



Densidade urbana e urbanismo paramétrico: código computacional para simulação de índices urbanísticos

Isabella Eloy Cavalcanti^a e Mauro Normando Macêdo Barros Filho^b

^a Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, Recife, PE, Brasil. E-mail: isabellaeloy@hotmail.com

^b Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Campina Grande, PB, Brasil. E-mail: mbarrosfilho@gmail.com

Submetido em 14 de maio de 2020. Aceito em 10 de setembro de 2020.
<https://doi.org/10.47235/rmu.v8i2.149>

Resumo. O desconhecimento e a aparente pouca aplicação de ferramentas computacionais para visualizar índices urbanísticos dificultam que planejadores e gestores possam compreender os possíveis impactos desses índices na forma e ocupação do solo urbano e, conseqüentemente, produzem cidades que não atendem aos princípios de sustentabilidade e urbanidade. Princípios esses relativos à eficiência da forma urbana em garantir a qualidade de vida humana. Diante da pluralidade de sentidos e aplicações, o uso da densidade urbana como índice deve ser muito bem explicitado nas normativas e fruto de estudos concretos. Este artigo é resultado de uma pesquisa centrada na construção de um código computacional voltado para simulação de índices urbanísticos que tratam de densidade urbana, por meio do desenvolvimento de um algoritmo no software paramétrico Rhinoceros3D e no plug-in Grasshopper. O objetivo geral é desenvolver uma ferramenta computacional para realizar experimentações e previsões de parâmetros que ordenam a ocupação do solo urbano. A partir dos cenários resultantes das simulações e a automação dos dados relativos à densidade urbana em um recorte espacial de um bairro na cidade de Campina Grande, Brasil, pôde-se perceber que a inserção de tecnologias computacionais pode contribuir no processo de busca por melhores projetos e gestões urbanas.

Palavras-chave. parametrização, densidade urbana, legislação urbana, simulações

Introdução

Termo utilizado em várias áreas do conhecimento, a densidade é a razão entre uma variável e a área que ela ocupa. Nas questões referentes ao espaço urbano sua aplicação não se refere apenas a um tipo de relação entre variável e área, nem é utilizada de uma única forma. Além dos vários tipos (densidade habitacional, demográfica, líquida, bruta, entre outras) e aplicações, ela passou por um longo processo de alteração semântica e funcional.

Durante a Segunda Revolução Industrial, a densidade urbana era a maneira de descrever

a situação que a ocupação do solo se encontrava.

Na Inglaterra, esses “bairros de má fama” se estruturam mais ou menos da mesma forma que em todas as cidades: as piores casas na parte mais feia da cidade; quase sempre, uma longa fila de construções de tijolos, de um ou dois andares, eventualmente com porões habitados e em geral dispostas de maneira irregular (Engels [2010 (1845)], p.74).

Já no século XX, a densidade urbana (habitações por hectare) era uma medida de

prescrever a forma como uma área deveria ser ocupada. Em 1909, Unwin na obra “*Town planning in practice*” menciona os diversos problemas do século XIX, questiona as ações do Estado em buscar a higienização sem uma política de embelezamento e sugere que a densidade habitacional ideal seria em torno de 30 habitações por hectare.

Enquanto algumas teorias e planos estabeleciam algumas diretrizes para a forma edilícia, tornou-se muito comum a criação de diretrizes e valores para a densidade construída sem uma clareza de como a forma urbana edificada poderia ou deveria ser estabelecida.

Uma exceção a esse padrão foi Nova York. As primeiras legislações do começo do século XX apontavam a forma edificada como essencial elemento na melhoria das condições da cidade (Figura 1). “Insuficiência de luz e ar devido a cortes estreitos ou poços de ar, altura indevida, ocupação do edifício, ou pelos edifícios adjacentes, de uma proporção muito grande das áreas do lote”. Afirmava um dos relatórios de Robert W. de Forest e Lawrence Veiller, em 1903 (Adams *et al.*, 1931, p.127).

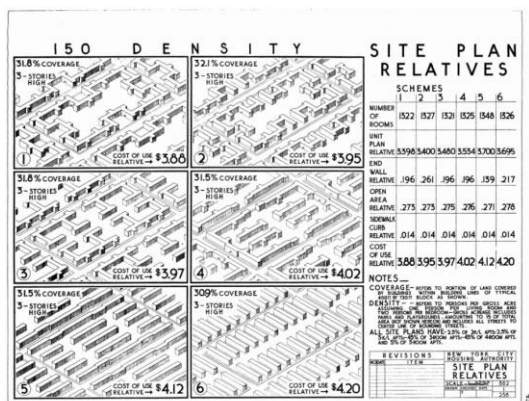


Figura 1. Diagramas de implantação de diferentes formas edilícias projetadas para maximizar a abertura e equilibrar a densidade populacional, altura e custo. Encomendado por F.L. Ackerman e publicado em 1937 (fonte: <https://skyscraper.org/housing-density/history/>).

Atualmente, como já descrito anteriormente, existem diversos tipos de densidades urbanas. Todavia, pelo seu caráter multi semântico, ao ser utilizada nas legislações urbanísticas, os índices de densidade não ficam claros e acabam por gerar múltiplas interpretações

que podem resultar em formas de ocupação do solo inesperadas. Como apontam Berghauer Pont e Haupt (2009), o índice de densidade precisa considerar não apenas uma, mas uma combinação de diferentes variáveis para descrever apropriadamente a forma urbana.

Poucas são as normativas brasileiras atuais que utilizam índices para o controle da paisagem urbana. Um exemplo é o artigo 229 da Constituição Estadual da Paraíba, regulamentado pelo Plano Diretor da Cidade de João Pessoa. A fim de preservar a paisagem da orla marítima, o artigo prevê alturas máximas para os edifícios construídos naquela parte da cidade (Figura 2).

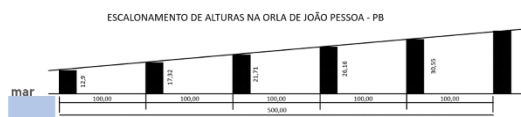


Figura 2. Escalonamento de alturas na orla de João Pessoa, PB (fonte: adaptado de Falcão *et al.*, 2005, p.14).

Nesse contexto, a pesquisa aqui apresentada pretende colaborar com a problemática, ao investigar a aplicação de ferramentas computacionais no cenário urbano como instrumentos de experimentação dos principais índices urbanísticos que alteram a densidade do solo urbano.

Desde meados do século XX, com o expoente desenvolvimento computacional advindo do Pós-Guerra, as tecnologias digitais têm sido aplicadas na área de Arquitetura e Urbanismo. Inicialmente para a otimização de processos de reconstrução de cidades atingidas pelos bombardeios e depois para o processo de produção em massa, as ferramentas de desenho digital já facilitava a produção de desenho no processo de projeto.

Foi a partir da década de 1980, com o desenvolvimento da modelagem digital em três dimensões e a possibilidade de previsão de resultados projetivos, que o computador passou a ser cada vez mais inserido nas etapas de projeto (Souza, 2010). Na década de 1990, o computador passou a participar nos processos não apenas como ferramenta de representação, mas de concepção projetual. O desenvolvimento e inserção da tecnologia paramétrica nas áreas de projeto de arquitetura e urbanismo exemplificam

esse novo papel desempenhado pelo computador.

Reitera-se, no entanto, que ao utilizar uma ferramenta computacional no processo de concepção projetual, não se elimina o protagonismo do projetista, mas otimiza-se etapas de criação, análise e decisões, executadas pelo arquiteto e urbanista. Como afirma Watanabe (2002, p.9 - tradução livre dos autores), “os computadores são melhores que os cérebros humanos para tarefas como resolver quebra-cabeças complexos. Por outro lado, eles não podem imaginar coisas que nunca existiram”.

Nesse sentido, a tecnologia paramétrica é mais que um *software* específico, é um modo projetivo que parte da criação de um sistema de variáveis interrelacionadas (Woodbury, 2010). Ela é diferente de ferramentas comuns de modelagem digital, pois é formada por componentes de rápidos ajustes e parâmetros que controlam a forma ou os cálculos desenvolvidos.

A tecnologia paramétrica proporciona, portanto, incluindo nesse termo a lógica e os *softwares*, a não linearidade do processo criativo, de maneira bastante simples, e a otimização de cálculos e relações. Ao alterar valores nos parâmetros, o sistema desenvolvido se auto organiza e o código gera uma nova forma ou um novo resultado. O projeto passa a ser uma sucessão de mudanças, facilmente executadas, o que permite rápidas adaptações.

Diante das vantagens da tecnologia paramétrica e da problemática mencionada entre densidade e legislações urbanísticas, o presente artigo tem como objetivo geral apresentar uma metodologia computacional que fornece uma base experimental para a manipulação e visualização de índices de densidade urbana, otimizando processos e gerando cenários que possam contribuir na compreensão do impacto desses índices na forma da cidade.

Além do geral, a pesquisa tem como objetivos específicos: (i) discutir como o planejamento urbano feito atualmente e seus índices urbanísticos, principalmente os que tratam de adensamento do solo, controlam (ou não) a ocupação do solo e a forma da cidade; (ii) apresentar a tecnologia

paramétrica como alternativa de auxílio nos processos de estabelecimento dos índices urbanísticos; e, por fim, (iii) desenvolver e aplicar um código paramétrico com índices presentes na legislação urbanística de uma cidade brasileira e que, posteriormente, possa ser testado em qualquer outra cidade.

Para tal, este artigo é estruturado seguindo os passos que construíram a metodologia. Será, inicialmente, apresentado os fundamentos teóricos da pesquisa, relacionando-os com a problemática e o estado da arte de cada um. Os conceitos de densidade urbana e suas implicações nas legislações serão abordados, seguido pelo aporte teórico da tecnologia paramétrica e suas possíveis contribuições na área de planejamento urbano. No segundo momento será descrito o desenvolvimento do código paramétrico para análise da densidade urbana. Os procedimentos que levaram à sua construção, como também suas capacidades e funcionamento. Após isso, será apresentada a aplicação do código em um recorte espacial, com a finalidade de testar as suas funcionalidades, compreender suas contribuições e corroborar com as proposições defendidas pela pesquisa.

A densidade urbana

Considerando o exposto, faz-se necessário ampliar a discussão acerca da densidade urbana como importante instrumento, atual e historicamente, para o planejamento e gestão urbana. Para isso, inicialmente será apresentado um breve panorama da evolução do conceito de densidade no planejamento urbano e, posteriormente, o seu uso nas normativas brasileiras.

Abordagem descritiva e prescritiva da densidade

Por um lado, densidades urbanas afetam diretamente processos de desenvolvimento urbano tanto ao nível da cidade quanto do bairro [...] Por outro lado, são também afetadas por imperfeições das políticas de habitação e fundiária urbana, por ineficiências de gestão e planejamento urbano, *standards* e regulamentações obsoletas, e por parâmetros de desenho urbano (Acioly e Davidson, 1998, p.58).

Aplicada ao urbanismo, a densidade é a razão entre uma variável (população, habitação, espaços livres, etc.) e a área por ela ocupada. Além das diferentes variáveis que podem preencher o numerador dessa razão, recentemente índices de densidade líquida e bruta consideram diferentes porções de áreas para tal cálculo (Taylor e Nostrand, 2008).

A fim de exemplificar as diferentes densidades, Taylor e Nostrand (2008), a partir de um único recorte urbano, apresentam diversas porções de áreas que definem diferentes valores atribuídos aos denominadores dos índices de densidade. Na Figura 3, um mesmo recorte urbano (01) pode ter sua densidade definida a partir da área bruta (02); área passível de ocupação (03); área que passou por um processo de urbanização, excluindo todo o espaço ocupado por vias (04); área não ocupada por nenhum uso (05) e toda a área destinada a um uso público, incluindo vias e espaços livres públicos (06).



Figura 3. Definições de área (fonte: adaptado de Taylor e Nostrand, 2008, p.20).

Percebe-se então que utilizar o termo “densidade urbana” sem uma especificação de qual variável e qual área se analisa, gera diferentes interpretações. Atualmente, por meio de índices e diretrizes, a densidade pode ser considerada uma ferramenta de ordenamento da ocupação do território, uma vez que assume função prescritiva que influencia a futura ocupação do espaço. No entanto, nem sempre ela desempenhou esse papel. Durante muito tempo tratava-se de uma forma de descrever a ocupação do solo.

Historicamente, no contexto de prosperidade econômica vivenciado pela Espanha, Portugal e Inglaterra, a partir das Grandes Navegações, ocorreu um processo de crescimento populacional nos espaços urbanos. Como consequência do aumento de pessoas em uma mesma porção de área, a densidade nas cidades cresce cada vez mais.

A necessidade de mais moradias nas cidades aliada à falta de um ordenamento da ocupação territorial resulta então nas

primeiras cidades “caóticas”. Nesse contexto de riqueza, o modelo econômico se afastava do feudalismo e dava lugar ao capitalismo.

Com o modelo econômico cada vez mais capitalista da Revolução Industrial, o ritmo de vida das pessoas passa a ser ditado em função da produção das indústrias. As condições físicas das cidades, que já estavam precárias devido ao rápido adensamento populacional, pioram devido às instalações de indústrias e moradias em áreas centrais (Figura 4).



Figura 4. Rua em bairro pobre de Londres, Dudley street (fonte: gravura de Gustave Doré de 1872. Benevolo, 1999).

As condições de moradia e de vida urbana passam a gerar consequências negativas na saúde pública em todas as camadas sociais presentes nesse novo momento de produção. Diante das doenças e mortalidade crescente, os governos determinam então as primeiras leis urbanísticas (Chaline, 1999).

O governo grego em 1835, fixa normas urbanísticas para o projeto e implantação de novas cidades e vilas, determinando que as cidades devem ser concebidas segundo um esquema ortogonal e as vilas conforme um traçado circular ou quadrado (Ferrari, 1988, p.232).

Percebe-se, portanto, que a densidade urbana esteve, desde o começo, interligada com o surgimento das primeiras legislações para o ordenamento do solo e problemas da cidade. O grande número de pessoas aglomeradas em um espaço pequeno e insalubre foi causa, e infelizmente ainda é, de sérias questões de saúde pública.

Um dos mais conhecidos exemplos de reforma urbana aconteceu na cidade de Paris 1853-1870, quando Haussmann, prefeito da cidade, rompe com o modelo de cidade medieval e inicia demolições de diversas edificações antigas. Ao abrir longas avenidas, constrói novas edificações e “limpa” os entornos de antigos monumentos para torná-los mais atrativos (Figura 5).

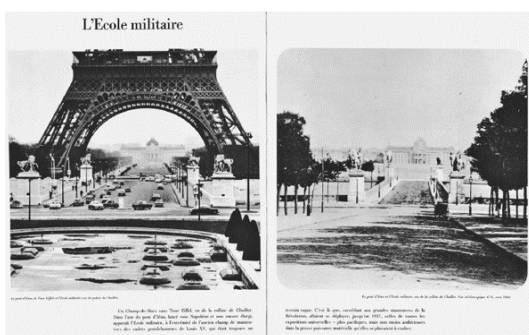


Figura 5. Mudanças urbanas: Abertura de grandes avenidas em Paris (fonte: Clark, 2018, p.163. Yvan Christ, *Les Metamorphoses de Paris*, 1967. © Michel Ciccione / Rapho; Coleção do autor)

No contexto brasileiro, influenciado pelas mudanças ocorridas em Paris e pelo Plano de Melhorias na cidade de Buenos Aires, que se torna público em 1898, as reformas urbanas em prol a higienização ocorreram nas primeiras décadas do século XX durante o governo do prefeito Pereira Passos na cidade Rio de Janeiro, por meio de demolições de cortiços e abertura de vias (Figura 6). Essas medidas logo se disseminaram pelas principais cidades brasileiras (Simões, 2007).



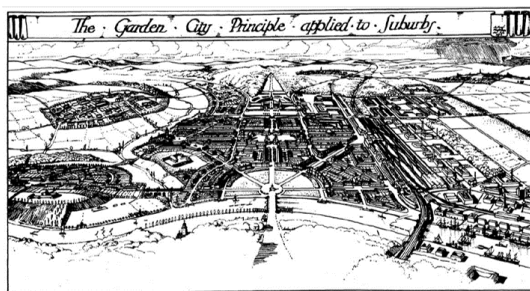
Figura 6. Reforma urbana modifica centro do Rio de Janeiro (fonte: <http://educacao.globo.com/artigo/reforma-urbanistica-de-pereira-passos-o-rio-com-cara-de-paris.html>).

O uso da densidade de maneira mais prescritiva aconteceu no cenário catastrófico do Pós-Guerra na Europa e a necessidade de reconstruir cidades inteiras de forma rápida e barata fizeram surgir as chamadas “máquinas de morar”.

Com a Escola da Bauhaus fundada na Alemanha em 1919 por arquitetos e urbanistas como Walter Gropius e Mies Van Der Rohe, a racionalização construtiva chegou a seu auge. E o entendimento e o uso da densidade urbano, por consequência muda com a alteração da finalidade e do modo construtivo. Se antes as famílias europeias moravam predominantemente em unidades unifamiliares; em meados do século XX, inspirados nos ideais de Le Corbusier, os planejadores urbanos franceses por acreditarem que a humanidade é mais feliz em comunidade, construíram extensos conjuntos habitacionais nos subúrbios. A construção desses edifícios provocou um aumento na verticalização e uma maior concentração de habitação por hectare.

Pouco tempo depois, no entanto, o Urbanismo Modernista, que prometia ser o futuro das cidades, passou a receber duras críticas. Seus princípios, dentre eles o zoneamento funcional dos usos do solo, provocaram o espraiamento e a segregação urbana, revelando como alternativas insustentáveis, fato que é potencializado pela crise do petróleo na década de 1970.

Unwin(1909) e antes dele Howard [1996 (1898)], com sua concepção de Cidade jardim, também afirmava que o rápido crescimento das cidades impedia o planejamento adequado e recomendava um desenho urbano específico que incorporava áreas verdes no interior das cidades (Figura 7). Nesse novo modelo, Howard (1996) ainda indicava que a densidade deveria ser em torno de 30 habitações por hectare, bastante diferente do que, décadas depois, Jacobs [1961 (1993)] iria apontar como ideal.



Mr Raymond Unwin here illustrates the application of the Garden City principle to a belt of green enclosing the whole community to the extension of new Suburbs. The Suburbs are seen separated from the City by belts of land which will remain open for all time.

Figura 7. Ilustração do *The Garden City Movement Up-to-Date* (1912) por Unwin, interpretando os princípios de Howard para planejamento regional (fonte: Buder, 1990, p.129).

Esses modelos de cidade influenciaram o desenvolvimento de subúrbios e novas cidades com inspiração nesses princípios na Inglaterra. Nos Estados Unidos, na década de 1930, serviram como base para a “*Broadacre City*” de Frank Lloyd Wright, formada por habitações unifamiliares, com implantação dispersa e isolada, com grande parte do lote livre de ocupação; o desenvolvimento desses modelos passou a disseminar uma ideia positiva sobre a baixa densidade e alta expansão residencial, algo que ainda hoje, mais de um século depois, ainda é realidade na maioria das cidades norte-americanas (Alves, 2011, p.20).

Nesse contexto, Jacobs (1993) discute a dimensão da cidade em aspectos da vida civil. Cidades espraiadas, além de não proverem uma mobilidade sustentável, separavam as pessoas e não ofereciam uma verdadeira vivência urbana. Além de apontar as falhas do antigo modo de planejar a cidade, Jacobs passa a recomendar medidas para promover a vitalidade e a qualidade de vida nos centros urbanos que são válidas e seguidas até os dias atuais.

Entre as medidas discutidas por Jacobs (1993), a densidade ideal por ela apontada era aquela que promovia uma vitalidade nos espaços urbanos e, na sua percepção. Deveria ter em torno de 250 habitações por hectares, um valor alto considerando aqueles atingidos pelas cidades influenciadas pelo Movimento Moderno.

Jacobs, todavia, não foi a primeira a tentar estabelecer um parâmetro ideal para densidade urbana (habitações/hectare). Já no começo do século, Unwin (1909) ao apontar os problemas das cidades inglesas no século

XIX, questiona as ações do Estado ao buscar a higienização mas não o embelezamento das cidades.

Densidade e planejamento urbano brasileiro

Como já apontado, o surgimento das normativas em prol de um ordenamento da ocupação do solo urbano esteve diretamente relacionado com o aumento das densidades populacional e habitacional nas primeiras cidades industriais.

Se a densidade urbana, e essa abrange todo tipo de edificação em uma área absoluta de recorte urbano, foi por muito tempo uma consequência das mudanças, hoje ela desempenha - ou pelo menos deveria desempenhar - um papel de ordenador e indicador de ocupação de determinada área da cidade.

Um bom exemplo do uso atual da densidade urbana no planejamento das cidades brasileiras é o Plano Diretor Estratégico (PDE) da cidade de São Paulo (Lei 16.050 de 31 de julho de 2014), o qual busca defender princípios como os de função social da cidade e da propriedade urbana, equidade e inclusão social e territorial e direito ao Meio Ambiente ecologicamente equilibrado (São Paulo, 2014). Esses princípios estabelecem diretrizes e ações específicas para as realidades territoriais da cidade.

Segundo Pacheco (2017), o PDE tornou-se uma referência para diversos outros planos diretores pelo Brasil. Suas preocupações com o uso do solo, o adensamento ordenado, as oportunidades de trabalho e a interação entre as construções e a rua oferecem um potencial de provocar uma quebra de paradigma no desenvolvimento da cidade.

No entanto, mesmo sendo uma das mais exemplares leis urbanísticas brasileiras, o uso do termo densidade urbana no PDE não é muito claro. Ele a utiliza como parâmetro para limitar ou ampliar a ocupação do solo, assumindo assim função prescritiva, como se observa no seu Artigo 12:

[...] Os objetivos específicos da Macroárea de Estruturação Metropolitana no Setor Central são: I - fortalecimento do caráter de centralidade municipal, aumentando a densidade demográfica e a oferta

habitacional, respeitando o patrimônio histórico, cultural e religioso, otimizando a oferta de infraestrutura existente; renovando os padrões de uso e ocupação e fortalecendo a base econômica local; (São Paulo, 2014, Art. 12, § 1º).

O texto da Lei em diversos momentos (Art. 9º, 13º, 14º, 19º, 22º, 23º, entre outros) emprega os termos “aumentar densidade”, “diminuir densidade”, “adensamento”, mas não há uma conceituação clara de como a densidade será manipulada. Na maioria das vezes, esses termos estão relacionados à população (densidade demográfica), mas algumas vezes também à edificação (densidade construtiva) e são sempre imprecisos, pois estão acompanhados por advérbios de intensidade (aumentar, diminuir, etc.) e não por valores numéricos; diferentemente de como esse parâmetro era utilizado na década de 1960, como já foi explanado no tópico anterior.

A abordagem ampla da densidade, e sem uma quantificação numérica, pode ser necessária caso se considere que determinar um valor para esse parâmetro, seja ele habitacional ou demográfico, depende de cada contexto físico-ambiental e sociocultural específico, assim como das condições ou capacidade de infraestrutura urbana existente no local.

Segundo Jacobs (1993, p.272), “As densidades são muito baixas ou muito altas quando frustram a diversidade da cidade em vez de a favorecer [...] Devemos analisar as densidades da mesma maneira que observamos as calorias e as vitaminas”. Ao falhar na análise das condições necessárias é que a densidade passa a ter níveis muito baixos ou muito altos.

Atualmente, apesar da densidade urbana não ser quantificada como era feito em meados do século passado, as normativas brasileiras definem índices como Coeficiente de Aproveitamento, o Potencial Construtivo e a Taxa de Ocupação. Tais índices direcionam o modo de ocupação das cidades e, de forma indireta, interferem na quantidade de habitações ou pessoas em uma determinada área.

Eles são responsáveis por aumentar ou diminuir o percentual de área destinada à

ocupação edificada em uma área, alterando conseqüentemente a densidade urbana (seja ela demográfica, habitacional ou qualquer outro tipo). Dessa forma, pode-se observar que anteriormente a densidade era diretamente delimitada pela quantidade de habitações e de pessoas. Atualmente, no entanto, o modo como as habitações ocupam o lote altera diretamente o percentual de área ocupada.

Diante disso, é possível perceber que a questão da densidade urbana no Brasil está relacionada a inúmeros parâmetros e medidas. Se antes os teóricos e urbanistas definiam um valor para a quantidade de habitações e/ou pessoas por uma porção de terra, hoje o planejamento trabalha com inúmeras variáveis que alteram a ocupação do solo e a dispersão humana na cidade.

Apesar de ser um parâmetro bastante complexo, há de se concordar com Berghauer Pont e Haupt (2009) quando o índice de densidade considera apenas uma única variável não é capaz de fornecer muitas informações sobre a forma de ocupação do solo. Através do desenvolvimento da *Spacematrix* (Figura 8), os autores supracitados agregam uma série de variáveis relacionadas à densidade, a fim de compreender melhor os diferentes tipos de ocupações edilícias.

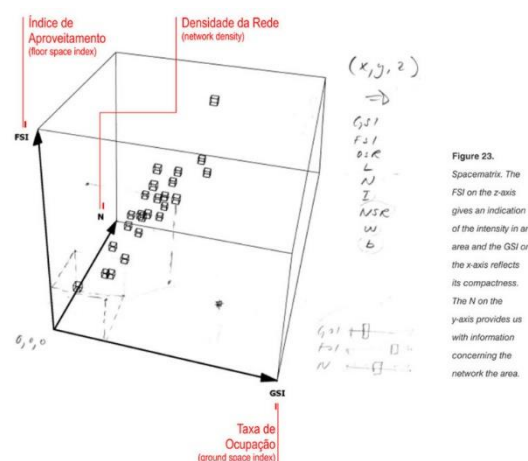


Figure 23. The Spacematrix. The FSI on the z-axis gives an indication of the intensity in an area and the GSI on the x-axis reflects its compactness. The N on the y-axis provides us with information concerning the network area.

Figura 8. *Spacematrix*, desenvolvido por Berghauer Pont e Haupt (fonte: Saboya 2014 e adaptado de Berghauer Pont e Haupt 2009, p.98).

Os diversos índices de densidade abrangem diversas variáveis que estão correlacionadas, sendo portanto dependentes e complementares entre si. Ao serem

combinadas, torna-se mais complexa a visualização e, conseqüentemente, a compreensão da forma urbana resultante.

O que é percebido, no entanto, é que as normativas brasileiras muitas vezes estipulam índices que, teoricamente, direcionam a ocupação do solo (taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, entre outros) sem ter uma real ideia dos seus impactos na paisagem urbana e na maneira como a cidade poderá se desenvolver.

Devido à herança modernista e sanitarista, os índices de diversos planos diretores continuam a propor significativos recuos da edificação das dividas dos seus lotes, para garantir condições de insolação, ventilação e privacidade. Isto, contudo, acaba por gerar e reproduzir uma tipologia de torres isoladas no lote, conhecida como “padrão-paliteiro”, que descaracteriza a identidade de cada lugar. Além disso, esse padrão reduz a interface público-privado, dificultando a vigilância natural das pessoas, o que pode provocar um aumento da sensação de insegurança, desencorajar o uso dos espaços públicos e aumentar a incidência de crimes.

Verifica-se, portanto, há carência de estudos que explorem os diversos índices de densidade e avaliem suas conseqüências para o desenho urbano. Esses índices e seus respectivos valores não são, em geral, questionados, mas definidos *a priori*, desconsiderando as especificidades dos lugares e a relação com seus elementos morfológicos. Há de se questionar se os índices dos atuais planos diretores são demasiado rígidos e pouco aderentes à realidade de cada lugar. É urgente que o processo de planejamento seja mais flexível e adaptável às especificidades e dinâmicas que estão sujeitas as cidades, dando-se ênfase ao seu papel heurístico.

Apesar de complexa, a densidade é um importante condicionante e norteador de projetos urbanos. Seus valores, no entanto, devem ser definidos a partir de estudos específicos, por meio de simulações e testes para mensurar sua potencialidade e os seus impactos na paisagem e no funcionamento da cidade (Silva *et al.*, 2016).

Nesse sentido, o presente artigo visa demonstrar como a inserção de uma

tecnologia computacional pode contribuir na manipulação e visualização de índices de densidade presentes nas legislações urbanísticas.

Tecnologia paramétrica e o planejamento urbano

Ocorre um crescente reconhecimento de que as certezas sobre as cidades são ilusórias e vão além da compreensão humana e, assim, os modelos têm-se tornado cada vez menos orientados para a predição, mas como instrumentos de simulação para auxiliar a compreensão e estruturar o debate sobre a cidade (Barros Filho, 2009, p.169).

O aumento da complexidade do espaço urbano é uma discussão que tem acontecido há décadas. McLoughlin (1973, p.34) aponta que ao perceber a complexidade da cidade, nos tornamos “prisioneiros da percepção de que tudo na cidade afeta todo o resto”. Uma vez que essa percepção nos prende e cativa de maneira significativa.

O uso da densidade urbana, com suas múltiplas relações e significados, contribui para o ordenamento do solo, ao mesmo tempo que aumenta a complexidade das variáveis e dos aspectos a serem considerados no planejamento urbano. Diante dessa realidade, cada vez mais as tecnologias computacionais tornam-se potenciais aliados na gestão e produção de forma e decisões projetuais.

Como bem destaca Holst (2012), a era digital dá acesso aos arquitetos e engenheiros a ferramentas que possibilitam a criação de geometrias complexas e sistemas avançados. Esses sistemas são capazes de auxiliar na busca de soluções acessíveis, sustentáveis e que fazem o uso de processos de otimização.

Se antes as tecnologias computacionais eram uma extensão do nosso braço, auxiliando o projeto como uma prancheta digital, atualmente elas têm a capacidade de auxiliar o projetista na análise e busca de soluções para os mais diversos problemas (Chaillou, 2019).

Uma das mais recentes tecnologias computacionais, a tecnologia paramétrica, foi desenvolvida inicialmente para as áreas das

engenharias aeroespacial e mecânica, mas desde meados da década de 1990, tem sido cada vez mais inserida nas áreas de projeto.

De forma resumida, a tecnologia paramétrica cria sistemas de variáveis relacionadas em contínua interação. Os *softwares* utilizados para a criação desses sistemas são baseados em um conjunto de componentes de rápido ajuste, chamados de “parâmetros”. Por meio desses parâmetros, que podem ser facilmente alterados, algumas regras e ações são estabelecidas. Essas regras resultam em opções para solucionar os objetivos estabelecidos *a priori*.

Uma vez que o cerne da tecnologia paramétrica é a criação de relações entre elementos, ela pode potencialmente contribuir no planejamento urbano, uma vez que é capaz de automatizar processos e estabelecer ligações entre aspectos fundamentais da manipulação do espaço urbano. Tornando a complexidade das cidades cada vez mais compreensível.

Apesar de ter uma grande capacidade de aplicação no *design* urbano através da geração de formas urbanas orgânicas, como é utilizado no *One north masterplan* do escritório *Zaha Hadid Architects* (Figura 9), a face da tecnologia paramétrica utilizada neste artigo é a aplicação para cálculo, visualização de resultados e a previsão de cenários urbanos.



Figura 9. Espacialização da proposta urbana *One North Masterplan*, ZHA (Singapura 2001-2021) (fonte: <https://www.zaha-hadid.com/masterplans/one-north-masterplan/>).

Uma importante referência para o desenvolvimento do código paramétrico a ser descrito no próximo tópico e exemplo do uso da tecnologia para a otimização de processos como base de tomada de decisão é o *CityMetrics* (Lima, 2017, 2019).

A investigação presente no *CityMetrics* está centrada na elaboração de um sistema que articula métricas de avaliação de desempenho a recursos e funcionalidades algorítmico-paramétricas, permitindo e otimizando diferentes aspectos relativos ao desempenho de configurações geométricas e formais de áreas urbanas, segundo princípios do Desenvolvimento Orientado por Transporte (DOT); como, por exemplo o Algoritmo de Proximidade Física (APF), ferramenta possível de ser utilizada no contexto do princípio da acessibilidade ao transporte assim como em análises de caminhabilidade (Calthorpe, 1993; Lima, 2017) (Figura 10).

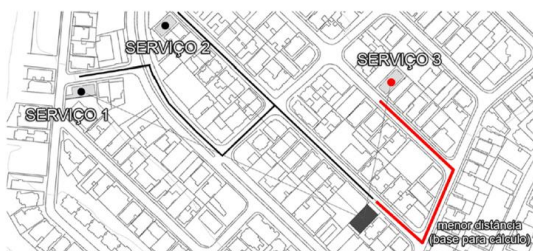


Figura 10. Lógica do cálculo do APF (Algoritmo de Proximidade Física) para múltiplos alvos: o algoritmo calcula os menores percursos físicos para todos os alvos (serviços) em uma categoria (fonte: Lima, 2017, p.134).

O *CityMetrics* implementa um sistema generativo em linguagem de programação visual, usando ferramentas algorítmicas desenvolvidas ou adaptadas a articular métricas de avaliação (Lima, Borges e Costa, 2019) tal como a já mencionada *Spacematrix* de Berghauer Pont e Haupt (2009) (Figura 11). A partir de respostas automáticas dessas métricas, o projetista é capaz de manipular uma série de parâmetros em prol de um resultado mais adequado e desejado para o contexto urbano específico.



Figura 11. Componente desenvolvido por Lima (2017) para automação dos cálculos dos índices da *Spacematrix* (Berghauer Pont e Haupt, 2009) (fonte: adaptado de Lima, 2017, p.143)

A partir do desenvolvimento de sistemas como o *CityMetrics*, o ato de se planejar para o urbano do século XXI torna-se mais embasado e dinâmico. Como apontam Beirão e Duarte (2005), os planos urbanos tradicionalmente têm sido desenvolvidos de maneira rígida e definitiva. Para lidar com a complexidade e as mudanças que caracterizam as sociedades urbanas contemporâneas, é necessária uma abordagem mais flexível, e a tecnologia paramétrica muito pode contribuir nesse sentido.

O urbanismo paramétrico, como é chamado a inserção dessa tecnologia em projetos de

escala urbana, permite, de acordo com Tedeschi (2014), compreender e controlar o comportamento de um sistema complexo, a fim de planejar e prever suas mudanças em tempo real.

Desenvolvimento do código

Diante dos problemas e potencialidades da tecnologia paramétrica discutidas anteriormente, percebeu-se que o desenvolvimento de um código paramétrico para a visualização de índices e automação de cálculos poderia contribuir para a criação de uma base experimental sólida e auxiliar os projetistas no estabelecimento desses índices, assim como facilitar a compreensão dos impactos desses valores.

O desenvolvimento do código aconteceu em um período de quatro meses e foi um processo não linear de investigação, consulta e de contínuos testes de funcionamento. Manipular um *software* paramétrico e desenvolver esses códigos requer algumas capacidades que foram experimentadas nesse trabalho: dividir e conectar partes lógicas, pensar matematicamente, algoritmicamente e com certo nível de abstração (Woodbury, 2010).

Além das funcionalidades (algoritmos) presentes no código, é importante compreender outros dois elementos essenciais de qualquer código: *inputs* e *outputs*. Eles são, respectivamente, os dados necessários para que o código funcione e aqueles resultantes do sistema.

Nessa pesquisa, os dados foram classificados em três tipos: dados de partida, dados parametrizáveis e dados resultantes da parametrização. Os primeiros são aqueles necessários para iniciar o código (*inputs*); os segundos são valores alteráveis rapidamente e que refletem mudança da geometria gerada pelo sistema; e os resultantes são valores numéricos ou booleanos (resposta verdadeiro ou falso), gerados automaticamente a partir da mudança dos parametrizáveis.

Em relação aos dados de partida, uma das maiores preocupações foi ter a menor quantidade possível, ou seja, buscar maneiras que o código fornecesse o maior número de informações com a menor necessidade possível de dados iniciais, aumentando a sua aplicabilidade e tornando-o funcional mesmo

em situações que poucas informações estão disponíveis. Dessa maneira, todo o funcionamento da ferramenta parte de apenas três básicas informações: geometria do lote a ser simulado (Figura 12), eixos das ruas e geometria total do recorte urbano.

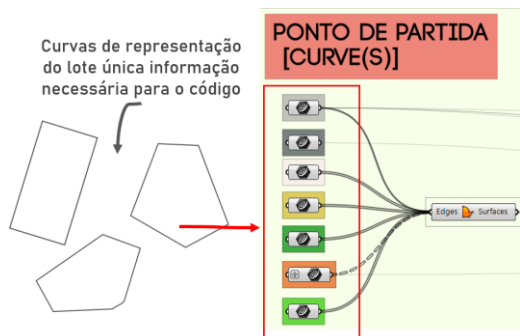


Figura 12. Esquema ilustrativo das informações necessárias para o funcionamento do código desenvolvido (fonte: elaborada pelos autores, 2020).

Outro questionamento existente no processo de desenvolvimento do código estava na escolha de quais índices da legislação urbana que alteram a densidade urbana, seriam mais pertinentes e adequados a se tornarem parâmetros (dados parametrizáveis). Rapidamente, duas coisas foram observadas: (i) a relevância dos índices estava ligada à escala com que se pretendia visualizar (o índice de Taxa de Ocupação tinha seus efeitos mais claramente observados a nível de hectares, enquanto as mudanças de valores de recuos eram mais visíveis em uma escala de quadra ou até mesmo de lote, dezenas de metros quadrados) e (ii) há índices que, por estarem em total dependência entre si, não podem ser parametrizáveis de maneira simultânea. Por exemplo, ao tornar a Taxa de Ocupação e os recuos dados parametrizáveis, observou-se que ao alterar esses últimos, o valor do primeiro mudava-se por consequência.

Após reflexões sobre a importância da escolha da escala que seria trabalhada e do objetivo principal em auxiliar a tomada de decisão por meio da visualização dos índices, decidiu-se que a Taxa de Ocupação seria a variável parametrizável principal, uma vez que essa taxa assume diversos valores de acordo com a área do município e com os tipos de uso do solo existentes. Por essa razão, o componente inicial e predominante desenvolvido nessa ferramenta tem o

objetivo de possibilitar a visualização desse índice (Figura 13).

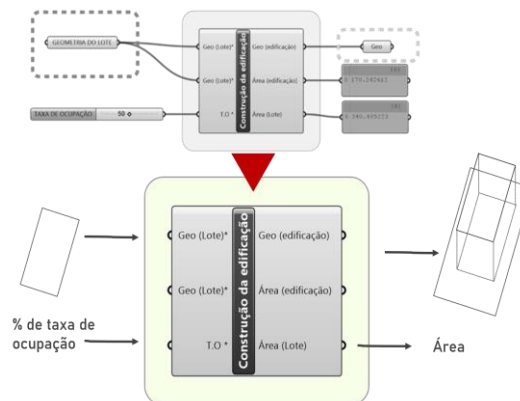


Figura 13. Componente “Construção da edificação” e seu funcionamento (fonte: elaborada pelos autores, 2018).

O componente denominado “Construção da edificação” (Figura 13) funciona a partir do reconhecimento do centróide da geometria bidimensional do lote. Após isso, o componente eleva um volume a partir da geometria do lote considerando a porcentagem da Taxa de Ocupação escolhida pelo usuário. Além de gerar a geometria, o *cluster* fornece outros 2 *outputs*: área total do lote e área da edificação gerada. O componente é independente do restante do código, ou seja, pode ser utilizado em outros códigos ou de maneira autônoma para a visualização tridimensional desse índice.

Além da importância da Taxa de Ocupação e do desenvolvimento do *cluster*, o código desenvolvido, reconhecendo a importância e relevância dos índices de densidade desenvolvidos por Berghauer Pont e Haupt (2009), fornece todos os valores de maneira automática. Índices de Intensidade Construtiva (FSI), Cobertura (GSI), Altura Média das Edificações (L), Índice de Espaços Abertos (OSR), entre outros, foram incorporados como dados resultantes da parametrização. A Figura 14 apresenta os componentes e os *outputs* presentes no código relativos aos índices de densidade.

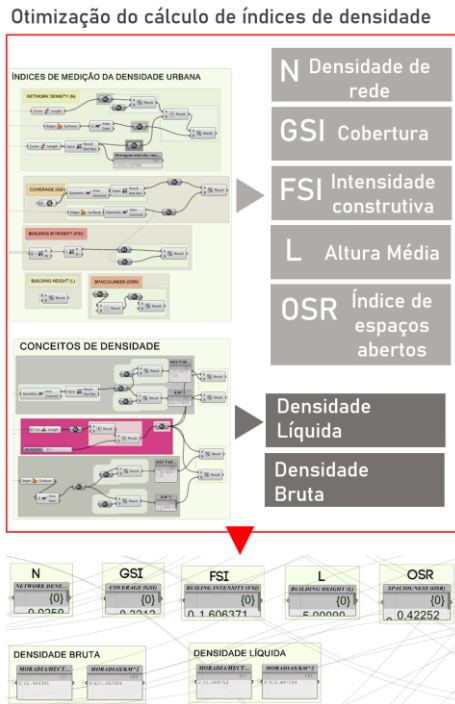


Figura 14. Componentes e outputs de densidade urbana (fonte: elaborada pelos autores, 2020).

Uma vez que um importante elemento de discussão da pesquisa apresentada é a imprevisibilidade dos índices, o código ainda é capaz de “responder” à comparação entre os índices simulados e aqueles estabelecidos pela legislação, apontando quando os valores simulados saem ou continuam no intervalo permitido (Figura 15).

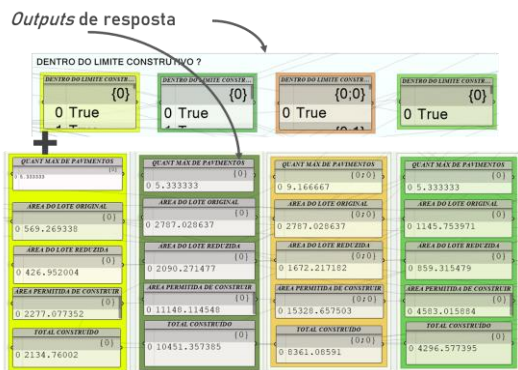
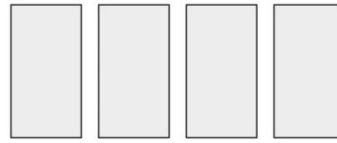


Figura 15. Outputs de resposta de limite construtivo (fonte: elaborada pelos autores, 2018).

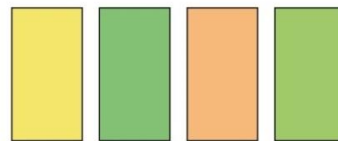
Como já foi dito, a Taxa de Ocupação pode ser considerada o dado parametrizável de maior destaque no código desenvolvido. Observou-se que na cidade escolhida como objeto de estudo, assim como na maioria das cidades brasileiras que apresentam esse índice urbanístico, o seu valor muda de

acordo com o uso do solo que o lote irá possuir. A partir disso, foi pertinente separar os lotes destinados aos diferentes usos e alterar os índices de cada um, a fim de permitir uma visualização mais próxima da realidade existente (Figura 16).

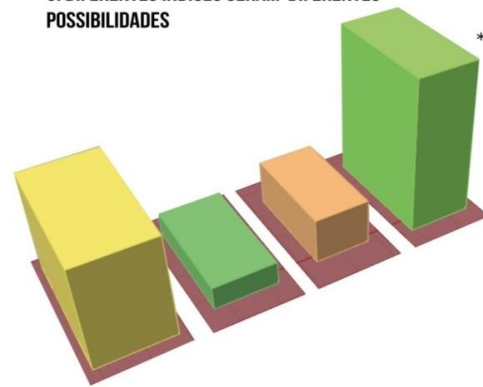
1. LOTES DE TAMANHOS IGUAIS



2. USOS DO SOLO DIFERENTES



3. DIFERENTES ÍNDICES GERAM DIFERENTES POSSIBILIDADES



*GEOMETRIA 3D GERADA PELO CÓDIGO COM ALTERAÇÃO DOS DADOS PARAMETRIZÁVEIS PARA CADA USO DO SOLO

Figura 16. Lotes com índices diferentes geram geometrias distintas (fonte: elaborada pelos autores, 2018).

Em suma, a ferramenta desenvolvida parte de 3 informações geométricas básicas, o código é capaz de auxiliar o projetista com 17 outros dados que automaticamente irão se adaptar às mudanças feitas no sistema (Figura 17). Exemplos do funcionamento do código serão expostos no tópico seguinte a partir de a sua aplicação em uma área de estudo.

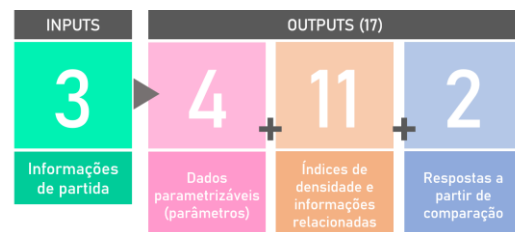


Figura 17. Resumo dos dados da ferramenta desenvolvida (fonte: elaborada pelos autores, 2020).

Aplicação do código e área de estudo

Como já apontado, o desenvolvimento do código pretende fornecer uma base experimental para a tomada de decisão no estabelecimento de índices e valores para legislações urbanísticas, destacando como um mesmo valor estabelecido pode limitar ou não a forma edilícia das cidades brasileiras.

Com a finalidade de colocar em teste e criar evidências para as proposições destacadas, a pesquisa utilizou um recorte urbano e executou uma série de simulações, criando cenários possíveis dentro de uma mesma legislação.

Objeto de estudo

O recorte urbano escolhido encontra-se na cidade de Campina Grande, um município do Nordeste brasileiro considerado um importante polo industrial e um dos maiores polos tecnológicos da América Latina (Figura 18). Atualmente, a cidade apresenta uma população em torno de 400 mil habitantes ocupando uma área total de aproximadamente 595 km², sendo 96 km² de área urbana (IBGE, 2017).



Figura 18. Localização da cidade objeto de estudo e simulações (fonte: adaptado de https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Paraiba_in_Brazil.svg. 2020).

Regido por um Plano Diretor aprovado em 2006 (Lei complementar n° 003) e pelo Código de obras (Lei n° 5410 de 2013), o ordenamento da cidade é feito a partir da delimitação de macrozonas: urbana e rural. A Macrozona Urbana está dividida em zonas de acordo com as características de ocupação, da infraestrutura existente e condições físicas. Esse zoneamento permite identificar áreas que necessitam de ações e diretrizes específicas (Figura 19).

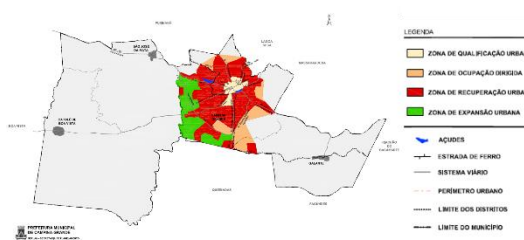


Figura 19. Zoneamento da área urbana de Campina Grande – PB (fonte: adaptado do plano diretor. Campina Grande, 2006, p.44).

Na escala do lote, o Plano Diretor aliado com o Código de Obras da Cidade, designa limites construtivos que ordenam a quantidade da ocupação do solo, como também a forma que essa construção se organiza no lote, através do estabelecimento de parâmetros como: afastamentos (recuos), gabaritos máximos, dentre outros.

Os limites de construção são determinados pelos coeficientes de aproveitamento de terreno, que dizem respeito ao aproveitamento máximo do lote com edificações, taxas de ocupação e por outros índices urbanísticos complementares. (Campina Grande, artigo 14° do plano diretor, 2006, p.7).

De forma geral, esses limites ordenadores da ocupação construtiva são estabelecidos *a priori* da sua ocupação ou objetivando limitar uma ocupação existente. Diante da carência de estudos sobre os seus impactos ou sobre o uso de simulações para visualização dos possíveis impactos que sua concretização exercerá no meio urbano, o que pode superestimar ou subestimar a capacidade de suporte de determinada infraestrutura, a presente pesquisa faz uma crítica a esse tipo de planejamento ao mesmo tempo em que pretende colaborar com a investigação de alternativas para lidar com essa questão, através do código já apresentado.

O recorte específico escolhido está inserido em um bairro que na última década tem passado por um processo de adensamento e verticalização devido a uma intensa especulação imobiliária (Figura 20). Ele apresenta uma área equivalente a 32,5 hectares, sendo 22 hectares ocupados por 22 quadras com um formato predominantemente retangular (Figura 21).

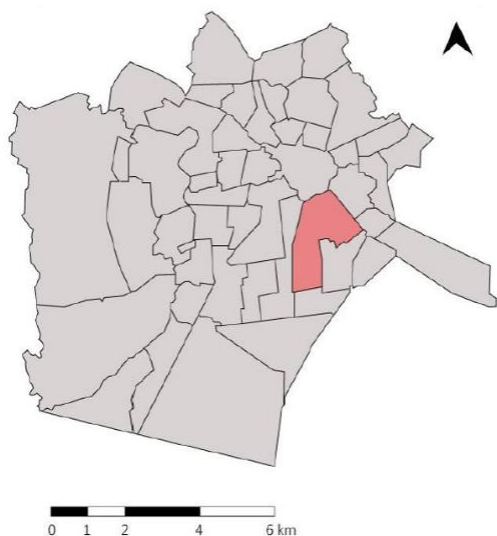


Figura 20. Bairro estudado em destaque no mapa de Campina Grande – PB (fonte: adaptado do mapa base da Secretaria de Planejamento, gestão e transparência da cidade de Campina Grande - SEPLAN, 2011)

Bairro do Catolé e área de estudo



Figura 21. Recorte espacial específico para as simulações (fonte: adaptado do mapa base da Seplan, 2011 e imagens de satélite *Google Earth*, 2018).

Resultados e discussão

Os cenários gerados pelas simulações não objetivam representar a realidade ou a maneira como a ocupação tende a acontecer, mas possibilitar a visualização de padrões de ocupação que poderiam ocorrer seguindo os

índices que atualmente são estipulados para este fragmento da cidade.

Para as simulações, foram escolhidos quatro principais cenários, compilados no esquema da Figura 22. Os índices presentes no código foram classificados em baixo, médio e alto de acordo com os valores estabelecidos pelo Código de Obras da Cidade. Por exemplo, um valor baixo de Índice de Aproveitamento é o valor mínimo indicado pela normativa, enquanto o valor considerado “alto” é o máximo por ela previsto. Em relação aos usos do solo, o código desenvolvido prevê simulações para quatro usos: residencial, comercial, institucional e industrial (Figura 23).

QUADRO RESUMO DOS CENÁRIOS				
	1	2	3	4
OCUPAÇÃO DO SOLO	ATUAL	NOVAS OCUPAÇÕES	NOVAS OCUPAÇÕES	INFERIOR À ATUAL
USO DO SOLO	ATUAL	SEMELHANTE AO ATUAL	MAIS DIVERSIFICADO	ATUAL
PARCELAMENTO	BASE SEPLAN 2011	BASE SEPLAN 2011	BASE SEPLAN 2011	BASE SEPLAN 2011
TAXA DE OCUPAÇÃO	ALTA	MÉDIO- ALTO	BAIXA	MÁXIMA
ÍNDICE DE APROVEITAMENTO	MÉDIO - ALTO	MÉDIO - ALTO	MÁXIMO	BÁSICO
GABARITOS	5	1 A 3	5 A 9	1 A 3

Obs: Os cenários 2 e 3 possuem edifícios que existem atualmente e que foram adicionados independentemente do código

Figura 22. Compilado dos cenários simulados (fonte: elaborada pelos autores, 2018).



Figura 23. Identificação de cada uso do solo (fonte: elaborada pelos autores, 2018).

O Cenário 1 tem como base geométrica o desenho dos lotes existentes e os seus respectivos usos em 2018. Em relação aos parâmetros (dados parametrizáveis), foram atribuídos valores altos para a Taxa de Ocupação em todos os usos; valores básicos para os índices de aproveitamento em alguns usos (o valor básico desse índice na legislação urbanística de Campina Grande é 1.0); valor máximo em outros, desde que todos os lotes estivessem dentro dos limites construtivos (Figura 24).

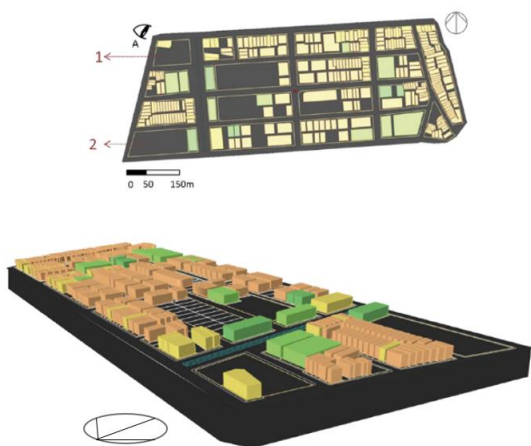


Figura 24. Imagens da simulação: Cenário 1 (fonte: elaborada pelos autores, 2018).

O Cenário 2 usou como base a geometria dos lotes existentes, mas com uma ocupação mais intensa. Lotes atualmente sem edificações foram adicionados ao sistema (com usos diversos, mas seguindo a maioria residencial como hoje é caracterizada essa ocupação), assim como alguns edifícios residenciais existentes foram incluídos com o intuito de ocupar as quadras que não têm uma demarcação do lote a fim de observar um cenário em que o solo seja visto com sua cobertura mais completa.

Em relação aos índices, os parâmetros do segundo cenário seguiram os mesmos valores que o anterior. Dessa forma, a finalidade principal foi observar uma maior ocupação do solo, com taxas de ocupação em valores máximos, mas com gabaritos relativamente baixo (Figura 25).



Figura 25. Cenário 2 (fonte: elaborada pelos autores, 2018).

O Cenário 3 continuou usando a base geométrica dos lotes existentes, mas teve o objetivo de visualizar uma verticalização extrema da área (Figura 26). Esta simulação propôs que os índices de aproveitamentos fossem utilizados com seus valores máximos (5.5 para uso residencial e 4.0 para demais usos) e as taxas de ocupação estabelecidas

em 50%. Logo, a quantidade de pavimentos aumentou consideravelmente.



Figura 26. Cenário 3 (fonte: elaborada pelos autores, 2018).

A construção do Cenário 4 teve o objetivo de contrastar radicalmente com o anterior (Figura 27). Enquanto o Cenário 3 apresenta uma verticalização extrema, este apresenta uma horizontalidade predominante, apresentando taxas de ocupação com valores máximos e índices de aproveitamentos básicos com valores baixos (variando de 1 a 2).

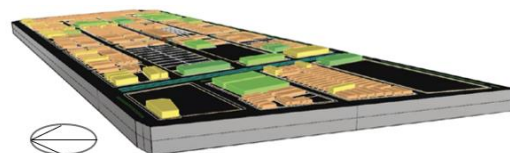


Figura 27. Cenário 4 (fonte: elaborada pelos autores, 2018).

A partir dos cenários gerados é possível pôr em discussão como e se os principais índices de legislação urbana que tratam da ocupação (edificada e humana) conseguem controlar ou não a forma urbana e avaliar a real intensidade de como o solo será edificado e adensado.

Com a finalidade de perceber de forma mais clara as diferenças das densidades e formas urbanas de cada cenário, os valores dos indicadores de Berghauer Pont e Haupt (2009), obtidos automaticamente pelo código desenvolvido, foram inseridos na *Spacemate* (Figura 28).

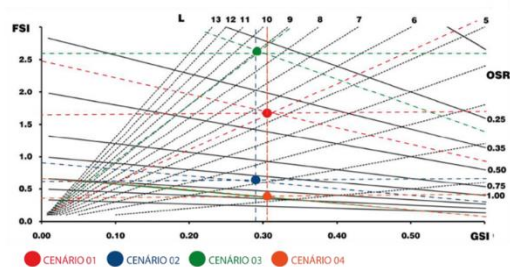


Figura 28. Representação dos cenários na *Spacemate* (fonte: adaptado de Berghauer Pont e Haupt, 2009).

O posicionamento dos cenários ilustra mais claramente as observações feitas. De maneira geral, o indicador que menos variou no recorte como um todo foi a Taxa de Ocupação, presente na *spacemate* como GSI. Já o Índice de Aproveitamento (FSI), a quantidade de espaço não construído ao nível do solo (OSR) e a Altura Média das Alturas (L) sofreram significativas mudanças (Tabela 1).

Tabela 1. Dados resultantes das simulações (fonte: elaborado pelos autores).

	Cenários			
	1	2	3	4
T.O.	71.2%	71.2%	52.5%	71.2%
Pavimentos	5	3.25	7.5	1.75
L	5.00	2.27	8.98	1.30
I.A	4.37	3.5	4.37	1.75
GSI	0.31	0.28	0.28	0.31
FSI	1.60	0.65	2.56	0.41
OSR	0.42	1.08	0.27	1.62
Densidade bruta*	62.46	24.98	124.93	12.49
Densidade líquida*	41.69	16.67	83.37	8.33

* valores de habitação por hectare.

Através dos valores gerados também é possível perceber a variação significativa da densidade ao intensificar a verticalização, refletida principalmente no aumento do valor da altura média das edificações (L).

Além de gerar questionamentos sobre o controle (ou a falta dele) que os índices construtivos impõem na forma como as edificações irão ocupar o solo é interessante perceber como esses outros índices de medição (GSI, FSI e OSR) de fato podem contribuir no direcionamento da forma urbana, uma vez que seus valores caracterizam a ocupação do solo de forma mais precisa.

Conclusão

Como exposto, a noção de mensurar a “densidade ideal” não foi bem sucedida em nenhum momento ao longo da história, cada local e cultura possui características específicas que não podem ser limitadas a um

valor único para a ocupação. Com o desenvolvimento do código e os pressupostos da falta de bases experimentais, objetivou-se enfatizar como os valores de densidade (refletidos pelos índices nas legislações urbanísticas) refletem padrões de ocupação distintos e como tais, necessitam ser tratados de forma mais clara e específica nas normativas atuais.

Ao mesmo tempo que existe a necessidade de planejar o espaço urbano com mais aderência às necessidades de cada local e adequar a ocupação com as capacidades de suporte da infraestrutura existente na área, o processo de tomada de decisão ainda é vagaroso e bastante arcaico. Defende-se que a inserção de tecnologias computacionais pode contribuir muito nesse processo de busca por melhores projetos e gestões urbanas.

Cientes que essa pesquisa pode ser ampliada e melhorada em diversos quesitos, aponta-se algumas possíveis adições e desdobramentos. Inicialmente a melhoria na geometria gerada pelo código. Com a adição de mais detalhes e elementos visuais (fluxos de pessoas, veículos e vegetação urbana) os cenários potencialmente serão mais atrativos para a visualização e demonstração para outros profissionais e para a comunidade envolvida no processo de planejamento. Para uma maior correspondência com a realidade, seria interessante a inserção do perfil topográfico das áreas simuladas. Por fim, assim como foi feito com a Taxa de Ocupação, teria grande proveito a criação de novos componentes referentes a outros índices construtivos, uma vez que otimiza o código e amplia as suas aplicações.

A pesquisa descrita nesse artigo é apenas o início de uma investigação que potencialmente pode ampliar o controle dos resultados de projetos urbanos e a previsão de problemas. Através da inevitável e necessária explicitude das ideias para geração de códigos paramétricos, o processo de planejamento torna-se mais nítido e aberto para colaborações externas e multidisciplinares.

O desenvolvimento do código paramétrico e os exemplos reais discutidos, demonstram o avanço da aplicação dessas novas tecnologias no urbanismo, como ferramentas que são capazes de otimizar e tornar o processo de

planejamento e de tomada de decisão mais rápido e apoiado em bases experimentais mais concretas. A urgência atual de soluções para os complexos problemas das cidades faz com que investigações de ferramentas dessa natureza no planejamento e gestão do espaço urbano sejam cada vez mais necessárias.

Ao lidar com projeto, observa-se que atualmente a principal dificuldade é trabalhar com a complexidade preenchida com milhões de combinações e alternativas de subcomponentes. O presente artigo pretendeu apontar que a inserção de tecnologias computacionais é potencialmente capaz de auxiliar o projetista para lidar com essa enorme quantidade de combinações e alternativas no momento do estabelecimento de índices nas normativas urbanísticas.

Referências

Acioy, C. C. e Davidson, F. (1998) Densidade urbana. Rio de Janeiro, Mauad Editora Ltda.

Adams, T., Heydecker, W. D., Bassett, E. M., & Lewis, H. M. L. (1931). *Buildings: Their Uses and the Spaces about Them* (Vol. 6). *Regional plan of New York and its environs*.

Alves, S. R. (2011). Densidade urbana. Compreensão e estruturação do espaço urbano nos territórios de ocupação dispersa Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitectura de Lisboa.

Barros Filho, M.N.M. (2009). Escalas da diversidade intra-urbana. Recife: Ed. do Autor.

Beirão, J. (2012). *CityMaker: designing grammars for urban design*. TU Delft.

Beirão, J., & Duarte, J. (2005). Urban grammars: towards flexible urban design. Session 11: shape grammars Em: *eCAADe 23, 491-500, 2005*. Disponível em: http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?2005_491 [Consultado em 30 de abril de 2018].

Berghauer Pont, M. Y., & Haupt, P. A. (2009). Space, density and urban form. Tese de Doutorado, *Delft University of Technology*.

Buder, S. (1990). *Visionaries and planners: the garden city movement and the modern community*. Oxford University Press on Demand.

Calthorpe, P. (1993). *The next American metropolis: Ecology, community, and the American dream*. Princeton architectural press.

Campina Grande (cidade).(2006). Lei complementar nº 003, de 09 de outubro de 2006 – Plano Diretor. Disponível em:

Compreender o espaço urbano e o desenvolvimento futuro das cidades estará no entendimento dos seus elementos e das escalas que existem, principalmente na compreensão das relações entre escalas morfológicas e formas existentes. Diante da necessidade dessa avaliação do presente em prol de cidades melhores no futuro, é imprescindível buscar alternativas e projetos que possam compreender melhor a complexidade das inter relações entre as diversas variáveis envolvidas no processo de planejamento e gestão urbanos.

http://campinagrandepb.com.br/wp-content/uploads/2014/10/Plano_Diretor_2006.pdf [Consultado em 4 de novembro de 2017].

Campoli, J., & MacLean, A. S. (2007). *Visualizing density*. Lincoln Inst of Land Policy.

Chaillou, S.(2019). *AI + Architecture towards a new approach*. Tese de doutoramento. *Harvard University Graduate Scholl of Design*, Estados Unidos.

Clark, C. E. (2018). *Paris and the Cliché of History: The City and Photographs, 1860-1970*. Oxford University Press. Reino Unido.

Engels, F. (1975). *A situação da classe trabalhadora na Inglaterra*. Porto: Afrontamento.

Falcão, S. M., Lima, E. R. V., Borges, U.N. (2005) Alterações na paisagem da orla marítima de cabedelo em decorrência da dinâmica de ocupação da área. Em: *Cadernos do logepa, Vol.4, n.1, 2005*. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/logepa/article/view/10993> [Consultado em 10 de abril de 2020].

Ferrari, C. (1979). *Curso de planejamento municipal integrado: urbanismo*. Livraria Pioneira Editora. Santana de Parnaíba, SP. Brasil

Holst, R. (2012). *Think, script, build: architectural engineering through parametric modelling of inteligente system in architecture*. Architectural Engineering at the Technical University of Denmark (DTU), Dinamarca

Howard, E. (1996). *Cidades-jardins de amanhã*. 1ed. 1898. São Paulo: Annablume.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).(2010) *Censo 2010*. Disponível em:

- www.censo2010.ibge.gov.br [Consultado em: 6 de novembro de 2017].
- Jacobs, J. (1993) *The death and life of great American cities*. New York: The modern library, 3ed (1961)
- Lima, F., Borges, M., Costa, F. (2019). *Digital Techniques applied to Design Process*. Editora UFJF. ISBN 978-85-93128-35-6
- Lima, F. Métricas Urbanas: Abordagens paramétricas para planejamento de bairros e cidades mais sustentáveis. ProBooks, 2019
- Lima, F. Métricas urbanas: sistema (para) métrico para análise e otimização de configurações urbanas de acordo com métricas de avaliação de desempenho. 2017. 236f. 2017. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Urbanismo)—Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- McLoughlin, J. B. (1973). *Control and urban planning*. Reino Unido: Faber & Faber.
- Saboya, R.(2014) Spacemate, Spacematrix e o estudo das densidades urbanas. 2014. Disponível em: www.urbanidades.arq.br. [Consultado em: 27 de novembro de 2017].
- São Paulo (cidade) (2014). *Política de Desenvolvimento Urbano e o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo*. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo.
- Silva, G. J. A. D., Silva, S. E., & Nome, C. A. (2016). Densidade, dispersão e forma urbana: Dimensões e limites da sustentabilidade habitacional. Em: *Arquitextos Vitruvius*, (189.07). Disponível em: <https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/16.189/5957> [Consultado em 31 de março de 2020].
- Simões Junior, J. G. (2007). O ideário dos engenheiros e os planos realizados para as capitais brasileiras ao longo da Primeira República. Em:Portal Vitruvius, novembro, 2007. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/08.090/190> [Consultado em 15 de julho de 2017].
- Sousa, J. P. (2012) *Praxis Digital*. Em: Trama nº0. Lisboa 2010. Disponível em: <http://cargocollective.com/jpsousa/filter/Writings/Praxis-Digital>>> [Consultado em 03 de maio de 2019].
- Taylor, Z. T., & Van Nostrand, J. C. (2008). *Shaping the Toronto Region, Past, Present, and Future: An Exploration of the Potential Effectiveness of Changes to Planning Policies Governing Greenfield Land Development in the Greater Golden Horseshoe*. Estados Unidos: Neptis Foundation.
- Tedeschi, A. (2014). *AAD, Algorithms-aided design: parametric strategies using Grasshopper*. Itália: Le penseur publisher.
- Unwin, R. (1909). *Town planning in practice: An introduction to the art of designing cities and suburbs*. T. Fisher Unwin.
- Watanabe, M. S. (2002). *Induction design: a method for evolutionary design*. Springer Science & Business Media.
- Woodbury, R. (2010). *Elements of parametric design*. Reino Unido: Routledge.

Tradução do título, resumo e palavras-chave

Urban density and parametric urbanism: Computational code for simulating urban indices

Abstract. *The lack of knowledge and the apparent little application of computational tools to visualize urban indexes make it difficult for planners understand the possible impacts of these indexes on the form and occupation of urban land and, consequently, produce cities that do not meet the sustainability principles of urbanity. In view of the plurality of meanings and applications, the use of urban density as an index must be very well explained in the regulations and the result of concrete studies. This article is the result of a research centered on the construction of a computational code aimed at simulating urban indexes that deal with urban density, through the development of an algorithm in the parametric software Rhinoceros3D and in the Grasshopper plug-in. The general objective is to develop a code to carry out experiments and predictions of parameters that order the occupation of urban land. From the scenarios resulting from the simulation and the automation of data related to urban density in a spatial section of a neighborhood in the city of Campina Grande, Brazil, it was possible to perceive that the insertion of computational technologies can significantly contribute to the search process for better urban projects and management.*

Keywords: parametric design, urban density, urban legislation, simulations.

Editor responsável pela submissão: Julio Celso Borello Vargas.

Licenciado sob uma licença Creative Commons.

