

# Avaliação de vizinhança LEED e análise microclimática: um estudo de caso da morfologia urbana do Porto Maravilha, RJ, Brasil

Amanda Martins Marques da Silva<sup>a</sup> , Gisele Silva Barbosa<sup>b</sup>  e Patricia Regina Chaves Drach<sup>c</sup> 

<sup>a</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: amanda.marques@poli.ufrj.br

<sup>b</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, RJ / Campus Macaé, Engenharia Civil, Macaé, RJ, Brasil. E-mail: giselebarbosa@poli.ufrj.br

<sup>c</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Urbanismo / Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, RJ, Brasil; Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências, Escola Superior de Desenho Industrial, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Petrópolis, RJ, Brasil. E-mail: patricia.drach@gmail.com

<https://doi.org/10.47235/rmu.v8i1.91>

Submetido em 09 de setembro de 2019. Aceito em 08 de maio de 2020.

---

**Resumo.** Nos últimos anos a região portuária do Rio de Janeiro recebeu um grande projeto de revitalização, denominado Projeto Porto Maravilha, que previa a alteração morfológica e o adensamento de alguns setores da região. O presente estudo teve como objetivo analisar os possíveis impactos das mudanças na legislação da área denominada Setor C, bem como sua correlação com a morfologia urbana. Inicialmente foram elaborados mapas para análise de duas situações, a primeira a partir dos parâmetros urbanísticos vigentes até 2009 e a segunda considerando os parâmetros descritos na nova legislação para a região, definida pela Lei Complementar 101/2009. Foram realizadas simulações computacionais utilizando as formas urbanas resultantes das legislações avaliadas. A comparação dos resultados obtidos permitiu a análise da forma urbana e da tipologia das edificações. A partir desta análise foram sugeridos novos parâmetros urbanísticos simulando uma situação hipotética tendo como base os requisitos do sistema LEED-Neighborhood, respeitando o ideal de adensamento da região, mas adotando uma nova morfologia urbana pautada por critérios de urbanismo sustentável. Os mapas gerados foram simulados e comparados aos mapas anteriores. A partir dos resultados obtidos foi possível observar que as alterações morfológicas desenvolvidas nos projetos urbanos simulados influenciariam o microclima da região estudada.

**Palavras-chave.** morfologia urbana, certificações ambientais, planejamento urbano, microclima urbano, Porto Maravilha.

---

## Introdução

A globalização, a evolução tecnológica e a necessidade recorrente das cidades globais de expandirem seus portos, provocaram uma fuga dos mesmos dos centros urbanos, e consequentemente, um esvaziamento das zonas portuárias centrais gerando ociosidade em sua região de implantação. Seguiu-se então, uma tendência do planejamento

estratégico de cidades, que visa dar novos usos às áreas degradadas das zonas portuárias, através de projetos de parcerias público-privadas, que pretendem inserir as cidades na competição global por atração de investimentos do capital externo mundial, a exemplo dos Docklands em Londres, de Baltimore, nos EUA e de Barcelona, na Espanha (Ferreira, 2013).

A cidade do Rio de Janeiro passou por diversas alterações urbanas impulsionadas por eventos como a Copa do Mundo (2014) e principalmente as Olimpíadas de 2016 realizada na cidade.

Nesse contexto, foi apresentado pela Prefeitura do Rio de Janeiro o projeto Porto Maravilha, uma proposta de revitalização da zona portuária da cidade, promovendo novos usos, especialmente os usos residenciais, comerciais e de serviços (Sinergia, 2013).

Grande parte das alterações foram possíveis devido alterações em parte da legislação urbana da região implementada através da Lei Complementar nº. 101, de 23 de novembro de 2009 (LC 101/2009), permitindo gabaritos maiores e possibilitando o aumento do potencial construtivo (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2009).

A alteração da morfologia urbana da área pode ser apontada como ponto marcante, com a criação de novas vias e alteração do zoneamento e dos parâmetros urbanísticos.

Apesar de ter sido realizado um Estudo de Impacto de Vizinhança (CDURP, 2010), que contemplava análises sobre uso e ocupação do solo, não foi contemplado a análise acerca dos impactos da densificação desta região.

Durante as últimas décadas, o conceito de compactação urbana vem sendo difundido como uma boa prática para projetos urbanos sustentáveis (Rogers e Gumuchdjian, 2001; Ascher, 2010; Newman e Jennings, 2008). No entanto, observa-se que o padrão de compactidade nos países tropicais deve ser diferenciado, pois este pode influenciar na formação de ilhas de calor e na alteração do microclima, além de interferir diretamente na utilização dos espaços urbanos (Barbosa et al., 2019).

Assim, o objetivo desta pesquisa foi comparar as possíveis alterações microclimáticas em distintos cenários morfológicos (hipotéticos) resultantes de diferentes legislações para a região.

Desta forma, foram considerados três cenários para a realização de simulações computacionais. O primeiro cenário corresponde à legislação anterior ao projeto Porto Maravilha definido pelos parâmetros urbanísticos dos Decretos 322/1976 e 7351/1988. O segundo cenário (hipotético) foi proposto a partir dos parâmetros da legislação urbana alterada através da LC

101/2009. Por fim, foi proposto um terceiro cenário no intuito de verificar uma nova possibilidade para a ocupação do solo daquela região, pautado por critérios de sustentabilidade do Leadership in Energy and Environmental Design for Neighborhood Development (LEED-ND), o LEED para Desenvolvimento de Bairros. Este último cenário foi denominado como Sistema para Adensamento Sustentável - SAS e simula uma proposta de alteração na legislação vigente a fim de verificar os benefícios de uma forma urbana que visa a melhoria da qualidade de vida.

Tal cenário recebeu destaque neste artigo, pois foi proposto a partir de um estudo detalhado das proposições do LEED-ND para a elaboração de um projeto (Marques da Silva, 2018)<sup>1</sup> que teve como intuito apresentar parâmetros para alterações na legislação visando o urbano sustentável e bioclimático. Essa proposição buscou manter a densidade populacional esperada com a LC 101/2009, porém com alterações urbanísticas voltadas para princípios de sustentabilidade urbana.

Para o estudo, foram consideradas diversas variáveis morfológicas, como a dimensão das quadras, a abertura das vias, o posicionamento e gabarito das edificações, as taxas de ocupação, a vegetação, entre outros. Levanta-se a questão de que as alterações na morfologia urbana assim como na tipologia podem influenciar o microclima através de mudanças na dinâmica dos ventos, bloqueando ou criando novos caminhos e na penetração da radiação solar; através das alterações dos materiais aumentando ou diminuindo a reflexão da radiação; através das intervenções das diferentes sombras tanto das edificações quanto das vegetações; além de muitas outras interferências que podem alterar o conforto ambiental.

São muitos os estudos que apontam que o conforto ambiental influencia diretamente na qualidade de vida (Corbella e Yannas, 2011; Knez e Thorsson, 2006; Lamberts et al., 2014). Emmanuel et al. (2015), por exemplo, em seus estudos para a cidade de Glasgow, apontaram que a introdução de áreas verdes podem desempenhar um papel fundamental para lidar com o aquecimento urbano presente nas regiões mais urbanizadas.

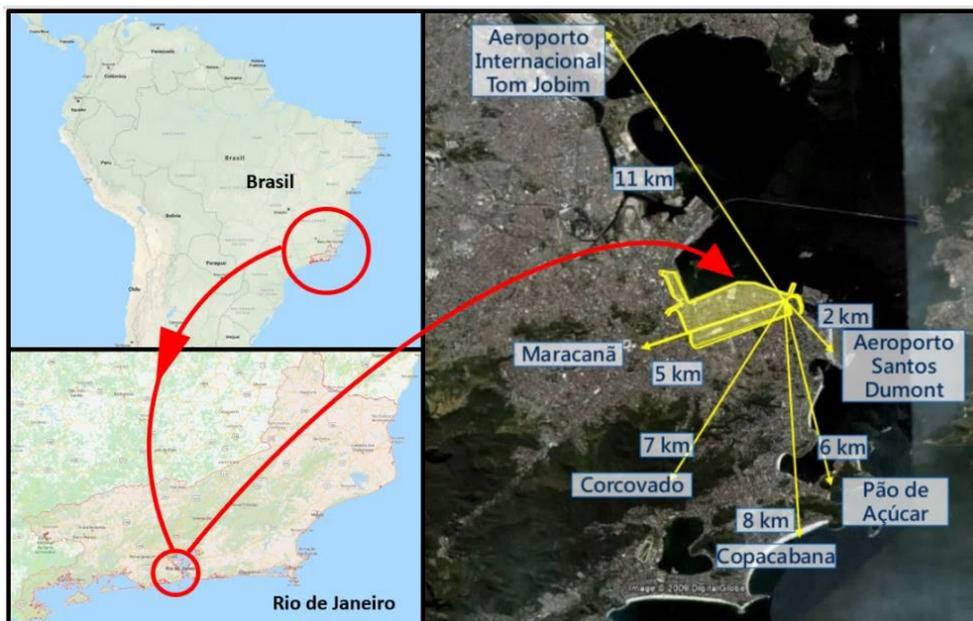
Para o desenvolvimento da comparação entre os três cenários, foi utilizada a ferramenta

computacional ENVI-met 3.1 (Bruse, 2009). Esta ferramenta trabalha com modelos tridimensionais que simulam o microclima urbano, por meio das interações entre superfície-vegetação-atmosfera. Efetua o cálculo do balanço de energia envolvendo as variáveis: temperatura, umidade, fluxo do ar, radiação solar, reflexão e sombreamento de edifícios e vegetação, turbulência local e sua taxa de dissipação e as trocas de água e calor dentro do solo.

Além das alterações climáticas também podem ser destacadas nos resultados as possíveis melhorias urbanas com a proposição de um cenário baseado no LEED-ND.

### Área de estudo: o projeto Porto Maravilha

A Zona Portuária, localizada na área Central da Cidade do Rio de Janeiro, Brasil, conforme Figura 1. Foi criada a partir de um aterro que modificou a linha da costa com o intuito de viabilizar a construção do Porto.



**Figura 1.** Localização do Porto Maravilha (fonte: adaptado de CDURP, 2017).

Com a evolução das técnicas das operações portuárias, o trecho do porto entre a Praça Mauá e a Avenida Francisco Bicalho foi se tornando obsoleto. Assim, uma grande área que outrora servia como área de apoio às operações portuárias, de caráter essencialmente industrial, tornou-se ociosa, formando vazios urbanos e deixando edificações subutilizadas ou abandonadas. Para recuperá-las para a cidade, foi concebido um plano de revitalização para a área, de forma a transformá-la num novo vetor de crescimento da cidade. Assim foi criada a Operação Urbana Consorciada - OUC da Área de Especial Interesse Urbanístico - AEIU da Região Portuária do Rio de Janeiro através da LC 101/2009. Sua finalidade era promover a reestruturação local, por meio da ampliação, articulação e requalificação dos espaços públicos da região, visando à melhoria da qualidade de vida de seus atuais e futuros moradores e à

sustentabilidade ambiental e socioeconômica da área (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2009).

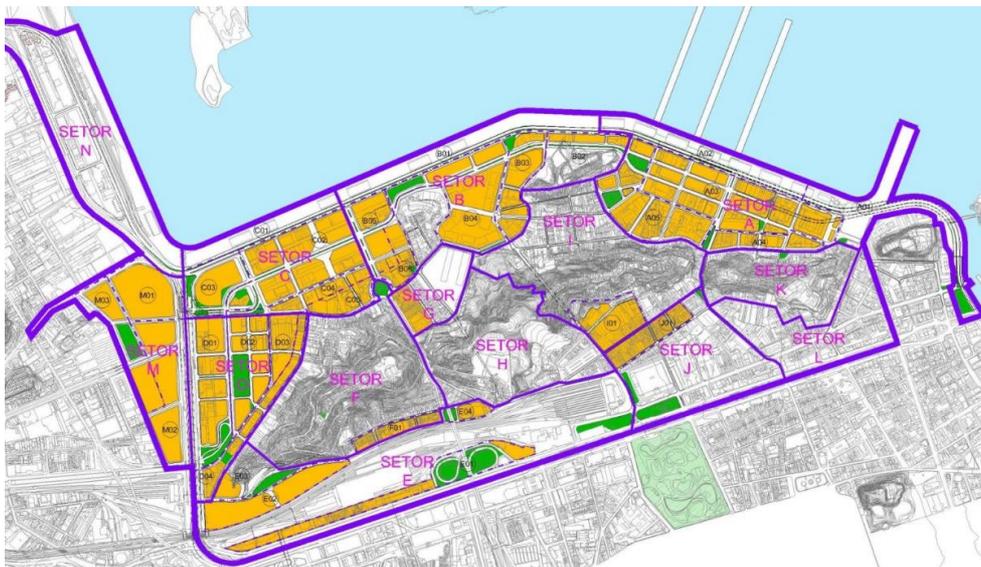
Para este plano foi considerada uma área de intervenção de aproximadamente 5 milhões de metros quadrados, próxima a grandes eixos de circulação e à área central da cidade.

As obras foram divididas em duas fases. E contemplavam tanto ações de melhoria de serviços, como coleta de lixo e construção de novas redes de água e esgoto, como obras de mobilidade e urbanização. Foram construídos túneis, abertas avenidas, reurbanizadas áreas de favela (em parte), entre outras obras.

A LC 101/2009 institui também os certificados de potencial adicional de construção (CEPAC), que se revelam como meios de pagamento de outorga onerosa do direito adicional de construção<sup>2</sup> para os imóveis contidos no perímetro da OUC.

A Figura 2 representa as áreas que poderão receber os potenciais adicionais de

construção que podem aumentar significativamente a área construída e a verticalização da região.



**Figura 2.** Áreas com previsão adicional de construção (fonte: Marques da Silva, 2018).

A OUC da Região do Porto do Rio de Janeiro visava transformar a região da zona portuária em uma área dinâmica que fosse uma nova referência de planejamento urbano para a cidade. Através da reformulação do desenho urbano e a implantação de novos estabelecimentos comerciais e residenciais na região portuária esperava-se o desenvolvimento econômico e social conciliado à melhoria da qualidade ambiental do local.

Porém, o presente estudo destaca que a nova legislação privilegiou o adensamento e a verticalização da região sem considerar questões importantes para a qualidade urbana como a escala do pedestre (Gehl, 2013), as possíveis alterações microclimáticas em um país tropical (Barbosa et al., 2019), a possível gentrificação (Souza, 2015), entre outras.

### **Morfologia urbana e projetos urbanos sustentáveis e bioclimáticos**

De acordo com Lamas (2016), a morfologia urbana é o estudo da forma do meio urbano nas suas partes físicas exteriores, ou elementos morfológicos, e na sua produção e transformação no tempo. Ou seja, é através dela que pode ser compreendido como a forma urbana pode afetar a sustentabilidade das cidades e a qualidade de vida dos indivíduos.

Ao estudar a morfologia urbana, pode-se considerar os níveis ou momentos de

produção do espaço urbano, pois cada região, bairro ou rua possui características únicas que requerem uma análise minuciosa a fim de evitar a generalização dos resultados.

Porém, o modelo de desenvolvimento urbano adotado desde a revolução industrial bem como seus impactos ambientais têm causado inúmeras discussões. Quanto mais as cidades se desenvolvem, mais complexas se tornam as soluções para estes impactos (MMA, 2015).

Os processos de planejamentos das últimas décadas se debruçam em questões de forma urbana, principalmente em função do desenvolvimento urbano sustentável, visto que as cidades são as maiores consumidoras de recursos naturais e também as maiores produtoras de poluição e resíduos.

A partir desta discussão surgem diversas correntes de planejamento, como os modelos de cidade compacta, concentração descentralizada, regiões de crescimento, subúrbios dispersos, entre outros. Neste contexto, uma nova corrente de planejamento se destacou: o New Urbanism, criado na segunda metade da década de 80, nos EUA (Oliveira, 2011). Esse grupo apontava a importância do bairro compacto e misto, além do uso compartilhado de espaços públicos dinâmicos e projetos arquitetônicos que preservassem a história da região e fossem integrados ao seu entorno.

Nas últimas décadas, o conceito de sustentabilidade urbana trouxe novas discussões acerca da ocupação do solo e suas interligações com o meio ambiente e a sociedade. O conceito é bastante amplo e sua definição é embasada pela busca do equilíbrio econômico, social e ambiental. A percepção da escassez de recursos torna possível promover a consciência da necessidade de alteração de modo de vida para garantir a existência humana e a diminuição do impacto ambiental.

Nesse contexto, surgem inúmeros projetos e planejamentos com princípios sustentáveis na tentativa de resolver ou ao menos neutralizar os diversos problemas que podem surgir no meio urbano.

Desta forma, destaca-se neste artigo a importância do enfoque em projetos bioclimáticos que visam a redução do consumo energético e o uso consciente dos recursos disponíveis (Higuera, 2006). É possível, por exemplo, encontrar nos espaços urbanos ruas com temperaturas mais altas ou mais baixas em relação a outras, com pouco nível de iluminação ou elevadas correntes de ar proporcionadas pela sua localização em relação à construção do seu entorno.

Segundo Lamberts et al. (2014), o estudo do clima e do local pode fornecer informações importantes ao programa de necessidades de um projeto. Um bom projeto de arquitetura ou urbanismo deve atender às necessidades do usuário bem como responder aos níveis de conforto ambiental e eficiência energética. Desta forma, é necessário o estudo do clima do local, uma vez que as variações climáticas terão influência na qualidade de vida dos usuários (Kruger et al., 2017).

Uma morfologia urbana adequada às características locais contribui para o menor gasto energético e a melhoria do conforto ambiental. Desta forma, a busca por projetos urbanos sustentáveis deve considerar o microclima e suas variáveis, como: proximidade de água, altitude, topografia, correntes oceânicas, etc (Lamberts et al., 2014).

Nos resultados das pesquisas de Knez e Thorsson (2006) foi demonstrado que aspectos socioculturais são capazes de impactar a avaliação perceptiva de um mesmo espaço ao ar livre, não sendo, portanto, esta percepção determinada exclusivamente por modelos de balanço de

calor baseados em fisiologia. Os experimentos de Vigier et al. (2015) apontam para o fato de que visualizar céu, sol, sombras e efeitos de luz desempenha um papel importante na percepção térmica do usuário dos espaços.

Krüger et al. (2017) a partir de estudos com coleta de dados em campo e aplicação de questionários em áreas tropicais quentes e úmidas similares observaram que os usuários de áreas de pedestres urbanas sem sombra e mais abertas (altos valores de SVF), sob condições extremas de estresse térmico, terão que lidar com respostas fisiológicas. O segundo fato observado é que a tolerância nestes indivíduos apresenta uma relação com os aspectos relacionados ao contexto físico destas áreas, podendo exacerbar ou reduzir desconforto térmico.

Assim, quando se discute conforto ambiental e qualidade de vida relacionados a um determinado bairro, deve-se pensar na proposição de áreas de lazer, espaços arborizados, acessibilidade, segurança, oferta de comércio e tudo o que possa atender a comunidade local, de modo a evitar deslocamentos desnecessários e contribuir para a redução do consumo energético<sup>3</sup>.

### **Certificação ambiental – LEED**

No âmbito mercadológico, para atestar que determinado empreendimento ou projeto foi elaborado, projetado, construído e operado de acordo com determinados princípios de sustentabilidade, surgiram diversos tipos de certificações ambientais. Entre as certificações mais importantes e utilizadas no Brasil, pode-se citar a certificação Leadership in Energy and Environmental Design (LEED).

Estas certificações são fornecidas por empresas privadas e consistem na declaração efetuada, de que um produto, processo ou sistema está em conformidade com requisitos especificados (Zangalli Jr., 2013).

O LEED é um sistema de classificação que avalia a sustentabilidade de um empreendimento. Através do seu processo é possível classificar o quanto um empreendimento é sustentável. Além do bom retorno financeiro que um empreendimento certificado pode ter, também há ganhos sociais e ecológicos (GBC Brasil, 2018).

Os projetos são analisados por sete dimensões e todas possuem pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos (recomendações) que à medida que são atendidos garantem pontos à edificação (GBC Brasil, 2018).

A Figura 3 apresenta algumas das tipologias de certificação LEED sendo cada uma delas específica para determinada finalidade.



**Figura 3.** Tipologia das Certificações (fonte: GBC Brasil, 2018).

O nível de certificação é definido conforme a quantidade de pontos adquiridos, podendo variar de 40 pontos a 110 pontos.

Dentre as certificações LEED, destaca-se para este trabalho a certificação *Leadership in Energy and Environmental Design*, na tipologia *Neighborhood* (LEED-ND) — traduzido para o português, "Desenvolvimento de Bairros", por ser considerado um dos mais utilizados no Brasil. Ela serviu como parâmetro para a comparação dos resultados e para a proposição de uma nova legislação para a área do Porto neste artigo. Optou-se por utilizar a certificação LEED-ND, pois é uma das mais completas e utilizadas internacionalmente, além de permitir replicação em outros projetos. Sabe-se que não contempla todos os critérios urbanísticos sustentáveis e falha, principalmente, em questões referentes à equidade social (Ameen et al., 2015), tão importante para um projeto sustentável. Porém, a certificação parece se adequar em diversos critérios, principalmente referente aos parâmetros bioclimáticos.

O sistema LEED para desenvolvimento de bairros é projetado para certificar projetos que tenham bom desempenho em termos de crescimento inteligente, urbanismo e construção verde. Podem ser aplicados em bairros inteiros, partes de bairros ou vários bairros. No entanto, sugere-se que o tamanho mínimo seja de pelo menos dois edifícios habitáveis e o máximo um total de aproximadamente 1,30 km<sup>2</sup> (USGBC, CNU e NRDC, 2011).

Este sistema também tem o objetivo de promover o redesenvolvimento de áreas

industriais antigas em bairros revitalizados, de forma a promover a integração de pequenas vias tranquilas de interior de bairro à conexões para outros locais e a manutenção de construções e estruturas históricas que fornecerão um senso único de lugar (USGBC, CNU e NRDC, 2011).

O sistema LEED-ND foi projetado a partir de pesquisas sobre as origens do desenho dos bairros e o estudo de práticas atuais. O US Green Building Council (USGBC), o Congresso para o Novo Urbanismo (CNU) e o Natural Resources Defense Council (NRDC) se uniram para desenvolver um sistema de classificação para o planejamento e desenvolvimento da vizinhança com base nos princípios combinados de Smart Growth (crescimento inteligente), New Urbanism (Novo Urbanismo) e infraestrutura e construção verdes. O trabalho do comitê central do LEED-ND, foi orientado por fontes como os dez princípios de crescimento inteligente da Smart Growth Network, a carta do Congresso para o New Urbanism e outros sistemas de classificação LEED (USGBC, CNU e NRDC, 2011).

Os pré-requisitos e créditos do sistema de classificação foram escritos para incentivar um desenvolvimento baseado nos bairros tradicionais que promovam as melhores práticas no desenvolvimento urbano (USGBC, CNU e NRDC, 2011).

As métricas de um bairro variam em densidade, população, usos, tipologia das habitações, costumes, crenças, economias, microclimas, etc (USGBC, CNU e NRDC, 2011).

O LEED-ND é dividido em cinco grandes categorias. A primeira categoria *Smart location and linkage* (SSL) — Localização inteligente e conexões – diz respeito à localização do projeto e suas conexões.

A segunda categoria *Neighborhood Pattern & Design* (NPD) — Padrão e Desenho de Bairro – é referente ao projeto de implantação do bairro e sua forma de desenvolvimento.

A terceira categoria *Green Infrastructure & Buildings* (GIB) — Infraestrutura Verde e Edificações – está relacionada aos requisitos de sustentabilidade das edificações que irão compor o bairro e como tais edificações deverão ser projetadas, construídas e operadas.

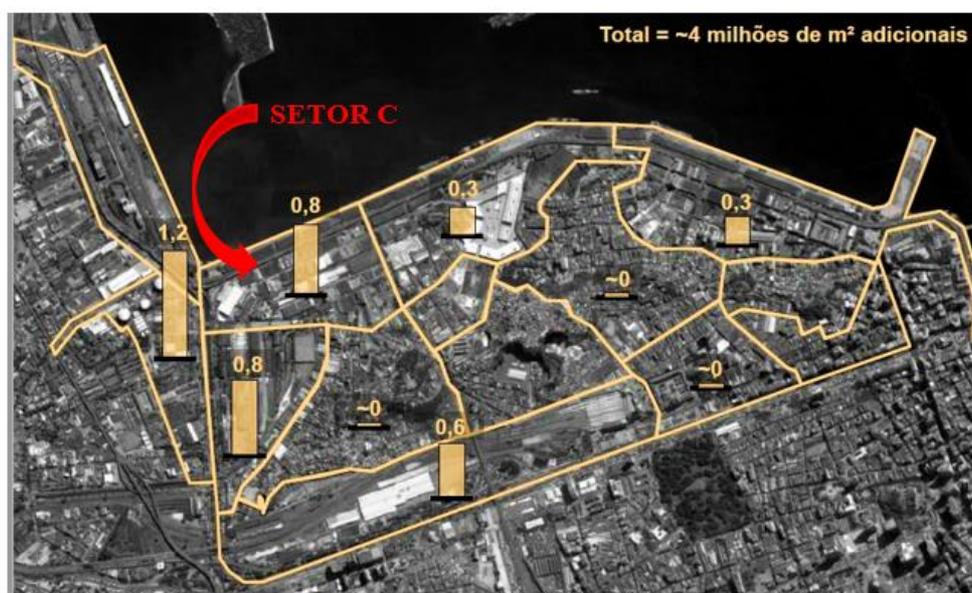
A quarta categoria *Innovation & Design Process* (IDP) — Inovação e Processo de Projeto – visa incentivar o processo de inovação durante o projeto e construção do empreendimento e o alcance de performance exemplar em algum dos requisitos disponíveis nas categorias já mencionadas. Incentiva também a participação de um profissional acreditado pelo USGBC de forma a melhorar o processo de certificação do empreendimento.

E finalmente a quinta e última categoria *Regional Priority Credits* (RPC) — Créditos de Prioridade Regionais – intenciona fomentar a realização de atividades que tenham importância no contexto do empreendimento de acordo com as especificidades ambientais, sociais e econômicas existentes em cada local.

## Materiais e Métodos

### Procedimentos metodológicos das simulações

A pesquisa se concentra na simulação do ambiente denominado como Setor C. A escolha desta área foi definida em função das características da região e dos parâmetros adotados pela LC 101/2009. O Setor C se encontra entre a Baía da Guanabara, que pode propiciar uma boa ventilação para o interior da área, e o Morro da Providência, que pode funcionar como uma barreira natural a essa ventilação, fazendo com que o calor se acumule no interior deste setor. Além disso, este é um dos setores que mais admitem o uso dos CEPAC's, conforme demonstrado na Figura 4.



**Figura 4.** Potencial construtivo adicional a ser convertido em CEPAC's (fonte: adaptado de CDURP, 2017).

Foi realizada uma análise comparativa entre três cenários, sendo o primeiro simulado a partir dos parâmetros urbanísticos vigentes até 2009 (Decretos 322/1976 e 7351/1988), o segundo cenário considerando os parâmetros descritos na nova legislação urbanística para a região definida pela LC 101/2009 e o terceiro cenário corresponde a proposição de Marques da Silva (2018) baseada nos critérios do LEED-ND. Esse último cenário respeitou o ideal de adensamento da região e propôs uma nova morfologia urbana com tipologias mais baixas e alterações na ocupação do solo, buscando uma melhoria dos padrões de qualidade ambiental para a área, pautada por critérios de urbanismo

sustentável. Tal proposta foi denominada SAS (Sistema de Adensamento Sustentável).

Foram gerados mapas com as formas urbanas resultantes das legislações avaliadas que serviram de base para a realização das simulações computacionais, com o uso do software ENVI-met e análises gráficas, qualitativas e quantitativas no intuito de verificar possíveis alterações microclimáticas a partir das modificações morfológicas. Através dos resultados obtidos, comparados entre si, foi possível analisar as alterações microclimáticas entre as diferentes formas urbanas.

Destaca-se que os três cenários são projetos simplificados e não detalhados, e que têm como intuito embasar a análise morfológica. Desta forma, o foco não foi dado ao detalhamento e definições projetuais, mas sim às análises das alterações microclimáticas observadas nas simulações computacionais.

#### *Critérios para base de dados*

Para a definição do mapa do primeiro cenário, de acordo com os parâmetros urbanísticos definidos pelo Decreto 322/1976 (Figura 5), os arquivos consultados foram obtidos por meio de pesquisas documentais

das legislações vigentes, em levantamentos fotográficos de arquivos pessoais e históricos da região, em levantamentos “in loco” da área construída e através das plantas cadastrais do Município do Rio de Janeiro fornecidas pelo Instituto Pereira Passos (IPP).

O segundo mapa (Figura 6), desenvolvido com base nos parâmetros definidos pela LC 101/2009, é uma morfologia hipotética proposta pelos autores aproveitando ao máximo as possibilidades da nova lei. As alterações do traçado viário seguiram as alterações reais feitas no projeto do Porto Maravilha.



**Figura 5.** Levantamento da ocupação do Setor C em 2011 - Decreto 322/1976 (fonte: Marques da Silva, 2018).



Figura 6. Ocupação do Setor C simulada com base na LC 101/09 (fonte: Marques da Silva, 2018).

A Figura 7 ilustra as principais alterações morfológicas na área de estudo propostas pela LC 101/2009 em comparação à

legislação vigente à época. Foi proposta a abertura de vias, divisão de quadras e a inclusão de áreas permeáveis.



Figura 7. Alterações morfológicas - Decreto 322/76 x LC 101/09 (fonte: Marques da Silva, 2018).

### *Metodologia da proposta de alteração da legislação a partir dos critérios LEED-ND*

Para a definição da morfologia do terceiro cenário (Sistema de Adensamento Sustentável) baseado nos parâmetros do LEED-ND, foram consideradas as cinco categorias definidas pela certificação já apresentadas anteriormente no artigo, além de outros critérios de urbanismo sustentável como os oito princípios do Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável – DOTS (WRI Brasil, 2015)<sup>4</sup>.

Segundo o projeto Porto Maravilha (CDURP, 2017) os Padrões de Sustentabilidade para novas edificações na área do projeto devem atender, dentre outros, os seguintes requisitos:

- Parâmetros específicos de afastamento e recuo / ventilação e iluminação natural;
- Economia de consumo e reaproveitamento de água;
- Economia e/ou geração local de energias limpas / telhados verdes;
- Uso de materiais com certificação ambiental;
- Facilitação de acesso e uso de bicicletas.

Porém, apesar do Projeto do Porto prever benfeitorias com viés ecológico, a LC 101/2009 define parâmetros urbanísticos que contribuem para uma região caracterizada por edificações com até 50 pavimentos, com implantação espaçada e muitas áreas ociosas entre as mesmas. Desta forma, sugere-se que esse ‘padrão’ urbano resultante da revitalização não é sustentável. Observa-se que a forma urbana a ser gerada pela ocupação imobiliária pautada pelos parâmetros da LC 101/2009, possivelmente, trará ineficiência para a região e uma baixa vitalidade urbana.

Já o terceiro cenário (SAS) se propôs a verificar novos parâmetros urbanísticos definidos a partir de critérios sugeridos pela certificação LEED-ND visando um melhor aproveitamento da área na ótica do usuário e mantendo os indicativos ecológicos já estabelecidos pelo projeto do Porto Maravilha citados anteriormente.

Destaca-se que a proposição não se pautou apenas na busca por melhorias microclimáticas. Apesar deste estudo se basear na análise prioritariamente microclimática, sugere-se que o projeto urbano sustentável e bioclimático é muito

mais complexo e deve considerar diversos parâmetros como a mobilidade, o uso misto, a infraestrutura verde, a busca por equidade, entre outros. Desta forma, as alterações morfológicas propostas consideraram critérios que não dizem respeito exclusivamente ao microclima, mas que contribuem para a melhoria da qualidade de vida de habitantes e usuários.

Para a elaboração da metodologia foram analisados os requisitos da ferramenta LEED-ND em comparação aos padrões de sustentabilidade para novas edificações sugeridas pelo Projeto Porto Maravilha. Os parâmetros a seguir foram considerados de maior relevância para utilização na metodologia proposta:

- Rede e Infraestrutura cicloviária;
- Vias para pedestre;
- Desenvolvimento compacto;
- Diversidade de usos em centros de bairros;
- Ruas arborizadas;
- Edifícios certificados;
- Eficiência energética mínima nas edificações;
- Eficiência hídrica mínima nas edificações;
- Prevenção da poluição na atividade da construção;
- Gestão de águas pluviais;
- Redução de ilhas de calor;
- Gerenciamento de resíduos sólidos.

Salienta-se que o projeto resultante é uma das diversas possibilidades baseadas em tais critérios da legislação proposta. A nova morfologia (SAS) será apresentada na Figura 15 nos resultados deste artigo <sup>5</sup>.

### *Metodologia para simulação do microclima urbano*

Para a simulação do microclima da região a partir das três formas de ocupação do solo foi utilizado o software ENVI-met, na versão 3.1. Este software foi desenvolvido pelo geógrafo Michael Bruse da Universidade de Bochum, na Alemanha e é um software livre.

O ENVI-met é um modelo tridimensional que simula o microclima urbano. É capaz de simular interações entre superfície, vegetação e atmosfera, calculando o balanço de energia por meio de diversas variáveis. O modelo se baseia nos princípios da mecânica dos fluidos e nas leis fundamentais da termodinâmica. Para simulação do microclima urbano, o

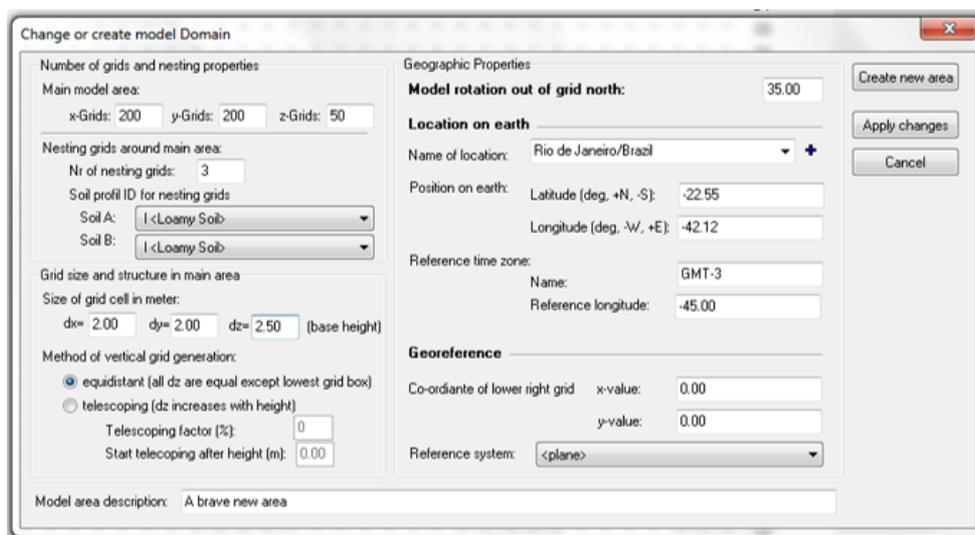
programa necessita que sejam inseridos dados climatológicos, como temperatura do ar, umidade absoluta e relativa, velocidade e direção dos ventos, além de dados referentes às superfícies a serem simuladas, como tipo de pavimentação e/ou revestimento e altura das edificações (Bruse, 2017).

A partir da planta cadastral da Cidade do Rio de Janeiro, fornecida pelo Instituto Pereira Passos (IPP), do levantamento de dados “in loco” e através dos parâmetros urbanísticos das legislações já citadas anteriormente, foram elaborados desenhos no software AutoCAD (AutoDesk), onde foram realizadas hachuras correspondentes às pavimentações, gabarito das edificações e vegetações. Essas figuras geradas no AutoCAD foram inseridas no ENVI-met, juntamente com os dados climatológicos da região, onde foram realizadas as simulações da temperatura, intensidade e velocidade da ventilação, umidade relativa, fator de visão do céu e radiação solar difusa do local. Em função de restrições existentes no software, os mapas com os dados levantados do Setor C necessitaram ser divididos em duas partes para efeito de simulação. Após as imagens geradas separadamente, as mesmas foram

editadas (unidas) para que a área fosse representada em toda a sua extensão.

Observa-se que, apesar das limitações computacionais da ferramenta, a simulação considera o entorno como constante. Isso é, onde é considerado mar, por exemplo, o programa considera que a continuidade dessa região também é mar. Se a região é simulada com um determinado padrão morfológico, o programa considera que o entorno possui características semelhantes.

O ENVI-met trabalha com uma modelagem em três dimensões onde a menor unidade é um cubo, denominado grid cell; que, lado a lado irão montar o volume em três dimensões da representação simplificada da região. Para começar a representar a área a ser modelada no programa, é necessário informar o grid a ser utilizado, isto é, determinar quantos destes cubos tem o volume em extensão de área (que deve ser quadrada ou retangular) e altura e qual o tamanho de cada um deles. O tamanho das células influencia na precisão do dado obtido visto que para modelar a área é necessário designar qual parte da morfologia urbana cada grid cell pertence. O grid utilizado neste estudo de caso é de 200 x 200 x 50, com dimensões dx e dy de 2,0 metros e dz de 2,5 metros, como mostra a Figura 8<sup>6</sup>.



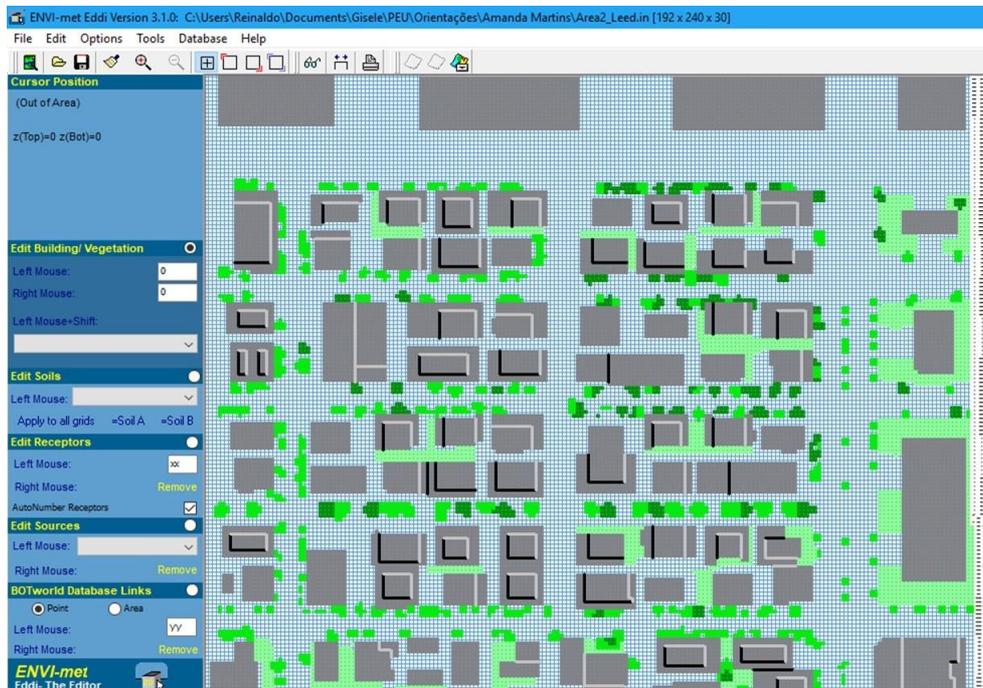
**Figura 8.** Dados do domínio do modelo da área de interesse (fonte: elaborada pelas autoras com auxílio de alunos bolsistas do LabUrb\POLI\UFRJ).

Em seguida, foi necessário definir os parâmetros das formas urbanas a serem representadas. Para a modelagem das árvores foi escolhido o tipo “MO” (árvore com 20m de altura, densidade média e sem coroa definida), pois é o que mais se assemelha com a vegetação encontrada na região. Para a

modelagem de edificações o software solicita apenas sua altura em metros e tipo de material. Para estimar as alturas foi feita uma pesquisa *in loco* para a primeira simulação (situação anterior ao Projeto Porto Maravilha), uma simulação de alturas e afastamentos possíveis a partir dos

parâmetros da LC 101/2009, e por fim, a simulação de alturas e afastamentos baseados nos parâmetros definidos para a ocupação da área com indicadores do LEED-ND (Marques da Silva, 2018). Para a contagem de andares de cada uma das edificações, foi contabilizado o térreo e foi assumido o pé-direito de 3 metros para cada andar.

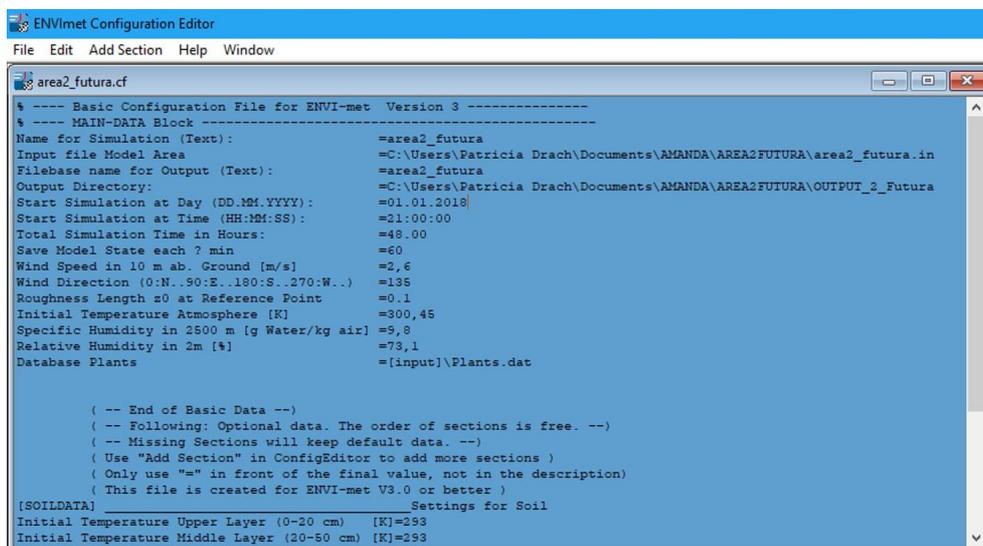
Para a cobertura de solo, foram utilizados os modelos de asfalto para os leitos de tráfego de automóveis e cimento ou granito para os passeios e demais áreas. Ainda foram utilizados modelos de grama, água e solo exposto para representar todos os materiais encontrados na região. A Figura 9 mostra a imagem da modelagem simplificada de um dos cenários simulados no ENVI-met.



**Figura 9.** Feição inicial do Programa com a área escolhida (fonte: elaborada pelas autoras com auxílio de alunos bolsistas do LabUrb\POLI\UFRJ).

Para chegar a esta imagem, simplificações tiveram que ser feitas em prol não somente da pixelização da área, mas das limitações do programa.

Elaborada a área do modelo, o programa demanda configurar os dados de entrada para que possa fazer as modelagens (Figura 10).



**Figura 10.** Dados de configuração do Programa. (fonte: elaborada pelas autoras com auxílio de alunos bolsistas do LabUrb\POLI\UFRJ).

Para a simulação do ENVI-met, foram usados dados climáticos do Aeroporto Santos Dumont. A data escolhida como referência para a simulação foi o dia 02 de janeiro de 2018 no horário de 12h-13h. Apesar do dia definido para as simulações, para a inserção dos dados climatológicos foi realizada uma média das temperaturas, umidade, direção e velocidade dos ventos do verão de 2018 (dez/2017 a fev/2018). A hora inicial da simulação foi às 13h do dia 01 de janeiro de 2018, pois o programa necessita das primeiras horas de simulação para equalização dos dados<sup>7</sup>. Os resultados obtidos foram os referentes às 12h do dia 02 de janeiro de 2018 para os três cenários.

## Resultados

Assim como os procedimentos metodológicos, os resultados também foram subdivididos em dois tópicos, um para expor e analisar os resultados da proposta de alteração da legislação urbana local e outro

para analisar os resultados das simulações de microclima.

### Resultados da proposta de alteração da legislação urbana<sup>8</sup>

Como já foi apresentado, ao analisar e entender as conformações morfológicas resultantes dos parâmetros urbanísticos da LC 101/2009, foi possível desenvolver uma proposta metodológica (SAS) para alteração destes parâmetros.

Para criar critérios para a obtenção das CEPAC's máximas, foi estabelecida uma pontuação, que foi dividida em 4 grupos. São eles: Pedestres (Figura 11), Lote (Figura 12), Edificação (Figura 13) e Construção (Figura 14). Cada grupo possui a possibilidade de acúmulo de 1,2 pontos, no entanto, é contabilizado no máximo 1 ponto. Os critérios e os valores para a pontuação podem ser observados em detalhe, nas Figuras 11, 12, 13 e 14 (Marques da Silva, 2018).

PEDESTRES – GRUPO 1	PONTUAÇÃO MÁXIMA DO GRUPO	1,00
<b>FACILIDADES PARA PEDESTRES</b>		
Acessos diretos ao empreendimento para cada fachada.	Uma entrada funcional a cada 30m	0,20
	Uma entrada funcional a cada 22,5m	0,30
Excluindo-se entradas de veículos.	Uma entrada funcional a cada 15m	0,40
Fachadas voltadas para um espaço público com os seguintes afastamentos.	Afastamento frontal menor ou igual a 7,5m.	0,10
	Afastamento frontal menor ou igual a 5m.	0,20
Isenção de atender os afastamentos frontais previstos na legislação.	Afastamento frontal menor ou igual a 2,5m.	0,30
	Afastamento frontal menor ou igual a 0,5m.	0,40
Manter fachadas em material translúcido ou aberta e sem grades entre as alturas de 0,90m a 2,50m de acordo com o seguinte percentual.	30% da área da fachada do piso térreo.	0,20
	60% da área da fachada do piso térreo.	0,30
	90% da área da fachada do piso térreo.	0,40

**Figura 11.** Proposta Metodológica SAS – Grupo 1: Pedestres (fonte: Marques da Silva, 2018).

LOTE – GRUPO 2	PONTUAÇÃO MÁXIMA DO GRUPO	1,00
<b>FACILIDADES PARA BICICLETAS</b>		
<p>Prover espaços para guarda de bicicletas e fornecer área de chuveiro, vestiário e armário.</p> <p>Caso a edificação possua várias entradas os bicicletários podem ser proporcionalmente divididos entre elas.</p> <p>No caso de edificações de uso misto, atender proporcionalmente aos requisitos de cada uso descrito.</p>		
Edificações residenciais	02 espaços de estacionamento para cada unidade residencial.	0,40
Edificações de varejo	01 espaço de estacionamento para cada unidade de varejo + 01 espaço de estacionamento para no mínimo 30% da ocupação flutuante planejada.	0,20
	1 chuveiro a cada 10 espaços de bicicleta – Seguir determinações da NR-24	0,20
Edificações comerciais	01 espaço de estacionamento para no mínimo 10% da ocupação fixa planejada + 01 espaço de estacionamento por cada andar para visitantes.	0,20
	1 chuveiro a cada 10 espaços de bicicleta – Seguir determinações da NR-24	0,20
<b>CONEXÃO COM A COMUNIDADE</b>		
<p>Projetar a edificação de forma que seja permitida a utilização pública de parte do lote no pavimento térreo.</p> <p>Permitida a supressão dos afastamentos no embasamento da edificação desde que seja projetada uma área de passagem, um parque, praça ou uma horta urbana comunitária, aberta e sem grades, para uso da população local com superfície permeável. Não estão incluídas vias para veículos e áreas de estacionamento.</p>		
Supressão dos afastamentos frontais - Máximo de 02 laterais.	Destinar 10% do lote ao uso da comunidade.	0,20
Supressão dos afastamentos frontais e um lateral - Máximo de 03 laterais.	Destinar 20% do lote ao uso da comunidade.	0,40
<b>SOMBREAMENTO DE PASSEIOS</b>		
<p>Fornecer sombreamento dos passeios contíguos ao lote.</p> <p>A arborização deve ser plantada na área de afastamento do lote.</p> <p>Cálculo realizado em função da estimativa de crescimento da copa das espécies arbóreas. Espécies nativas ou adaptadas.</p>		
Percentual mínimo de sombreamento dos passeios	40% dos passeios sombreados.	0,20
	60% dos passeios sombreados.	0,40

**Figura 12.** Proposta Metodológica SAS – Grupo 2: Lote (fonte: Marques da Silva, 2018).

EDIFICAÇÃO - GRUPO 3	PONTUAÇÃO MÁXIMA DO GRUPO	1,00
<b>CONTROLE DE INUNDAÇÃO</b>		
Construir sistema de captação e reaproveitamento de água da chuva	Reter 75% da média pluviométrica dos últimos 10 anos.	0,15
	Reter 90% da média pluviométrica dos últimos 10 anos.	0,30
Construir e manter um percentual do piso térreo com pavimentação permeável.	20% da área do terreno.	0,10
	30% da área do terreno.	0,20
<b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b>		
Instalação de painéis solares para redução da energia elétrica utilizada nas áreas comuns da edificação.	Redução de 3% da energia elétrica das áreas comuns	0,10
	Redução de 7% da energia elétrica das áreas comuns	0,20
<b>MICROCLIMA</b>		
Redução das ilhas de calor – telhado. Utilizar materiais de alta refletância no telhado.	Telhado pouco inclinado (menor ou igual a 2:12) - SRI 82	0,10
	Telhado muito inclinado (maior que 2:12) - SRI 39	0,10
Redução das ilhas de calor – pavimentação. Utilizar materiais de alta refletância na pavimentação.	Utilizar materiais de pavimentação com SRI de pelo menos 33	0,10
Projetar, construir e manter um terraço jardim no topo do embasamento da edificação. Não é permitida utilização de grama artificial.	75% da área livre de cobertura do embasamento.	0,15
	90% da área livre de cobertura do embasamento.	0,3
<b>CONSTRUÇÕES CERTIFICADAS</b>		
Projetar e construir a edificação de acordo com pelo menos 1 das certificações ambientais listadas: Selo Procel de Economia de Energia para Edificações, selo casa azul, LEED, Aqua.	Apresentar o projeto, memorial de cálculo de todos os itens e estratégias a serem seguidas para o alcance da certificação e a inscrição do empreendimento na certificação selecionada.	1,00

**Figura 13.** Proposta Metodológica SAS – Grupo 3: Edificação (fonte: Marques da Silva, 2018).

CONSTRUÇÃO – GRUPO 4	PONTUAÇÃO MÁXIMA DO GRUPO	1,00
<b>PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO DURANTE A CONSTRUÇÃO</b>		
Estabelecer e cumprir um plano com estratégias para prevenção da poluição no entorno da obra.	Apresentar plano de prevenção a poluição e relatório mensal de acompanhamento.	0,60
<b>GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS</b>		
Estabelecer um plano com estratégias de coleta, armazenamento e disposição de resíduos (PGRCC). Prever estratégias para armazenamento temporário de resíduos que possam ser reutilizados na obra.	Desviar 50% dos resíduos dos aterros sanitários.	0,20
	Desviar 75% dos resíduos dos aterros sanitários.	0,40
	Desviar 95% dos resíduos dos aterros sanitários.	0,60

**Figura 14.** Proposta Metodológica SAS – Grupo 4: Construção (fonte: Marques da Silva, 2018).

Observando a Figura 13, é possível perceber, por exemplo, que no Grupo Edificação, há a possibilidade de adquirir a pontuação completa através da certificação da construção.

Para a aplicação do SAS, foram alterados os parâmetros dispostos na LC 101/2009 com o intuito de adensar mais a área e verticalizar menos, tornando o espaço mais agradável ao uso do pedestre (Gehl, 2013).

Todos os parâmetros da LC 101/2009 foram alterados, sendo que o Coeficiente de Aproveitamento Máximo da LC 101/2009 passou a chamar-se de Coeficiente de Aproveitamento de CEPAC (CAC) e um

novo Coeficiente de Aproveitamento Máximo (CAM) foi instituído, que pode ser alcançado a partir do acúmulo dos pontos previstos na metodologia proposta.

A partir da avaliação dos parâmetros urbanísticos das legislações de 1976 e 2009, bem como da avaliação dos mapas com as simulações comparativas, foi proposta uma nova regra. As Figuras 15 e 16 reproduzem os parâmetros urbanísticos anteriores, tanto do Decreto 322/1976 e Decreto 7351/1988, quanto os parâmetros da LC 101/2009. A Figura 17 apresenta os parâmetros urbanísticos propostos para a área (Metodologia SAS).

<b>DECRETO 322/76 E 7351/88</b>					
ZONA	LEGISLAÇÃO PERTINENTE	GABARITO m	TAXA DE OCUPAÇÃO (%)	ÍNDICE DE APROV. DO TERRENO (IAT)	AFASTAM. FRONTAL (m)
ZP	Dec. 322/76	23	70%	5	Variável
ZR-5	Dec. 7351/88	11	70%	2,1	isento

**Figura 15.** Parâmetros urbanísticos Decreto 322/1976 e Decreto 7351/1988 (fonte: Marques da Silva, 2018).

**LEI COMPLEMENTAR 101/09**

ZONA / SUBSETOR	ÁREA MÍNIMA DO LOTE (m <sup>2</sup> )	GABAR. m / pav	TO (%)	COEF. DE APROV. BÁSICO (CAB)	COEF. DE APROV. MÁXIMO (CAM)	AFASTAM. FRONTAL (m)
ZUM / C1	2.000	11 - 3	70	2,10	2,10	7
ZUM / C2	2.000	120 - 40	50	1,00	8,00	7
ZUM / C3	2.000	150 - 50	50	1,00	12,00	7
ZR-5 / C4	2.000	60 - 20	50	1,00	4,20	7
ZR-5 / C5	1.000	11 - 3	70	1,00	2,10	isento

**Figura 16.** Parâmetros urbanísticos Lei Complementar 101/2009 (fonte: Marques da Silva, 2018).

**METODOLOGIA SAS**

ZONA / SUBSETOR	ÁREA MÍNIMA DO LOTE (m <sup>2</sup> )	GABARITO m / pav	TO (%)	COEF. DE APROV. BÁSICO (CAB)	COEF. DE APROV. CEPAC (CAC)	COEF. DE APROV. MÁXIMO (CAM)	AFASTAM (m)	EMBASAM. h MÁXIMA (m)
ZUM / C1	2.000	11 - 3	70	2,10	2,10	2,10	7,00	-
ZUM / C2	850	48 - 16	70	1,00	4,00	8,00	5,00	12,00
ZUM / C3	1.000	60 - 20	70	1,00	8,00	12,00	5,00	12,00
ZR-5 / C4	800	36 - 12	70	1,00	3,00	7,00	5,00	9,00
ZR-5 / C5	500	12 - 4	70	1,00	1,50	2,10	isento	6,00

**Figura 17.** Parâmetros urbanísticos Metodologia SAS (fonte: Marques da Silva, 2018).

A partir dos parâmetros urbanísticos propostos na Figura 17 foi desenvolvido no AutoCAD o modelo com a conformação urbana definida pela nova proposta morfológica para a região - Sistema para Adensamento Sustentável - SAS, conforme Figura 18.

Destaca-se que as escolhas projetuais feitas nessa proposta são somente uma das inúmeras possibilidades de projeto. Este projeto não se debruça sobre a discussão e possibilidades projetuais. Dessa forma, se ateu a supor uma ocupação regida pela legislação proposta e observar as possíveis alterações microclimáticas em diferentes morfologias. Observa-se que as escolhas projetuais poderiam alterar os resultados.

A proposta apresentada na Figura 19 destaca a abertura de uma via de automóveis e uma via exclusiva a pedestres, de forma a diminuir o tamanho da quadra e melhorar a caminhabilidade.

Nota-se a partir do mapa (Figura 18) que uma das principais alterações morfológicas foi a possibilidade de redução do terreno. Pela LC 101/2009, os terrenos deveriam possuir um mínimo de 2.000 mil metros quadrados na Zona do Setor C. No SAS esse mínimo foi reduzido para até 850 metros quadrados, no mesmo zoneamento. Essa redução tem como

intenção possibilitar a variabilidade de dimensões de imóveis, permitindo tanto a compra por grandes empresas quanto por empreendedores com menor poder aquisitivo. Essa nova proposta de parcelamento do solo, permitiu que cada quarteirão em média, fosse parcelado em cerca de oito terrenos vendáveis, enquanto na proposta anterior essa subdivisão era de apenas três terrenos em média.

Também foi proposta a ampliação da quadra onde se encontra o Hospital do Instituto Nacional de Câncer - INCA e a alteração de seu subsetor de C2 para C3, permitindo assim o alcance de um coeficiente máximo de aproveitamento (CAM) maior, uma vez que estes lotes se encontram entre a Rodoviária Novo Rio e a descida do viaduto da Via Binário do Porto, como visto na Figura 20.

É importante salientar ainda que, na metodologia proposta foram mantidos os imóveis tombados presentes na área e um hotel, já construído de acordo com os parâmetros definidos pela LC 101/2009.

Após a definição dessa nova forma urbana proposta para a área, os três cenários foram simulados no software ENVI-met para análise comparativa dos dados em relação ao microclima local.



Figura 18. Nova proposta morfológica - SAS (fonte: Marques da Silva, 2018).



Figura 19. Detalhe das novas vias projetadas (fonte: Marques da Silva, 2018).



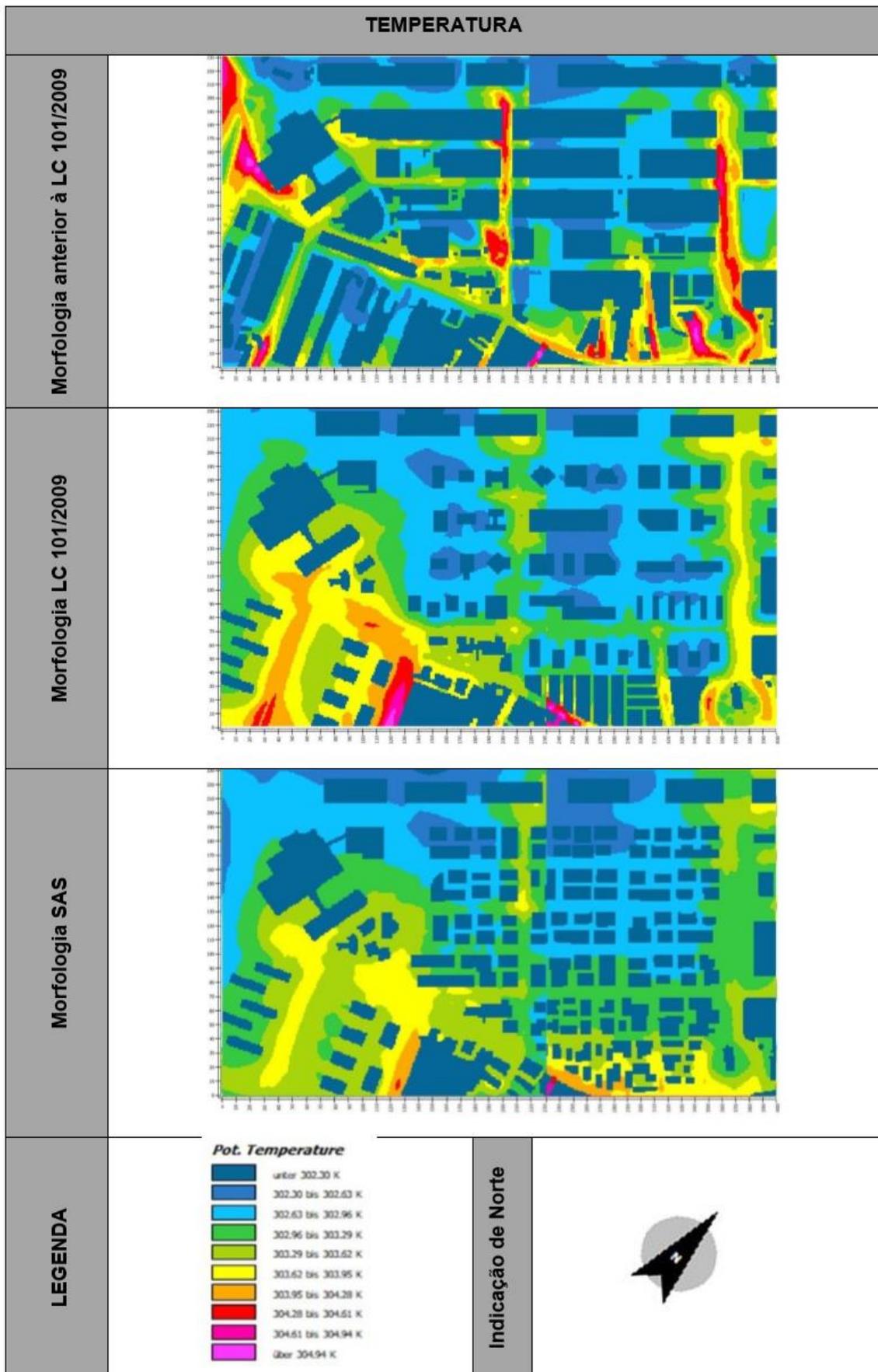
Figura 20. Detalhe da ampliação da quadra do INCA. (fonte: Marques da Silva, 2018).

### Simulação computacional Envi-Met

A partir da inserção dos três cenários no ENVI-met foram obtidos resultados das simulações para uma série de parâmetros, que são apresentados e discutidos a seguir.

Através de análise comparativa dos dados, observa-se que houve alterações no microclima local simulado no programa Envi-met em função da alteração morfológica. Observa-se ainda que alguns parâmetros foram mais afetados como a ventilação, por exemplo. As diferenças de gabaritos, de afastamentos e de abertura das vias podem ter contribuído para tais resultados.

As análises podem ser observadas comparativamente nas figuras a seguir, onde serão apresentados os seguintes parâmetros: Temperatura do ar (Figura 21); Velocidade dos ventos (Figura 22); Umidade Relativa (Figura 23); Radiação difusa (Figura 24); Fator de visão do céu (Figura 25).



**Figura 21.** Temperatura do ar - Kelvin (fonte: elaborada pelas autoras).

A partir das imagens da Figura 21 é possível constatar que as temperaturas mais amenas foram observadas na proposta morfológica SAS. Observando os valores quantitativos, apenas uma área muito restrita desse terceiro cenário chegou a marcar mais do que 30,8°C, enquanto nos demais cenários é possível observar temperaturas mais elevadas. Observa-se também que o primeiro cenário apresenta muitas áreas com temperaturas acima de 31,8°C mesmo tendo uma volumetria baixa. Porém, possui uma taxa de ocupação elevada com poucos afastamentos e uma volumetria ‘monótona’. Observa-se que a variabilidade volumétrica e a manutenção de alguns afastamentos laterais e abertura de vias podem ter contribuído para maior permeabilidade dos ventos, o que também pode ser visto na Figura 18. A menor área de asfalto e a implantação de terraços jardim em uma área maior também podem ter contribuído para a amenização da temperatura do ar.

A variação da temperatura do ar pode ser influenciada pelos fluxos das grandes massas de ar e da diferente recepção da radiação solar. Quando a velocidade do fluxo de ar é pequena, a temperatura é a consequência dos ganhos térmicos solares do local e pode ser influenciada pelo tipo de solo, vegetação, topografia, altitude, etc (Lamberts et al., 2014). Quando o fluxo de ar é grande estes fatores exercem menor influência sobre a temperatura. O comportamento da temperatura pode ser obtido através das normais climatológicas, que fornecem os valores máximos, mínimos e médios para cada período do ano em determinado local. Para uma mesma temperatura a sensação de conforto pode ser diferente em função de variáveis como vento e umidade do local (Lamberts et al., 2014).

A Figura 22 apresenta a simulação da velocidade dos ventos.

No caso do segundo cenário (LC 101/2009) em função dos grandes lotes, da verticalização imposta e do consequente afastamento entre as edificações, a ventilação obteve níveis maiores, o que pode ter contribuído para a redução da temperatura. Porém, essa configuração urbana pode gerar “vazios” ao nível da rua, que pode causar uma sensação de insegurança aos pedestres e um uso maior de automóveis. Tal modelo urbanístico pode ser observado nos grandes condomínios da Barra da Tijuca ou nas superquadras de Brasília.

Os três cenários apresentam áreas com velocidades do vento acima de 3,39m/s, porém no primeiro cenário a ventilação possui menor penetração. Isso é observado por outros autores em regiões de morfologia semelhante com poucas áreas de afastamento e edificações com gabaritos semelhantes (Corbella e Corner, 2011). No entanto, a melhor permeabilidade da ventilação foi observada na proposta com os parâmetros do SAS, principalmente a homogeneidade da permeabilidade dos ventos.

As condições do vento podem ser alteradas com a presença de vegetação, edificações, e outros anteparos naturais ou artificiais. É importante lembrar que o desenho urbano pode canalizar o fluxo de ar de maneira a evitar o fluxo indesejado e aproveitar o desejado (Romero, 2013). Na escala microclimática, alguns obstáculos podem ser implantados para obstruir a passagem do vento. No desenho paisagístico, pode-se pensar na vegetação como proteção dos ventos mais fortes ou condutores de brisas de verão (Lamberts et al., 2014).

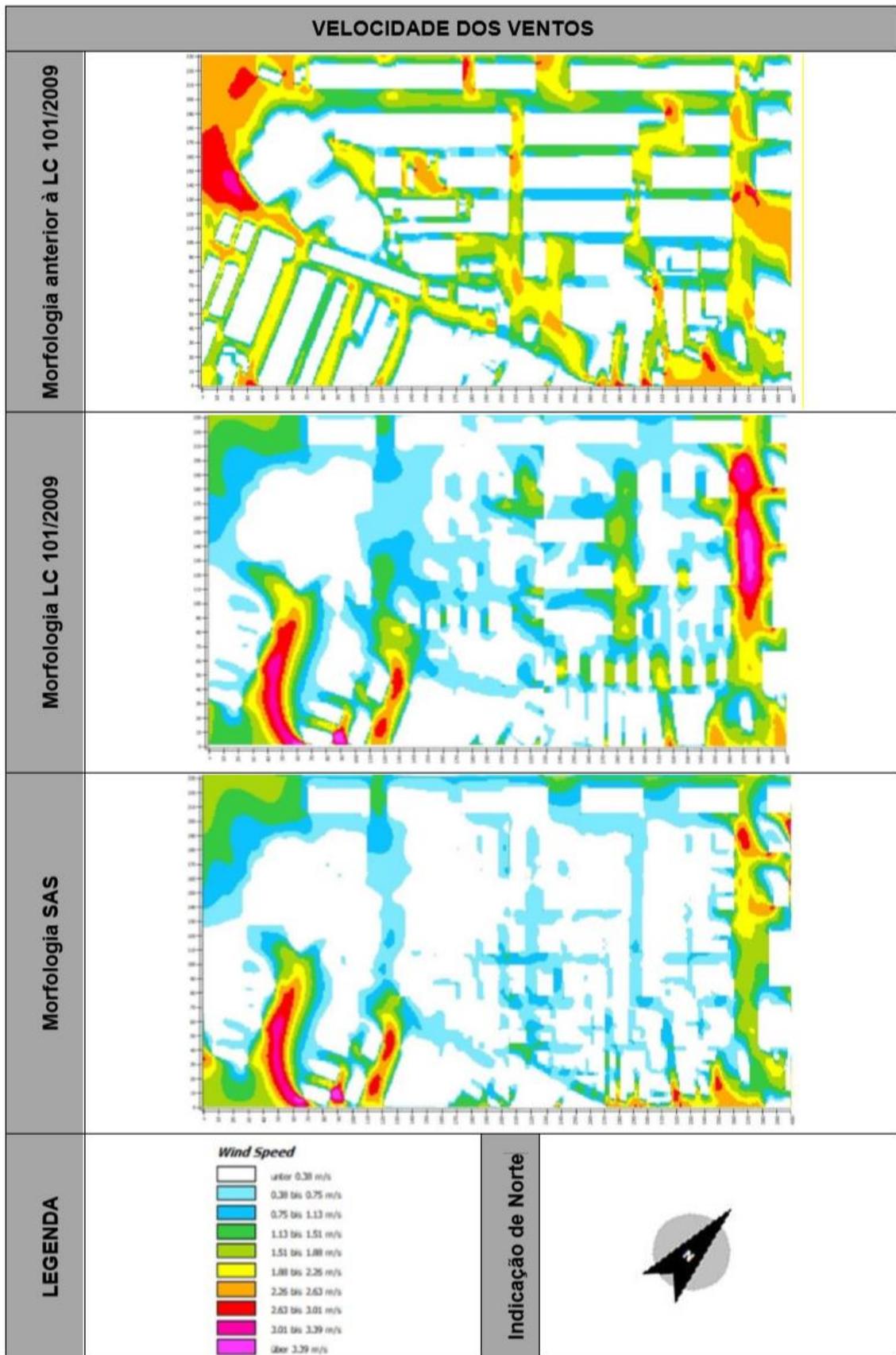


Figura 22. Velocidade dos Ventos – m/s (fonte: elaborada pelas autoras).

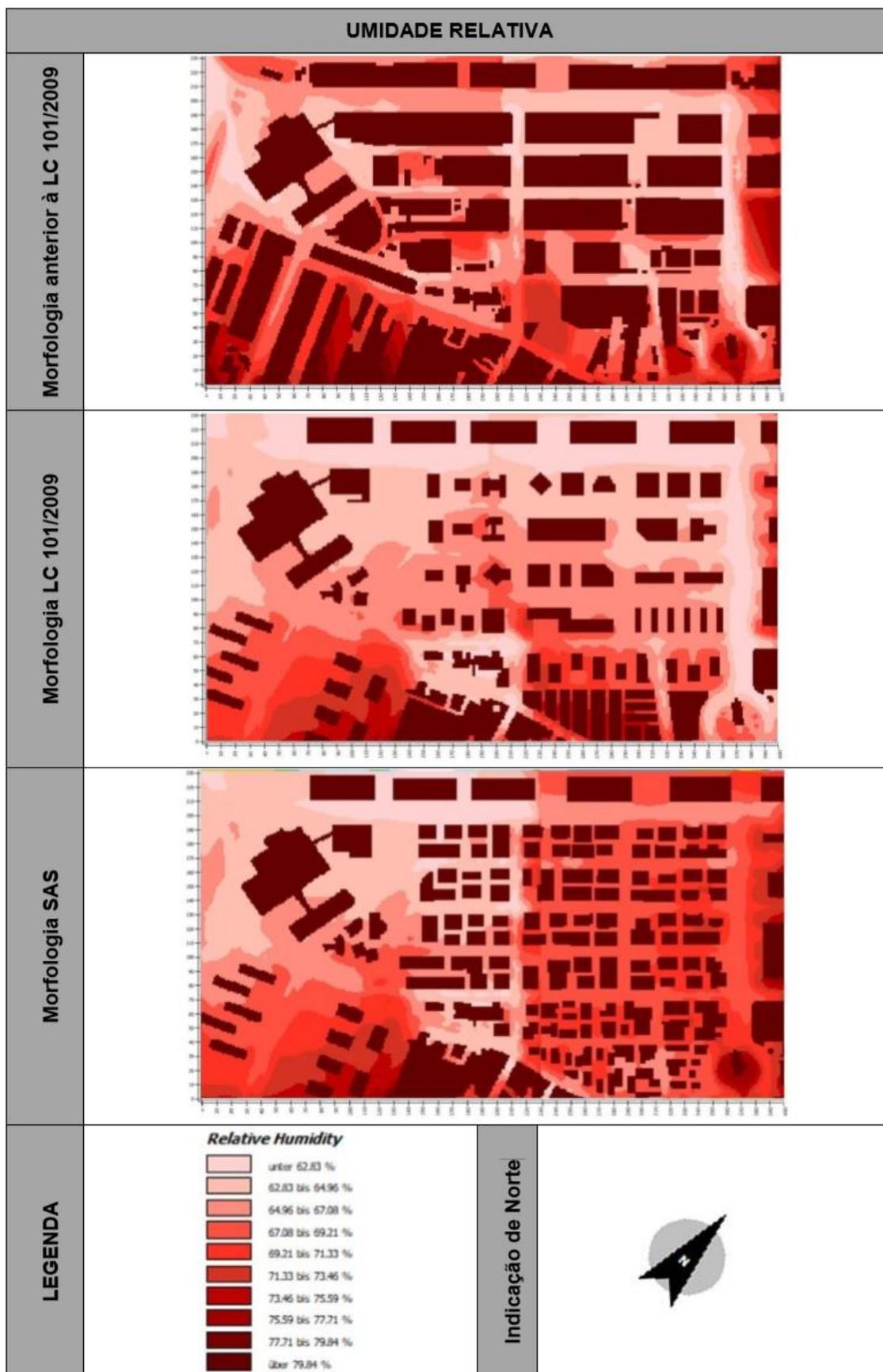


Figura 23. Umidade Relativa - % (fonte: elaborada pelas autoras).

A melhor permeabilidade dos ventos e a maior área de solo asfaltado e concretado podem ter influenciado na redução da

umidade relativa do ar na situação simulada para a LC 101/09, como observado na Figura 23.

De acordo com Lamberts et al. (2014), a umidade do ar resulta da evaporação da água dos mares, rios, lagos e da terra bem como na evapotranspiração dos vegetais e é a variável climática mais estável ao longo do dia. Pode ser alterada pela presença de água ou vegetação, em locais próximos a lagos, fontes ou espelhos d'água. O ar se umidifica, refrescando as edificações, enquanto que o vegetal umedece o ar de seu entorno através da evapotranspiração, o que pode ser útil em locais de clima muito seco. Esse fenômeno pode explicar o fato da umidade relativa na região ser relativamente alta nos três cenários analisados e pelo fato das simulações terem sido feitas com dados referentes ao verão.

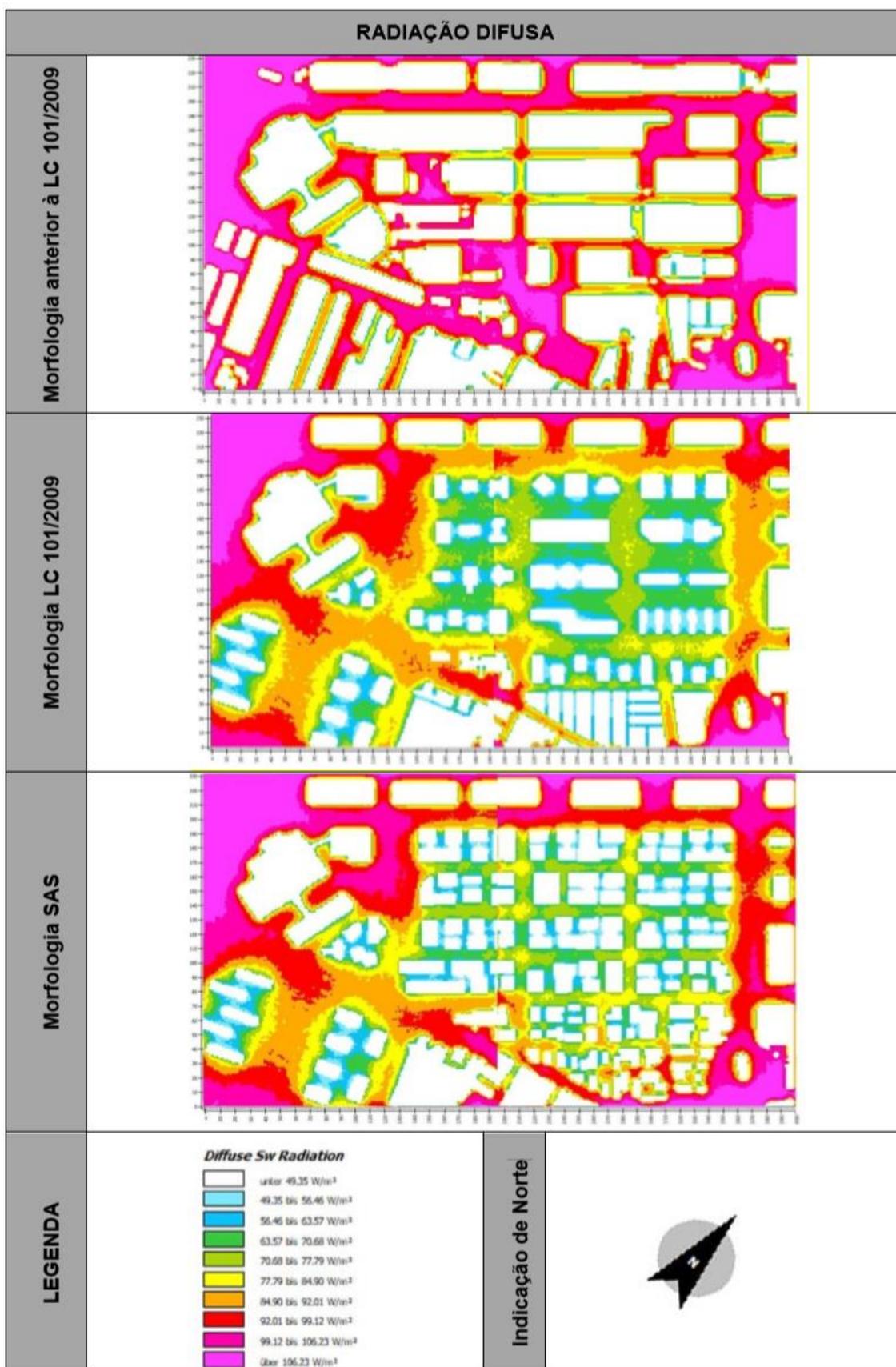
Já a umidade relativa do ar é a proporção (em %) entre a umidade absoluta (toda a água presente no ar em determinada parte da atmosfera) e o ponto de saturação (a quantidade máxima de vapor de água que poderia haver sob determinada temperatura). A umidade relativa do ar tende a aumentar quando há diminuição de temperatura e diminuir quando a temperatura aumenta, portanto ela tende a ser inversamente proporcional à curva da temperatura. O aumento do número de vegetação tanto no

solo como em terraços jardins pode ter corroborado para um índice maior e mais constante de umidade no terceiro cenário (SAS), mantendo-se próximo de 62% a 67% de umidade em praticante toda a área.

Já a radiação solar pode ser dividida em direta<sup>9</sup> e difusa<sup>10</sup>. Isto ocorre porque, ao penetrar a atmosfera, a radiação sofre interferências em seu trajeto em direção a superfície terrestre.

Nas simulações realizadas para a radiação difusa (Figura 24), o sombreamento das edificações teve grande influência nos resultados. É importante destacar que pelo fato do programa ENVI-met ter sido desenvolvido com parâmetros europeus, o sombreamento recebe uma importância maior do que realmente receberia em países tropicais. Para efeito de análise, como as três situações são áreas tropicais essa distorção nesse fator foi desconsiderada.

A simulação da forma urbana gerada pela LC 101/2009 e pela forma proposta pelo SAS obtiveram melhores resultados, visto que são áreas mais arborizadas e sombreadas pelas edificações.



**Figura 24.** Radiação Difusa – W/m<sup>2</sup> (fonte: elaborada pelas autoras).

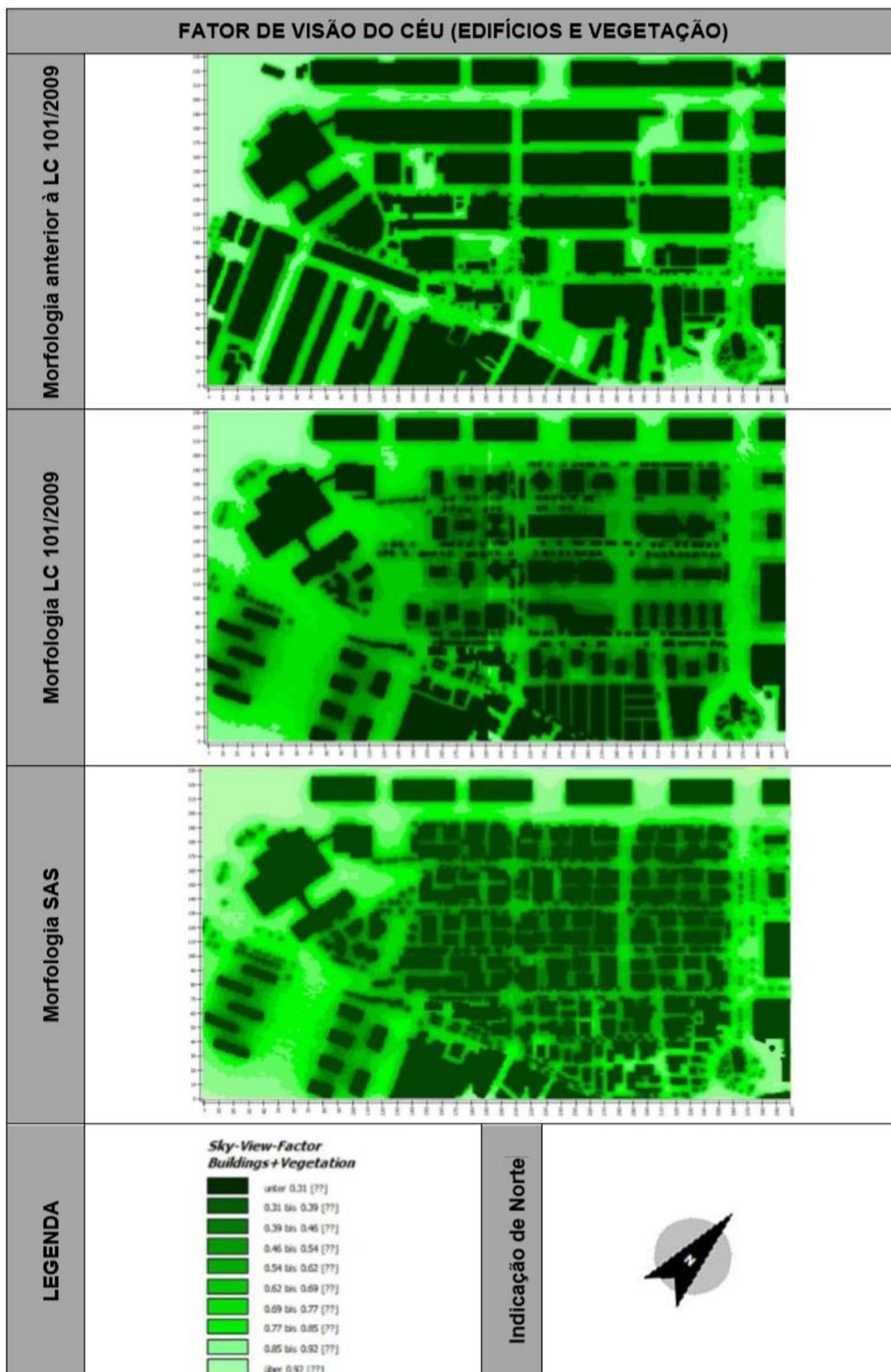


Figura 25. Fator de Visão do Céu (fonte: elaborada pelas autoras).

O Fator de Visão de Céu – FVC é um parâmetro adimensional que indica uma relação geométrica entre a Terra e o céu, que

representa a relação entre a área de céu obstruída e a área total da abóbada celeste visível, quantificando a quantidade de céu

visível em um local. Quanto maior a obstrução da visão do céu, maior será a dificuldade do ambiente dispersar a energia térmica armazenada para a atmosfera, além disso, apresenta, indiretamente, o possível sombreamento do solo.

Oke (2006) aponta o fator de visão do céu como um dos fatores principais para ocasionar o fenômeno das ilhas de calor. Porém, quando considerada a interferência da arborização, esse fenômeno pode ser amenizado, visto que apesar de obstruir a visão do céu, as árvores permitem uma maior permeabilidade dos ventos e uma dispersão maior da energia térmica acumulada.

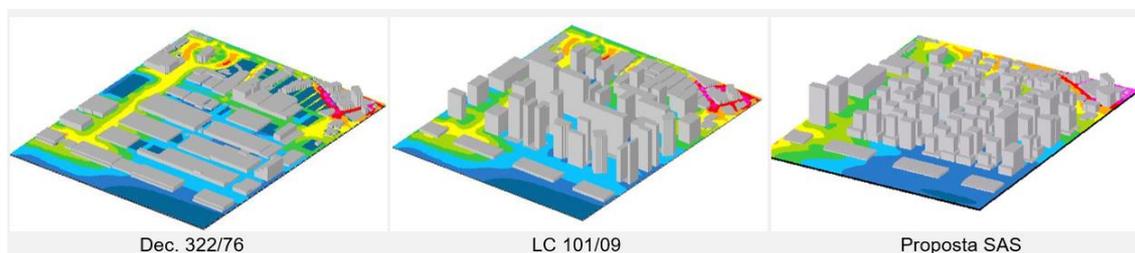
Observando as simulações para esse índice (Figura 25), as mais altas medições de FVC foram expressas no primeiro cenário e as mais baixas foram observadas no terceiro cenário (SAS). Desta forma, pode-se constatar que a visão do céu está menos obstruída no primeiro cenário e há uma maior dispersão da energia térmica. Porém, já no terceiro cenário, por ter sido considerada a arborização, apesar de ter um FVC menor, isso não quer dizer que necessariamente que houve uma menor dispersão térmica, visto que as árvores permitem e absorvem essa energia térmica. No caso de áreas tropicais, o fator de visão do céu menor pode interferir diretamente na diminuição da temperatura do ar visto que comprovam a menor incidência solar. No entanto, se esse fator for excessivamente baixo, poderia comprometer a ventilação, o que não ocorreu na proposta simulada como visto na Figura 19 (a velocidade dos ventos no cenário 3 se

manteve entre 0,38 m/s e 1,88m/s em praticamente toda a região).

### Discussões

Na Figura 26, é possível observar de forma simplificada as três morfologias analisadas e suas características volumétricas.

Visualmente, é possível notar que a proposta de alteração da legislação apresentada (metodologia SAS), resultou em uma forma urbana menos verticalizada, mais adensada, porém com afastamentos laterais, com uma volumetria variada e com quarteirões menores. A redução dos quarteirões e o adensamento são características defendidas por alguns autores como mais adequadas ao pedestre (Jacobs, 1961; Gehl, 2013). Porém, a introdução do afastamento lateral é um fator que auxilia a ventilação, sendo possível observar que os resultados se mostraram adequados ao microclima em um país com clima tropical. Destaca-se, então, a importância do regionalismo para a proposição de morfologias urbanas. É possível notar também a maior possibilidade de densificação populacional e a maior proximidade das fachadas frontais nas testadas das vias o que também converge para um ambiente onde os habitantes estão mais próximos das vias e pode trazer uma maior sensação de segurança (Vogel, Mello e Mollica, 2017). Ainda, a diminuição do tamanho dos lotes permite a ocupação por pessoas de rendas variadas e não apenas grandes empreiteiras, uma vez que o custo de um lote de 2000m<sup>2</sup> em uma área revitalizada subentende um aumento nos valores da região.



**Figura 26.** Simulação volumétrica (fonte: elaborada pelas autoras).

Apesar de ter sido verificado através das simulações realizadas no ENVI-met que do ponto de vista bioclimático os resultados das medições da proposta com os parâmetros da LC 101/2009 ficaram semelhantes aos resultados obtidos no terceiro cenário (SAS), com algumas alterações mais significativas como a ventilação, destaca-se que a

verticalização com edifícios de 50 andares e com significativos afastamentos frontais e laterais (entre 7 e 15 metros) pode levar a ambientes menos propícios à caminhabilidade e que necessitem de um maior uso de automóveis (Gehl, 2013) como o que acontece em áreas da Barra da Tijuca no Rio de Janeiro. Desta forma, destaca-se

que o projeto com princípios sustentáveis é muito mais amplo do que a consideração apenas de princípios bioclimáticos. na proposta SAS, baseada no LEED-ND.

As alterações da morfologia através da metodologia proposta baseada no LEED-ND propiciaram uma conformação de bairro adensado, porém não excessivamente

verticalizado (edifícios com no máximo 20 andares).

Na Figura 27, é possível observar as conformações morfológicas do estudo nas três situações apresentadas e analisar as alterações propostas como abertura de ruas e diminuição das quadras.



**Figura 27.** Comparativo das conformações morfológicas (fonte: Marques da Silva, 2018).

Em relação ao adensamento previsto pela LC 101/09, através da verticalização das edificações, é possível observar (Figura 28) que apesar da Proposta SAS possuir uma área passível de ocupação inferior à da LC 101/2009 e de limitar a altura das

edificações, o quantitativo de área total edificada (ATE) é ampliado na metodologia proposta (SAS) em relação à LC 101/2009. Já o quantitativo da Taxa de Ocupação do solo (TO), na proposta SAS, se manteve entre as demais proposições.

ZONA	DECRETO 322/76			LC 101/2009			PROPOSTA SAS		
	ÁREA	ATE	TO	ÁREA	ATE	TO	ÁREA	ATE	TO
ZP / ZUM	181.106,47	834.006,90	126.774,53	150.303,83	1.202.825,95	81.164,07	150.573,77	1.243.880,97	105.401,64
ZR-5	39.197,98	82.315,76	27.438,59	38.992,24	115.253,54	23.395,34	33.384,98	144.663,58	23.369,49
SOMA	220.304,45	916.322,66	154.213,12	189.296,07	1.318.079,49	104.559,41	183.958,75	1.388.544,55	128.771,13

**Figura 28.** Quadro comparativo de Área Total Edificada – ATE e Taxa de Ocupação no nível do solo - TO (fonte: elaborada pelas autoras).

Desta forma, o adensamento populacional foi mantido na proposta morfológica SAS não comprometendo o microclima local, além de ter priorizados princípios de sustentabilidade expressos no LEED-ND.

### Considerações Finais

A construção de bairros mais sustentáveis e com princípios bioclimáticos é um desafio que só pode ser alcançado com base em modelos inovadores de ocupação do solo. É importante serem consideradas as regionalidades, como a contextualização histórica, a identidade, as características físicas, com ênfase para as características climáticas, e as relações socioeconômicas da região.

Discutir e entender como a forma urbana pode interferir na qualidade de vida local de uma determinada área foi uma das intenções deste estudo. Porém, a ênfase foi dada prioritariamente às questões microclimáticas. Através das referências teóricas e simulações computacionais foi possível compreender que as conformações urbanas variadas podem influenciar diretamente nas inter-relações urbanas em toda a sua complexidade.

A metodologia proposta de alteração da legislação vigente tem a intenção de contribuir para futuros estudos, sendo possíveis aplicações por parte das prefeituras nesta mesma área ou como exemplo para outras regiões da cidade.

### Notas

<sup>1</sup> O projeto resultante da proposta de Marques da Silva (2018) não é o enfoque deste artigo, porém é de grande importância para a análise proposta. Os detalhes e justificativas principais podem ser obtidos através do documento: [http://www.dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissert\\_poli2374.pdf](http://www.dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissert_poli2374.pdf).

<sup>2</sup> A outorga onerosa do direito adicional de construção é um instrumento previsto no Estatuto das Cidades - Lei Federal nº10.257/2001 (Brasil, 2001)

<sup>3</sup> Apesar de considerar diversos fatores (mobilidade, segregação social, consumo energético, etc.) como essenciais ao projeto urbano sustentável, este artigo teve como foco as alterações microclimáticas.

<sup>4</sup> Todos os parâmetros utilizados, assim como o detalhamento da proposta podem ser conferidos em Marques da Silva, (2018). Para o contexto deste artigo optou-se por expor apenas os resultados simplificados da proposta.

A busca por uma conceituação urbana sustentável traz consigo uma série de proposições e estratégias que buscam atuar em diversos níveis (sociais, econômicos e ambientais). A metodologia proposta pretendeu introduzir instrumentos capazes de congregiar esforços tanto da esfera pública, na revitalização, ampliação e modernização da infraestrutura urbana, quanto da iniciativa privada, tornando-se responsável por construir e manter espaços que possam ser utilizados pela comunidade, visando o alcance da sustentabilidade e a eficiência urbana.

Priorizar o desenvolvimento social e humano com capacidade de suporte ambiental, gerando cidades produtoras com atividades que podem ser acessadas por todos, é uma forma de valorização do espaço incorporando os elementos naturais e sociais.

Visto que as opções projetuais são diversas, os resultados obtidos com a metodologia proposta (SAS) neste estudo indicam a importância de efetuar análises testando as diferentes possibilidades antes da implantação de qualquer projeto, seja ele urbanístico ou arquitetônico. Observou-se que com a mesma densidade foi possível obter espaços mais adequados aos princípios bioclimáticos e sustentáveis.

### Agradecimentos

Capes e CNPq.

<sup>5</sup> Informações adicionais sobre a proposta metodológica SAS podem ser obtidas em Marques da Silva (2018).

<sup>6</sup> Sendo assim, o volume da área na modelagem é de 400m x 400m x 150m. A maior edificação simulada possuía 150 metros de altura, sendo necessário aplicar o recurso de grid telescópico após essa altura para que o programa possa ter espaço para efetuar seus cálculos.

<sup>7</sup> Um dos requisitos da simulação com o Envi-met é simular um tempo maior, pois nas primeiras horas de simulação o programa equaliza todos os parâmetros e por uma questão de processamento, essas primeiras horas são descartadas para a obtenção dos resultados, visto que pode haver distorções.

<sup>8</sup> Idem nota 6

<sup>9</sup> A radiação direta é a parcela que atinge a terra diretamente, sua intensidade depende da altura solar e do ângulo de incidência dos raios solares

em relação à superfície receptora (Lamberts et al., 2014).

<sup>10</sup> Ao adentrar à atmosfera, a radiação solar é absorvida pelo ozônio, vapores e partículas, este

## Referências

- Ameen, Raed Fawzi Mohammed, Mourshed, Monjur e Li, Haijiang (2015) A critical review of environmental assessment tools for sustainable urban design, *Environmental Impact Assessment Review*. Volume 55, 2015, Pages 110-125, ISSN 0195-9255, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2015.07.006>. [Consultado em: 18 abril 2019]
- Ascher, François (2010) *Os novos princípios do urbanismo*. São Paulo, Romano Guerra.
- Barbosa, Gisele, Drach, Patricia e Corbella, Oscar (2019) Intraurban Temperature Variations: Urban Morphologies of the Densification Process of Copacabana Neighborhood. Brazil. *Climate*. 7. 65. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cli7050065> [Consultado em: 22 maio 2019]
- Bruse, Michael (2009) ENVI-met. Version 3.1 BETA III. On-line Manual. [Online] Disponível em: <http://www.envi-met.info/documents/onlinehelpv3/helpindex.htm> [Consultado em: 08 março 2018]
- Bruse, Daniela (2017) *Decoding Urban Nature*. [Online] Disponível em: <https://www.envi-met.com/wp-content/uploads/2019/07/ENVI-met-brochure.pdf> [Consultado em: 08 março 2018]
- CDURP (2010) *Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV)*. Rio de Janeiro: Prefeitura do Rio de Janeiro. [Online] Disponível em: [https://www.portomaravilha.com.br/estudos\\_vizinhanca](https://www.portomaravilha.com.br/estudos_vizinhanca) [Consultado em: 30 janeiro 2018]
- CDURP (2017) *Apresentação da Operação Consorciada Porto Maravilha*. [Online] Disponível em: [http://www.portomaravilha.com.br/conteudo/apresentacoes/PORTO\\_MARAVILHA\\_GERAL\\_JUNHO\\_2017\\_.pdf](http://www.portomaravilha.com.br/conteudo/apresentacoes/PORTO_MARAVILHA_GERAL_JUNHO_2017_.pdf). [Consultado em: 30 janeiro 2018]
- Corbella, Oscar e Corner, Viviane (2011) *Manual de arquitetura bioclimática tropical para a redução de consumo energético*. Rio de Janeiro, Revan.
- fenômeno chama-se Dissipação Atmosférica, quanto menor a altura solar, maior o trajeto da radiação através da atmosfera, chegando menos radiação à superfície terrestre. (Lamberts et al., 2014).
- Corbella, O. e Yannas, S. (2011) *Em busca de uma arquitetura sustentável para os Trópicos. Conforto Ambiental*. Rio de Janeiro, Revan.
- Emmanuel, Rohinton, Loconsole, Alessandro e Drach, Patricia (2015) Green infrastructure enhancement in Glasgow: A proposal based on Local Climate Zone evaluation of urban morphology in a shrinking city. *ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment*. Toulouse: International Association for Urban Climate (IAUC). Disponível em: [http://www.meteo.fr/icuc9/LongAbstracts/poster\\_2-12-1231073\\_a.pdf](http://www.meteo.fr/icuc9/LongAbstracts/poster_2-12-1231073_a.pdf) [Consultado em: 03 julho 2019]
- Ferreira, Tatiana de Souza (2013) Planejamento e Gestão Estratégica no Rio de Janeiro: Um projeto para a Zona Portuária. *XIII Simpósio Nacional de Geografia Urbana*, Rio de Janeiro. Anais - XIII SIMPURB. Disponível em: [http://www.simpurb2013.com.br/wp-content/uploads/2013/11/GT13\\_tatiana.pdf](http://www.simpurb2013.com.br/wp-content/uploads/2013/11/GT13_tatiana.pdf) [Consultado em: 3 março 2017]
- GBC Brasil (2018) *Certificação LEED ND*. [Online] Disponível em: <http://www.gbcbrazil.org.br/sobre-certificado.php> [Consultado 12 março 2018]
- Gehl, Jan (2013) *Cidade para pessoas*. São Paulo, Perspectiva.
- Higuera, Esther (2006) *Urbanismo Bioclimático*. Barcelona, Gustavo Gili.
- Jacobs, Jane (1961) *The Death and Life of Great American Cities*. Nova York, Random House.
- Knez, Igor e Thorsson, Sofia (2006) Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. *International journal of biometeorology*. 50. 258-68. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0024-0> [Consultado em: 28 maio 2019]

- Kruger, E, Drach, P. e Broede, P. (2017) Outdoor comfort study in Rio de Janeiro: site-related context effects on reported thermal sensation. *International Journal of Biometeorology*. 61(3):463-475. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1226-8> [Consultado em: 7 agosto 2019]
- Lamas, J.M.R.G. (2016) *Morfologia urbana e o desenho da cidade*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbekian.
- Lamberts, R., Dutra, L. e Pereira, F.O.R. (2014) *Eficiência Energética na Arquitetura*. Rio de Janeiro, Eletrobras / Procel.
- Marques da Silva, A.M., (2018) *Análise microclimática e avaliação LEED Neighborhood: Um estudo de caso da morfologia urbana do Porto Maravilha*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- MMA (2015) Sustentabilidade urbana: impactos do desenvolvimento econômico e suas consequências sobre o processo de urbanização em países emergentes: textos para as discussões da Rio+20. Brasília, MMA.
- Newman, Peter e Jennings, Isabella (2008) *Cities as sustainable ecosystems principles and practices*. Washington D.C., Island Press.
- Oke, T.R. (2006) *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*. Vancouver, World Meteorological Organization.
- Oliveira, V.M. (2011) *Avaliação em Planeamento Urbano*. Porto, U.Porto Editorial.
- Prefeitura do Rio de Janeiro (2009) *Lei Complementar 101 - 24/11/2009 - Modifica o Plano Diretor, autoriza o Poder Executivo a instituir a Operação Urbana Consorciada da Região do Porto do Rio e dá outras providências*. Lei Municipal. Rio de Janeiro.
- Rogers, Richard e Gumuchdjian, Phillip (2001) *Cidades para um pequeno planeta*. Barcelona, Editorial Gustavo Gilli.
- Romero, Marta Adriana Bustos (2013) *Princípios Bioclimáticos Para o Desenho Urbano*. Brasília, Editora UnB.
- Sinergia (2013) *Relatório de atualização do Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) da Operação Urbana Consorciada da região do Porto do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, Prefeitura do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.portomaravilha.com.br/conteudo/estudos/atualizacao-eiv-e-de-traffic/volume-1.pdf> [Consultado em: 6 março 2019]
- Souza, G.C.S.d. (2015) *Morar Carioca da Providência: a ambiguidade da ação*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- USGBC, CNU e NRDC (2011) *LEED 2009 for Neighborhood Development Rating System*. Washington D.C., U.S. Green Building Council.
- Vigier, T., Moreau, G. e Siret, D. (2015) From visual cues to climate perception in virtual urban environments. *IEEE Virtual Reality (VR)*, Arles, pp. 305-306. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/VR.2015.7223417> [Consultado em: 4 julho 2019]
- Vogel, A., Mello, M. e Mollica, O. (2017) *Quando a rua vira casa: a apropriação de espaços de uso coletivo em um centro de bairro*. Niterói, EDUFF.
- WRI Brasil (2015) *DOTS Cidades: Manual de Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável*. Porto Alegre, Embarq Brasil. Disponível em: <https://wricidades.org/research/publication/dots-cidades-manual-de-desenvolvimento-urbano-orientado-ao-transporte> [Consultado em: 12 março 2019]
- Zangalli Jr., P.C. (2013) Sustentabilidade urbana e as certificações ambientais na construção civil. *Sociedade & Natureza*, 25, pp.291-302. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <http://www.redalyc.org/pdf/3213/321328750007.pdf> [Consultado em: 22 março 2019]

---

**Tradução do título, resumo e palavras-chave**

---

*LEED neighborhood assessment and microclimatic analysis: a case study of urban morphology in Porto Maravilha, RJ, Brazil*

**Abstract.** *In recent years, the port region of Rio de Janeiro has received a major revitalization project, called the Porto Maravilha Project, which foresaw the morphological alteration and densification of some sectors of the region. This study aimed to analyze the possible impacts of changes in legislation in the area called Sector C, as well as its correlation with urban morphology. Initially, maps were prepared to analyze two situations, the first based on urban parameters in force until 2009 and the second considering the parameters described in the new legislation for the region, defined by Complementary Law 101/2009. Computer simulations were performed using the urban forms resulting from the evaluated laws. The comparison of the results obtained allowed the analysis of the urban form and the typology of the buildings. From this analysis, new urban parameters were suggested, simulating a hypothetical situation based on the requirements of the LEED-Neighborhood system, respecting the ideal of densification in the region, but adopting a new urban morphology guided by sustainable urbanism criteria. The generated maps were simulated and compared to previous maps. From the results obtained it was possible to observe that the morphological changes developed in the simulated urban projects seem to have influenced the microclimate of the studied region.*

**Keywords.** *urban morphology, environmental certifications, urban planning, urban microclimate, Porto Maravilha.*

---

*Editor responsável pela submissão: Vinicius M. Netto.*

*Licenciado sob uma licença Creative Commons.*

