



**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

## **VERTICALIZAÇÃO E AMBIENTE TÉRMICO URBANO: ESTUDO DE PARÂMETROS URBANÍSTICOS EM FRAÇÃO URBANA NA CIDADE DE ARAPIRACA/ AL**

**Luana K. de V. Brandão (1); Ricardo V. R. Barbosa (2); Gianna M. Barbirato (3)**

(1) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado, luana.arquiteta@outlook.com

(2) Mestre e Doutor, Professor adjunto do Curso de Arquitetura e Urbanismo, rvictor@arapiraca.ufal.br

(3) Mestre e Doutora, Professora associada da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, gmb@ctec.ufal.br  
Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Grupo de Estudos da Atmosfera Climática Urbana, Av. Manoel Severino Barbosa, Bom Sucesso, 57309005, Arapiraca/ AL, Tel.: (82) 3214-1309

### **RESUMO**

O processo de desenvolvimento da urbanização nas cidades brasileiras, salvo raras exceções, ocorreu em ritmo acelerado de densificação e sem um prévio planejamento urbano, desta forma há uma crescente perda na qualidade de vida no meio ambiente urbano, seguida de diversos impactos ambientais, como: ilhas de calor, enchentes, efeito *smog*, dentre outros. Nesse contexto, insere-se o papel da Climatologia Urbana, que apresenta no Urbanismo Bioclimático estratégias e diretrizes que, se observadas, podem nortear uma melhor adequação do clima local com a configuração e uso do espaço urbano. Nesse contexto, o presente trabalho toma como objeto de estudo a cidade de Arapiraca/ AL, cujo processo de urbanização se encontra em fase inicial de verticalização, contudo, sua legislação urbanística não apresenta parâmetros urbanísticos equivalentes a esse desenvolvimento urbano. Assim, tem-se como objetivo analisar a influência da verticalização no ambiente térmico urbano a partir da avaliação do desempenho climático de cenários urbanos hipotéticos com base nos parâmetros urbanísticos atualmente em vigor e em parâmetros urbanísticos tradicionais. Isso foi possível por meio de simulações computacionais com o *software* ENVI-met. Os resultados das simulações computacionais evidenciaram a ventilação natural como a principal estratégia bioclimática a ser adotada para favorecimento de boas condições térmicas no ambiente urbano de clima semiárido, comprovaram a necessidade de revisão dos parâmetros urbanísticos presentes nos mecanismos que legislam sobre o uso e ocupação do solo urbano de Arapiraca/ AL, como também, confirma a importância do urbanismo bioclimático como ferramenta para o planejamento urbano.

Palavras-chave: Climatologia Urbana, Planejamento Urbano, Verticalização, ENVI-met.

### **ABSTRACT**

The process of development of urbanization in Brazilian cities, with rare exceptions, occurred at an accelerated rate of densification and without previous urban planning, thus there is a growing loss of quality of life in the urban environment, followed by several environmental impacts, such as: islands of heat, floods, smog effect, among others. In this context, the role of Urban Climatology is inserted, which presents in Bioclimatic Urbanism strategies and guidelines that, if observed, can guide a better adaptation of the local climate with the configuration and use of urban space. In this context, the present study takes as object of study the city of Arapiraca / AL, whose urbanization process is in the initial stage of verticalization, however, its urban legislation does not present urban parameters equivalent to this urban development. The aim of this study is to analyze the influence of verticalization in the urban thermal environment, based on the evaluation of the climatic performance of hypothetical urban scenarios based on the urban parameters currently in force and on traditional urban parameters. This was possible through computational simulations with the ENVI-met software. The results of the computational simulations evidenced the natural ventilation as the main bioclimatic strategy to be adopted to favor good thermal conditions in the urban environment of semi-arid climate, confirmed the need to review the urban parameters present in the mechanisms that

legislate on the use and occupation of the soil Arapiraca / AL, as well as confirms the importance of bioclimatic urbanism as a tool for urban planning.

Keywords: Urban Climatology, Urban Planning, Verticalization, ENVI-met.

## 1. INTRODUÇÃO

O relatório intitulado *Perspectivas da Urbanização Mundial* (ONU, 2014), afirmou que, mais pessoas vivem em áreas urbanas do que em áreas rurais, com 54% da população mundial residindo em áreas urbanas em 2014 (ONU, 2014). O último censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), constatou que a população urbana brasileira corresponde a 84,36% de seu total.

Concomitantemente, “A vivência nas cidades, principalmente nas do cenário brasileiro e dos países periféricos, tem sido caracterizada pela crescente perda da qualidade de vida, acompanhada de impactos ambientais decorrentes dos padrões de produção e consumo.” (BARBIRATO, TORRES, BARBOSA, 2015, p. 50). A ação antrópica no espaço natural gera um clima tipicamente urbano. Diante disso, um dos grandes desafios dos centros urbanos é conciliar crescimento e desenvolvimento urbano e econômico com o equilíbrio entre a geração de riqueza e qualidade de vida e ambiental.

Nesse sentido, segundo Barbirato, Torres, Barbosa (2015), insere-se o papel da bioclimatologia aplicada ao projeto arquitetônico e urbano, fundamentada pelo princípio de adaptação dos elementos construídos ao meio ambiente, a partir de considerações climáticas, a bioclimatologia apresenta significativa contribuição para o alcance da sustentabilidade urbana, baseando-se no aproveitamento dos recursos passivos (naturais) de climatização dos espaços edificados.

O equilíbrio entre *inputs* e *outputs* no sistema urbano é a base conceitual da bioclimatologia arquitetônica e urbana. Higuera (2006) reforçou o papel da bioclimatologia no planejamento do meio urbano, difundindo o conceito de urbanismo bioclimático. A autora ainda indica que para cada lugar deve existir um planejamento específico. Pois, de acordo com Ugeda J. e Amorim (2016), as cidades crescem de forma diversificada, mesmo que, muitos problemas sejam comuns, a variação de intensidade, de frequência de ocorrência, e da população atingida confere, à cada cidade, particularidades e especificidades próprias, com maior ou menor grau de risco e de impactos à qualidade ambiental e a qualidade de vida da população. Logo, cada cidade apresenta particularidades quanto ao seu perfil climático e quanto aos fatores que influenciam este perfil.

Nesse contexto, a literatura aponta o modelo de cidade compacta como ideal para o alcance da sustentabilidade urbana, visto que o modelo de malha urbana dispersa, de acordo com Barbirato, Torres, Barbosa (2015), gera problemas ambientais em face ao espalhamento da estrutura urbana, eliminando coberturas vegetais nativas, aumentando demandas por consumo de energia, exigindo intenso uso de veículos para transporte de mercadorias e pessoas (aumentando a poluição do ar através da emissão de gases provenientes de combustíveis fósseis), afetando, também, a elevação da impermeabilização do solo natural decorrente da pavimentação excessiva (exercendo sérios danos ao ciclo hidrológico, causando enchentes, impactando o clima urbano).

Segundo o modelo de cidade compacta, o adensamento urbano deve ser estimulado, pois áreas adensadas implicam na otimização de infraestrutura urbana, na diversidade de usos e na redução do tempo de deslocamento. Vale ressaltar que, no modelo de cidade compacta é imprescindível o estudo de parâmetros de forma e morfologia urbana para o controle do adensamento urbano por meio da verticalização, visto que “um arranjo de alta densidade sem o planejamento necessário pode criar uma série de problemas, incluindo também aspectos ambientais” (GUSSON, 2014, p.5). E, ao considerar que os processos peculiares à dinâmica da urbanização da maioria das cidades brasileiras são caracterizados pelo “ritmo acelerado de densificação e verticalização” (SCUSSEL, SATTLER, 2010, p.138), torna-se emergencial a adoção dos conceitos do urbanismo bioclimático no processo do planejamento urbano refletido nas diretrizes urbanísticas contidas nos planos, códigos e leis municipais.

Uma importante ferramenta para o estudo da adequação da morfologia urbana ao clima local é o *software* ENVI-met. O ENVI-met corresponde hoje a uma ferramenta computacional fundamentada em um modelo tri-dimensional de clima urbano que simula as relações entre a estrutura urbana e o ambiente, oferecendo várias possibilidades de aplicação e associações, permitindo a simulação do ambiente térmico urbano (BRUSE, 2010). Desta forma, esse foi o programa selecionado para realizar as simulações deste trabalho.

## 2. OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo analisar a influência da verticalização em microclimas urbanos, tomando a cidade de Arapiraca/AL como estudo de caso, com base em parâmetros urbanísticos atualmente em vigor e parâmetros urbanísticos tradicionais.

### 3. MÉTODO

Os procedimentos metodológicos deste trabalho estão dividido em cinco etapas:

1. Diagnóstico do perfil climático de Arapiraca/ AL.
2. Seleção do Tecido Urbano para Análise do Desempenho Climático.
3. Elaboração dos Cenários Hipotéticos para simulação

#### 3.1. Diagnóstico do perfil climático de Arapiraca/ AL

Segundo Santos (2011), o município de Arapiraca está inserido na mesorregião do agreste alagoano (área de transição entre a zona da mata e a zona das caatingas interioranas), o qual possui clima do tipo Tropical Chuvoso com verão seco.

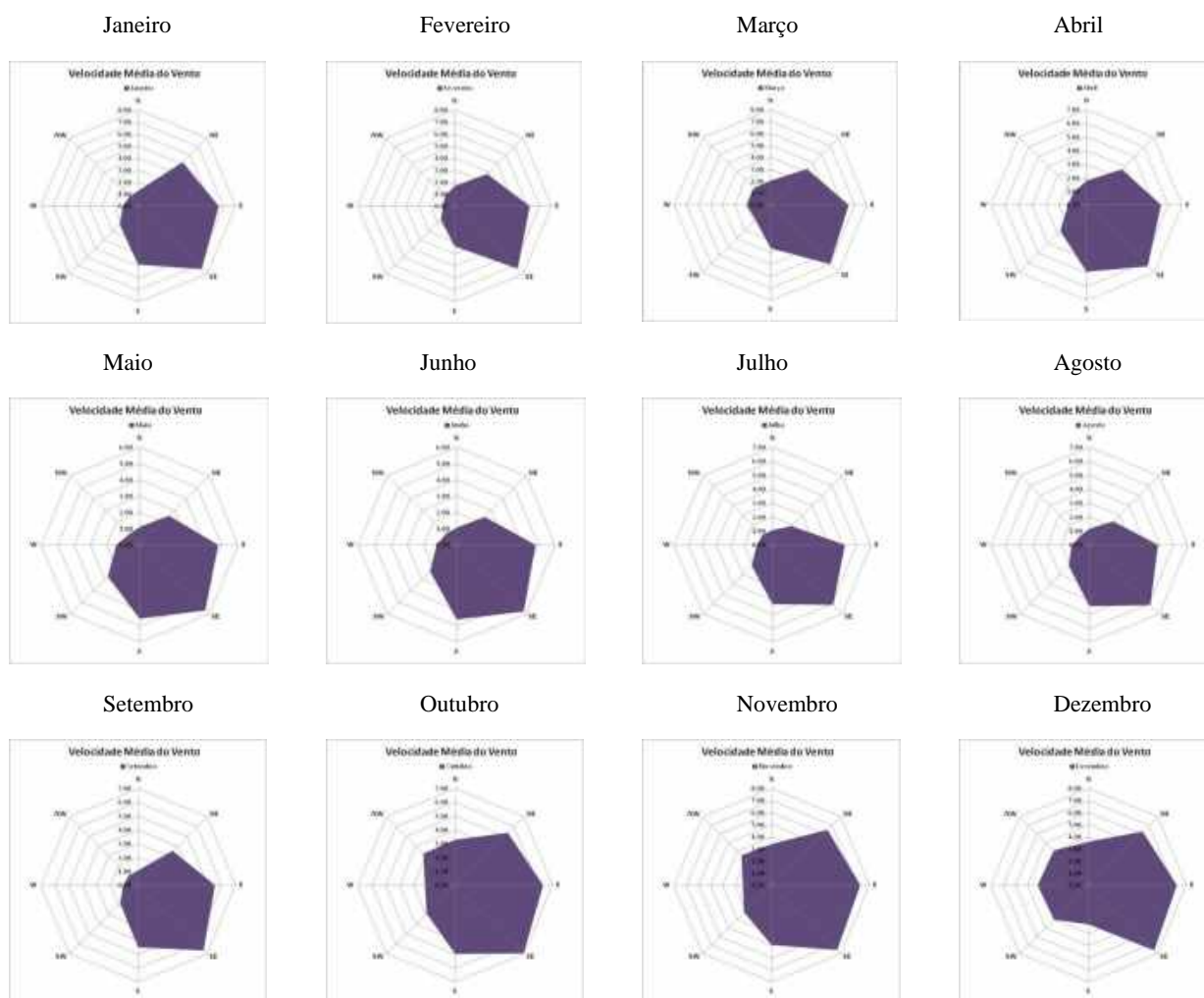


Figura 1 – Frequência média mensal da velocidade do vento a 3 m do solo no município de Arapiraca-AL no período de maio de 2008 a abril de 2015.

Na Figura 1, é possível observar a frequência média mensal das direções predominantes e os dados de velocidade média mensal do vento, em m/s, tomados a 3 m do solo, no município de Arapiraca-AL, no período de maio de 2008 a abril de 2015. A partir dos dados observa-se que os ventos em Arapiraca possuem a predominância dos ventos provenientes da direção Leste (E), no período de outubro a abril, e da direção Sudeste (SE), no período de maio a setembro. Já a velocidade média anual é de 2,62 m/s. As maiores velocidades médias foram observadas no período de verão (novembro a janeiro) e as menores médias no período de inverno (maio a julho).

Sobre a temperatura do ar, Silva *et al.* (2017) realizou um estudo que, a partir de dados mensais obtidos por meio de uma estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no município, foram geradas as médias de cada variável para cada mês do ano durante o período de maio de 2008 (ano em que a estação foi instalada) a abril de 2016.

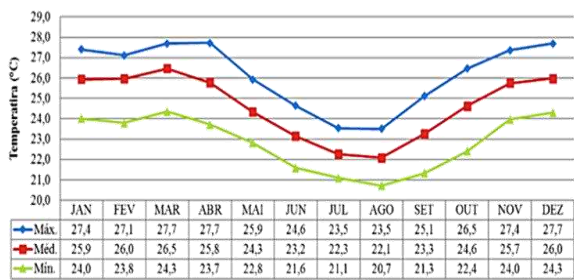


Figura 2 – Temperatura média do ar (°C).

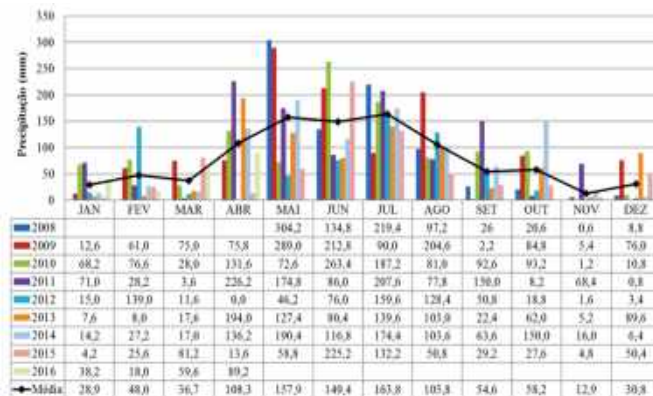


Figura 3 – Comportamento pluviométrico (mm).

De acordo com Silva *et al.* (2017), a análise dos dados mostrou que o período que vai de meados de setembro até o mês de abril e início de maio tem uma curva ascendente nos níveis de temperatura do ar, exibindo características notáveis de uma estação tipicamente quente, como visto na Figura 2.

Arapiraca apresenta uma pluviosidade extremamente irregular, como mostra a figura 3, com maior incidência de chuvas nos meses de maio, junho e julho. No geral, os totais pluviométricos anuais variaram muito ao longo do período analisado.

### 3.2. Seleção do Tecido Urbano para Análise do Desempenho Climático

Para seleção do tecido urbano de Arapiraca/ AL com tendência à verticalização foi preciso, primeiramente, fazer um recorte temporal para avaliar a fração urbana com maior concentração de edificações com mais de quatro pavimentos.

Assim, utilizou-se o período temporal de 2006 a 2019, pois foi o ano de inauguração do *Campus* da Universidade Federal de Alagoas no município, um marco para o desenvolvimento urbano de Arapiraca/ AL. Um outro dado relevante foi o lançamento do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), em 2007, pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), pois gerou significativo crescimento urbano na malha urbana da cidade.

De acordo com o recorte temporal selecionado, tem-se os seguintes dados:



Figura 4 – Recorte temporal com as edificações verticalizadas construídas em Arapiraca/ AL.

A partir do recorte temporal ilustrado acima, é possível perceber que as edificações verticalizadas variam entre os usos de residencial e empresarial e que se concentram nos seguintes bairros: Alto do Cruzeiro, Itapuã, Novo Horizonte e Senador Arnon de Melo. Todos têm como ponto de congruência a Av. Dep. Ceci Cunha, parte valorizada da cidade que apresenta características particulares, como: lotes com áreas de 12m x 25m e presença de áreas verdes arborizadas. O comprimento das ruas é de 8m e das calçadas, de

1,5m. Para simulação foi selecionado uma fração urbana com a área de 340m x 300m (x e y), que corresponde a 102.000m<sup>2</sup>:



Figura 5 – Tipologia espacial selecionada na Avenida Deputada Ceci Cunha, Arapiraca/ AL.

### 3.3. Elaboração dos Cenários Hipotéticos para Simulação

Para que as simulações computacionais tivessem um resultado bem sucedido, foi preciso configurar os dados de entrada cuidadosamente. Para a realização das simulações 02 (dois) arquivos foram gerados: um arquivo que consta o desenho da área (arquivo de extensão .IN), e outro arquivo com a configuração dos dados climáticos (arquivo de extensão .CF), com a determinação dos parâmetros a serem simulados.

Neste primeiro arquivo que trata da configuração da área foram editados os elementos básicos, como: o tipo de vegetação existente, o tipo de revestimento do solo e o gabarito das edificações, especificando também suas diferentes alturas. Nesta etapa é possível importar uma imagem, em arquivo de extensão .BMP, que servirá de base para editar todas essas configurações. A imagem da base cartográfica digital (planta-baixa) contendo o traçado urbanístico das áreas de estudo foram adquiridas por meio da Prefeitura de Arapiraca, mas por ser um documento de 2013, foi necessário realizar alguns levantamentos *in loco* para demarcar algumas novas áreas construídas e em construção, a vegetação existente e o tipo de cobertura dos solos, que são dados essenciais para modelação no programa ENVI-met.

No que tange a preparação para as simulações computacionais das variáveis climáticas, no desenvolvimento das modelagens a serem simuladas foi levado em consideração o Coeficiente de Aproveitamento (CA) e os Recuos. Esses parâmetros urbanísticos tidos como tradicionais por Brandão (2009), tem relação direta com a verticalização, e aqui serão analisadas a relação destes com a ventilação natural e a temperatura do ar.

Assim, os parâmetros urbanísticos tradicionais, presentes na simulação, tiveram como base os dados encontrados no Código de Edificações de Arapiraca/ AL, que apresenta os seguintes parâmetros construtivos: recuo frontal de 3m e recuo lateral e posterior de 1,5m. O presente trabalho também utilizou parâmetros construtivos presentes no Código de Edificações de Maceió/AL de zona equivalentes a fração urbana selecionada para estudo. Desta forma, usou-se na Tipologia Espacial selecionada: o cenário atual de ocupação; e outros três cenários hipotéticos, considerando uma ocupação urbana com CA= 2 e recuo mínimo de 1,5m; outro com CA= 4 e recuo mínimo de 1,5m; e por fim, um último com CA= 4 e recuo progressivo, conforme tabela 2.

Tabela 1 - Padrões Urbanísticos adotados na pesquisa

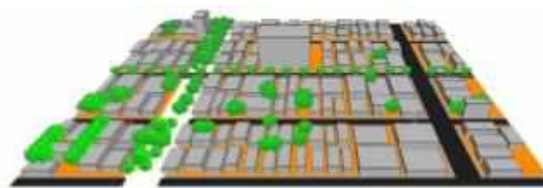
Recuo Progressivo Usado na Pesquisa*		
Número de Pavimentos	Frontal (m)	Laterais e de Fundo (m)
1 ou 2	3	1,5
3 ou mais	$R= 3+(n-2) /2$	$R=1,0+(n-2) /2$
R: recuo n: número de pavimentos *Dados obtidos do Código de Edificações de Maceió/AL.		

A figura 6 apresenta a modelagem dos dados de entrada no programa ENVI-met, que configuram os futuros cenários hipotéticos.

a) Cenário Atual



b) Ocupação de CA=2 e recuo=1,5m



c) Ocupação de CA=4 e recuo=1,5m



d) Ocupação de CA=4 e Recuo Progressivo

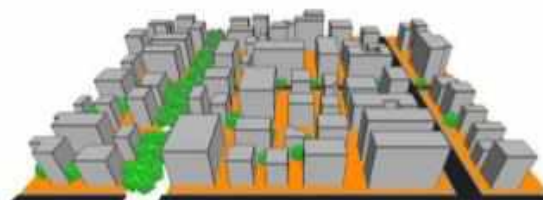


Figura 6 – Modelagens da tipologia espacial selecionada.

Partindo para a calibração do arquivo de configuração dos dados climáticos, a tabela 2 sintetiza os dados configurados no arquivo de extensão .CF do programa ENVI-met.

Tabela 2 - Dados para Configuração Básica do Programa ENVI-met

DATA DO INÍCIO DA SIMULAÇÃO		01.01.2017	
Hora do Início da Simulação	21:00	Umidade Específica do Ar a 2500m (g/kg) <sup>2</sup>	8.53
Total de Horas Simuladas	48	Umidade Relativa Média a 2m (%)	72,4
Velocidade do Vento a 10m (m/s)	3	Umidade Mínima (às 15hr) / Máxima (às 6hr)	41,4/94,6
Direção do Vento (0:N; 90:E; 180:S; 270:W)	Leste 90*	Temperatura Mínima (às 6hr) / Máxima (às 15hr)	294.6/305.6
Rugosidade	0,1	Temperatura Atmosférica (K)	299

\* Direção do vento adotada como Leste, de acordo com informações presentes na Figura 1.

A hora da inicialização do modelo pressupõe condições de atmosfera neutra (do ponto de vista da estabilidade estática), onde a temperatura potencial pode ser considerada constante ao longo da altura da camada de mistura atmosférica. Por isso, foi adotado o horário de 21:00h para simulação. O dia selecionado para realizar a simulação foi 01/01/2017, pois corresponde ao período de verão. E sobre a Umidade Específica do Ar a 2500m (g/kg)<sup>2</sup>, ela foi obtida a partir do site do dep. Ciências Atmosféricas da Universidade de Wyoming. Corresponde aos dados coletados em região mais próxima de Arapiraca/AL, obtidos em Recife-PE (82900). <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.

Há outros dados a serem configurados, como mostra a tabela 4.

Tabela 3 - Dados para Configuração Básica do Programa ENVI-met

Main model área	x-Grids: 170	y-Grids: 150	z-Grids: 20
Nesting grids around main área	5 Nr of nesting grids		
Set soil profiles nesting grids	Soil A: [00]	Soil B: [00]	
Grid size and structure in main area	Dx= 2.00	Dy= 2.00	Dz= 2.00
Method of vertical grid generation	Equidistant		
Default wall/ roof properties	Wall material: [C2]	Roof material: [R1]	
Model rotation out of grid north	320.00		
Position on earth	- 9.75 Latitude	- 35.60	
Reference time zone	CET/ UTC-3 Name	45.00 Reference longitude	
Reference level above sea level for DEM-0	264		

## 4. RESULTADOS

A análise dos resultados está baseada na avaliação do desempenho climático de uma fração urbana com diferentes densidades construtivas e padrões morfológicos, no universo empírico, como também, a partir do estudo de cenários hipotéticos. Isso foi possível graças a adoção de um modelo teórico para a análise referente ao desempenho dos cenários hipotéticos, o *software* ENVI-met, por ser bastante promissor para simulações a escala do microclima urbano.

Os parâmetros da configuração urbana atual foram mantidos na Tipologia 1, no entanto, o restante das tipologias seguiram outros padrões, como: na Tipologia 2 a modelagem apresenta ocupação de CA=2 e recuo= 1,5m; a Tipologia 3 apresenta uma modelagem com ocupação de CA=4 e recuo= 1,5m, o padrão de recuo ; e por fim, a Tipologia 4, que contou com alguns parâmetros construtivos que se adequam ao desenvolvimento urbano e econômico em que a cidade de Arapiraca-AL se encontra, tendo em vista um Urbanismo Sustentável, sua modelagem apresenta ocupação de CA=4 e recuo progressivo.

### 4.1. Análise da Correlação entre os Parâmetros Urbanísticos Quantificados para os Cenários Hipotéticos e as Variáveis Climáticas

A partir dos mapas gerados pelo programa Leonardo 2014, vinculado ao ENVI-met 4.0, é possível analisar nas simulações em corte a 1,4m do solo, às 15h (figura 7, 8, 9 e 10), que os maiores valores de temperatura se concentram nos pontos caracterizados pelo revestimento do solo com presença de asfalto e concreto, e na proximidade de edificações a sotavento, influenciadas pelas barreiras construtivas em relação ao fluxo de ar predominante da direção leste.

No caso da Tipologia Espacial 1, o cenário atual, a variação de temperatura, às 15h, foi de 29,96°C a 32,73°C, correspondendo a 2,77°C (figura 7a). Nota-se que os valores máximos de temperatura distribuem-se nas vias de direção noroeste-sudeste e nordeste-sudoeste, com presença de asfalto. A orientação da via, influencia conseqüentemente na parcela de radiação solar que penetra no espaço externo, provocando o acúmulo de calor. Partindo para as condições de distribuição dos fluxos de ar no mesmo horário (figura 8b), percebe-se que na mesma via são registrados os maiores valores de velocidade do fluxo de ar, não influenciando diretamente na redução da temperatura do ar. (figura 7a).

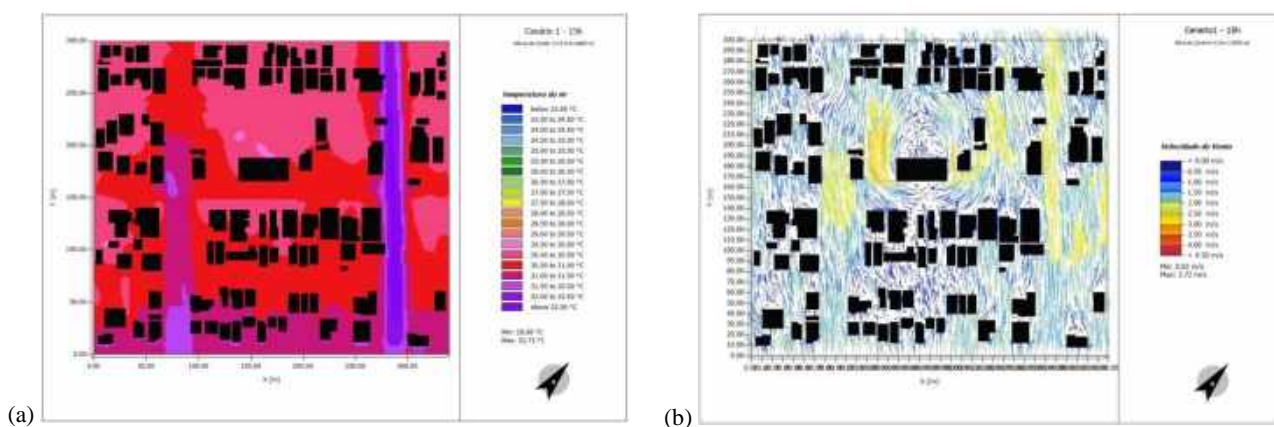


Figura 7 – Resultado da simulação da temperatura potencial máxima (a) e velocidade e direção dos ventos (b), da Tipologia Espacial 1 (Cenário atual em Arapiraca/AL), para uma condição de verão, às 15h

Com relação aos fluxos de ar, observa-se uma significativa perda de velocidade nas áreas a sotavento, e a formação de áreas de estagnação de ar, estando este fato mais nítido na fachada posterior da edificação verticalizada que se encontra ao centro da área simulada.

Na Tipologia Espacial 2, com ocupação de CA=2 e recuo= 1,5m, a variação de temperatura, às 15h, foi de 29,94 °C a 32,84°C, correspondendo a 2,9°C (figura 8c). Os valores máximos de temperatura continuam distribuídos nas vias de direção noroeste-sudeste e nordeste-sudoeste, por conta da presença de asfalto. Todavia, é possível observar que houve um aumento na temperatura do ar em diversos pontos da fração urbana selecionada, demonstrado pela expansão da cor vermelha, que indica de 30,5°C a 31°C, o que configura desconforto térmico.

Na figura 8, nota-se duas vias de sentido sudeste-noroeste, a que se encontra à direita apresenta altas temperaturas do ar, chegando aos 32,5°C, enquanto que a outra, à esquerda, apresenta temperaturas do ar bem mais amenas. Isso porque na primeira há somente a presença do asfalto, enquanto na segunda via a cobertura ainda é natural – e ainda há espaços com arborização no local (a área verde). Sendo assim, torna-se

importante optar por revestimentos com melhor taxa de albedo e preservar os espaços com vegetação, de forma a proporcionar conforto térmico na malha urbana.

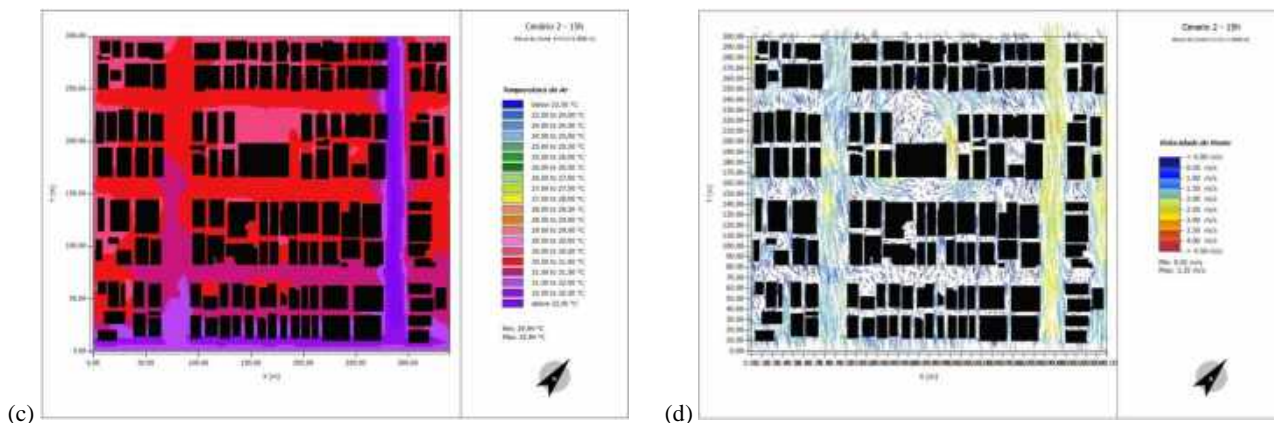


Figura 8 – Resultado da simulação da temperatura potencial máxima (c) e velocidade e direção dos ventos (d), da Tipologia Espacial 2 (Ocupação de CA=2 e Recuo= 1,5m), para uma condição de verão, às 15h

Outro ponto importante sobre a morfologia urbana na Tipologia 2, foi o recuo= 1,5m e como o mesmo afetou, de maneira negativa, na ventilação natural, pois os corredores de velocidade dos ventos demonstram a canalização das vias com orientação noroeste-sudeste, ocasionando uma maior estagnação do ar no interior das quadras e nas vias orientadas para o eixo nordeste-sudeste (figura 9d).

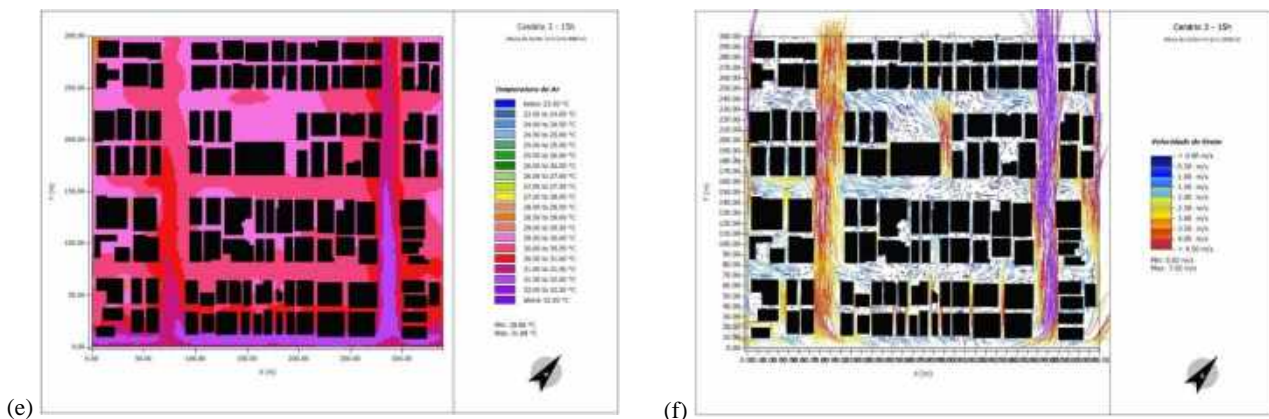


Figura 9 – Resultado da simulação da temperatura potencial máxima (e) e velocidade e direção dos ventos (f), da Tipologia Espacial 3 (Ocupação de CA=4 e Recuo= 1,5m), para uma condição de verão, às 15h

A Tipologia Espacial 3, com ocupação de CA=4 e recuo= 1,5m, mostra variação de temperatura, às 15h, de 28,86 °C a 31,88°C, correspondendo a 3,02°C (figura 9e). As vias com revestimento asfáltico permanecem como pontos onde as temperaturas estão mais elevadas, principalmente na via sentido noroeste-sudeste. E todos os lotes situados às margens desta via sofrem o dano direto das altas temperaturas. Também é possível observar que no interior das quadras, as temperaturas chegam a atingir 31,5°C, todavia as quadras mais próximas a área verde apresentam temperaturas mais amenas, como de 29°C, evidenciando a importância da adoção de espaços verdes e de recuos progressivos.

Ainda sobre a análise da temperatura do ar na Tipologia Espacial 3, vale ressaltar que, apesar das edificações apresentarem CA=4 e recuo= 1,5m, as temperaturas máxima e mínima demonstraram valores melhores que nas Tipologias anteriores. Isso se deve ao sombreamento causado pelas edificações verticalizadas, que ameniza o ganho de calor. Em contrapartida a este dado, o sombreamento gera a necessidade de iluminação artificial, aumentando o consumo de energia elétrica – ponto negativo à sustentabilidade urbana.

Aliada à análise da temperatura do ar, tem-se a da velocidade do vento, levando em consideração também sua direção. Na Tipologia Espacial 3 este dado apresentou os piores valores, como é possível observar na figura 9f, chegando a velocidade de 7,02 m/s em diversos pontos da fração urbana em questão. É possível perceber que esses pontos estão configurados nas duas vias de sentido noroeste-sudeste, formando verdadeiros canais de ventilação urbana, provocando estagnação do ar no interior das quadras e nas vias com orientação nordeste-sudoeste.

Vale destacar que, a orientação das vias é um fator muito importante, de maneira que, quando segue a direção dos ventos predominantes (tendo também a rugosidade a seu favor), pode oferecer um bom



desempenho térmico ao microclima local. Como também a largura das vias, que auxiliam a ventilação, pois diminuem a resistência encontrada pelas correntes de ar, como fica evidente na figura 9f, onde, se compararmos as duas vias de sentido noroeste-sudeste, a via à esquerda apresenta os melhores valores, por ter uma dimensão maior.

Contudo, apesar dos índices de temperaturas de ar serem mais favoráveis, a ventilação está dramaticamente prejudicada pelo uso e ocupação do solo com CA=4 e recuo= 1,5m, provocando um ambiente desconfortável, climaticamente. Agora, partiremos para a análise da última tipologia espacial.

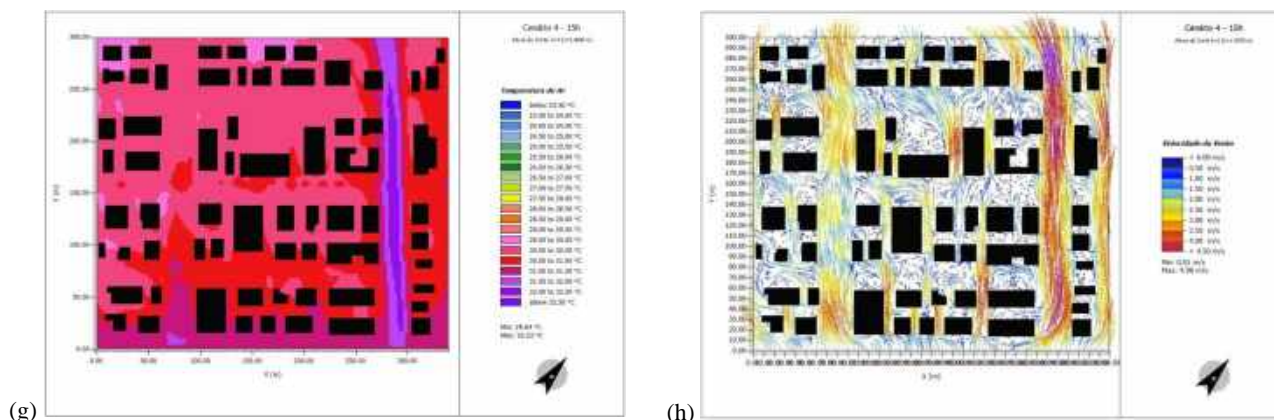


Figura 10 – Resultado da simulação da temperatura potencial máxima (g) e velocidade e direção dos ventos (h), da Tipologia Espacial 4 (Ocupação de CA=4 e Recuo Progressivo), para uma condição de verão, às 15h

A Tipologia Espacial 4, com ocupação de CA=4 e recuo progressivo, mostra variação de temperatura, às 15h, de 29,64 °C a 32,23°C, correspondendo a 3,59°C (figura 10g). Um ponto a ser ressaltado é que, apesar da Tipologia 4 apresentar temperaturas mais elevadas que a anterior, ao longo da fração urbana, a temperatura do ar se manteve com padrões estáveis, tendo seus níveis mais elevados apenas nas vias com revestimento asfáltico, e em seu entorno, evidenciando o efeito positivo do recuo progressivo. Também é nítido como a temperatura do ar é mais amena nas proximidades da Área Verde, e onde o revestimento do solo ainda é natural, chegando aos 30,5°C (como mostra na figura 10g).

Do mesmo modo que na Tipologia Espacial 3, as edificações verticalizadas favoreceram ao sombreamento (ponto positivo para obter temperaturas do ar mais amenas), o mesmo aconteceu na Tipologia Espacial 4. Logo, o sombreamento dos edifícios associado à melhora da circulação dos fluxos de ar com maior velocidade (por conta do recuo progressivo), e a presença de arborização, contribuem para o favorecimento do desempenho térmico.

Ademais, há a análise da velocidade do vento e sua direção, e o resultado foi bastante satisfatório, em relação aos padrões urbanísticos usados. Essa afirmação se torna evidente ao analisarmos a velocidade máxima do vento, que foi de 4,98m/s (ver figura 10h). E esta velocidade foi alcançada apenas em alguns pontos na via sentido noroeste-sudeste, a que fica à direita. É interessante observar também como a ventilação se comportou positivamente na via à esquerda, do mesmo sentido; pois, como mencionado anteriormente, a largura da rua influencia de maneira direta na ventilação.

O recuo progressivo foi um fator chave para a potencialização da ventilação natural, nota-se a formação de inúmeros canais de ventilação urbana que diminuiriam drasticamente os pontos com estagnação do ar no interior das quadras. Além disso, é possível observar na figura 10h, diversos pontos de turbulência de vento, isso em cidades de clima quente – como é o caso de Arapiraca/AL – proporciona conforto térmico ao pedestre, como também dispersas os poluentes presentes no ambiente citadino.

Portanto, o presente trabalho comprova a importância da análise do adensamento construtivo por meio da verticalização com o fim de proporcionar um clima urbano com bons índices de conforto térmico a nível do pedestre. E, assim, gerar qualidade de vida aos habitantes do município de Arapiraca/AL.

## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho analisou a influência de parâmetros urbanísticos, por meio de simulações computacionais, realizadas com o programa ENVI-met, de cenários futuros hipotéticos, de forma a investigar a influência da verticalização no desempenho climático dos espaços urbanos.

No caso da cidade de Arapiraca/ AL, por estar inserida numa região de clima semiárido, os parâmetros urbanísticos a serem incorporados na legislação local devem auxiliar no melhor aproveitamento da ventilação natural, como é o caso do CA e do recuo progressivo. Isso porque o processo de adensamento urbano por meio da verticalização traz como ponto positivo a sombra, no caso de cidades de clima quente.

Todavia, quando há pouco recuo entre as edificações, a ventilação natural é prejudicada, gerando sensação de desconforto térmico a nível do pedestre, como fica exposto na tipologia 3 simulada.

Portanto, torna-se evidente a importância da Climatologia Urbana como instrumento para o Planejamento Urbano que vise proporcionar qualidade de vida no meio urbano, assim como mitigar os danos ambientais já presentes nas cidades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAPIRACA, Lei n. 2.220, de 2001. **Institui Código de Obras e Edificações no Município de Arapiraca e dá outras Providências**. Disponível em: < <http://web.arapiraca.al.gov.br/leis/codigo-de-obras-e-edificacoes-e-alteracoes/> >. Acessado em: 21/03/2019.
- BARBIRATO, G. M., TORRES, S. C., BARBOSA, R. V. R. Espaços Livres e Morfologia Urbana: Discussões sobre influências na qualidade climática e sustentabilidade urbana a partir de estudos em cidades no estado de Alagoas – Brasil. In: **Paisagem e Ambiente**, nº 36, pp. 49-68. São Paulo: Fau/Usp, 2015.
- BRANDÃO, R. S. **As interações espaciais urbanas e o clima**: Incorporação de análises térmicas e energéticas no Planejamento Urbano. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.
- BRUSE, M. **Updated Overview Over ENVI-met 4.0 BASIC**. Disponível em: [www.envi-met.com](http://www.envi-met.com). Acessado em 21/06/2016.
- GUSSON, C. 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/ SP. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- HIGUERAS, E. **Urbanismo bioclimático**. Barcelona: Gustavo Gili, 2006. 241p.
- IBGE. **Censo 2010**. Disponível em: < [Http://www.censo2006.ibge.gov.br/](http://www.censo2006.ibge.gov.br/) > Acessado em: 21/03/2019.
- NUNES, Ana Maria L. A. Análise do padrão de ventilação natural na cidade de Arapiraca-AL. **Relatório Técnico Pibic**, 2015.
- UGEDA J., J. C. U.; AMORIM, M. C. C. T. Reflexões acerca do Sistema Clima Urbano e sua Aplicabilidade: pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas. **Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo**, volume especial (2016), p.160-173, 2016.
- SANTOS, J. B. dos; TOLEDO FILHO, M. da R.; LYRA, R. F. da F.; SANTOS, R. A. G. dos; CORDEIRO, M. C.; AZEVEDO, C. da S. **Avaliação Quantitativa do Conforto Térmico de uma Cidade em Área de Transição Climática**: Arapiraca, Alagoas, Brasil. IV Simpósio Internacional de Climatologia, 2011.
- SCUSSEL, M. C. B.; SATTLER, M. A. Cidades em (trans)formação: impacto da verticalização e densificação na qualidade do espaço residencial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 137-150, jul./set. 2010.
- SILVA, Mônica F.; NUNES, Ana M. L. A.; VASCONSELOS, Dayany B.; BARBOSA, Ricardo V. R. **Estratégias bioclimáticas a partir do Método de Mahoney Nebuloso**: estudo de caso em Arapiraca-AL. In: XIV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e X Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Balneário Camboriú, 2017. Anais... Balneário Camboriú, 2017.
- UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division (2014). **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA /SER.A /352)**.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao financiamento concedido por parte dos recursos despendidos pelo governo brasileiro, por intermédio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por concessão da bolsa de estudos do curso de Mestrado.