

## ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CÂNIONS URBANOS FORMADOS EM RUAS COM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES: INFLUÊNCIA DA VERTICALIZAÇÃO PARA O CLIMA URBANO

**Thássia C.C. Nascimento(1); José de Souza G. Júnior(2); Ricardo V.R. Barbosa(3)**

(1) Arquiteta e Urbanista, mestranda do Programa de Pós-Graduação Dinâmicas do Espaço Habitado.  
thassia.cnascimento@gmail.com;

(2) Arquiteto e Urbanista, mestrando do Programa de Pós-Graduação Dinâmicas do Espaço Habitado.  
jr.desenho@hotmail.com;

(3) Doutor, Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. rvictor@arapiraca.ufal.br  
Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Maceió – AL.

### RESUMO

Os cânions urbanos são configurações espaciais que constituem a menor unidade de análise dos microclimas urbanos. O material que constitui as ruas e as edificações nas cidades, juntamente com a proximidade das edificações devido ao reduzido afastamento entre elas e o baixo fator de visão do céu, constituem as características comuns dos cânions urbanos e dificultam a perda de calor das superfícies aumentando a temperatura próxima ao solo, causando a alteração no microclima. Assim, este artigo buscou analisar diferentes configurações de cânions urbanos a partir de variações nos parâmetros de altura das edificações e recuos, com vista a analisar a influência da rugosidade e da porosidade, respectivamente. Para a análise, foram simulados quatro configurações de cânions no programa Envi-Met: (1) baixa rugosidade e maior porosidade; (2) baixa rugosidade e menor porosidade; (3) alta rugosidade e maior porosidade; e (4) alta rugosidade e menor porosidade. Também foram realizadas medições *in loco* para servirem de parâmetro entre as simulações. Os resultados apontaram que a variação na rugosidade apresentou maior influência na diferença do comportamento térmico do cânion urbano do que a variação da porosidade.

Palavras-chave: Cânions urbanos; Ilhas de calor; Envi-Met.

### ABSTRACT

The urban canyons are spatial configurations which constitute the smallest unit of analysis of urban microclimates. The material that makes up the streets and the buildings in the cities, along with the close proximity of the buildings due to the reduced clearance between them and the low sky view factor, are the common characteristics of the urban canyons and they hamper the surface heat loss by increasing the temperature near the ground, causing changes in the microclimate. Thus, this article seeks to analyze different configurations of urban canyons from variations in the parameters of building heights and setbacks, in order to analyze the influence of roughness and porosity, respectively. For the analysis, were simulated four canyons in the Envi-Met program: (1) low roughness and greater porosity; (2) low roughness and lower porosity; (3) high roughness and greater porosity; and (4) high roughness and lower porosity. Also on-site measurements were carried out to serve as simulations parameters. The results showed that the variation in roughness presented higher influence on the difference of the thermal behavior of urban Canyon than the variation of porosity.

Keywords: Urban canyons; Heat islands; Envi-Met.

## 1. INTRODUÇÃO

A “ilha de calor urbana” é o exemplo mais evidente da modificação climática provocada pelo homem na cidade e se caracteriza pelo excesso de aquecimento da atmosfera urbana em relação ao seu redor não-urbanizado (OKE, 1987, VOOGT & OKE, 2003). Esse fenômeno tem sido largamente estudado no campo da Climatologia Urbana e, de acordo com Souza (1996), a geometria urbana pode interferir, em nível local, no processo de formação dessas ilhas térmicas, uma vez que as formas urbanas influem nas trocas de calor ocorridas entre as superfícies e a atmosfera adjacente.

Os cânions urbanos são um tipo de configuração urbana formada por dois “paredões” de edificações paralelas, que acarretam a diminuição da visão do céu, devido a obstrução de parte da abóbada celeste pelas edificações e contribuem para a formação de ilhas de calor. Dessa forma, a importância da avaliação dessas formações urbanas torna-se essencial para a melhoria do conforto ambiental nas cidades.

Oke (1982) destacou que a geometria urbana influencia as condições térmicas de cânions urbanos à medida que favorece o aumento da absorção de ondas longas devido à retenção entre edificações, a diminuição da perda de calor por turbulência, causada pela estagnação entre as edificações, e a diminuição da perda da radiação por ondas longas no espaço entre edificações, pela redução da área de céu visível. Essas características tornam-se mais evidentes em áreas com maior adensamento, sobretudo caracterizado pela verticalização das edificações.

Com este tipo de configuração sendo cada vez mais encontrada nas cidades, fica clara a necessidade de planejamento urbano para a melhoria da qualidade e do conforto dos espaços públicos. O adensamento e a expansão horizontal das cidades, quando planejadas indevidamente, podem trazer consequências ambientais significativas, considerando que parte das alterações encontradas se deve ao aumento da radiação solar recebida e refletida internamente nos cânions urbanos (MINELLA; KRÜGER, 2007).

Em Maceió, a crescente urbanização sem o devido planejamento vem favorecendo o surgimento de microclimas indesejáveis, o que possibilita destacar a importância de pensar o planejamento urbano aliado às questões de conforto ambiental em ambientes externos a partir da configuração dos cânions urbanos.

Dessa forma, o presente trabalho propôs uma investigação dos impactos causados por diferentes configurações de cânions urbanos na cidade de Maceió, com vista a discutir soluções que amenizem os impactos negativos da verticalização na conformação de microclimas a partir do estudo da porosidade e da rugosidade nas áreas urbanas.

De acordo com Oliveira (1988), a rugosidade é a característica urbana que expressa a fricção entre o movimento das massas de ar sobre as diferentes alturas das edificações. A volumetria da malha urbana, composta por suas diferentes alturas determinam a rugosidade do local que influenciam no comportamento dos ventos e das massas de ar. Dessa forma, quanto mais rugosa for a superfície, maior será a distância (da altura) em que sua influência sobre o vento será percebida, aumentando assim a camada limite (NOGUEIRA, 2011). Por outro lado, enquanto a rugosidade se caracteriza pela volumetria urbana, a porosidade diz respeito aos espaços vazios, relacionada aos recuos entre prédios, vazios urbanos, pilotis livres, largura das vias e espaços dentro da cidade que permitam a passagem do vento.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento térmico microclimático em diferentes configurações de cânions urbanos, com abordagem na diferença de altura das edificações e recuos entre prédios, observando a rugosidade e a porosidade, respectivamente, da região estudada.

## 3. MÉTODO

Para a avaliação dos diferentes cânions urbanos, foram realizadas duas etapas. Primeiro, foram escolhidas duas ruas com diferentes tipologias para medição *in loco* e averiguação das condições necessárias para o estudo das simulações. Em seguida, foram feitas simulações com o programa Envi-Met para avaliar quatro tipologias de cânion, variando os níveis de porosidade e rugosidade: (1) baixa rugosidade e maior porosidade; (2) baixa rugosidade e menor porosidade; (3) alta rugosidade e maior porosidade; e (4) alta rugosidade e menor porosidade. Estas etapas foram subdivididas em partes que serão detalhadas a seguir.

### 3.1. Caracterização do objeto de estudo

A cidade de Maceió localiza-se em região de clima quente e úmido, com nebulosidade média anual de 0.6 décimos e precipitação anual de 2070.5 mm, enquanto a temperatura média anual varia de 21.6°C a 28.9°C.

Há predominância dos ventos Leste e Sudeste durante todo o ano e a umidade relativa é de 78.5% (INMET, 2015).

O estudo foi realizado em dois bairros vizinhos, Ponta Verde e Jatiúca, localizados na planície litorânea (Figura 2). Para a escolha dos locais de avaliação do microclima, foram utilizados alguns critérios. As ruas deveriam ter a mesma orientação, materiais semelhantes em sua composição, bem como larguras similares das vias contrapondo com a ocupação diferenciada: a primeira rua com edificações de até 2 pavimentos e a segunda rua com edificações acima de 6 pavimentos, com o objetivo de analisar diferenças no microclima de cada caso. Dessa forma, identificou-se a necessidade dessas ruas estarem localizadas em uma mesma região e de suas edificações terem alturas uniformes. Assim, foram apontados trechos de duas ruas: Rua Rui Palmeira (Ponta Verde) e Rua Santa Fernanda (Jatiúca) (figuras 01,02 e 03), cujas características estão sintetizadas no Quadro 1.



Figuras 01, 02 e 03: Mapa e vista das ruas, indicando locais de medições e conformação dos cânions urbanos analisados.  
Fonte: Google Maps, acesso em: dez, 2014.

Quadro 01: Quadro descritivo entre os dois trechos de rua escolhidos para medição in loco

RUA	SANTA FERNANDA	RUI PALMEIRA
Proximidade com o mar*	700 metros	400 metros
Orientação	Leste-Oeste	Leste-Oeste
Largura aproximada da via	10 metros	10 metros
Tipo de uso predominante	Residencial	Residencial
Altura das edificações	Casas térreas e com pavimento superior.	Edifícios entre 7 e 9 pavimentos
Tipo de cobertura das ruas	Asfalto	Asfalto
Vegetação	Ausente em sua maior parte – existência 1 árvore próxima	Ausente em sua maior parte – existência de 2 palmeiras próximas
Tipo de revestimento das edificações	Textura e pintura	Pastilhas cerâmica
Taxa de ocupação máxima exigida pelo Código de Edificações	70%	50%
Taxa de ocupação média encontrada	60,78%	48,18%
Coef. de aproveitamento exigido pelo Código de Edificações	2	4
Coef. de aproveitamento médio encontrado	1,21	3,71

\*Distância retirada do Google Maps.

### 3.2. Pesquisa experimental



Figura 04: Termo higrômetro e anemômetro

Fonte: [www.labcon.ct.ufrn.br](http://www.labcon.ct.ufrn.br). Acesso em Set/2014.

Após a escolha das ruas a serem analisadas foi feita pesquisa experimental a partir de monitoramento do comportamento microclimático em ambos os cânions urbanos por meio de registro de temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do vento, em três horários (9h, 15h e 21h), durante dois dias consecutivos (10 e 11/12/2014), com céu claro e ar calmo. Os registros dos dados foram feitos com uso do termohigrômetro e do anemômetro (figura 3). Durante os registros dos dados, os aparelhos foram protegidos da radiação solar direta por meio das sombras de árvores disponíveis ou com o uso de papel alumínio e posicionados no centro do cânion a 1.5m do piso. Foi feita apenas uma medição em cada horário descrito de cada dia, visto que a quantidade de dados gerada foi suficiente para a calibração do Envi-Met com a realidade local da área escolhida para simulação.

### 3.3. Simulações computacionais no Envi-Met 4

As simulações computacionais dos cânions urbanos foram feitas com o software Envi-Met, versão 4. Trata-se de um software freeware e configura-se como um modelo tridimensional de clima urbano, que simula as relações entre a estrutura urbana e o ambiente (NAKATA, SOUZA E FARIA, 2010).

#### 3.3.1. Dados climáticos de entrada para simulação

A área de estudo usada como base para as simulações no Envi-Met foi a Rua Rui Palmeira, devido a sua configuração com edificações verticalizadas. A área de estudo foi delimitada em uma área de 100 x 160 metros, cujas variações da geometria do cânion urbano limitaram-se aos parâmetros de homogeneidade na altura das edificações (rugosidade) e tamanho dos recuos das edificações (porosidade), conforme modelos descritos no Quadro 2.

Definiu-se um tempo total de simulação de 24h, iniciando às 21h do dia 10 de dezembro de 2014. A simulação foi iniciada no horário noturno para que os primeiros dados simulados não tivessem influência do aporte de radiação solar no modelo, seguindo orientação do tutorial do programa.

Todas as simulações foram feitas usando os mesmos dados climáticos de entrada, com o objetivo de tornar viável a avaliação comparativa entre os resultados. Nesse sentido, foram usados os seguintes parâmetros climáticos de entrada:

Tabela 01: Dados utilizados nas simulações com o Envi-Met

Dados principais	Quantidade
Velocidade do vento a 10m de altura	2.4m/s
Direção do vento	Leste = 66 Graus
Rugosidade do local	0.01
Temperatura	298.35K = 25.20°C
Umidade específica a 2500m	4.95g/kg
Umidade relativa em 2m	82%

Fontes: Universidade de Wyoming. 2015 e Inmet. 2015

Os dados climáticos de entrada foram retirados das Normais Climatológicas de Maceió entre 1961 e 1990, de acordo com as médias do mês de dezembro. Os dados de umidade específica a 2.500m foram obtidos da cidade de Natal<sup>1</sup> por meio dos dados disponibilizados pelo Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade de Wyoming, nos Estados Unidos (<http://weather.uwyo.edu/upperair/>).

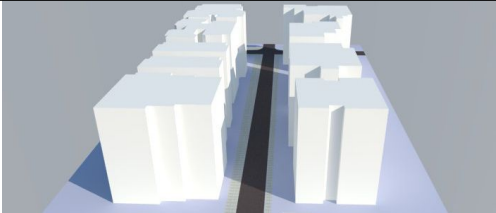
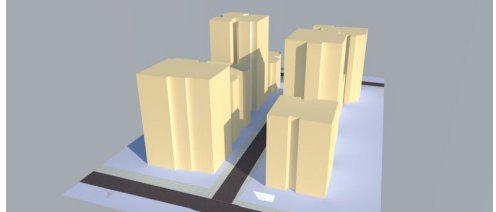
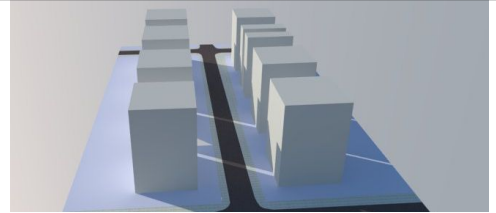
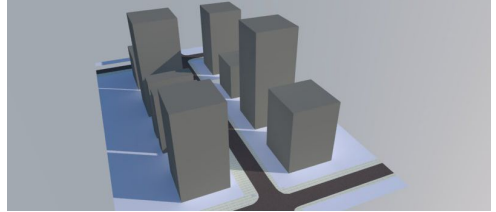
#### 3.3.2. Tipologias de cânions urbanos analisados

Para a análise da rugosidade e da porosidade foram definidas as tipologias de cânion urbano a serem analisadas por meio de simulações computacionais. Todos os modelos analisados estão locados em ambiente urbano adensado, com as mesmas características de materiais observados na Rua Rui Palmeira, descritos no quadro 01. Além disso, a maior altura das edificações existentes nos modelos simulados é de 15 pavimentos, respeitando o Código de Edificações de Maceió (2007), que estipula esta altura máxima para edifícios

<sup>1</sup> Foram usados os dados de Natal (RN) devido à inexistência de dados provenientes de balões atmosféricos na cidade de Maceió (AL). Nesse sentido, Natal apresenta-se como a cidade mais próxima de Maceió e com característica de cidade costeira semelhante a Maceió.

localizados na Zona Residencial 4. Para essa localidade, o recuo frontal varia entre 3m e 9.5m, enquanto o recuo lateral varia de 1.5m até 8m. As variações impostas aos modelos analisados foram pautados nesses parâmetros permitidos pelo Código de Edificações vigente.

Quadro 02: Modelos simulados

MODELO	CARACTERÍSTICAS	ILUSTRAÇÃO
<b>Modelo 1</b> Baixa rugosidade e baixa porosidade	Cânion urbano com edificações de mesma altura (9 pavimentos – 27m) e recuos variando entre 3m a 5m.	 Figura 05: Vista modelo 1
<b>Modelo 2</b> Alta rugosidade e baixa porosidade	Cânion urbano com edificações de alturas variadas e recuos variando entre 3m a 5m.	 Figura 06: Vista modelo 2
<b>Modelo 3</b> Baixa rugosidade e alta porosidade	Cânion urbano com edificações de mesma altura (9 pavimentos – 27m) e recuo total entre as edificações de 12m (sendo 6m para cada terreno).	 Figura 07: Vista modelo 3
<b>Modelo 4</b> Alta rugosidade e alta porosidade	Cânion urbano com edificações de alturas variadas e recuo total entre as edificações de 12m (sendo 6m para cada terreno).	 Figura 08: Vista modelo 4

As figuras 9 e 10 apresentam o número de pavimentos atribuídos a cada edifício dos modelos 2 e 4, respectivamente.



Figura 09: Planta baixa indicando alturas do modelo 2

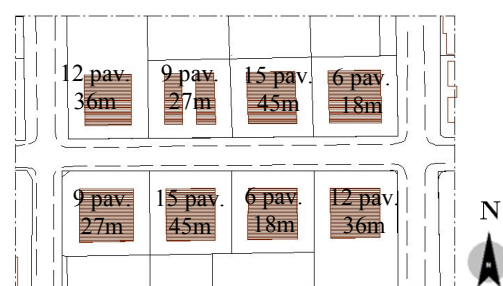


Figura 10: Planta baixa indicando alturas do modelo 4

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1. Resultados das medições

As tabelas 02 e 03 mostram os dados climáticos registrados *in loco* nas duas ruas monitoradas.

Tabela 02: Medições realizadas no dia 10 de dezembro de 2014

Horário	Temperatura do ar (°C)			Umidade do ar (%)			Velocidade do Ar (m/s)		
	Sta. Fernanda	Rui Palmeira	$\Delta t$	Sta. Fernanda	Rui Palmeira	$\Delta UR$	Sta. Fernanda	Rui Palmeira	$\Delta v$
09h00min	29,6	29,6	0	65,7	69,6	-3,9	0,4	0,6	-0,2
15h00min	30,4	28,9	1,5	68,1	69,5	-1,4	0,4	0,8	-0,4
21h00min	26,7	27,1	-0,4	77,9	76,2	1,7	0,4	0,3	0,1

Tabela 03: Medições realizadas no dia 11 de dezembro de 2014

Horário	Temperatura do ar (°C)			Umidade do ar (%)			Velocidade do Ar (m/s)			
	Rua	Sta. Fernanda	Rui Palmeira	Δt	Sta. Fernanda	Rui Palmeira	ΔUR	Sta. Fernanda	Rui Palmeira	Δv
09h00min		30,1	31,2	-1,1	68,8	68,9	-0,1	0,8	0,7	0,1
15h00min		30,6	30,5	0,1	67,7	66,0	1,7	0,6	0,3	0,3
21h00min		26,4	27,3	-0,9	81,0	77,6	3,4	0,4	0,3	0,1

Os resultados mostraram tendência de maior aquecimento do ar na Rua Rui Palmeira (cânion verticalizado) durante o período matutino. O maior aquecimento nesse período é evidenciado durante o monitoramento no dia 11/12/2014, quando se observou diferença de 1.1°C. Porém, no período vespertino o comportamento da temperatura do ar nos dois cânions se inverte, com maior aquecimento do ar observado na Rua Santa Fernanda (cânion com edificações horizontais), com diferença de 1.5°C observado no dia 10/12/2014. No período noturno a situação volta-se a se inverter, com maior aquecimento do ar na Rua Rui Palmeira (diferença de quase 1°C observado no dia 11/12/2014, tabela 03).

Esse resultado sugere que o cânion verticalizado tende a apresentar aquecimento do ar mais acelerado no período matutino devido à incidência de radiação solar direta no solo e nas fachadas dos prédios, sobretudo por sua orientação Leste-Oeste, propriedades termodinâmicas dos materiais predominantes das fachadas e elevada massa construída. No período vespertino o aquecimento do ar é menos acentuado devido ao sombreamento no cânion proporcionado pelos próprios edifícios verticalizados, haja vista que no período do verão a incidência solar no período da tarde dá-se na fachada Sul das edificações, com sombreamento do cânion com orientação Leste-Oeste. O mesmo não ocorre na Rua Santa Fernanda, cujo cânion continua receber radiação solar direta, sem sombreamento, devido a ausência de vegetação arbórea e a baixa altura das edificações. Após o pôr-do-Sol, o cânion verticalizado teve dificuldade de dissipar o calor absorvido devido ao reduzido fator de visão do céu e a elevada massa construída manteve a Rua Rui Palmeira mais aquecida no horário noturno.

Quanto aos dados de umidade relativa do ar, os resultados obtidos já eram esperados devido à proximidade com o mar e são coerentes com o comportamento da temperatura do ar em ambos os cânions.

Com relação à velocidade do ar, esperavam-se velocidades mais elevadas no cânion verticalizado devido à canalização dos ventos provenientes da orla marítima. Entretanto, os dados mostram diferenças muito pequenas no comportamento da velocidade do vento em ambos os cânions, sem merecer destaque na análise.

## 4.2. Resultados das simulações

### 4.2.1. Modelo 1 – baixa rugosidade e baixa porosidade

As figuras 10 a 15 mostram os resultados da simulação do comportamento da temperatura do ar e da velocidade do vento no modelo 1, às 9h, 15h e 21h.

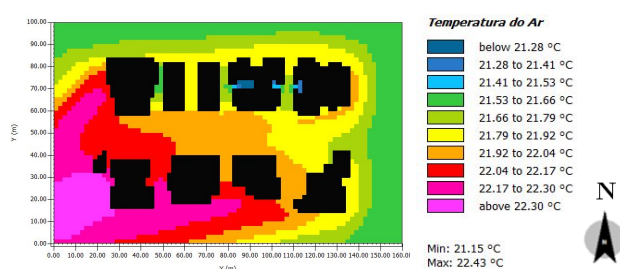


Figura 10: Comportamento da temperatura do ar às 9h

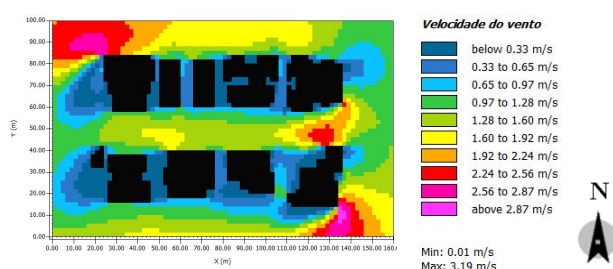


Figura 11: Comportamento da velocidade do vento às 9h

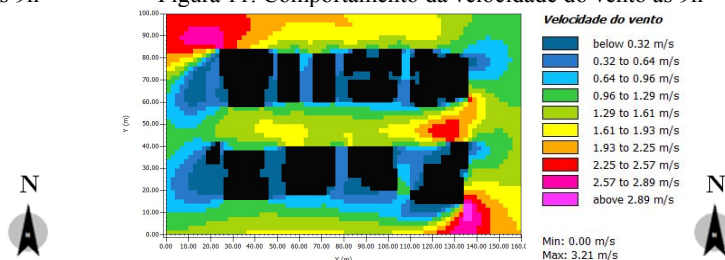


Figura 12: Comportamento da temperatura do ar às 15h

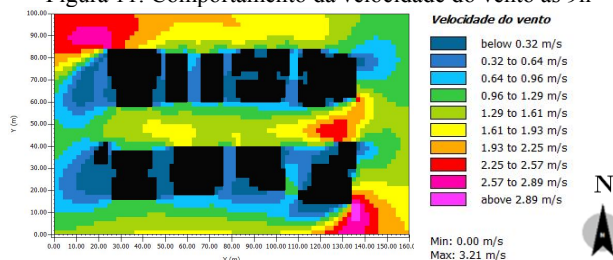


Figura 13: Comportamento da velocidade do vento às 15h

Para a simulação do modelo 1, com edificações de alturas homogêneas (9 pavimentos) e recuo mínimo (entre 1,5m e 3m), a análise dos resultados mostra que a temperatura do ar aumenta gradativamente ao longo do dia nos horários testados.

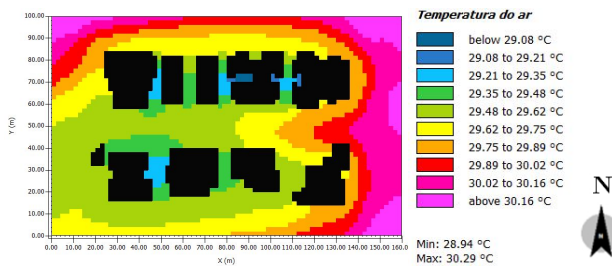


Figura 14: Comportamento da temperatura do ar às 21h

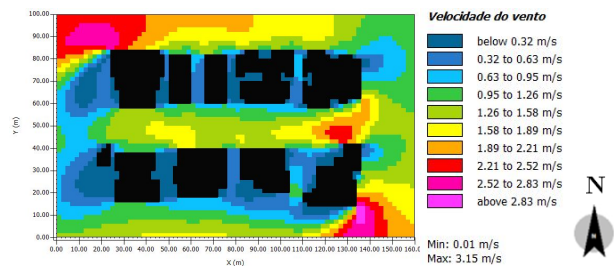


Figura 15: Comportamento da velocidade do vento às 21h

Pela manhã, a maior parte do cânion apresenta temperatura do ar com 22,0°C, enquanto a tarde a temperatura aumenta para 28,0°C e à noite chega a 30,3°C. Porém, apesar do aumento gradativo da temperatura do ar, pode-se perceber que os locais em que ocorreram maiores temperaturas são diferentes, sendo que pela manhã as temperaturas do ar mais altas acontecem a oeste, enquanto à tarde e à noite estão a leste. Em geral, entre as edificações, a temperatura do ar se mantém mais baixa do que no cânion (Figuras 10, 12 e 14).

A ventilação entre as edificações durante todo o dia fica em torno dos 0.3 e 0.4m/s. No centro da rua, o vento alcança maior velocidade e vai perdendo força ao longo do caminho no sentido leste-oeste, sendo essa perda mais evidente a noite (Figuras 11, 13 e 15).

#### 4.2.2. Modelo 2 – alta rugosidade e baixa porosidade

As figuras 16 a 21 mostram os resultados da simulação do comportamento da temperatura do ar e da velocidade do vento no modelo 2, às 9h, 15h e 21h.

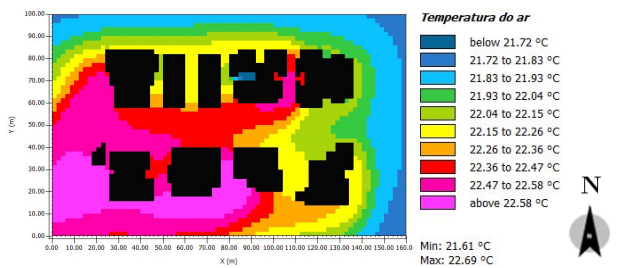


Figura 16: Comportamento da temperatura do ar às 9h

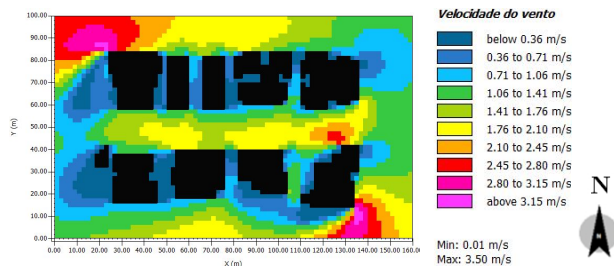


Figura 17: Comportamento da velocidade do vento às 9h

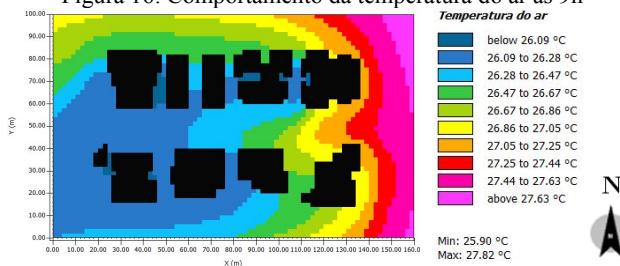


Figura 18: Comportamento da temperatura do ar às 15h

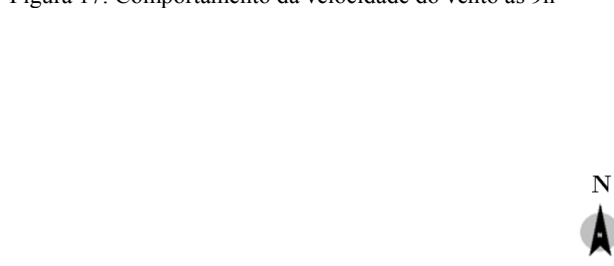


Figura 19: Comportamento da velocidade do vento às 15h

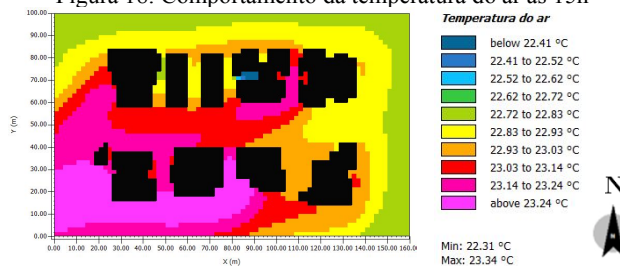


Figura 20: Comportamento da temperatura do ar às 21h

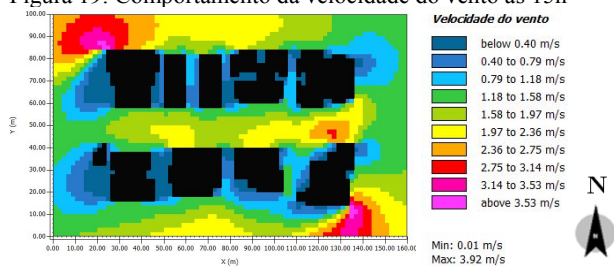


Figura 21: Comportamento da velocidade do vento às 21h

A simulação deste segundo modelo (figuras 16 a 21) variou apenas a altura das edificações em relação a simulação 1 (figuras 10 a 15), permanecendo com o recuo mínimo previamente citado. Esta alteração foi suficiente para diminuir a temperatura máxima do ar nos 3 horários analisados. A temperatura do ar máxima observada pela manhã foi próxima dos 22,0°C. A temperatura subiu à tarde para 27,0°C, voltando a diminuir para 23,0°C à noite. Observou-se também que o comportamento espacial da temperatura do ar também diferente do modelo 1. A temperatura do ar, além de diminuir de forma mais acentuada, teve sua máxima registrada a oeste da porção simulada. Entre as edificações, as temperaturas se mantiveram menores que no cânion, principalmente ao norte (figuras 16, 18 e 20).

A velocidade do vento ficou entre 1.4 e 2m/s durante todo o dia, se analisada a parte central da rua, sendo a noite um pouco mais ventilada que o dia. Em relação a simulação 1, o vento está com maior velocidade, o que significa que a rugosidade provocada pelas edificações em diferentes alturas, bem como as diferentes temperaturas, podem, neste caso, influenciar na velocidade do vento (Figuras 17, 19 e 21).

#### 4.2.3. Modelo 3 – baixa rugosidade e alta porosidade

As figuras 22 a 27 mostram os resultados da simulação do comportamento da temperatura do ar e da velocidade do vento no modelo 3, às 9h, 15h e 21h.

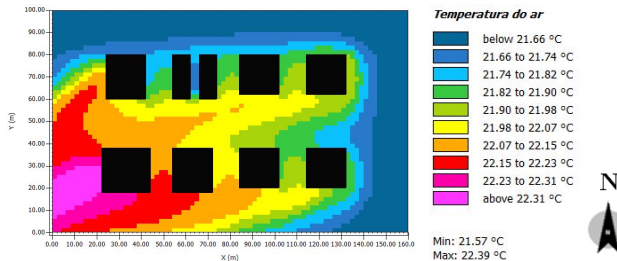


Figura 22: Comportamento da temperatura do ar às 9h

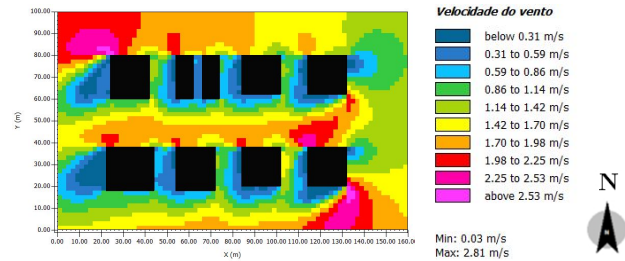


Figura 23: Comportamento da velocidade do vento às 9h

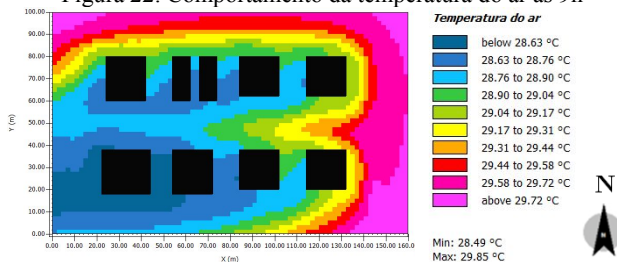


Figura 24: Comportamento da temperatura do ar às 15h

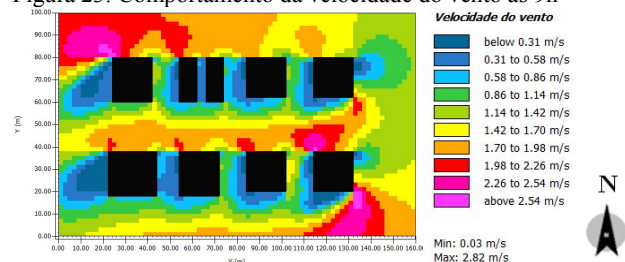


Figura 25: Comportamento da velocidade do vento às 15h

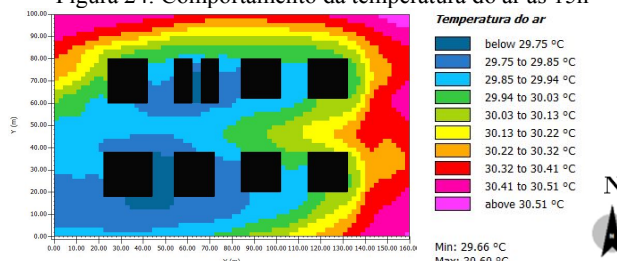


Figura 26: Comportamento da temperatura do ar às 21h

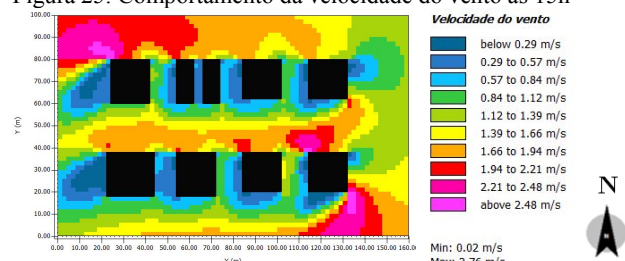


Figura 27: Comportamento da velocidade do vento às 21h

Para esta terceira simulação (figuras 22 a 27), o comportamento dos gráficos onde as maiores temperaturas acontecem a leste durante a tarde e a noite, ficando a oeste apenas pela manhã, se repete em comparação a simulação 1 (figuras 10 a 15). Devido a ambas simulações possuírem edificações com a mesma altura, esta característica física pode ser proeminente para este comportamento, independente dos recuos estarem maiores. A temperatura máxima do dia também aconteceu a noite como na simulação 1, porém para este terceiro caso ela saiu de 30.16 °C para 30.60°C, um pouco maior.

As mudanças provocadas pelo aumento do recuo ocorreram mais na velocidade do vento que melhorou um pouco entre os prédios, porque a distancia maior entre eles permitiu a passagem de algum vento (figuras 23, 25 e 27).

#### 4.2.4. Modelo 4 – alta rugosidade e alta porosidade

As figuras 28 a 33 mostram os resultados da simulação do comportamento da temperatura do ar e da velocidade do vento no modelo 4, às 9h, 15h e 21h.

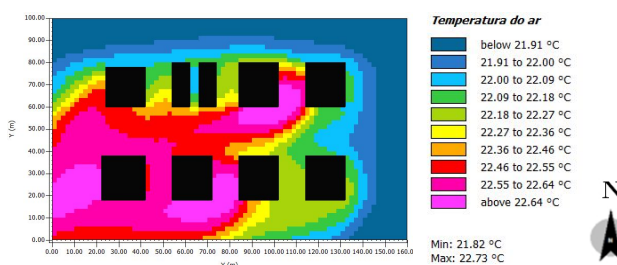


Figura 28: Comportamento da temperatura do ar às 9h

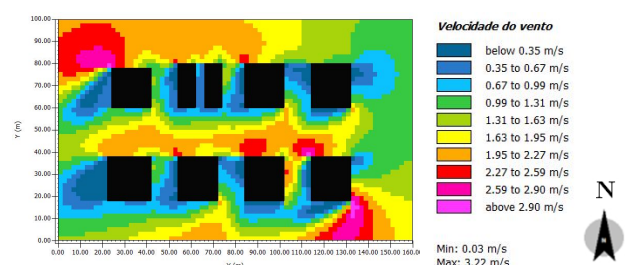


Figura 29: Comportamento da velocidade do vento às 9h



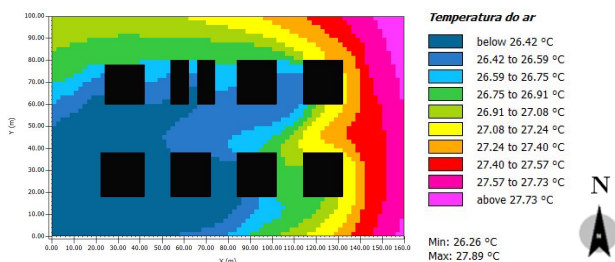


Figura 30: Comportamento da temperatura do ar às 15h

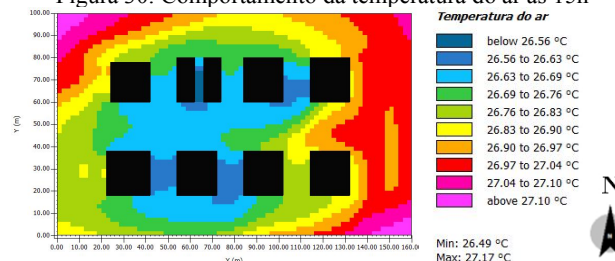


Figura 32: Comportamento da temperatura do ar às 21h

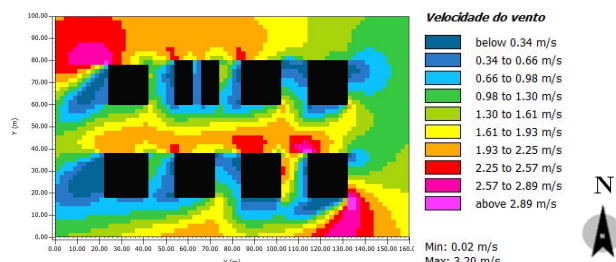


Figura 31: Comportamento da velocidade do vento às 15h

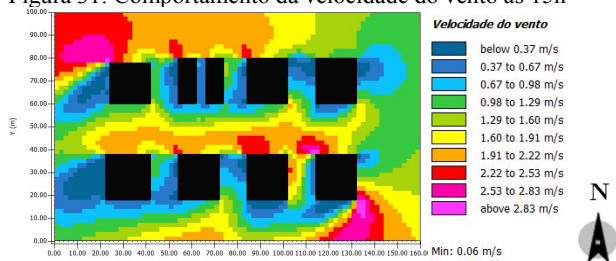


Figura 33: Comportamento da velocidade do vento às 21h

Para a simulação do modelo 4, a temperatura do ar gerou gráficos com comportamento similar aos da simulação 2 (figuras 16 a 21) e apesar de ter recuos maiores apresentou o resultado abaixo do encontrado na área simulada 2, onde os recuos são mínimos. Entretanto, seus resultados ficaram acima das outras simulações (modelos 1 e 3 - ver figuras 10 a 15 e 22 a 27), com queda de aproximadamente 2°C de temperatura do ar. A velocidade do vento aumentou no meio do cânion e conseguiu passar um pouco mais entre os prédios.

### 4.3. Análise comparativa dos resultados

Nas simulações dos modelos 1 e 3 (figuras 10 a 15 e 22 a 27), onde as edificações possuíam a mesma altura, registraram temperaturas maiores, umidade e velocidade do vento menores. A Simulação do modelo 1, cuja configuração possui os recuos mínimos permitidos pela legislação, obteve uma média do dia em torno dos 26,76°C (Tabela 4), ligeiramente mais baixa do que na simulação 3, onde há maior porosidade, devido ao uso de recuos maiores entre edificações. Nestes dois casos, as temperaturas do ar pela manhã mostraram-se menores que nas simulações 2 e 4 (figuras 17 a 21 e 28 a 33), mas tiveram um aumento gradativo até atingir o pico durante a noite, mostrando um comportamento típico de cânions urbanos, onde a ilha de calor é formada como evento noturno e lentamente dissipa o calor acumulado durante o dia.

Nas medições *in loco*, na Rua Rui Palmeira nos dois dias apontados nas tabelas 02 e 03, as mais altas temperaturas foram registradas pela manhã, decaindo suavemente ao longo do dia pela dificuldade de dissipação de calor devido ao albedo existente. Esta diferente variação de temperatura ao longo do dia monitorado, em relação ao que foi apresentado pelos modelos simulados, dá-se devido ao sombreamento da via pelas edificações a partir de certa hora da manhã até a tarde. Entretanto, as simulações dos modelos 1, 3 e 4, bem como o monitoramento *in loco*, tem em comum o fato de a noite apresentar altas temperaturas acumuladas e a dissipação do calor acontecer ao longo de toda a madrugada.

Tabela 04: Temperaturas médias apontadas nas simulações

Simulação	Temperatura média (°C) as 9h	Temperatura média (°C) as 15h	Temperatura média (°C) as 21h	Temperatura média (°C) do dia
Modelo 1	21,79	28,9	29,61	26,76
Modelo 2	22,15	26,86	22,82	23,94
Modelo 3	21,98	29,17	30,13	27,09
Modelo 4	22,27	27,07	26,83	25,39

Nos modelos simulados 2 e 4, observados respectivamente nas figuras 17 a 21 e 28 a 33, onde os prédios tiveram alturas diferenciadas para aumentar a rugosidade, as temperaturas caíram aproximadamente 2°C em relação as simulações dos modelos 1 e 3. O melhor resultado foi da simulação do modelo 2, onde os recuos são menores, sendo a diferença de temperatura do ar entre os dois casos (2 e 4) bastante reduzida nos horários das 9h e 15h, como mostra a tabela 4, levando ao questionamento a respeito da porosidade analisada nestes casos. É sabido que a porosidade contribui para a melhoria da ventilação, entretanto o comportamento registrado nas simulações mostrou que a influência causada pela porosidade nos casos estudados foi pequena durante o dia.

De acordo com Givoni (1998), em cidades de clima quente e úmido, as ruas devem ser largas para permitir a ventilação do tecido urbano. A orientação das ruas deve possibilitar o sombreamento procurando oferecer aos pedestres caminhos sombreados. As dimensões dos lotes devem ser mais largas que compridas e perpendiculares aos ventos dominantes. O alinhamento das edificações não deve ser muito rígido, a fim de permitir a circulação do ar abundante.

Em todos os casos estudados a largura da rua é menor que a altura dos prédios do cânion, o que dificulta a penetração do vento. Além disso, o fato das simulações 2 e 4 (figuras 17 a 21 e 28 a 33) serem configuradas com edificações com alturas variadas, chegando a 15 andares, enquanto as simulações 1 e 3 (figuras 10 a 15 e 22 a 27) são homogêneas, com apenas 9 andares, pode influenciar na formação de vórtices de vento, que contribuem para o aumento das perdas de calor. Oliveira (1988) destacou que quanto mais próximos os elementos da massa edificada, maiores os obstáculos à penetração dos ventos, evidenciando que a menor porosidade dificulta a penetração do vento e a maior porosidade facilita. Entretanto, o autor (*op. Cit.*) também salienta que quanto maiores os contrastes entre as alturas dos elementos da massa edificada, maior o turbilhonamento dos ventos; melhor ventilação se combinada com porosidade; maior a velocidade dos ventos em parte da massa edificada próxima dos volumes mais altos; e maiores as trocas térmicas com o ambiente atmosférico, ocasionando menores ganhos térmicos e, conseqüentemente, menores temperaturas do ar (OLIVEIRA, 1988).

## 5. CONCLUSÕES

Ao efetivar as comparações e seguindo os critérios estabelecidos pela pesquisa experimental, verificou-se que a altura das edificações interfere no microclima local, onde a rua de prédios mais altos (Rua Rui Palmeira) aquece mais pela manhã e tarda a perder calor ao longo do dia, enquanto a rua com edificações de menor altura, tanto ganha quanto perde calor rapidamente. Nesse sentido, os resultados colaboraram para afirmação de Romero (2011) quando afirma que “as perdas por radiação de ondas longas são reduzidas, contribuindo para o aquecimento noturno”. Além disso, é importante salientar que o sombreamento das edificações muda ao longo do ano, a depender da posição solar. A orientação Leste-Oeste das ruas contribui em intensificar o calor ocasionado pela maior exposição ao sol durante os equinócios, diferentemente do que ocorre nos solstícios de inverno e verão, havendo diferenças na posição das sobras dos edifícios, podendo influenciar na alteração do microclima.

Os resultados mostraram que a rugosidade teve maior influência no comportamento das variáveis estudadas do que a porosidade, analisadas em relação aos diferentes recuos entre as edificações.

Por fim, destaca-se que os resultados apresentados limitaram-se à análise do comportamento microclimático a partir das variações na rugosidade e na porosidade, podendo ser aprofundado com a simulação de outros cenários hipotéticos, nos quais possam ser analisadas variações de outros parâmetros, como taxa de ocupação, taxa de permeabilidade do solo, coeficiente de aproveitamento, entre outros.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- CÓDIGO DE URBANISMO E EDIFICAÇÕES DE MACEIÓ, Diretoria do Plano Diretor, Lei Municipal Nº 5.593, de 08 de Fevereiro de 2007, Maceió-AL.
- DEPARTMENT OF ATMOSPHERIC SCIENCE, University of Wyoming, College of Engineering, <http://weather.uwyo.edu/>, Acesso em Mar, 2015,
- GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.
- GOOGLE MAPS, Dados disponíveis em: <https://www.google.com.br/maps/@-9,6555818,-35,7089945,17z>, Acesso em Set, 2014,
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET)  
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas> Acesso em Set, 2014,
- LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL – UFRN, [www.labcon.ct.ufrn.br](http://www.labcon.ct.ufrn.br), Acesso em Set, 2014,
- MINELLA, Flávia Osaku; KRUGER, Eduardo L, **Impactos da geometria urbana no microclima**, Curitiba, Disponível em [www.utfpr.edu.br/curitiba](http://www.utfpr.edu.br/curitiba), acessado em dezembro, 2014,
- NAKATA, Camila Mayumi, SOUZA, Léa Cristina Lucas de, FARIA, João Roberto Gomes de, Simulação do conforto térmico do pedestre no ambiente urbano, Ação ergonômica, **Revista Brasileira de Ergonomia**, Vol, 5, Nº2, 2010,
- NOGUEIRA, Aline Maria Pereira, **Configuração urbana e microclimas: estudo em loteamentos horizontal de Maceió-Alagoas**, Dissertação de mestrado, orientadora Gianna Melo Barbirato, UFAL, 2011,
- OKE, T, R, **Boundary layer climates**, Routledge, London, 1987,
- OKE, T,R, The energetic basis of the urban heat island, **Quartely Journal of the Royal Meteorological Society**, 108, p,1-24, 1982,
- OLIVEIRA, P, M, P, **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**, Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 1988,
- ROMERO, Marta Adriana Bustos, Correlação entre o microclima urbano e a configuração do espaço residencial de Brasília, Fórum do Patrimônio, – **Mudanças climáticas e o impacto das cidades**, vol, 4, nº1, Brasília, 2011,
- VOOGT, J,A,; OKE, T,R, Thermal remote sensing of urban climates, **Remote Sensing of Environment**, v,86, p,370-384, 2003.