

IMPACTO DA VERTICALIZAÇÃO NO MICROCLIMA URBANO: O CASO DO BAIRRO GUAXUMA, EM MACEIÓ-AL, BRASIL

IMPACT OF VERTICALIZATION IN THE URBAN MICROCLIMATE: THE CASE OF GUAXUMA DISTRICT, MACEIÓ-AL, BRAZIL

Aline Maria Pereira Nogueira ¹

Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, AL, Brasil, alinenogueira_arq@yahoo.com.br

Iuri Ávila Lins de Araújo ²

Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, AL, Brasil, iuriavila@arapiraca.ufal.br

Leonardo Salazar Bittencourt ³

Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil, lsb54@hotmail.com

Gabriella Restaino ⁴

Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil, gabeyres@gmail.com

Resumo

Este trabalho investiga os efeitos do adensamento por verticalização, no microclima urbano, para avaliar possíveis impactos de decisões de planejamento urbano na qualidade ambiental das cidades. A pesquisa baseou-se no estudo de caso de uma fração do bairro Guaxuma, o loteamento Gurgury, que está situado no litoral norte da cidade de Maceió – AL e vem apresentando sinais de um processo acelerado de verticalização devido ao processo de valorização imobiliária da região. O método da pesquisa consistiu de análise comparativa, utilizando a ferramenta computacional ENVI-met 4.2 para simular temperatura e velocidade do ar, em três diferentes cenários. O primeiro representando o padrão atual de ocupação e outros dois cenários futuros, baseados no novo padrão de uso permitido pela legislação vigente. Um dos cenários futuros apresenta a implantação de edifícios com 10 pavimentos e o outro com edifícios de 20 pavimentos. Os resultados das simulações computacionais demonstraram que a verticalização na área estudada afetou o microclima local, principalmente o desempenho da ventilação natural. A diferença entre os modelos de 10 e o de 20 pavimentos foi relevante, chegando à 1,21 m/s na velocidade do ar entre esses dois cenários. Os resultados sugerem que na escala da faixa litorânea do Bairro Guaxuma, os efeitos da verticalização, tal como promovida pelo novo código de edificações, provoca mudanças na dinâmica do vento, sendo o cenário de 20 pavimentos o que apresentou melhor desempenho para promoção do conforto térmico na área.

Palavras-chave: Microclima urbano. Verticalização. Simulação computacional. Clima quente e úmido. Ventilação natural.

Abstract

This paper investigates the effects of vertical densification in the urban microclimate, to evaluate possible impacts of urban planning decisions on the environmental quality of cities. The research method consisted of a comparative analysis carried out through computer simulations (using ENVI-met software) to evaluate the impact on temperature and air velocity on thermal comfort conditions in three different scenarios. The first scenario represented the existing occupation patterns, considering a fraction of the Guaxuma neighborhood, the Gurgury settlement, located in Maceio city, Brazil, where an accelerated process of verticalization is in course due to the process of real estate valuation of the region. The second and third scenarios represent the case where buildings with 10 and 20 floors were used, respectively. Results of computational simulations showed that the verticalization in the studied area had a significant impact on the microclimate, mainly regarding the performance of the natural ventilation. The difference between the model with 10 and that with 20 floors was relevant, reaching 1.21m/s in air velocity between the two scenarios. The results suggest that in the Guaxuma neighborhood, the effect of verticalization, as promoted by the new code of buildings, cause changes in the wind dynamics and that the 20-floor scenario presented the best performance to promote thermal comfort in the area.

Keywords: Urban microclimate. Verticalization. Computational simulation. Hot and humid weather. Natural ventilation.

How to cite this article:

NOGUEIRA, Aline Maria Pereira et al. 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. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650267>>. Acesso em: 18 maio 2018. doi:<https://doi.org/10.20396/parc.v9i2.8650267>.

Introdução

O processo de urbanização causa alteração significativa do microclima nas cidades, que pode variar no interior da malha urbana, afetado por padrões de uso e ocupação do solo. Esses padrões provocam aumento da temperatura do ar, diminuição da umidade relativa, alterações de nebulosidade e precipitação, alterações na velocidade e turbulência do ar. Os padrões urbanos podem alterar o microclima, ao modificar características como rugosidade, porosidade, densidade construída, cobertura do solo, materiais e tamanho dos edifícios (GIVONI, 1998; SHASUA-BAR; HOFFMAN, 2000). Os estudos do microclima urbano deveriam ser mais utilizados como ferramenta para o planejamento urbano e desenho dos edifícios, uma vez que geram subsídios que orientam decisões que vão impactar a qualidade de vida da população.

Yamamoto (2006) destaca o adensamento por verticalização como um dos fatores determinantes para as diferenças microclimáticas na malha urbana. O fenômeno da verticalização é uma das consequências da especulação imobiliária, promovida por investimentos do setor privado. Ela pode provocar os mais elevados índices de densidade urbana e transformações rápidas em partes da malha urbana, com consequências para o microclima.

Wang e Zhou (2017) simularam os efeitos no microclima ao longo da evolução do padrão urbano em duas áreas da cidade de Xi'an. Os resultados do trabalho mostraram que os prédios mais altos provocaram mudanças mais acentuadas na temperatura e velocidade média do vento. Essa pesquisa utilizou a ferramenta computacional de simulação ENVI-met (BRUSE, 2017).

O rápido desenvolvimento urbano na China tem produzido mudanças climáticas nas grandes cidades e criado problemas ambientais (WANG; ZHOU, 2017). Wang e Zhou (2017) selecionaram dois distritos residenciais de microescala na cidade Xi'na, para apresentar a tipologia urbana de distritos residenciais em diferentes períodos históricos. O impacto das tipologias sobre mudanças climáticas foi avaliado, através de simulações com o programa ENVI-met. Os prédios mais altos foram responsáveis pelos valores mais baixos de velocidade do vento e temperatura, que os prédios com média altura. O estudo comprovou que o desenvolvimento residencial de alta densidade muda o ambiente térmico urbano, demonstrando o mecanismo de mudança climática em Xi'an.

A ferramenta de simulação ENVI-met também foi usada por Paramita e Koerniawan (2012) para avaliar a eficácia do instrumento de planejamento urbano Envelope Solar, em Bandung na Indonésia.

O impacto da verticalização na qualidade climática do espaço urbano foi estudado por Azerêdo (2011), na cidade de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, nordeste brasileiro. Foram selecionados três bairros que vêm sendo alvo do processo de verticalização. A relação entre as condições de conforto térmico e a morfologia do espaço urbano foi identificada por meio das principais variáveis ambientais, isto é, da ventilação (impacto na direção e velocidade do vento), umidade relativa do ar e temperatura do ar.

Padrões de uso e ocupação do solo podem ser planejados pelo poder público, em áreas de expansão urbana, a fim de conduzir o processo de urbanização aos objetivos almejados. O Estatuto da Cidade ou Lei federal n. 10.257 de 2001 (BRASIL, 2001) regulamentou instrumentos para promover a função social da propriedade e a qualidade das cidades. Ele ampliou as possibilidades de controle público do espaço urbano e reforçou as restrições ao uso e ocupação do solo, contidas no Plano Diretor do Município. No entanto, o poder público planeja o crescimento das cidades, buscando conciliar interesses conflitantes dos setores que se apropriam do espaço urbano. Esse planejamento pode provocar impactos ambientais negativos e não previstos pelos atores, envolvidos na disputa política que determina as decisões sobre o planejamento urbano.

A cidade de Maceió-AL localiza-se no litoral da Região Nordeste do Brasil e possui clima quente e úmido. O Código de Urbanismo e Edificações vigente (MACEIÓ, 2007) mudou o padrão de uso e ocupação do solo no litoral norte da cidade desde 2007, ao permitir a construção de edifícios com até 20 pavimentos na faixa litorânea (Figura 1). Essa é uma zona de expansão urbana, suscetível à especulação imobiliária e adensamento acelerado, devido à valorização de recursos naturais locais, como praias e reservas de área verde. A região já passa por transformações, com o surgimento de doze novos empreendimentos residenciais multipavimento, de alto padrão. A região está contida na Zona Administrativa 1 (MACEIÓ, 2005) e é cortada pela rodovia AL-101-Norte, que liga a região às áreas da cidade com maior densidade demográfica e verticalização (MARTINS; BONHOMME; ADOLPHE, 2013).

A presente pesquisa investigou as consequências do processo de verticalização no microclima da faixa litorânea do Bairro Guaxuma, quanto à temperatura e velocidade do ar. Deseja-se avaliar as consequências possíveis de decisões de planejamento urbano e assim demonstrar o impacto dessas decisões no microclima das cidades. Espera-se com isso contribuir com a formação de um corpo de conhecimento que oriente os planejadores, ao torná-los mais conscientes do impacto de suas decisões na qualidade ambiental urbana.

Figura 1 - Novos empreendimentos na faixa litorânea do Bairro Guaxuma



Fonte: Celebre Alagoas (2018).

Método

A metodologia adotada baseou-se em estudo de variáveis microclimáticas urbanas em uma parcela do Bairro Guaxuma, situado no litoral norte da cidade de Maceió, Alagoas. O método consistiu em um estudo comparativo entre o padrão de uso e ocupação do solo atual e dois cenários futuros e prováveis, com base no novo padrão permitido pelas prescrições urbanísticas vigentes e na tendência de verticalização observada na área. Para isso, foi usada simulação computacional da temperatura e velocidade do ar, realizadas com o auxílio do programa ENVI-met 4.2.0 (BRUSE, 2017). Os dados gerados foram ilustrados no programa Leonardo 2014 Beta, interface do ENVI-met, e descritos em Tabelas e gráficos a fim de analisá-los comparativamente.

Área de estudo

O município de Maceió (latitude 9°57'37" sul e longitude 35°44'7" oeste) é a capital do estado de Alagoas e situa-se no litoral da região nordeste do Brasil, compreendida entre o Oceano Atlântico e o Complexo Estuarino das lagoas Mundaú-Manguaba (Figura 2).

Devido à baixa latitude, apresenta forte incidência de radiação solar com pequenas variações térmicas diárias, sazonais e anuais.

Figura 2 - Localização do município de Maceió, capital do estado de Alagoas, Brasil



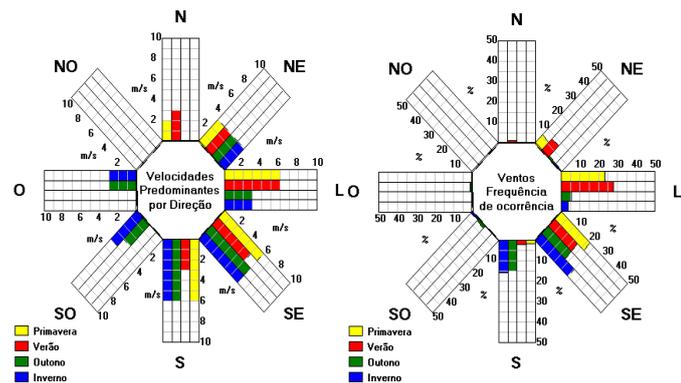
Fonte: Adaptado de Brasil Escola (2018)

Com clima quente e úmido, possui duas estações bem definidas: verão (normalmente entre os meses de outubro a março) com temperaturas médias mais elevadas (na faixa de 27,9°C) e pouca pluviosidade, e “inverno” (normalmente entre os meses de abril e setembro), caracterizado por temperaturas médias amenas e alta pluviosidade. De acordo com a análise das Normas Climatológicas de 1961-1990 do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (BRASIL, 1992), Maceió apresenta temperatura média anual de 24,8°C, oscilando entre 26,7°C, em fevereiro, a 23,5 °C, em agosto. Os maiores valores de precipitação ocorrem entre os meses de abril a julho, sendo o índice pluviométrico médio anual de 2.167,7mm, conforme indicam os dados do INMET (BRASIL, 1992).

A influência das massas d’água providas do Oceano Atlântico, do Complexo Estuarino Mundaú-Manguaba e da vegetação de encosta, conferem à região uma alta umidade relativa do ar, com média anual de 78,3% (BRASIL, 1992).

O regime de ventos na cidade sofre influência dos alísios originários do quadrante leste, sendo os ventos Sudeste, Leste e Sul os mais frequentes e com as maiores velocidades durante todo o ano. O vento Sudeste é o mais constante (Figura 3). O regime dos ventos é regular e as velocidades estão dentro dos limites desejáveis para fins de conforto térmico. A velocidade média dos ventos é de 2,8m/s, podendo chegar a 6m/s no verão (vento Leste), na primavera (ventos Leste, Sudeste e Sul), outono e inverno (ventos Sudeste e Sul).

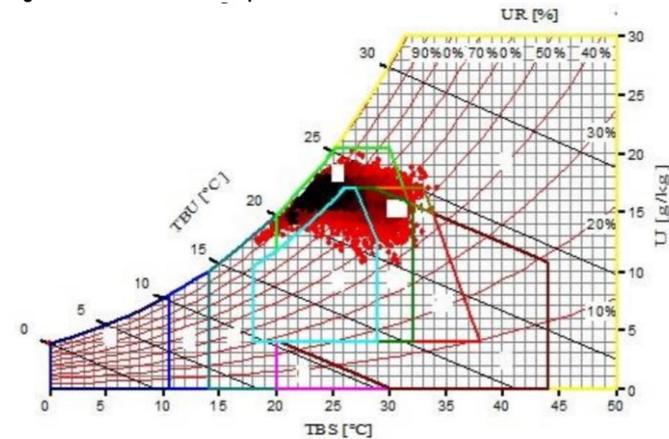
Figura 3 - Rosa dos ventos – frequência de ocorrência e velocidades predominantes para a cidade de Maceió-AL



Fonte: Lamberts, Maciel e Ono (2009).

A Carta Bioclimática de Givoni (1992) mostra que em apenas 19,7% das horas do ano, em Maceió, os indivíduos encontram-se na zona de conforto térmico. Mostra ainda que nos 79,9% do tempo restante os mesmos sentirão desconforto por calor (Figura 4).

Figura 4 - Carta bioclimática para a cidade de Maceió-AL



Fonte: Torres (2015).

As estratégias recomendadas pela Carta Bioclimática de Givoni (1992), para as horas de desconforto na cidade de Maceió, são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Estratégias bioclimáticas recomendadas para cidade de Maceió-AL

Estratégia	Percentual de recomendação
Ventilação	78,7%
Inércia Térmica	18,5%
Resfriamento Evaporativo	16,5%

Fonte: Adaptado de Torres (2015).

É notável a importância da estratégia Ventilação para melhoria do conforto. A Tabela 2 mostra que a ventilação se destaca como a recomendação mais eficaz em todas as estações do ano, o que reforça a importância da promoção do movimento do ar.

Tabela 2 – Estratégias bioclimáticas recomendadas para cidade de Maceió-AL, por estação do ano

Estação	Ventilação Natural	Inércia térmica	Resfriamento Evaporativo
Verão	83,3%	29,8%	25,7%
Primavera	72,1%	30,7%	29,5%
Outono	90%	9,50%	7,11%
Inverno	68%	4,39%	4,33%

Fonte: Adaptado de Torres (2015).

O litoral norte da cidade de Maceió é uma região que abrange sete bairros e constitui-se em zona de expansão urbana, com ocupação dispersa e muitos vazios. A região possui praias e reservas de área verde valorizadas pelo mercado imobiliário e está sendo transformada por novos empreendimentos, desde que o Código de Urbanismo e Edificações do Município (MACEIÓ, 2007) permitiu o uso UR-5 (uso residencial multipavimento) com até 20 pavimentos, em parte da faixa litorânea. Há atualmente poucas áreas com parcelamento do solo. Estas são ocupadas predominantemente por sítios com moradias unifamiliares de até 02 pavimentos (Figura 5). Outros bairros próximos e em condições similares passaram por um processo de verticalização e adensamento, como Ponta Verde, Pajuçara e Jatiúca.

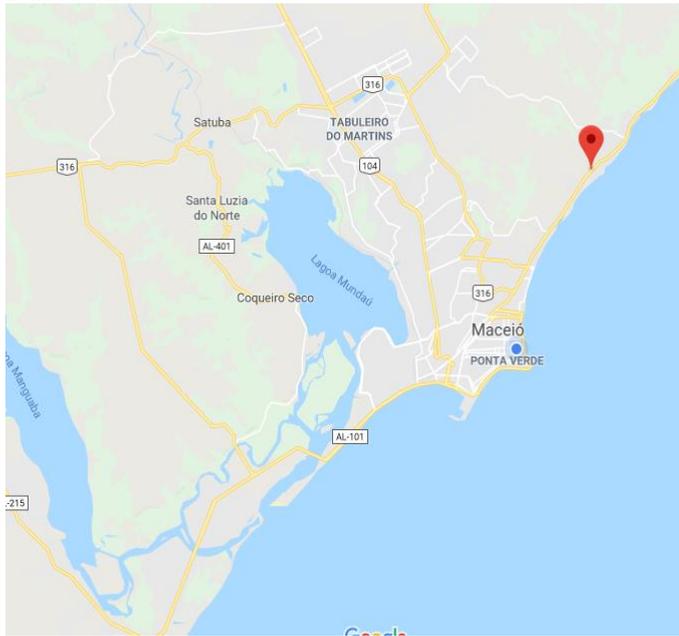
Figura 5 - Loteamento Gurgury, localizado na faixa litorânea à norte de Maceió-AL. O atual padrão de ocupação é de moradias unifamiliares de até dois pavimentos



Fonte: Os autores.

O Bairro Guaxuma está inserido no litoral norte de Maceió (Figuras 6 e 7). Ele fica dentro das zonas residenciais ZR5 e ZR6, com 4.915 km² e tem uma densidade demográfica de 0,5 habitantes por metro quadrado (IBGE, 2010), sendo o menos habitado dessa região. Para essas zonas residenciais, é permitido uso UR-5 (verticalizado) com número de pavimentos variando entre 10 e 20, tanto para o uso residencial, comercial ou serviços (salvo restrições no Plano Diretor). Esse bairro foi usado como amostra de uma área urbana sujeita à rápida transformação, promovida pelo processo de verticalização.

Figura 6 - Localização do Bairro Guaxuma dentro do perímetro urbano da cidade de Maceió-AL



Fonte: Google (2018).

Figura 7 – Imagem satélite do Bairro Guaxuma, em Maceió-AL



Fonte: Google (2017).

Simulação computacional

As simulações foram realizadas com a ferramenta ENVI-met versão 4.2.0Summer17 (BRUSE, 2017), que representa o estado da arte em simulação de variáveis climáticas no ambiente urbano.

O programa apresenta três versões de malha, sendo gratuita apenas a versão que permite a simulação de uma malha de 100 x 100 x 40. Isso representa largura, comprimento e altura do modelo. Para as simulações computacionais, foi necessário determinar um recorte de estudo na malha urbana.

A área selecionada situa-se no Loteamento Gurgury (Figura 8), no Bairro Guaxuma, uma das poucas áreas parceladas na faixa litorânea desse bairro. O sítio físico da área analisada apresenta uma inclinação de aproximadamente 2%, com altura máxima de 5m na planície litorânea, não representando interferência do relevo para os estudos analisados.

Figura 8 – Loteamento Gurgury, na faixa litorânea do Bairro Guaxuma. É uma das poucas áreas parceladas no Bairro Guaxuma, caracterizado por vazios



Fonte: Adaptado de Google (2017).

Foram realizados testes de vários domínios de modelo que abrangessem na área maior complexidade do parcelamento (maior densidade construída e tendência à verticalização), acuidade e tempo de processamento, pois, quanto maior a área, maior o tempo para geração dos resultados.

Devido às limitações do programa quanto ao tamanho da fração urbana em função da versão utilizada, foi determinado um recorte de 475m x 475m, equivalente a 225.625m² (Figura 9).

Foram modelados três cenários. Primeiro, representando o parcelamento e uso atuais, com ocupação total dos lotes. O segundo, um novo parcelamento, comportando edifícios de dez pavimentos e ocupação total dos lotes. O terceiro, um novo parcelamento, comportando edifícios de 20 pavimentos e ocupação total dos lotes.

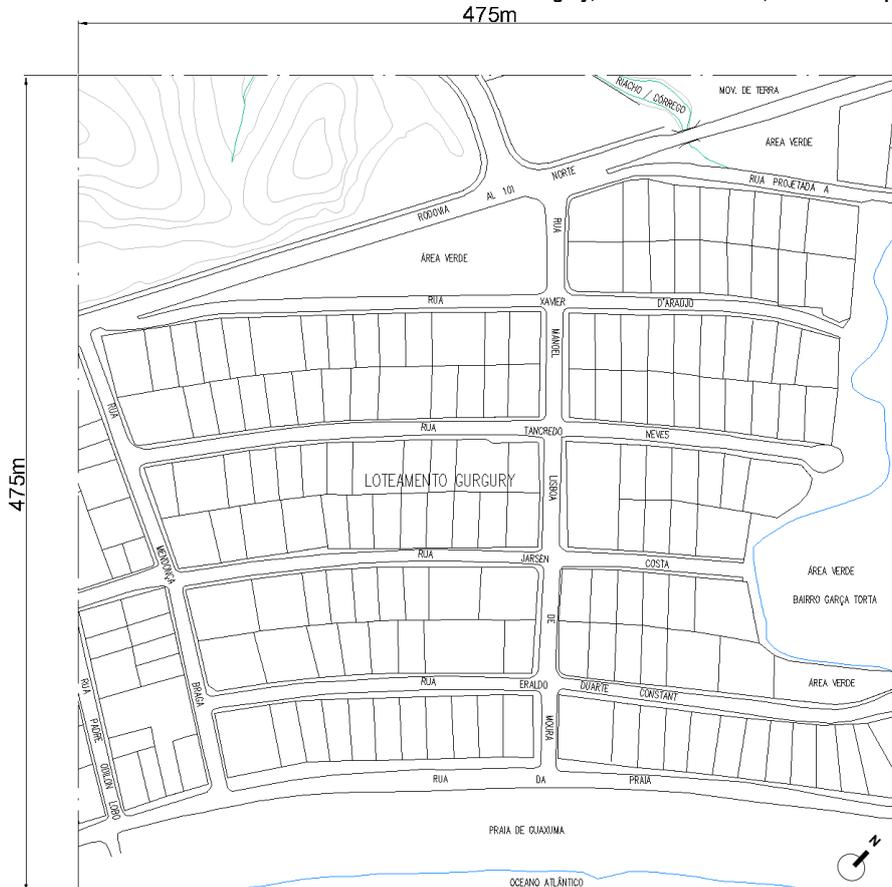
O primeiro cenário apresenta lotes iguais ou maiores que 15m x 30m, permitindo uma ocupação de pelo menos 253m² por lote, com o equivalente a moradias unifamiliares de dois pavimentos, 6m de altura, respeitando os recuos mínimos da legislação vigente (Figuras 10, 11 e 12). A área construída máxima no conjunto dos lotes foi de 121.660m² e a área ocupada máxima de 60.630m², representando 26,8% do todo.

O segundo cenário hipotético possui lotes de 30m x 30m, 30m x 45m e 30m x 60m, permitindo pavimentos com

área 294m² a 864m², com o equivalente a edifícios residenciais de dez pavimentos e pilotis, com 36m de altura, respeitando o dispositivo do recuo progressivo em função do número de pavimentos, conforme a legislação

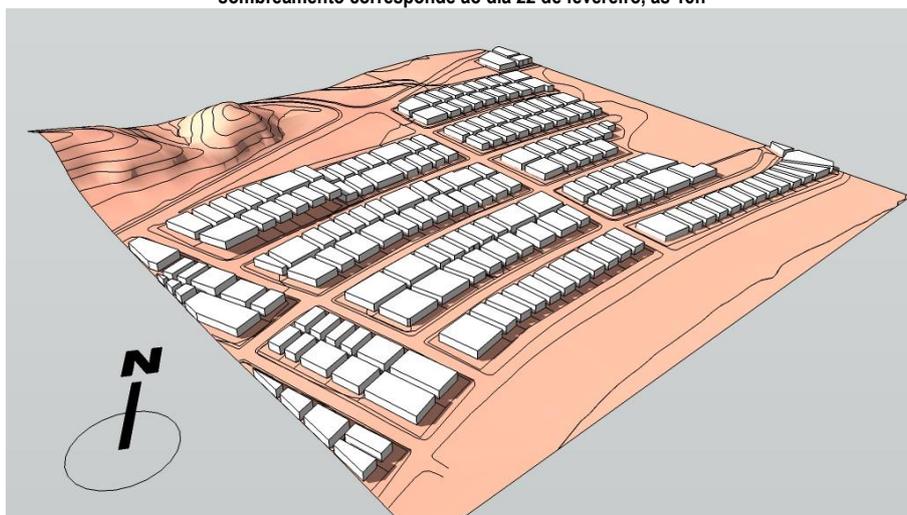
vigente (Figuras 13, 14 e 15). A área construída máxima no total dos lotes foi de 370.030m² e área ocupada máxima de 37.003m², representando 16,4% do todo.

Figura 9 - Área de 475m x 475m selecionada na faixa litorânea do Loteamento Gurgury, no Bairro Guaxuma, mostrando o parcelamento atual



Fonte: Adaptado da Base Cartográfica da Cidade de Maceió 2008 (PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ, 2008).

Figura 10 - Primeiro cenário simulado, representando moradias unifamiliares de dois pavimentos. Área construída de 121.660m² e área ocupada de 60.630m². O sombreamento corresponde ao dia 22 de fevereiro, às 15h



Fonte: Os autores.

Figura 11 - Primeiro cenário simulado. Parcelamento e padrão de ocupação atuais, com todos os lotes ocupados de acordo com a legislação vigente



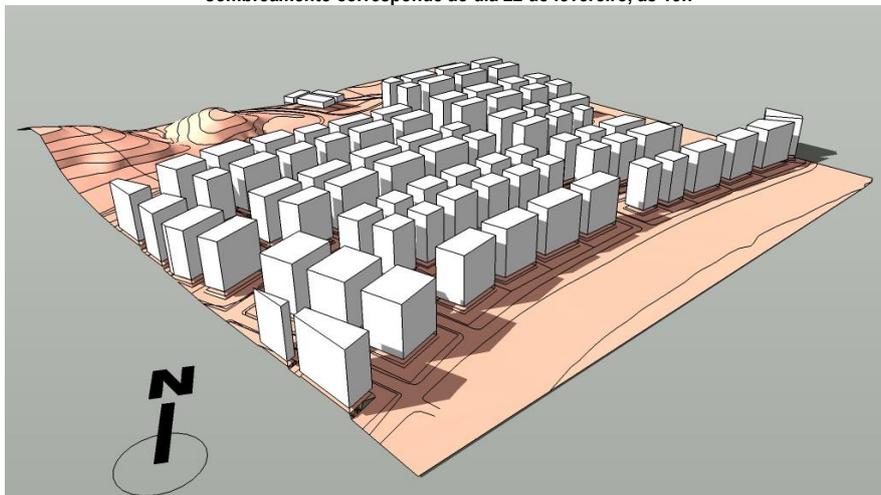
Fonte: Adaptado da Base Cartográfica da Cidade de Maceió 2008 (PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ, 2008).

Figura 12 - Corte AB, perfil transversal do Loteamento Gurgury, com padrão atual de ocupação, que corresponde a edificações de dois pavimentos



Fonte: Os autores.

Figura 13 - Segundo cenário simulado, representando edifícios residenciais de 10 pavimentos. Área construída de 370.030m² e área ocupada de 37.003m². O sombreamento corresponde ao dia 22 de fevereiro, às 15h



Fonte: Os autores.

A configuração dos dados climatológicos no programa correspondeu aos dados da cidade de Maceió-AL no mês de fevereiro. Isso se deu por representar o mês mais desconfortável do ano com temperatura média anual em torno de 26,7°C. A temperatura máxima para o mesmo mês chega a atingir os 30,4°C, conforme dados do INMET (BRASIL, 1992). Devido à importância da velocidade do vento para este mesmo período, o mês de fevereiro está inserido na estação do verão, onde as velocidades e frequências são maiores nesta época do ano, chegando a 6 m/s (vento Leste), segundo a rosa dos ventos apresentada na Figura 3.

O programa solicita dados para calibração, como a temperatura e a umidade relativa do ar, além da velocidade e direção do vento dominante para o período simulado. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos a partir das Normais Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (BRASIL, 1992). Houve uma preocupação em calibrar os dados com o local. Contudo, os dados médios utilizados foram semelhantes aos dados médios da estação meteorológica de referência para o mês de fevereiro de 2017, conforme Tabela 4. Essa semelhança se deve ao fato de o loteamento possuir uma característica similar, livre de obstáculos. O perfil do vento do loteamento estudado apresenta gradiente semelhante ao gradiente do local da estação de referência.

Tabela 4 – Comparação dos dados climáticos da estação de referência e dos dados das Normais Climatológicas 1961-1990, para validação da calibração

Dado Climático	Estação de Referência para o mês de fevereiro 2017	Normais Climatológicas (1961-1990)
Velocidade do vento	2,6 m/s	3 m/s
Direção do vento dominante	109° (Leste)	120° (Leste)
Temperatura do ar média horária (para às 21h)	26,1°C	25,4°C
Temperatura média horária mínima (às 6h)	23,5°C	22,6°C
Temperatura média horária máxima (às 15h)	31,2°C	30,4°C
Umidade relativa do ar média inicial (para às 21h)	76%	81,4%
Umidade média horária mínima (às 6h)	89,4%	97,7%
Umidade média horária máxima (às 15h)	57,2%	61,7%

Fonte: INMET (2017).

Isso justifica o fato de não ter sido realizadas medições in loco, dado à grande variabilidade da velocidade do vento cuja validade é restrita ao momento da medição. Os dados do vento, por exemplo, para terem validade meteorológica, precisam ser medidos por um período maior que dez anos.

Como o programa solicita temperatura e umidade relativa do ar média horária, esses dados foram obtidos a partir da metodologia de Alucci (1992), que propôs um procedimento para gerar a variação horária a partir de dados médios de temperaturas e umidades máximas, médias e mínimas, a partir das Normais Climatológicas de 1992. A Tabela 5 apresenta os dados de entrada para configuração climática no programa.

Tabela 5 – Configuração de dados climáticos para cidade de Maceió-AL

Mês de simulação	Fevereiro
Tempo de simulação	72 h (3 dias)
Horário do início da simulação	21 h
Intervalo de tempo para geração de arquivo de dados	60 min
Direção do vento dominante	-120° (Leste)
Velocidade do vento	3 m/s
Temperatura do ar média inicial (para às 21h)	25,4°C
Temperatura média horária mínima (às 6h)	22,6°C
Temperatura média horária máxima (às 15h)	30,4°C
Umidade relativa do ar média inicial (para às 21h)	81,4%
Umidade média horária mínima (às 6h)	97,7%
Umidade média horária máxima (às 15h)	61,7%
Umidade específica (para Natal-RN)	7.0 g/kg
Rugosidade	0.01
Nebulosidade	4.8

Fonte: Adaptado de Alucci (1992).

Os materiais de revestimento do solo especificados para as simulações foram: o asfalto (nos logradouros), solo arenoso (na faixa de areia da praia), e solo argiloso e vegetação com até 50 cm de altura (para as poucas áreas verdes existentes). Foram selecionados no recorte de estudo, seis pontos receptores de dados para os três cenários analisados, a fim de compará-los posteriormente. A escolha dos pontos contemplou diferentes configurações espaciais como também diferentes tipos de revestimentos de solo (Quadro 1).

Quadro 1 – Características dos pontos receptores

Ponto	Configurações do local
P1	Ponto localizado em uma área de cruzamento de ruas asfaltadas, no centro de um canteiro com vegetação rasteira, exposto à radiação solar direta.
P2	Ponto localizado no centro de uma rua asfaltada, com barreiras (entre edificações). A rua situa-se entre quadras com edificações adjacentes. O vento Nordeste incide paralelamente à rua.
P3	Ponto localizado no centro de uma rua asfaltada, com barreiras (entre edificações). Rua tipo cul de sac, dando acesso à área verde de preservação que divisa com o bairro vizinho. O vento Nordeste incide paralelamente à rua.
P4	Ponto localizado no centro do cruzamento de ruas perpendiculares com asfalto e barreiras (edificações). O ponto recebe incidência do vento Nordeste e do vento Sudeste (este último incide do oceano).
P5	Ponto localizado no centro de uma rua asfaltada com as mesmas características do ponto P2, porém, situa-se numa rua à 01 quadra da praia.
P6	Ponto localizado no centro de uma rua asfaltada com as mesmas características do ponto P3, à 01 quadra da praia.

Fonte: Os autores.

Resultados e discussão

Foram realizadas simulações computacionais para os parâmetros microclimáticos de temperatura do ar e direção e velocidade do vento. Para cada parâmetro, foram apresentados Tabelas-síntese e gráficos com os resultados das simulações no programa ENVI-met (BRUSE, 2017) para os horários das 9, 15 e 21 horas, nos três cenários analisados.

De acordo com a metodologia, o tempo de simulação foi de 72 horas (3 dias consecutivos), para que haja uma melhor calibração do programa. Neste sentido, o ENVI-met gera dados, por hora, em planilhas. Os dados extraídos de cada ponto receptor, foram sistematizados a fim de analisá-los comparativamente.

Temperatura do Ar

As Tabelas 6 a 8 apresentam o comportamento térmico para a variável temperatura do ar para 9, 15 e 21 horas:

Tabela 6 – Comportamento da temperatura do ar para às 9 horas, em °C

Ponto	Cenário Atual	Cenário 10 pavimentos	Cenário 20 pavimentos
P1	24,80	25,33	25,22
P2	25,07	25,30	25,29
P3	25,06	25,35	25,33
P4	25,08	25,27	25,28
P5	25,07	25,30	25,32
P6	25,05	25,36	25,39

Fonte: Adaptado de Bruse (2017).

Para o horário das 9 horas, observou-se que as temperaturas variaram de 24,8°C (no cenário atual) a 25,39°C (no cenário de 20 pavimentos), representando uma diferença de até 0,60°C entre os pontos analisados. A maior amplitude térmica foi encontrada no ponto P6 entre o cenário atual e o cenário de 20 pavimentos, chegando a uma diferença de até 0,34°C.

Tabela 7 – Comportamento da temperatura do ar para às 15 horas, em °C

Ponto	Cenário Atual	Cenário 10 pavimentos	Cenário 20 pavimentos
P1	28,20	28,70	29,22
P2	28,54	28,62	29,30
P3	28,34	28,64	28,94
P4	29,01	29,08	29,41
P5	28,55	28,62	29,25
P6	28,35	28,42	29,02

Fonte: Adaptado de Bruse (2017).

Às 15 horas, percebe-se uma variação de temperatura entre 28,20 °C (no cenário atual) e 29,41 °C (no cenário de 20 pavimentos), sendo a diferença de 1,21°C entre os pontos. O ponto P3 apresentou uma maior variação térmica, chegando a 0,33 °C.

Tabela 8 – Comportamento da temperatura do ar para às 21 horas, em °C

Ponto	Cenário Atual	Cenário 10 pavimentos	Cenário 20 pavimentos
P1	26,83	27,12	27,07
P2	27,15	27,22	27,30
P3	27,13	27,22	27,31
P4	27,15	27,23	27,31
P5	27,14	27,20	27,28
P6	27,13	27,21	27,30

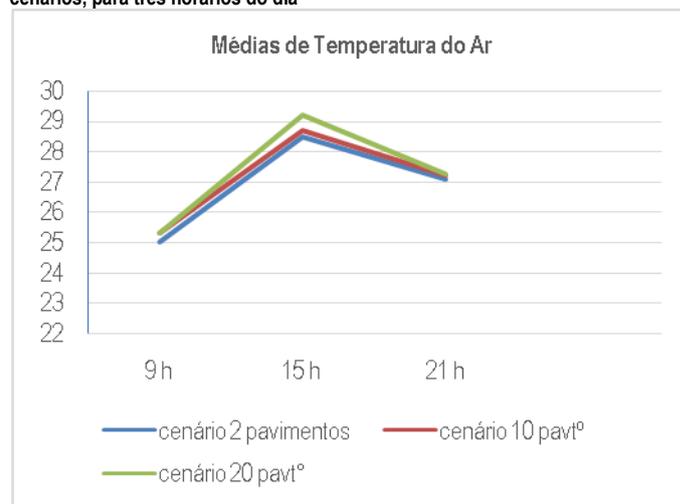
Fonte: Adaptado de Bruse (2017).

Às 21 horas, as temperaturas tiveram uma variação de 26,83 °C, no cenário atual, a 27,31 °C para o cenário de 20 pavimentos, o que revelou uma amplitude de 0,48 °C entre os pontos. O ponto P1 apresentou a maior variação, chegando a uma diferença de 0,34 °C, entre os cenários atual e de 20 pavimentos.

A Figura 19 apresenta o comportamento médio das temperaturas do ar nos cenários observados.

A maior diferença entre as médias de temperatura do ar foi de 0,7°C, comparando os três cenários para os mesmos horários. As médias de temperatura foram mais altas no cenário de 20 pavimentos. Esse resultado pode ser confirmado pela maior exposição das fachadas à radiação solar devido à configuração mais estreita das edificações deste cenário, quando comparado ao cenário de 10 pavimentos. Com isso, as características particulares de revestimento do solo e das superfícies de revestimento das edificações também contribuem para o armazenamento de calor devido ao baixo albedo, resultando num leve aumento da temperatura do ar.

Figura 19 –Gráfico comparando as médias de temperatura do ar nos três cenários, para três horários do dia



Fonte: Os autores.

Direção e Velocidade do Ar

As Tabelas 9 a 11 apresentam o comportamento térmico para a variável velocidade do ar para 9, 15 e 21 horas:

Tabela 9 – Comportamento da velocidade do ar para às 9 horas, em m/s

Ponto	Cenário Atual	Cenário 10 pavimentos	Cenário 20 pavimentos
P1	2,39	1,28	2,03
P2	2,57	1,15	2,71
P3	2,34	1,03	2,10
P4	2,86	2,32	3,41
P5	2,84	1,70	2,16
P6	2,52	1,25	2,81

Fonte: Adaptado de Bruse (2017).

Tabela 10 – Comportamento da velocidade do ar para às 15 horas, em m/s

Ponto	Cenário Atual	Cenário 10 pavimentos	Cenário 20 pavimentos
P1	2,57	1,33	2,00
P2	2,56	1,06	2,64
P3	2,24	1,00	2,06
P4	2,94	2,31	3,38
P5	2,79	1,57	2,01
P6	2,45	1,20	2,73

Fonte: Adaptado de Bruse (2017).

Tabela 11 – Comportamento da velocidade do ar para às 21 horas, em m/s

Ponto	Cenário Atual	Cenário 10 pavimentos	Cenário 20 pavimentos
P1	2,59	1,33	2,02
P2	2,57	1,03	2,65
P3	2,21	0,98	2,07
P4	3,01	2,33	3,43
P5	2,80	1,50	1,95
P6	2,45	1,19	2,71

Fonte: Adaptado de Bruse (2017).

Às 9 horas, observou-se que a velocidade do ar teve uma variação de 2,38m/s entre os pontos do cenário de 10 pavimentos e o cenário de 20 pavimentos. O maior fluxo de vento foi observado no ponto P4 com 2,86 m/s. Foi observado menor atrito da velocidade do ar no cenário de 10 pavimentos, devido à sua taxa de ocupação ser maior quando comparada ao cenário de 20 pavimentos. O atual Código de Edificações do município permite uma menor área de lâmina da edificação devido ao recuo compensatório. O ponto P3 por sua vez, obteve a menor velocidade no cenário de 10 pavimentos (1,03 m/s), devido ao maior adensamento permitido na configuração dos lotes existentes na localização deste ponto.

No horário das 15 horas, houve a mesma variação da velocidade entre os pontos dos cenários analisados no horário das 9 horas, 2,38 m/s, predominando a brisa leve. O ponto P3, também mantém a menor velocidade registrada neste horário.

Às 21 horas, a variação da velocidade correspondeu à 2,45 m/s entre os pontos. Confirma-se, mais uma vez, a menor velocidade do ar no ponto P3, com 0,98 m/s.

Na análise do fluxo de vento das simulações computacionais dos cenários analisados, foi possível identificar valores bastante similares entre os horários. As menores velocidades têm sido registradas no cenário de 10 pavimentos. Já o cenário de 20 pavimentos,

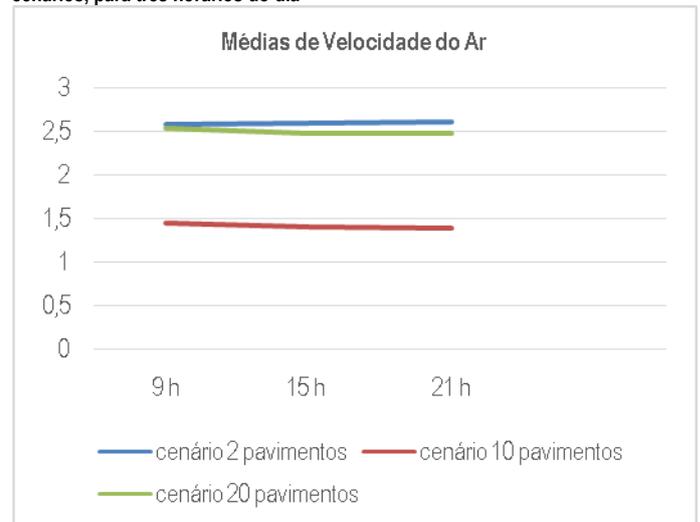
apresentou em grande parte dos pontos, as maiores velocidades. Os vetores de velocidade entre as edificações são mais fracos, embora a maioria das quadras esteja a barlavento. O recuo progressivo permitiu ao cenário de 20 pavimentos uma maior permeabilidade ao vento no loteamento Gurgury.

O contorno das quadras e das edificações apresentam as menores velocidades, enquanto que algumas ruas canalizam o seu efeito e, conseqüentemente aumentam sua velocidade.

Verificou-se como a morfologia urbana do loteamento pode influenciar na velocidade do vento, pois, nos pontos localizados em áreas com maior densidade de construções, apresentaram as menores velocidades do ar; as áreas mais abertas são as que apresentam os maiores valores de velocidades.

A maior diferença na velocidade média do ar foi de 2,45 m/s, também comparando os três cenários para os mesmos horários, especialmente no cenário hipotético de 20 pavimentos onde as médias de velocidade do ar foram mais altas (Figura 20).

Figura 20 – Gráfico comparando as médias de velocidade do ar nos três cenários, para três horários do dia



Fonte: Os autores.

As diferenças de temperatura foram relativamente pequenas diante do aumento da área construída que estes cenários alcançaram. A verticalização apresentou diferença relevante na ventilação natural. As maiores diferenças foram entre os cenários com 10 e 20 pavimentos. No entanto, os resultados das simulações mostraram que a mudança no padrão de ocupação do Loteamento Gurgury causa impacto no microclima da área.

Conclusão

O uso de ferramentas computacionais para análises térmicas urbanas permite a comparação de diversas soluções de projeto. No entanto, requer conhecimento prévio das singularidades do programa, especialmente quanto à sensibilidade aos diversos parâmetros de entrada. Para o estudo de caso aqui analisado, as simulações responderam satisfatoriamente aos resultados gerados.

De forma geral, para esta pesquisa, constatou-se que com o adensamento por verticalização, a movimentação do vento foi alterada, surgindo locais com sombra de vento, como também com efeito de canalização, o que contribui para o aumento da temperatura do ar em alguns pontos do loteamento. As configurações com maior porosidade apresentaram melhor desempenho quanto à ventilação natural. No entanto, a maior exposição solar das fachadas obtidas nesta configuração, produz um leve aumento na

temperatura do ar, quando comparada aos demais modelos.

Os resultados das simulações sugerem, entretanto, que edificações mais altas, com menores taxas de ocupação e com maior afastamento entre edifícios são preferíveis. Isso é possível, ainda que sejam mantidos os coeficientes de aproveitamento dos terrenos. Nestes casos, o aumento da porosidade da malha urbana favorece uma maior circulação do vento, a exemplo do ocorrido no caso do cenário com 20 pavimentos que apresentou melhor desempenho da ventilação.

As simulações computacionais estimaram o impacto das mudanças ocorridas quanto aos padrões de uso e ocupação do solo, devido às alterações no Código de Urbanismo e Edificações em 2007, e refletem mudanças significativas quanto à ventilação natural, uma estratégia importante para promoção do conforto térmico na cidade de Maceió.

Agradecimentos

Aos professores e colegas de turma, da disciplina CID 001 Ateliê Cidades, que nos auxiliaram direta ou indiretamente.

Referências

ALUCCI, M. P. **Conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica:** procedimentos para desenvolvimento e avaliação de projeto de edificação. 1992. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

AZERÊDO, J. de F. A. **Microclimas urbanos:** estudo bioclimático em bairros litorâneos, João Pessoa/PB. 2011. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Departamento Nacional de Meteorologia. 1992. **Normais Climatológicas 1961-1990.** Brasília, DNMET, 1992.

BRASIL. Estatuto da Cidade - Lei n. 10257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União.** Brasília, DF, 10 jul. 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm. Acesso em: 13 dez. 2014.

BRASIL ESCOLA. **Mapa de localização do estado de Alagoas.** Disponível em: <http://brasilescola.uol.com.br/brasil/alagoas.htm>. Acesso em 03/03/2018.

BRUSE, M. **ENVI-met 4.2 Summer17.** Disponível em: <http://www.envi-met.com>. Acesso em 05/10/2017.

CELEBRE ALAGOAS. **Bairros de Maceió.** Disponível em: <http://www.celebrealagoas.blogspot.com.br>. Acesso em 03/03/2018.

GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, July. 1992. doi: [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K)

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.

GOOGLE. Google Earth. Disponível em: www.google.com.br/earth/index.html. Acesso em 02/06/2017.

GOOGLE. Google Maps. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/Guaxuma>. Acesso em 03/03/2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

LAMBERTS, R.; MACIEL, A.; ONO, E. **Analysis Sol-Ar**, Versão 6.2. Florianópolis: LabEEE UFSC, 2009. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br>. Acesso em: 14/11/2017.

MARTINS, T. A. L.; BONHOMME, M.; ADOLPHE, L. Análise do impacto da morfologia urbana na demanda estimada de energia das edificações: um estudo de caso na cidade de Maceió-AL. **Ambiente Construído**, v.13. n. 4, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212013000400015>

MACEIÓ. Lei Municipal nº5486, de 30 de dezembro de 2005. Institui o Plano Diretor da Maceió, estabelece diretrizes gerais de política de desenvolvimento urbano e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Maceió**. Maceió, 88 p., dezembro, 2005.

MACEIÓ. Lei Municipal nº5.593, de 8 de fevereiro de 2007. Institui o Código de Urbanismo e de Edificações da Município de Maceió. **Diário Oficial do Município de Maceió**. Maceió, 172 p., fevereiro, 2007.

PARAMITA, B.; KOERNIAWAN, M. D. Solar envelope assessment in tropical region building case study: Vertical settlement in Bandung, Indonesia. **Procedia Environmental Sciences**. v. 17, p. 757-766, 2012. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.093>

PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ. **Base Cartográfica do Município de Maceió**. Maceió, 2008, CD-ROM.

SHASUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. **Energy and Building**, v. 31, n. 3, p. 221-235, abr. 2000. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(99\)00018-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00018-3)

TORRES, D. de A. **Desempenho térmico de habitações populares em Alagoas: alternativas para adequação climática**. 2015. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.

WANG, y.; ZHOU, D. Simulation Study of Urban Residential Development and Urban Climate Change in Xi'an, China. **Procedia Engineering**, v.180, p. 423-432, 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.201>

YAMAMOTO, Y. Measures to mitigate urban heat islands. **The Quarterly review**, n.18, p. 65-80, January. 2006.

¹ **Aline Maria Pereira Nogueira**

Arquiteta Urbanista. Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Alagoas. Professora Assistente do curso de Engenharia Civil e Engenharia de Produção da Universidade Federal de Alagoas, Campus Sertão. Endereço postal: Condomínio Aldebaran Beta, quadra R, 04, Maceió, AL, Brasil, 57.080-549

² **Iuri Ávila Lins de Araújo**

Arquiteto Urbanista. Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Alagoas. Professor Assistente do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca. Endereço postal: Rua Deputado José Lages, 345, Maceió, AL, Brasil, 57.035.330

³ **Leonardo Salazar Bittencourt**

Arquiteto Urbanista. Ph.D. em *Environment and Energy Studies - Architectural Association Graduate School*. Professor do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões. Endereço postal: Rua Jerônimo de Albuquerque, 431, Maceió, AL, Brasil, 57.035-020

⁴ **Gabriella Restaino**

Arquiteta. PhD em Cultura e Território - *Università Degli Studi Di Roma*. Professora convidada do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões. Endereço postal: Avenida General Luiz França Albuquerque, 6207, Maceió, AL, Brasil, 57.039-230