities, the literature points to the compact city model, and verticalization emerges as an alternative to enable the increase in population density. The study of urban canyons, can contribute to the creation of microclimatic conditions favorable to thermal comfort for pedestrians. The objective of this investigation was to analyze the effects of the geometry of the urban canyon, based on the H/W ratio and the orientation of roads on the urban microclimate, taking as object of study the city of Arapiraca, Alagoas, with a tropical savannah climate. For that, computer simulation was used in the ENVI-met software in predictive analysis from 18 hypothetical scenarios. The scenarios have variations regarding the application of minimum setback and progressive setback to the number of floors, with the predominant incidence of ventilation perpendicular (N=0°) and oblique (N=45°) to the buildings, for the hot and dry period. The canyon performance was evaluated by comparing mean radiant temperature and wind direction/speed, at 15h, as it is the hottest period of the day. The results revealed that in deep canyons using the initial setback, the extent of the shaded area was greater, which decreased the mean radiant temperature. However, the scenarios using progressive retreat showed better performance in terms of wind direction/speed. In this case, the oblique orientation of the pathways enhanced this result.

Keywords: microclimate, urban canyon, thermal comfort, urban geometry.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional é um dos indutores de todo o 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 da altura das edificações gera sombreamentos, influencia na velocidade e direção dos ventos, na forma de recebimento de radiação por ondas curtas e na liberação de calor por ondas longas (NAKATA-OSAKI et al., 2016; 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 pessoas que usam 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 conhecimento das especificidades climáticas de cada localidade, fundamentados no 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), a relação entre a altura das edificações (H) e o espaçamento entre elas (W), conhecido como relação H/W, pode classificar o cânion urbano como avenida (H/W<0,5), regular (H/W=1) e profundo (H/W>2), e se configura como um dos principais elementos no microclima do cânion. Da mesma forma, o valor da razão L/H, em que (L) é o comprimento do cânion e (H) a sua altura, permite distinguir entre desfiladeiros curtos (L/H<03), médios (L/H=5) e longos (L/H>7). 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 o microclima no cânion urbano, destaca-se sua orientação em relação à radiação solar e à direção predominante dos ventos, pelo potencial de otimizar o sombreamento das superfícies em seu interior e o aproveitamento da ventilação natural com aumento das trocas térmicas convectivas, beneficiando as condições climáticas urbana (TORK et al., 2017). Salienta-se, ainda, a geometria do cânion a partir da relação entre a altura média das edificações, a largura das vias (relação H/W) e o fator de céu visível (SVF) (NAKATA-OSAKI et al., 2016; ACHOUR-YOUNSI; KHARRAT, 2016).

Estudos sobre a relação H/W, em clima tropical, revelaram que a redução dos afastamentos entre as edificações amplia o sombreamento gerado pelas edificações nas superfícies do cânion, o que proporcionou a redução na temperatura radiante média durante o dia, o que favorece conforto térmico no nível do pedestre, principalmente no período de verão (JOHANSSON, 2006; ANDREOU, 2013; MUNIZ-GÄAL et al., 2018). Esse fato indica que o sombreamento das edificações, ocasionado pela altura e 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).

Apesar do conhecimento adquirido de estudos anteriores, a compreensão da influência da relação H/W no microclima de cânions urbanos e no conforto térmico a nível do pedestre em climas tropicais de savana (As) tem sido pouco investigada.

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi analisar a influência parâmetros geométricos de cânions urbanos na conformação de microclimas e no conforto térmico no nível dos pedestres no contexto climático de cidade de média em clima tropical de savana.

3. MÉTODO

Com base no objetivo proposto, foram realizados os seguintes procedimentos metodológicos:

1. Seleção da fração urbana com tendência à verticalização;
2. Composição dos dados de entrada no modelo;
3. Elaboração dos cenários hipotéticos para simulação computacional.

3.1. Estudo de caso

Arapiraca está localizada no interior do estado de Alagoas, na região do semiárido nordestino, a uma altitude de aproximadamente 280 m. Possui população estimada em 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, com intenso crescimento populacional na última década.

A cidade possui clima 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). Esse tipo de tecido pode ser encontrado nos bairros Nova Esperança, Alto do Cruzeiro, Novo Horizonte, em novos loteamentos do bairro Santa Esmeralda e em condomínios fechados como o Ouro Verde, no bairro Arnon de Melo. Recentemente, observou-se que no perímetro que se configura entre o Arapiraca *Garden Shopping* e a Avenida Deputada Ceci Cunha (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 atividade residencial e empresarial, que variam de 3 m (térreas) a 30 m (verticalizadas) de altura, ver Figura 1.

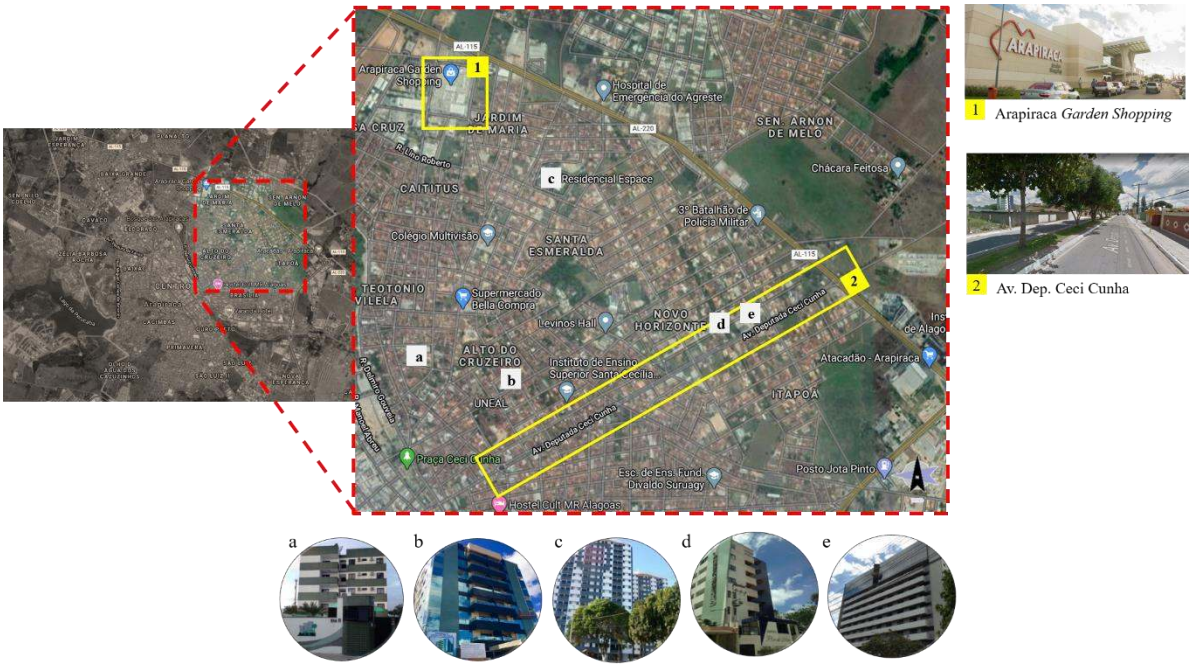


Figura 1 - Perímetro que corresponde ao atual processo de verticalização em Arapiraca/ AL. (GOOGLE MAPS, 2023).

Para elaboração dos cenários hipotéticos, buscou-se compreender o padrão recorrente de ocupação nessa região, com base no desenho das quadras e dos lotes, e na largura das vias e passeios, por meio de mapa cartográfico atualizado, disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Arapiraca/ AL. As superfícies das estradas são de asfalto e cobertura natural, a calçada é composta por concreto e revestimento cerâmico, e as fachadas de cerâmica/ tinta possuem diferentes cores. Os materiais de cobertura são de telhas de barro, de fibrocimento, de lajes de concreto e de outros materiais. Entre as quadras da Avenida Deputada Ceci Cunha existe um corredor de arborização urbana delimitado pela presença de *cul-de sac*, a Área Verde. A área de estudo foi de 129.454,93m², com uma orientação sudoeste/nordeste.

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.

A área de estudo foi digitalizada em uma resolução de grade de 2m x 2m x 3m no *software*, mantendo boa representatividade, totalizando uma área de 239 x 114 x 29 *grids*, equivalente a uma área de 478 m x 228 m. Compreende nove quadras com 24 lotes medindo 12,0 x 30,0 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 foram baseados na fração urbana adotada como referência para o estudo.

A altura total do modelo de calibração foi de 90,98 m, sendo usado o método telescópico para gerar a grade vertical com fator de aumento de 2% a partir da altura de 45 m, haja vista a altura mínima exigida pelo modelo ser duas vezes a altura do edifício mais alto (GUSSON, 2014). Foram inseridas 5 grades de nidificação em torno do modelo para manter a estabilidade (YANG et al., 2013). Foram adotadas duas inclinações para o norte: 0° e 45°, representativas para incidência perpendicular e oblíqua às edificações, respectivamente.

Com o intuito de analisar apenas o efeito da massa construída, não foram inseridas vegetações nos cenários. A área foi digitalizada, conforme mostra a Figura 2.

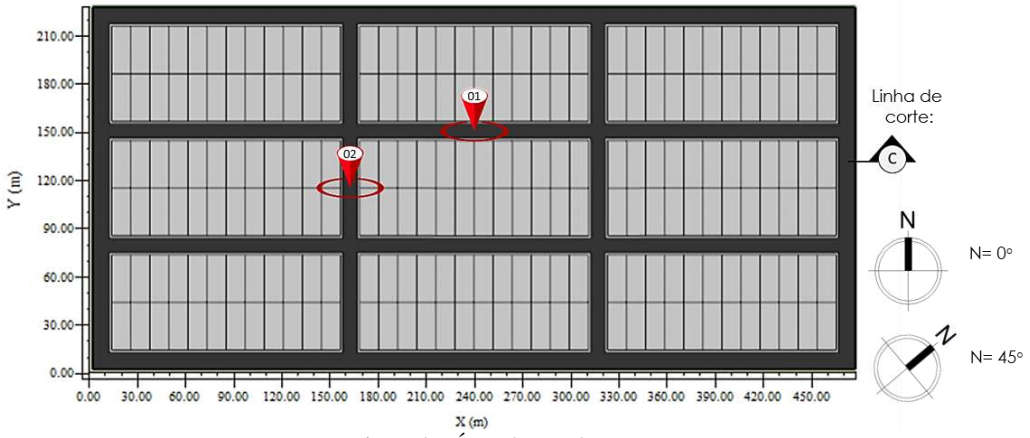


Figura 2 - Área de estudo.

Os materiais utilizados na modelagem da área de estudo e dos cenários foram baseados nos materiais padrão do *software* de visualização ENVI-met 4.0 (Tabela 01).

Tabela 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

A ferramenta de ajuste solar, que permite ajustar a radiação solar de ondas curtas calculada para a situação do estudo, foi usada para ajustar a radiação solar global incidente ao valor registrado na estação meteorológica de referência (INMET – A353, entre a latitude -9,804444, e longitude -36,619167, e altitude 236,84). Em algumas situações, os fluxos de energia solar estimados usando métodos internos do ENVI-met podem ser sistematicamente muito altos ou muito baixos. Assim, um fator de ajuste solar de 0,92 foi utilizado (TORRES, 2017).

Os dados de um dia extremo para o período quente e seco foram utilizados para temperatura do ar e umidade relativa (SILVA, 2019). Todos os parâmetros de entrada estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de dados de entrada

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

*Dados do aeroporto de Natal

Silva, 2019

3.3. Elaboração dos cenários hipotéticos para simulação

Os cenários hipotéticos foram modelados sobre a base digitalizada. As edificações verticalizadas foram modeladas considerando a união de três lotes, haja vista que a adoção de dois lotes resultou em lâminas muito reduzidas para edificações altas 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, os recuos entre os edifícios e a direção de incidência da ventilação.

A altura das edificações considerou cenários com baixa, média e alta verticalização, 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 quantidade de exemplares de cada altura.

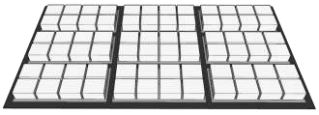
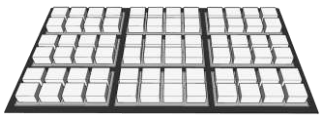
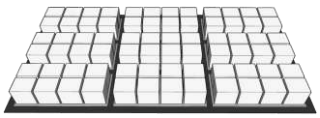
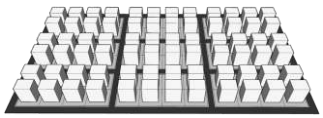
A distância entre as edificações foi quantificada a partir da aplicação de recuos mínimos, atualmente vigentes na legislação urbanística da cidade (ARAPIRACA, 2001), e de recuos progressivos ao número de pavimentos, ver Equação 1. A equação utilizada neste recuo está vigente na legislação urbanística da capital do estado (MACEIÓ, 2007).

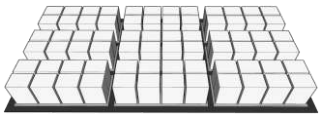
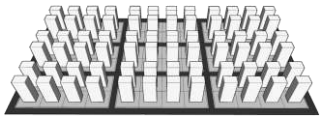
$$RP=(Ri+(n-2))/2 \qquad \text{Equação 1}$$

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 (Tabela 3).

Tabela 3 - Parâmetros dos cenários hipotéticos.

Modelo	Padrão de verticalização	N° 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	5/10/15	RI-Misto	*	*	18	*
			RP-Misto	*	*	*	*

* Valores variáveis dentro do cânion urbano.

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. Nos cenários de estudo, foi selecionado 2 pontos para coleta de dados climáticos para analisar o resultado das simulações. O ponto 01 (120,73) está situado paralelo à barlavento, e o ponto 02 (84,66) situado à sotavento. Para análise comparativa, foi adotado os seguintes horários: às 9h, às 15h e às 21h, conforme horários indicados pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), para o dia 26/11/2015. Todos os perfis foram seccionados no centro da quadra, a 131m do eixo y, e os mapas 2D foram gerados com altura de corte de 1,5m.

4. RESULTADOS

4.1. Temperatura do ar

A respeito do comportamento da temperatura do ar, a Tabela 4 apresenta os dados quantitativos, às 15h. Os valores destacados em vermelho têm como característica serem os mais elevados da variante em análise, enquanto que em destaque verde, os valores mais amenos.

Tabela 4 - Comportamento 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

Para o horário das 15 horas, 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 sotavento (2) há uma diferença de, em média, 0,5°C, devido a orientação da malha urbana, que naquele ponto e 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-Gäal 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, na incidência 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 1,5m 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 5 apresenta os dados quantitativos às 15h. Os valores destacados em vermelho têm como característica serem os mais elevados da variante em análise, enquanto que em destaque verde, os valores mais amenos.

Tabela 5 - 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

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 assombreado, 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 respeito da orientação do traçado viário em relação a direção predominante da ventilação, tratados no presente estudo a partir dos ângulos de 0° e 45°, os resultados tenderam à similaridade, 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 velocidade do vento às 15h, a partir de dados quantitativos. A Tabela 6 demonstra, quantitativamente, o comportamento da velocidade dos ventos no Ponto 01, à barlavento, e no Ponto 02, à sotavento.

Tabela 6 - 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

Na Tabela 5, 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 o Ponto 01 e 02. É importante destacar que, o aumento da densidade de construção geralmente retarda o fluxo de ar próximo à superfície (OKE, 2017; COCEAL; BECHER, 2006), 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 1,8m/s no cenário RI-05. Enquanto nos modelos de incidência da ventilação predominante oblíqua às edificações, essa diferença foi atenuada, com uma diferença de 0,1m/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 dispersão de poluentes atmosféricos e do calor antropogênico (OKE, 2017; XUE et al., 2020). Ainda sobre a questão da orientação do traçado viário, Achour-Younsia e 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 a adoção do recuo inicial e progressivo, observou-se um padrão presente em todos os cenários: apesar das velocidades dos ventos se apresentarem mais alta nos cenários REF e RI-05, decorrente 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 está relacionada diretamente com a capacidade das edificações e 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 a 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. CONCLUSÕES

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°/ N=45°); a partir dos dados climáticos obtidos de temperatura do ar, temperatura radiante e velocidade dos ventos.

Os dados de temperatura do ar entre os cenários urbanos hipotéticos foram semelhantes, visto que a diferença entre eles chegou a 0,3°C. Nesse caso, a compreensão do microclima do cânion com relação a sua geometria se deu com a análise da temperatura radiante e 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 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 a canalização dos ventos, acarretando 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 a 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.

ALCHAPAR, N. L.; PEZZUTO, C. C.; CORREA, E. N. Parámetros urbanos morfomateriales y su correlación con las temperaturas de aire en verano. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 199-213, out./ dez, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000400301

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. (2001). **Lei Municipal nº 2.220**, de 2001. Recuperado de 20 de abril de 2023, de www.arapiraca.al.gov.br

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

COCEAL, O.; BECHER, S. E. A canopy model of mean winds through urban areas. **Q. J. R. Meteor. Soc.**, v. 130, n. 599, 2006. DOI: http://dx.doi.org/10.1256/qj.03.40.

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

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.

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

JOHANSSON, E. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. **Building and Environment**, v. 41, p. 1326–1338, 2006. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.05.022

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: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

NAKATA-OSAKI, C. M.; SOUZA, L. C. L. de; RODRIGUES, D. S. Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 73-87, jul./set, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000300093

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. Canyon Geometry and the Nocturnal Heat Island: comparisons of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v. 1, n. 3, p. 237-254, jul./set., 1981.

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

OLIVEIRA, P. M. P. de. **Cidade Apropriada ao Clima:** a forma urbana como instrumento de controle do Clima Urbano. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília. Brasília, 1988.

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

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.

TONG, S.; WONG, N. H.; TAN, C. L.; JUSUF, S. K.; IGNATIUS, M.; TAN, E. Impact of urban morphology on microclimate and thermal comfort in northern China. **Sol. Energy**, v. 155, p. 212–223, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.06.027.

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.

WAI, K. M.; YUAN, C.; LAI, A.; YU, P. K. N. Relationship between pedestrian-level outdoor thermal comfort and building morphology in a high-density city. **Science of the Total Environment**, v. 708, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134516

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

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