

Conforto Térmico, Forma Urbana e Urbanismo Paramétrico como instrumento de Planejamento Urbano em Porto Alegre

Confort Térmico, Forma Urbana y Urbanismo Paramétrico como Herramienta de Planificación Urbana en Porto Alegre

Sessão Temática: ST02. Espaço urbano e regional: análise, planejamento e projeto

HUPPES, Manuela Letícia; Arquiteta e Urbanista pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Mestranda do programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

mlhuppes@gmail.com

CONRAD, Ruti Luíza; Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Mestranda do programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

rutiluizaconrad@gmail.com

De VARGAS, Luan Goulart; Arquiteto e Urbanista pela Universidade Franciscana, Mestrando do programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

luangoulart.arq@gmail.com

TORRES, Maurício Carvalho Ayres; Departamento de Arquitetura, Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

mauricio.torres@ufrgs.br

Resumo

As técnicas de planejamento urbano podem ser exploradas a partir de ferramentas que visam auxiliar na ideia de uma cidade em constantes modificações. No decorrer desta evolução, pesquisas sugerem que o estudo da forma urbana, como princípio de planejamento, pode impactar positivamente na criação de ambientes urbanos de maior qualidade, visto que a morfologia pode influenciar diretamente o conforto térmico. Sendo assim, o estudo do conforto térmico urbano, a partir de análises e simulações, mostra-se uma ferramenta importante na discussão do planejamento urbano. Assim como, ainda que pouco explorado, os modelos paramétricos são ferramentas eficientes para gerenciar e

traduzir a dinâmica de transformação das cidades. Este artigo propõe uma revisão das análises de conforto térmico urbano apresentados pela literatura, bem como uma análise crítica deles, buscando encontrar os métodos mais apropriados para auxiliar no planejamento urbano considerando o contexto de revisão do plano diretor da cidade de Porto Alegre.

Palavras-chave (3 palavras): planejamento urbano, conforto ambiental, forma urbana.

Abstract

Urban planning techniques can be explored from tools that aim to assist in the idea of a city in constant change. In the course of this evolution, research suggests that the study of urban form, as a planning principle, can positively impact the creation of higher quality urban environments, since morphology can directly influence thermal comfort. Therefore, the study of urban thermal comfort, based on analyzes and simulations, proves to be an important tool in the discussion of urban planning. As well as, although less explored, parametric models are efficient tools to manage and translate the dynamics of transformation of cities. This article proposes a review of the urban thermal comfort analysis presented by the literature, as well as a critical analysis of them, seeking to find the most appropriate methods to assist in urban planning considering the context of reviewing the master plan of the city of Porto Alegre.

Keywords: urban planning, environmental comfort, urban form.

1. Introdução

No Brasil, ainda se considera pouco a qualidade do espaço como parte do planejamento urbano. A gestão e controle da paisagem urbana podem ser simuladas através do emprego de parâmetros urbanísticos, os quais podem ser visualizados em tempo real e de forma tridimensional. As propostas de novas estratégias de planejamento urbano propõem que o uso de parâmetros preestabelecidos e variáveis de acordo com o desempenho, têm a capacidade de transformar a paisagem urbana em uma avaliação constante e transformando a forma urbana (HENRIQUE; TURKIENICZ, 2021).

Atualmente, a cidade de Porto Alegre, Brasil, passa por fase de revisão do seu Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PPDUA), que elenca 12 temas prioritários: uso do solo, estrutura e paisagem urbana e ambiental; Desempenho e Habilidade das Edificações; Patrimônio Histórico e Cultural; Desenvolvimento Econômico; Segurança Urbana; Espaços e Equipamentos Públicos; Biodiversidade e Serviços Ecológicos; Resiliência; Infraestrutura; Mobilidade e Acessibilidade; Gestão Democrática e Aprendizado Social; Desenvolvimento Social. Por conseguinte, a exploração de ideias relacionadas a este

assunto pode ser pertinente no sentido de contribuir para ampliar as possibilidades a serem exploradas na alteração do PPDUA.

A fim de compreender quais análises de conforto térmico urbano podem ser mais eficientes e como a forma urbana é relevante para planejamento urbano, considerando os múltiplos fatores que influenciam o conforto em ambientes externos, como: radiação solar, vento, temperatura ambiente do ar, umidade, nível de atividade e nível de vestimenta das pessoas (ARENS; BOSSELMANNT, 1989), bem como os variados índices de análise, como PET (SPAGNOLO; DE DEAR, 2003), PMV (FANGER, 1972), UTCI (BRÖDER *et al.*, 2012) etc. e as ferramentas de simulação, como o ENVI-met (OTHMAN *et al.*, 2020, ABDALLAH *et al.*, 2022, CHEN *et al.* 2021) e os diferentes plugins para *Grasshopper*, como o *Ladybug Tools* (IBRAHIM *et al.*, 2021), o TRNSYS (PERINI *et al.*, 2017) e o Eddy 3D (NATANIAN *et al.*, 2020), este estudo foca em uma revisão da literatura sobre os Planos Diretores, Modelos Paramétricos, Planejamento Urbano, Conforto Térmico Urbano e Análises de Conforto Térmico Urbano, seguido de uma análise crítica desses estudos, buscando a criação de conexões conceituais através da comparação e estabelecimento de relações entre os conceitos mais expressivos observados na revisão.

2. Método

2.1 Método de pesquisa

A revisão da literatura referente aos assuntos tratados no artigo (planos diretores, planejamento urbano, modelos paramétricos, conforto térmico urbano e análises de conforto térmico urbano) foi feita com o uso dos websites Scopus, Google Scholar, SciELO, Catálogo de Teses CAPES e Portal Periódicos CAPES, sem restrições de idioma ou série temporal. Os termos utilizados nas pesquisas incluem: planos diretores, plano diretor Porto Alegre, modelos paramétricos, planejamento urbano, planejamento urbano + conforto térmico, conforto térmico urbano, morfologia urbana + conforto térmico urbano, conforto térmico urbano + simulações + morfologia urbana e simulações de conforto térmico urbano em português, bem como suas respectivas traduções para o inglês. Através da revisão de referências dos artigos encontrados pelas buscas (backward search), também foram encontrados trabalhos relevantes para o tema em questão e, portanto, foram incluídos na chave de revisão.

2.2 Critérios de seleção

Foram utilizados como principais critérios de seleção dos trabalhos de referência: o idioma (inglês ou português); textos que trazem definições clássicas dos conceitos abordados neste artigo para os assuntos planejamento urbano e conforto térmico; artigos de revisão sistemática sobre os assuntos tratados neste artigo; trabalhos que relacionam um ou mais temas de interesse desta pesquisa (como citado anteriormente); estudos de caso

envolvendo morfologia urbana e conforto térmico urbano, sem barreira de localização; e artigos que tratam de simulações em datas recentes, preferencialmente no período entre 2015 e 2022, sem barreira de localização, a fim de identificar tendências atuais mundiais.

2.3 Extração de informações

Para os temas relacionados a planos diretores, planejamento urbano, conforto térmico e modelos paramétricos foram consideradas definições canônicas dos conceitos, bem como frequência de ocorrência de conceitos similares em estudos diferentes. Para a temática das simulações foram consideradas as informações que apresentavam o maior número de conexões com os assuntos abordados por este artigo, levando em consideração a relação com os três principais temas abordados: planejamento urbano, modelos paramétricos e conforto térmico urbano, considerando que quanto maior o número de relações, mais relevante o estudo se torna, bem como frequência de ocorrência dos tipos de análise, método de análise e ferramentas utilizadas para a realização das simulações.

3. Planos Diretores

Os primeiros Planos Diretores das cidades brasileiras eram regiões de comércio, na época anterior às manufaturas. A evolução veio pela necessidade de uma melhor organização urbana, e assim, a percepção da cidade como uma engrenagem que deve funcionar mecanicamente (ROLNIK, 1988). Segundo Maricato (2000), os planos diretores tinham a pretensão de instrumentalizar o Estado para enfrentar a “desordem e anarquia”, ainda que tais planejamentos urbanos partiam do objetivo de embelezamento das cidades, proposta pelas elites, baseadas num discurso de limpeza e organização, ou seja, os planos eram frutos de um autoritarismo que evidencia conhecimento técnico supervalorizado e o distanciamento da vivência da realidade para produzir planos efetivos (SOUZA, 2017).

Em Porto Alegre, Brasil, as primeiras versões de planos eram estruturadas somente por planos viários, que carregavam referências da Europa e extremamente burguesa (PESAVENTO, 1996 *apud* ALBANO, 1999). Somente após a estruturação das vias, os planejadores voltaram suas preocupações para água e saneamento. Em adição, depois de 1950 considerou-se o aumento da concentração demográfica urbana, o uso e ocupação do solo, a distribuição de equipamentos, as condições de trabalho, moradia e de vida, e não contemplava todo território portoalegrense (NYGAARD, 2005). O Plano de Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU, 1979), veio da necessidade da elaboração de um novo plano após 1970 devido a desatualização das informações da cidade - e contemplar todo território - (SOUZA, 2017), após isto, a demanda social de normas abrangessem também questões ambientais, nomeia-se de Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PPDUA, 1999). Logo, a influência dos diferentes agentes de intervenção (Tabela 1), conseguimos perceber que o uso do território é aplicado segundo a interesses sociais,

políticos e econômicos, e refletem na forma urbana para alcançar uma série de objetivos que sobreponem, de certa maneira, a parte ambiental.

Tabela 1: Elementos de comparação entre os processos de formulação dos planos diretores

	Fatores que levaram a um novo plano	Contexto político	Atores predominantes	Participação Social
PPDUA 1979	Desatualização do plano de 1959	Regime militar autoritário	Estado	Não detectada
PPDUA 1999	Demanda da sociedade - I Congresso da Cidade (1993)	Pós-redemocratização; PT na prefeitura; Orçamento participativo	Multiplicidade de atores e de espaços de atuação; SINDUSCON	Alta, através de diversos canais
Revisão PPDUA 2010	Previsão no plano anterior	Troca de Partido (PPS/PMDB); Estatuto da Cidade; Copa do mundo	Secretário Municipal de Planejamento; STICC	Pouca, apressada e polêmica

Fonte: Souza, 2017.

Segundo Schweigert (2007), o Plano Diretor também deve considerar o desenvolvimento de estratégias baseadas na sustentabilidade ambiental já que “implica numa revisão do modo de pensar, planejar e produzir o espaço urbano, bem como no gerenciamento do uso de seus recursos naturais”. Entretanto, encontramos na Lei Complementar 434/99, e na Lei Orgânica do Município, preocupações para conservação ambiental das zonas vegetativas, aumento da eficiência energética de edificações e criação de espaços verdes. Estas normativas contribuem para a redução das chamadas ilhas de calor, mas não apontam uma análise e aplicação em outros elementos de impacto (Quadro 1) que afetam o conforto das pessoas na cidade.

Quadro 1: Estudos brasileiros que abordam o impacto de diferentes características da morfologia urbana

Elemento de Impacto	Elementos de Análise de Impacto	Estudo
Vegetação Urbana	Microclima urbano	(DUARTE et al., 2015)
		(SILVA; ROMERO, 2009)
	Conforto térmico de áreas externas	(SPANGERBERG et al., 2008)
	Conforto térmico de ambientes internos	(MARRA; MORILLE; ASSIS, 2017)
Ocupação do Solo	Temperatura do ar externo	(DEBIAZI; SOUZA, 2017)
		(ROCHA; SOUZA; CASTILHO, 2011)
Taxa de permeabilidade do solo	Temperatura do ar externo	(CAVALCANTE et al., 2017)
		(DEBIAZI; SOUZA, 2017)
Corpo d'água	Temperatura e umidade do ar externo	(MASIERO; SOUZA, 2013)
Geometria Urbana	Ilhas de calor urbano	(NAKATA-OSAKI; SOUZA, 2016)
		(NAKATA; DE SOUZA, 2013)
	Ventilação	(FERREIRA; ASSIS, 2010)
		(PASSOS; SACRAMENTO; BARBIRATO, 2016)
Iluminação natural de ambientes internos	(BECK; PEREIRA; SCALCO, 2017)	
	(SCALCO; PEREIRA, 2016)	
Disponibilidade de insolação	(SCALCO; PEREIRA; RIGATTI, 2010)	
Adensamento urbano	Microclima urbano	(GUSSON; DUARTE, 2016)
		(TORRES; FREITAS, BARBIRATO, 2016)
	Ventilação	(FERREIRA; ASSIS, 2016)
	Desempenho ambiental	(GONÇALVES et al., 2011)

Fonte: Lima, 2018.

Observa-se que o município busca controlar apenas o macroclima, assim a morfologia urbana se torna imprescindível quando Lima (2018) apresenta as principais variáveis climáticas que são: a radiação solar, temperatura do ar e velocidade do ar. Ela considera modificador do calor urbano a altura e distribuição das edificações, estas interferem na temperatura superficial pelo sombreamento e destinação dos ventos, e resulta em variações de temperaturas externas. Logo, sabemos que dentro dos planos diretores seguem a Lei e Ocupação do Solo que é definida em função das normas relativas a densificação, regime de atividades, dispositivos de controle das edificações e parcelamento do solo, que configuram o regime urbanístico.

Na Lei citada, suas futuras formas urbanas são definidas por índices urbanísticos, dentre elas as principais: o índice de aproveitamento, o índice verde, e a taxa de ocupação (Art. 94 – B, Plano Regulador, 2010). Segundo Lima (2018), altura e distribuição da edificação

influenciam o clima externo, e esses índices modificam justamente estas características, ainda que nas Leis Complementares (nº 646, 2010) apontam especificidades das edificações, se tratando de questão climática e ambiental, estes coeficientes estão justificados pela influência do sombreamento.

Uma vez que a forma urbana intervém no clima, sabe-se que pautar o conforto da população através de índices baseados no impacto da sombra, deve-se levar em consideração novas tecnologias que analisam os diversos impactos de outras condicionantes climáticas e ambientais, no entanto, não pode se desconsiderar a importância desta influência no conforto climático externo, pois é no contexto urbano que elementos do entorno podem interceptar raios solares, reduzindo os períodos reais de insolação ao longo do dia (FROTA; SCHIFFER, 2001). Por esta razão, hoje existem novos métodos para avaliar o impacto, como a proposta por Pereira e Rigati (2001), que se utilizam de modelos urbanos paramétricos para fazer simulações computacionais para visualização das influências que não dependem somente do sombreamento, além de poderem alterar seus parâmetros e gerar novas avaliações. Portanto o entendimento das potencialidades dessas ferramentas computacionais e sua aplicação, poderá contribuir para argumentos mais eficientes quanto à qualidade ambiental, eficiência e conforto climático.

4. Modelos Paramétricos e Planejamento Urbano

Uma das principais necessidades dos planos urbanísticos é que estes sejam capazes de proporcionar adaptabilidade durante o período em que este é aplicado. Segundo Pinto *et al.* (2013), as propriedades paramétricas apresentadas em projetos urbanos possibilitam um alto potencial de adaptabilidade à transformação, sem haver a perda de coerência formal. Isto é possível uma vez que através do controle dos parâmetros é possível gerar múltiplas soluções que se relacionam com condições específicas do momento.

Segundo Schumacher e Zaha Hadid (*apud* PINTO; VIEIRA; NETO, 2013), o urbanismo paramétrico pode ser utilizado como um método dinâmico e iterativo de interligar os sistemas e elementos que compõem a cidade entre si. Apesar disso, é necessário lembrar que a aplicação das ferramentas paramétricas não deve ser baseada apenas na base formal, mas estas precisam ser incorporadas às leis e decisões que moldam a cidade.

Dessa forma, a modelagem paramétrica tornou-se a nova maneira de gerenciar a ocupação urbana e de traduzir a lógica entre a escala urbana e a arquitetônica. O projeto arquitetônico precisa atender uma série de limites previstos pelo plano regulador da cidade. Esse conjunto de regras é justificado pela justaposição das unidades isoladas, que geram a paisagem urbana. Nesse sentido, a modelagem paramétrica é capaz de realizar as análises necessárias como, por exemplo, de insolação e eixos de visão.

O novo processo exige compreender a essência da paisagem e traduzir em parâmetros urbanos (FONSECA *et al.*, 2014; MOURA *et al.*, 2014). As propostas de novas estratégias de planejamento urbano propõem que o uso de parâmetros preestabelecidos e variáveis de acordo com o desempenho, tem a capacidade de transformar a paisagem urbana em uma avaliação constante e transformando a forma urbana (HENRIQUE; TURKIENICZ, 2021).

Através do urbanismo paramétrico é possível realizar estudos e análises da morfologia urbana, simulações dos impactos dos parâmetros urbanísticos com o intuito de produzir uma cidade mais eficiente (DE AMORIM, 2016). Os resultados dessa análise podem auxiliar arquitetos e projetistas urbanos a revelarem os ideais do ambiente urbano. A partir de um modelo paramétrico, as decisões do projeto são distribuídas por meio de densidades construtivas do tecido urbano, pelas deformações ou pelo desenvolvimento do território (como as transformações nas alturas dos edifícios), compreendendo as individualidades espaciais que definem a cidade (MANUEL *et al.*, 2013; ZHANG; LIU, 2021). A densidade urbana deve ser considerada como um aspecto quantitativo associado a aspectos qualitativos do espaço urbano. Isso significa que é necessário a utilização de critérios de desempenho do tecido urbano e de potencial da forma urbana, ao invés de utilizar apenas aspectos relativos à distribuição volumétrica dos edifícios. Com isso é possível desenvolver um ambiente urbano dinâmico, capaz de ofertar distintas respostas às necessidades de uso e ocupação como, por exemplo, iluminação natural, acessibilidade, dinâmica dos espaços públicos, mobilidade (DA SILVA *et al.*, 2016).

5. Conforto térmico e Planejamento Urbano

Segundo o padrão internacional ASHRAE 55 (2017,p. 7), “o conforto térmico é a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Considerando essa definição, o conforto térmico depende de fatores físicos, que se relacionam com as trocas de calor entre corpo e meio, fisiológicos, referentes às alterações fisiológicas do organismo, e psicológicos, relacionados aos estímulos sensoriais e à percepção (SHOOSHTARIAN, 2019).

Segundo ARENS e BOSSELMANNT (1989), o conforto térmico de ambientes urbanos fundamenta-se em múltiplos fatores. Majoritariamente, influenciado por seis aspectos: quatro fatores meteorológicos (radiação solar, vento, temperatura ambiente do ar e umidade); e duas variantes pessoais (nível de atividade e nível de vestimenta). Portanto, estudos de conforto térmico em ambientes abertos, para serem efetivos, devem atender essa multiplicidade, a fim de considerar as inter-relações que ocorrem entre condições térmicas do ambiente, respostas fisiológicas e fenômenos psicológicos (sensação, comportamento) (PARSONS, 2003).

A partir disso, diferentes estudos foram realizados analisando a relação entre morfologia urbana e conforto térmico (CHEN, Y. *et al.* 2021, YILMAZ, S. *et al.* 2021, TALEGHANI *et al.* 2015, ABDALLAH *et al.* 2022, ACHOUR-YOUNSI *et al.* 2016). Estes demonstram que a

morfologia relaciona-se diretamente com o conforto térmico, e que mudanças na forma urbana resultam em diferentes níveis de conforto (TALEGHANI *et al.* 2015). A morfologia urbana afeta diretamente o conforto térmico urbano por interferir na radiação solar, na temperatura média de radiação, na velocidade e direção do vento e na geração de sombras (CHEN, Y. *et al.* 2021), demonstrando correlações importantes entre morfologia urbana, poluição do ar e conforto térmico (YILMAZ, S. *et al.* 2021). Rose *et al.* (2015) também indica que o conforto térmico urbano a nível de bairro é influenciado pela capacidade dos materiais de absorver radiação, do arranjo geométrico das edificações, considerando relações de altura dos edifícios e largura das ruas (*height/width*, H/W) e do *sky view factor* (SVF).

Dados os fatos apresentados, a revisão indica que a discussão relacionada à morfologia urbana levando em consideração o conforto térmico pode ser considerada um fator chave no processo de planejamento urbano (CHEN, Y. *et al.* 2021, OTHMAN, *et al.* 2020, Rose *et al.* 2015). Considerando o cenário de aceleração do crescimento das cidades provocado principalmente pelo crescimento populacional, bem como as mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global, o planejamento urbano pode exercer papel fundamental na busca por melhores condições de conforto térmico nas cidades e pelo desenvolvimento sustentável.

6. Análises de Conforto Térmico Urbano

As análises de conforto térmico urbano podem ser fundamentadas em diversos índices. Tong *et al.* (2017) produziu uma revisão dos índices desenvolvidos para prever o conforto térmico ao ar livre com base no balanço energético do ser humano, dentre eles foram citados: *universal effective temperature* (UEN) (NAGANO; HORIKOSHI, 2011), *index of thermal stress* (ITS) (GIVONI, 1963), *MENEX model* (BLAZEJCZYK, 2005), *predicted mean vote* (PMV) (FANGER, 1972), *perceived temperature* (PT) (JENDRITZKY *et al.*, 2000), *outdoor standard effective temperature* (OUT_SET/) (SPAGNOLO; DE DEAR, 2003), *physiologically equivalent temperature* (PET) (SPAGNOLO; DE DEAR, 2003), *universal thermal climate index* (UTCI) (BRÖDE *et al.*, 2012). Esta revisão identificou que o índice PET é amplamente utilizado em análises de conforto térmico urbano, sendo o mais comum. As revisões propostas por Prata-Shimomura *et al.* (2009) e Yilmaz *et al.* (2021) também concluem que o índice PET é o mais utilizado. Chen *et al.* (2021) ainda destaca o uso frequente do PMV e do UTCI. A partir dos índices apresentados, as análises podem se dar de diversas maneiras. Othman *et al.* (2020) estudou conforto térmico a partir de quatro diferentes formas de configuração de quadras, considerando temperatura do ar, velocidade do vento, umidade e temperatura radiante média (MRT) e utilizando índices PET e simulações no ENVI^{met}. O estudo resultou na geração de um guia de apoio para planejamento urbano, destacando diferentes vantagens e desvantagens de cada modelo a partir do ponto de vista da qualificação do conforto térmico no meio urbano no contexto estudado. Nasrollahi *et al.* (2021) usou ENVI^{met} para investigar a melhoria do conforto

térmico para pedestres a partir da geometria urbana e suas sombras. Calculou o PET usando o RayMan e descobriu que a qualificação de espaços sombreados pode reduzir o índice PET, melhorando o conforto. Abdallah *et al.* (2022) utiliza a combinação de monitoramento em campo e modelos de simulação no ENVI met para comparar diferentes características H/W em cânions urbanos e identificar seus impactos no conforto térmico urbano a partir da análise PET. Os resultados mostram redução significativa no índice PET em cânions mais profundos, que apresentam relação de 0.6 H/W comparados a cânions mais rasos, de relação H/W 0.24 no contexto climático estudado.

A revisão proposta por Chen *et al.* (2021) indica que os métodos dominantes nas pesquisas de conforto térmico para ambientes externos se baseiam em medidas de dados em ambientes reais, sensoriamento remoto e simulações, e que esses métodos podem ser combinados de formas diferentes, dependendo da escala do ambiente de estudo. A medição de dados de ambientes reais é utilizada nas mais variadas escalas. O sensoriamento remoto é mais frequente para cidades e escalas regionais. Em termos de simulações, a ENVI met é a ferramenta de simulação mais comum para escalas de bairro e rua, com foco em cânions urbanos, enquanto a ferramenta RayMan é utilizada com frequência para calcular índices de conforto térmico. Este artigo também identificou com frequência o uso da ferramenta ENVI met para simulações, sendo a mais comum, como pode-se notar nos exemplos descritos acima. Porém, Chen *et al.* (2021) sinaliza que há uma tendência crescente de utilização de softwares de visualização, como o *Grasshopper*, que tem a capacidade de integrar vários plugins para se obter análises. Perini *et al.* (2017) propõe um método que integra a ferramenta ENVI met e o plugin TRNSYS (Transient Systems Simulation), rodado no *Grasshopper*, para simular efeitos da forma urbana e da vegetação no microclima das cidades. O estudo demonstrou a confiabilidade do método proposto, indicando que a combinação ENVI met e TRNSYS aumenta a precisão da simulação em termos de conforto térmico. Natanian *et al.* (2020) desenvolve um estudo orientado para a ideia de análise do ambiente urbano baseado na qualidade dele. O estudo utiliza o plugin para *Grasshopper*, Eddy 3D, para conduzir um estudo paramétrico sobre diferentes cenários de tipologia e densidade em três contextos de clima quente em Israel. A simulação avaliou 60 designs em termos de balanço energético, autonomia de conforto térmico ao ar livre e níveis de auto-sombreamento a partir de um índice de sombras, e indicou alta correlação entre autonomia de conforto térmico ao ar livre e índice de sombras, mostrando que esse índice pode servir como um indicador eficiente para otimização dos estudos de conforto climático nos contextos estudados. Ibrahim *et al.* (2021) utiliza índices UTCI e o Ladybug tools, plugin para *Grasshopper*, para investigar o impacto de mudanças nas características morfológicas de três situações de tipologias de quadras (dispersa, linear e com pátio) e seus parâmetros associados para entender sua relação multidimensional com condições ambientais, conforto térmico externo e intensidade de uso de energia. O estudo conclui que, no contexto ambiental estudado, formas urbanas compactas e de média densidade obtêm melhor

desempenho geral em todas as tipologias. As formas dispersas compactas de alta densidade são favorecidas quando se considera o conforto térmico, enquanto as tipologias de pátio superam as outras quando se considera a eficiência energética e o desempenho geral.

Esse recente movimento pode se tornar uma alternativa promissora para o campo de estudo que relaciona planejamento urbano e conforto térmico, já que possibilita a simulação de resultados simultaneamente às mudanças propostas na forma urbana, uma vez que há a possibilidade de parametrização.

7. Discussão

Conforme identificado na revisão, o plano diretor de Porto Alegre é baseado em parâmetros urbanísticos como o índice de aproveitamento, o índice verde, e a taxa de ocupação (Art. 94 – B, Plano Regulador, 2010). Esse modelo gera situações urbanas em que a forma das edificações é consequência dos índices, e a qualidade do ambiente urbano, considerando o conforto da população, não é considerada. Nesse sentido, o uso de métodos de análise do ambiente urbano que possam contribuir para a etapa de planejamento urbano, com variáveis que influenciam no conforto da população, devem ser explorados a fim de produzir ambientes urbanos que atendam as demandas urbanas sem prejudicar o conforto da população. Também, é importante que esses métodos favoreçam a adaptabilidade diante das mudanças constantes apresentadas pelo ambiente dinâmico das cidades, durante seu período de regimento.

Uma possível solução para isso, pode surgir da proposta de aliar a modelagem paramétrica ao planejamento urbano. O uso de modelos paramétricos possibilita a transformação a partir de parâmetros, conferindo alta adaptabilidade aos projetos urbanos sem que se perca a coerência formal dos mesmos (PINTO *et al.* 2013). As propriedades paramétricas permitem dinamismo e interatividade à medida que possibilitam a geração de múltiplas soluções relacionadas às condições específicas do momento, possibilitando a interação entre os diferentes sistemas e demais elementos que compõem a cidade (SCHUMACHER, ZAHA HADID *apud* PINTO *et al.*, 2013). Nesse sentido, as ferramentas de modelagem paramétrica podem ser exploradas visando cenários urbanos mais eficientes, já que essa metodologia permite a realização de estudos e análises da morfologia urbana e simulações dos impactos dos parâmetros urbanísticos.

Dado os fatos apresentados, a questão do conforto térmico torna-se um tópico importante na temática da qualificação do ambiente urbano. Estudos demonstram que a morfologia urbana impacta diretamente o conforto térmico (CHEN, Y. *et al.* 2021, YILMAZ, S. *et al.* 2021, TALEGHANI *et al.* 2015, ABDALLAH *et al.* 2022, ACHOUR-YOUNSI *et al.* 2016), pois interfere na radiação solar, na temperatura média de radiação, na velocidade e direção do

vento e na geração de sombras (CHEN, Y. *et al.* 2021) e que, portanto, pode ser considerada um fator chave no processo de planejamento urbano. Nesse sentido, conforme constatado a partir da revisão da literatura, o uso de ferramentas de simulação que permitem a visualização simultânea de modificações formais geradas a partir de dados urbanísticos quantitativos combinados à simulações geradas a partir de situações climáticas específicas podem contribuir para a busca de soluções de planejamento urbano que buscam qualificar a espacialidade urbana.

8. Considerações Finais

A partir da pesquisa descrita neste artigo, pode-se dizer que o uso de modelos paramétricos se apresenta como uma potente ferramenta digital auxiliar do processo de planejamento urbano, principalmente considerando as possibilidades de associar simulações climáticas e modificações na forma urbana a partir de parâmetros quantitativos urbanísticos. Este estudo identificou que os métodos de pesquisa dominantes na área do conforto térmico para ambientes externos podem variar conforme escala da área de estudo e intenções do projetista, logo entende-se que a seleção do método mais apropriado deve ser feita a partir da testagem dos mesmos. Essa alternativa pode ser contemplada pelo uso de softwares como o *Grasshopper*, que oferece plugins variados que se adaptam aos diversos tipos de simulação.

Tendo isso em vista, um próximo passo da pesquisa consiste na elaboração da modelagem paramétrica de cenários da cidade de Porto Alegre. Esta etapa será realizada a partir das ferramentas de programação visual *Rhinoceros* e *Grasshopper*, com as quais é possível sistematizar os conceitos de parâmetros flexíveis e dinâmicos. Também serão realizadas as análises de conforto ambiental dentro do ambiente *Rhinoceros* e *Grasshopper*, utilizando os dados climáticos do local de estudo. Por fim, a etapa de conclusões. Nesta, acredita-se, que será possível, a partir dos resultados gerais de toda a pesquisa, analisar e relacionar as informações para concluir qual análise de conforto ambiental demonstra-se mais eficiente para o determinado local de estudo.

Referências:

ABDALLAH, A. S. H.; MAHMOUD, R. M. A. Urban morphology as an adaptation strategy to improve outdoor thermal comfort in urban residential community of new assiut city, Egypt. **Sustainable Cities and Society**, v. 78, p. 103648, mar. 2022.

ACHOUR-YOUNSI, S.; KHARRAT, F. Outdoor Thermal Comfort: Impact of the Geometry of an Urban Street Canyon in a Mediterranean Subtropical Climate – Case Study Tunis, Tunisia. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 216, p. 689–700, jan. 2016.

ALBANO, M. T. F. **O processo de formulação do 2º plano diretor de desenvolvimento urbano ambiental de Porto Alegre - Ruptura, Reunião de Fragmentos, Inovação ou Manutenção de uma Tradição Secular?**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1999.

ARENS, E.; BOSSELMANNT, P. Wind, Sun and Temperature--Predicting the Thermal Comfort of People in Outdoor Spaces, **Build. Environ.** 24 (4) 315-320. 1989.

ASHRAE 55 (2017). **Thermal environmental conditions for human occupancy. Standard 552010**. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.

BLAZEJCZYK, K. **MENEX_2005 The Updated Version of Man-Environment Heat Exchange Model**. 2005.

BRÖDER, P., KRÜGER, E. L., ROSSI, F. A., FIALA, D. **Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI—acasestudyin Southern Brazil**. *Int.J. Biometeorol.* 56, 471–480. 2012

CHEN, Y.; WANG, Y.; ZHOU, D. Knowledge Map of Urban Morphology and Thermal Comfort: A Bibliometric Analysis Based on CiteSpace. **Buildings**, v. 11, n. 10, p. 427, 23 set. 2021.

DA SILVA, G. J. A.; SILVA, S. E.; ALEJANDRO, C. DENSIDADE, DISPERSÃO E FORMA URBANA: DIMENSÕES E LIMITES DA SUSTENTABILIDADE HABITACIONAL. **ARQUITEXTOS**, n. 189.07, fev. 2016.

DE AMORIM, A. L. **Cidades Inteligentes e City Information Modeling**. XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics. Buenos Aires: nov. 2016.

FANGER, O. P. **Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering**. Copenhagen: Danish Technical Press. 1970.

FONSECA, B. M. et al. **Cadastro 3D como base para a modelagem paramétrica da paisagem urbana**. 11º Congresso Cadastro Técnico Multifinalitário. **Anais...** Florianópolis: UFSC, out. 2014.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIVONI, B. **Estimation of the Effect of Climate on Man: Development of a New Thermal Index**. Technion City, Haifa. 1963.

IBRAHIM, Y. et al. On the Optimisation of Urban form Design, Energy Consumption and Outdoor Thermal Comfort Using a Parametric Workflow in a Hot Arid Zone. **Energies**, v. 14, n. 13, p. 4026, 4 jul. 2021.

JENDRITZKY, G., STAIGER H., BUCHER, K., GRAETZ, A., LASCHEWSKI, G. **The perceived temperature: the method of the deutscher wetterdienst for the assessment of cold stress and heat load for the human body**. 2000.

LIMA, Izabella Medeiros. **A influência do entorno urbano na carga térmica de edificações de escritórios condicionadas artificialmente em uma cidade de clima quente e úmido**. Projeto de Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC, 2018.

MOURA, A. C. et al. Parametric modeling of urban landscape: decoding the Brasilia of Lucio Costa from modernism to present days. **TeMA Journal of Land Use, Mobility and Environment**, jun. 2014.

NATANIAN, J. et al. From energy performative to livable Mediterranean cities: An annual outdoor thermal comfort and energy balance cross-climatic typological study. **Energy and Buildings**, v. 224, p. 110283, out. 2020.

NAGANO, K., HORIKOSHI T. New index indicating the universal and separate effects on human comfort under outdoor and non-uniform thermal conditions, **Energy Build**. 43 (2011) 1694–1701.

NYGAARD, Paul D. **Planos Diretores de Cidades: discutindo sua base doutrinária**. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 2005. 286p.

OTHMAN, H. A. S.; ALSHBOUL, A. A. The role of urban morphology on outdoor thermal comfort: The case of Al-Sharq City – Az Zarqa. **Urban Climate**, v. 34, p. 100706, dez. 2020.

PARSONS, K. **Human thermal environment**. London: Taylor & Francis, 2003.

PERINI, K. et al. Modeling and simulating urban outdoor comfort: Coupling ENVI-Met and TRNSYS by grasshopper. **Energy and Buildings**, v. 152, p. 373–384, out. 2017.

PINTO, M. G. M.; VIEIRA, A. P.; NETO, P. L. **Parametric Urbanism as digital methodology AN URBAN PLAN IN BEIJING**. 1º eCAADe Regional International Workshop. **Anais...**Porto: 2013.

PRATA-SHIMOMURA, A. R.; MONTEIRO, L. M.; FROTA, A. B. **Physiological Equivalent Temperature Index Applied To Wind Tunnel Erosion Technique Pictures For The Assessment Of Pedestrian Thermal Comfort**. p. 4, 2009..

PORTO ALEGRE, Prefeitura Municipal. Secretaria do Planejamento Municipal. **PDDUA – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental**. Lei Complementar nº 434, de 1º de dezembro de 1999, atualizada e compilada até a Lei Complementar nº 667, de 3 de janeiro de 2011, incluindo a Lei Complementar 646, de 22 de julho de 2010. Acesso em: 25 julho, 2022.

PORTO ALEGRE, Prefeitura Municipal. Código de Edificações de Porto Alegre. LEI COMPLEMENTAR Nº 284, DE 27 DE OUTUBRO DE 1992.

ROLNIK, Raquel. **O que é Cidade**. 2ª Ed. São Paulo: Ed. Brasiliense, 1988.

ROSE, L. et al. Impact of urban morphology on Microclimatic conditions and outdoor thermal comfort – A study in mixed residential neighbourhood of Chennai, India. p. 6, 2015.

SCHWEIGERT, Laudelino Roberto. **Plano diretor e sustentabilidade ambiental da cidade**. 2007. 143 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2007

SHOOSHTARIAN, S. Theoretical dimension of outdoor thermal comfort research. **Sustainable Cities and Society**, v. 47, p. 101495, maio 2019.

SOUZA, Vitória Gonzatti. **Evolução dos planos diretores de Porto Alegre: atores na fase de formulação**. Trabalho de Conclusão de Curso na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. Porto Alegre - RS, 2017.

SPAGNOLO, J.C., DE DEAR, R.J. A human thermal climatology of subtropical Sydney. **Int. J. Climatol**. 23, 1383–1395. 2003.

TALEGHANI, M. et al. Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. **Building and Environment**, v. 83, p. 65–78, jan. 2015.

TONG, S. et al. Impact of urban morphology on microclimate and thermal comfort in northern China. **Solar Energy**, v. 155, p. 212–223, out. 2017.

HENRIQUE, V.; TURKIENICZ, B. Density and form. **ISUF 2020 Virtual Conference Proceedings**, v. 1, 18 fev. 2021.

YILMAZ, S. et al. Analysis of outdoor thermal comfort and air pollution under the influence of urban morphology in cold-climate cities: Erzurum/Turkey. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 45, p. 64068–64083, dez. 2021.

ZHANG, Y.; LIU, C. Parametric urbanism and environment optimization: Toward a quality environmental urban morphology. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 7, 1 abr. 2021.