

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO

Carlos Frederico Ribeiro Costa

Análise computacional de densidade construída e de diversidade de usos em centros urbanos: uma aplicação de CityMetrics na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais - Brasil

Juiz de Fora

2020

Carlos Frederico Ribeiro Costa

Análise computacional de densidade construída e de diversidade de usos em centros urbanos: uma aplicação de CityMetrics na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais - Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial a obtenção do grau de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Tadeu de Araújo Lima.

Juiz de Fora
2020

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Costa, Carlos Frederico Ribeiro.

Análise computacional de densidade construída e de diversidade de usos em centros urbanos : uma aplicação de CityMetrics na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais - Brasil / Carlos Frederico Ribeiro Costa. -- 2020.

95 f. : il.

Orientador: Fernando Tadeu de Araújo Lima

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2020.

1. Planejamento Urbano. 2. Análise Computacional Urbana. 3. Densidade Construída Urbana. 4. Diversidade de Usos. 5. Urbanismo Paramétrico. I. Lima, Fernando Tadeu de Araújo, orient. II. Título.

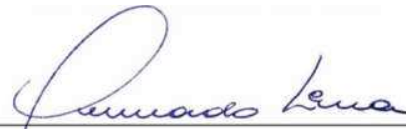
Carlos Frederico Ribeiro Costa

Análise computacional de densidade construída e de diversidade de usos em centros urbanos: uma aplicação de CityMetrics na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais - Brasil

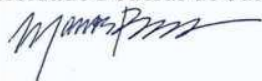
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial a obtenção do grau de Mestre em Ambiente Construído.

Aprovada em 13 de abril de 2020

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fernando Tadeu de Araújo Lima – Orientador e Presidente da Banca
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Marcos Martins Borges – Membro titular interno
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Frederico Braida Rodrigues de Paula – Membro titular interno
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Geovany Jessé Alexandre da Silva – Membro titular externo
Universidade Federal da Paraíba



Prof. Dr. Rodrigo Cury Paraizo – Membro titular externo
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Este trabalho é dedicado a todas as pessoas que acreditam na pesquisa científica e na educação como instrumentos fundamentais para o aprimoramento da nossa vida em sociedade. Dedico-o também a todos aqueles que sonham com cidades bem planejadas, sustentáveis e com mais equilíbrio social, palco da coletividade e do encontro entre as mais variadas pessoas e suas mais diversas singularidades.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por não ter me deixado só em nenhum dia durante a construção deste trabalho, especialmente nos dias de maior dificuldade, menor concentração e cansaço. Também agradeço aos meus familiares, principalmente a minha mãe Maria Antonieta e a meu pai Gilson Tadeu, que sempre se dedicaram a tarefa de me educar, com amor e carinho, transmitindo confiança e me apoiando nos momentos decisivos da minha vida.

Agradeço as instituições que apoiam e apostam nos pesquisadores brasileiros, em especial a fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo financeiro concedido para auxiliar o desenvolvimento da presente pesquisa, suporte esse que foi fundamental e muito simbólico em um momento que o ensino e a pesquisa são menosprezados e se encontram até mesmo sob ameaça no Brasil.

Sou grato por toda experiência adquirida durante os anos de pesquisa no Laboratório de Investigação em Arquitetura e Urbanismo (DOMVS CNPq), ao qual agradeço o coordenador, líder e meu orientador, doutor Fernando Lima, assim como agradeço também aos colegas Ashiley Rosa, Pedro Hugo, Thayná Franco e Luiza Vallone, especialmente por toda colaboração dada à esta pesquisa. Poder vivenciar a dinâmica de um grupo de pesquisas, as discussões pontuais e engrandecedoras associado a imersão em outros temas correlacionados ao desta investigação criaram a oportunidade para que eu produzisse e organizasse trabalhos, obras, eventos e atividades científicas que foram fundamentais para o processo de amadurecimento da minha investigação.

Por fim, agradeço aos técnicos e aos professores do Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído (PROAC) da Universidade Federal de Juiz de Fora, por todos ensinamentos e suporte durante o período de desenvolvimento desta dissertação. Estendo meus agradecimentos aos meus colegas de curso, que colaboraram e foram fundamentais para suavizar este percurso.

Fazendo uso de minhas faculdades intelectuais, mentais e espirituais, agradeço a todos pelo apoio recebido durante a construção desta pesquisa. Muito obrigado!

“Science can never solve one problem without creating ten more problems.” (SHAW, 1963, p. 83)

RESUMO

Esta investigação centra-se na elaboração de uma análise computacional implementada por meio da associação entre a modelagem paramétrica e a lógica algorítmica — ou simplesmente lógica algorítmico-paramétrica (LIMA, 2017) — de duas variáveis que compõem o espaço urbano. Mais especificamente, esta pesquisa apresenta uma análise quantitativa sobre o panorama da densidade urbana e da diversidade de usos na cidade de Juiz de Fora (Minas Gerais), desenvolvendo uma revisão narrativa acerca desses aspectos, apresentando indicadores que viabilizem uma análise objetiva e, por fim, apresentando uma implementação computacional do sistema *CityMetrics* (LIMA, 2017), direcionada para elaboração de uma análise da densidade urbana e da diversidade de usos em três áreas de estudo. A revisão narrativa elaborada permitiu compreender que tanto a densidade urbana quanto a diversidade de usos podem ser utilizadas computacionalmente como instrumentos para balizar projetos urbanos, apresentando-se como características fundamentais para um planejamento urbano mais sustentável. A diversidade de usos associada com a alta densidade urbana se apresentam como aspectos fundamentais para viabilizar o paradigma de compacidade urbana, promovendo a sobreposição de usos diversos dentro de espaços com maior urbanidade. Os resultados encontrados reforçam a potencialidade da aplicação de recursos computacionais como ferramentas de suporte a tarefas de análise urbano e permitiram identificar, em dois cenários diferentes de análise, as relações entre a forma urbana e os indicadores avaliados nas áreas estudadas, promovendo reflexões acerca: do paradigma de compacidade urbana; dos resultados obtidos; da metodologia adotada, suas limitações e fragilidades; e dos desafios da gestão de cidades contemporâneas. Esta investigação pretende contribuir para a área do planejamento urbano incentivando uma utilização mais frutífera dos recursos computacionais, além de reforçar a importância de estudos específicos de aspectos da densidade urbana e da diversidade de usos, com vistas a produção de projetos urbanos com mais qualidade.

Palavras-chave: Planejamento Urbano. Análise Computacional Urbana. Densidade Construída Urbana. Diversidade de Usos. Urbanismo Paramétrico.

ABSTRACT

This investigation focuses on the elaboration of a computational analysis implemented through the association between parametric modeling and algorithmic logic - or simply algorithmic-parametric logic (LIMA, 2017) - of two variables that make up the urban space. More specifically, this research presents a quantitative analysis on the panorama of urban density and the diversity of uses in the city of Juiz de Fora (Minas Gerais), developing a narrative review about these aspects, presenting indicators that enable an objective analysis and, finally, presenting a computational implementation of the *CityMetrics* system (LIMA, 2017), aimed at developing an analysis of urban density and diversity of uses in three areas of study. The elaborated narrative review allowed us to understand that both urban density and diversity of uses can be used computationally as instruments to guide urban projects, presenting themselves as fundamental characteristics for a more sustainable urban planning. The diversity of uses associated with high urban density is presented as fundamental aspects to make the paradigm of urban compactness viable, promoting the overlap of different uses within spaces with greater urbanity. The results found to reinforce the potential of the application of computational resources as tools to support urban analysis tasks and allowed to identify, in two different analysis scenarios, the relationships between the urban form and the indicators evaluated in the studied areas, promoting reflections about urban compactness paradigm; the results obtained; the methodology adopted, its limitations and weaknesses; and the challenges of managing contemporary cities. This investigation aims to contribute to the area of urban planning by encouraging a more fruitful use of computational resources, in addition to reinforcing the importance of specific studies on aspects of urban density and diversity of uses, to produce urban projects with more quality.

Keywords: Urban planning. Urban Computational Analysis. Urban Density. Urban Diversity. Diversity of Uses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Esquema-resumo dos procedimentos metodológicos.....	22
Figura 2 –	Representação simplificada da definição de Lima (2017) para Lógica Algorítmico-paramétrica.....	30
Figura 3 –	Representação simplificada da definição de Arturo Tedeschi para algoritmo.....	31
Figura 4 –	Etapas da modelagem matemática.....	33
Figura 5 –	Esquema de funcionamento da cidade compacta.....	39
Figura 6 –	A articulação das estratégias fundamentais para a formulação e utilização do CityMetrics.....	46
Figura 7 –	Indicadores Spacematrix: área de análise (no caso desta pesquisa, um bairro), área total de pisos (FSI), área total de ocupação (GSI) e rede de ruas (N).....	48
Figura 8 –	Cluster da ferramenta Algoritmo de Indicadores Spacematrix para Grasshopper.....	49
Figura 9 –	Gráfico Spacematrix (matriz espacial).....	49
Figura 10 –	Cluster da ferramenta Algoritmo de Uso Misto para Grasshopper.....	52
Figura 11 –	Soma de áreas residenciais e não residenciais pelo AMXI.....	52
Figura 12 –	Identificação do estado de Minas Gerais no território do Brasil e da cidade de Juiz de Fora no território do estado de Minas Gerais.....	54
Figura 13 –	Área de análise no bairro Centro.....	57
Figura 14 –	Modelo 3D (desenvolvido parametricamente em Rhinoceros3D + Grasshopper) do bairro Centro.....	58
Figura 15 –	Área de análise no bairro Benfica.....	59
Figura 16 –	Modelo 3D (desenvolvido parametricamente em Rhinoceros3D + Grasshopper) do bairro Benfica.....	60
Figura 17 –	Área de análise no bairro São Pedro.....	60
Figura 18 –	Modelo 3D (desenvolvido parametricamente em Rhinoceros3D + Grasshopper) do bairro São Pedro.....	61
Figura 19 –	Organização dos layers no âmbito do software AutoCAD 2019.....	62

Figura 20 – Diferenciação entre o layer Eixo_de_Vias_Internas e o layer Eixo_de_Vias_Externas, no bairro São Pedro.....	63
Figura 21 – Levantamento do número de pavimentos e dos usos de cada uma das edificações.....	64
Figura 22 – Exemplo de análise em andamento no Rhinoceros3D + Grasshopper, aplicada na área de análise do bairro Centro.....	65
Figura 23 – Clusters de CityMetrics.....	66
Figura 24 – Gráfico com os resultados lançados após a implementação dos indicadores Spacematrix.....	67
Figura 25 – Representação gráfica para o resultado do indicador MXI.....	68
Figura 26 – Cenário I - bairro Centro.....	71
Figura 27 – Cenário I - bairro Benfica.....	72
Figura 28 – Cenário I - bairro São Pedro.....	73
Figura 29 – Gráfico Spacematrix com os resultados da análise e do Cenário 1.....	75
Figura 30 – Representação gráfica para o resultado do indicador MXI no Cenário I	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de referência para o indicador MXI.....	53
Tabela 2 – Bairros analisados pelo trabalho.....	56
Tabela 3 – Resultados das análises.....	67
Tabela 4 – Novo cenário no bairro Centro.....	73
Tabela 5 – Novo cenário no bairro Benfica.....	74
Tabela 6 – Novo cenário no bairro São Pedro.....	75

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AECO	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
CAD	<i>Computer Aided Design</i> / Desenho assistido por computadores
CIM	<i>City Information Modeling</i> / Modelagem das Informações da Cidade
DOTS	Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável
FOLDOC	<i>Free On-line Dictionary of Computing</i> / Dicionário gratuito online de computação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
PDDU	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
RP	Região de Planejamento
UP	Unidade de Planejamento
VPL	<i>Visual Programming Language</i> / Linguagem de programação visual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	PROBLEMATIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	18
1.2	OBJETIVOS.....	20
1.2.1	Objetivo geral.....	20
1.2.2	Objetivos específicos.....	20
1.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	21
1.4	ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO.....	23
2	ABORDAGENS COMPUTACIONAIS APLICADAS A PROBLEMAS PROJETUAIS URBANOS.....	25
2.1	ABORDAGENS COMPUTACIONAIS E SEUS REFLEXOS EM TAREFAS DE ANÁLISE E PROJETO: UM BREVE HISTÓRICO E APLICAÇÕES RECENTES.....	25
2.2	LÓGICA ALGORÍTMICO-PARAMÉTRICA.....	29
2.2.1	Lógica algorítmica.....	30
2.2.2	Modelagem paramétrica.....	33
3	DENSIDADE URBANA E DIVERSIDADE DE USOS NO CONTEXTO DO PLANEJAMENTO DE BAIROS E DE CIDADES.....	36
3.1	O DESEMPENHO DA FORMA URBANA SOB OS ASPECTOS DA DENSIDADE: O PARADIGMA DE COMPACIDADE URBANA.....	36
3.2	O DESEMPENHO DA FORMA URBANA SOB OS ASPECTOS DA DIVERSIDADE DE USOS: A RELAÇÃO ENTRE DIVERSIDADE E VITALIDADE URBANA.....	41
4	CITYMETRICS: SISTEMA COMPUTACIONAL DE SUPORTE A ANÁLISES DE DENSIDADE URBANA E DIVERSIDADE DE USOS.....	45
4.1	CITYMETRICS – SISTEMA (PARA)MÉTRICO PARA ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DE CONFIGURAÇÕES URBANAS.....	45

4.2	INDICADORES PARA ANÁLISE DA DENSIDADE URBANA CONSTRUÍDA: SPACEMATRIX (MATRIZ ESPACIAL) INDICADORES PARA MEDIR A DENSIDADE URBANA.....	48
4.2.1	GSI - Ground Space Index.....	50
4.2.2	FSI - Floor Space Index.....	50
4.2.3	N - Network Density.....	51
4.3	MIXED-USE INDEX (MXI): ÍNDICE PARA MEDIR A DIVERSIDADE URBANA.....	51
5	ANÁLISE ALGORÍTMICO-PARAMÉTRICO DA DENSIDADE E DA DIVERSIDADE URBANA EM JUIZ DE FORA.....	54
5.1	OBJETO DE ESTUDO: A CIDADE DE JUIZ DE FORA.....	54
5.2	OS BAIRROS ESCOLHIDOS E OS RECORTES ANALISADOS.....	55
5.3	IMPLEMENTANDO CITYMETRICS: TAREFAS EXECUTADAS PARA REALIZAÇÃO DA ANÁLISE.....	61
5.4	RESULTADOS OBTIDOS.....	66
5.4.1	Nova análise: verificando como as principais vias impactam nos indicadores em cada amostra analisada.....	69
6	DISCUSSÕES.....	79
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
7.1	DESDOBRAMENTOS E TRABALHOS FUTUROS.....	84
	REFERÊNCIAS.....	85
	ANEXO B – UP’S DA RP CENTRO.....	90
	ANEXO C – MAPA DA RP NORTE.....	91
	ANEXO D – UP’S DA RP NORTE.....	92
	ANEXO E – MAPA DA RP OESTE.....	93
	ANEXO F – UP’S DA RP OESTE.....	94

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação, desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído (PROAC) da Universidade Federal de Juiz de Fora, relaciona-se com o projeto de pesquisa *Métricas Urbanas: Sistema (para)métrico para análise e otimização de configurações urbanas*, do Laboratório de Investigação em Arquitetura e Urbanismo — DOMVS CNPq. Essa pesquisa, orientada e coordenada pelo professor Dr. Fernando Lima, centra-se no desenvolvimento de análises e otimizações elaboradas por meio de um sistema¹, intitulado *CityMetrics*², que articula métricas de avaliação de desempenho a recursos e funcionalidades algorítmico-paramétricas. O objetivo da pesquisa mencionada é “analisar e propor otimizações de diferentes aspectos relativos ao grau de eficiência e às possibilidades de operação de configurações geométricas e algébricas de uma determinada área urbana” (LIMA, 2017, p.9). Ainda neste contexto, a pesquisa *Métricas Urbanas* se desenvolve sob a perspectiva de princípios objetivamente mensuráveis do Desenvolvimento Orientado pelo Transporte Sustentável (DOTS), “um modelo de desenvolvimento urbano que visa a cidades mais autônomas e mais sustentáveis” (LIMA, 2017, p. 27).

De acordo com dados da Organização das Nações Unidas (2013), mais da metade dos indivíduos habita em áreas urbanas atualmente. No começo da década de 1950, esse número correspondia a apenas 30% da população mundial. Estima-se que até em 2050 o equivalente a 75% da população mundial viverá em áreas urbanas, concentrando esse aumento da população citadina principalmente nos países ainda em desenvolvimento, que tiveram um processo de industrialização tardio, como é o caso do Brasil (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2013).

Diante deste cenário de crescimento da concentração populacional urbana (em termos relativos e absolutos), é possível apontarmos como consequência o aumento dos impactos ambientais produzidos pelas cidades. Segundo a análise de Rogers (2001), as regiões urbanas contribuem significativamente para a elevação do consumo e, conseqüentemente, para o

¹ No âmbito desta pesquisa, o termo “sistema” se refere mais especialmente a estratégias, procedimentos, ferramentas e etapas computacionais, articulados em conjunto com o objetivo de atuar no auxílio de atividades de análise das configurações formais em áreas urbanas.

² A tese de doutorado “*Métricas Urbanas: Sistema (para)métrico para análise e otimização de configurações urbanas de acordo com métricas de avaliação de desempenho*” foi premiada com menção honrosa no prêmio CAPES de tese 2018, categoria: Arquitetura, Urbanismo e Design. Esta dissertação se relaciona diretamente com esta pesquisa e seus desdobramentos, na medida em que utiliza o sistema desenvolvido neste contexto para verificar questões relativas à densidade e à diversidade urbana.

esgotamento de recursos naturais não renováveis, além de promoverem mudanças climáticas e agravarem uma série de problemas sociais já conhecidos atualmente.

Hoek (2008) afirma que as mudanças sociais são uma das mais relevantes forças que impulsionam a transformação e o desenvolvimento urbano, assim como a definição das características projetuais, cenário este que pode ser exemplificado no desenvolvimento urbano por meio de aspectos como a ampliação da escala e a especialização funcional da malha urbana.

No século XX, a economia se transformou da produção e distribuição industrial para os serviços e criação baseados no conhecimento. O rápido desenvolvimento nos tempos modernos da economia e da tecnologia aumentou a escala de operação de uma escala local para global. Durante esse "processo de modernização", a presença física de nossas configurações e redes urbanas se tornou um produto e uma testemunha dessas forças históricas de mudança (HOEK, 2008, p.1, tradução nossa³).

Conforme apontado por Ascher (2005), os processos de urbanização contemporâneos são determinados pela desindustrialização e pela reinvenção do conceito de modernidade, destradicionalizando a típica sociedade industrial. Hoek (2008) afirma que esses processos acompanham uma reavaliação dos usos urbanos, objetivando estimular a diversidade e, conseqüentemente, um cenário ideal para promoção da urbanidade, do desenvolvimento econômico, do consumo de produtos e de um panorama de compactação, contribuindo assim para a sustentabilidade.

A definição de urbanidade que mais se adequa ao contexto desta dissertação é aquela apresentada por Elias e Beirão (2017), quando autores apontam que:

[...] urbanidade expressa-se sob a forma de qualidade de vida em todas as suas dimensões sociais. Estas conotações originárias do termo estendem-se a um sentido mais amplo que permitem utilizá-lo na qualificação de edifícios, bairros e cidades ao referir-se à qualidade do que é urbano ou próprio da cidade (ELIAS; BEIRÃO, 2017, p.566).

Ainda para Elias e Beirão (2017, p.566), o conceito de urbanidade representa a relação entre os atributos da forma urbana e o desempenho performativo dos espaços, potencializando

³ *In the 20th century economy transformed from industrial production and distribution to knowledge-based service and creation. The rapid development in modern times of economy and technology increased the scale of operating from a local to a global scale. During this "process of modernization" The physical presence of our urban configurations and networks has become both a product and a witness of these historical forces of change (HOEK, 2008, p. 1).*

a presença simultânea de diversas pessoas. Essa ideia de “copresença” é apresentada por eles como “um fator determinante na promoção de atividade social (encontros e comunicação), potencializador da atividade econômica e da segurança por via da vigilância passiva”.

Neste contexto, Rogers (2001) expõe que cidades com maior densidade (ou cidades compactas) tendem a ser mais sustentáveis, pois viabilizam a otimização do consumo energético e de outros recursos, além de oferecer as vantagens de se morar próximo aos serviços urbanos básicos, evitando a dependência do transporte por automóvel. O paradigma de compactidade também é defendido por Stuchi e Leite (2015), que argumentam sobre a relação entre a alta densidade e a potencialização da demanda por infraestrutura urbana (as ruas, os modais, as redes lógicas e os equipamentos públicos) e otimiza o uso de recursos públicos.

A compactidade urbana também tende a gerar uma oferta maior de diversas atividades que se sobrepõem na malha urbana: o uso misto aproveita melhor os espaços, evitando grandes deslocamentos em uma cidade excessivamente setORIZADA (GEHL, 2013). Bairros diversificados, que não sejam monofuncionais, são considerados fator primordial para a sustentabilidade das cidades, pois permitem morar, trabalhar, consumir e recrear simultaneamente em uma mesma área, sem a dependência do automóvel (CALTHORPE, 1993).

Lima (2017, p. 73) afirma que é importante mensurar os aspectos da densidade de uma área urbana “para articular relações entre os serviços disponíveis, os modais de transportes e a quantidade potencial de pessoas que podem residir e trabalhar em uma determinada localidade”. Neste sentido, bairros diversificados incentivam os deslocamentos a pé, mais especificamente porque a compactidade posiciona os serviços fundamentais mais próximos e acessíveis, impulsionando também a qualidade de vida social por meio da integração de diferentes pessoas (LIMA *et al.*, 2019).

Neste cenário, considerando o aumento eminente da população citadina, as abordagens digitais e os métodos computacionais vêm sendo crescentemente empregados como ferramenta de auxílio na gestão de cidades, por meio da identificação dos padrões de consumo de energia, de água, dos padrões de deslocamento de pessoas e veículos, entre outros, auxiliando para que se determinem fragilidades nas infraestruturas existentes em todos estes sistemas. Embora todas essas informações já estivessem disponíveis por meio do levantamento simples de dados, apenas recentemente elas têm sido obtidas com maior precisão, especialmente porque os sistemas computacionais desempenham um importante papel no gerenciamento e no manuseio de um grande volume de informações (BERG, 2012).

Para Wooff (2016), dentro do campo do planejamento urbano, o paradigma das ferramentas computacionais significou uma possibilidade de visualizar rapidamente o impacto de alterações no panorama da forma da cidade — como os aspectos de densidade ou da diversidade, por exemplo — o que, em teoria, permitiria que os gestores tenham a possibilidade de tomar decisões amparadas em uma base de dados relacionados a diversos cenários. Neste contexto, o autor aponta que o desenho paramétrico tem como principal objetivo incorporar uma infinidade de variáveis em um sistema coeso, objetivando ainda avaliar os efeitos dinâmicos de diferentes parâmetros entre si e na forma das cidades.

A definição de desenho paramétrico, tal como apresentada por Woodbury (2010) e Jabi (2013), o apresenta como um processo projetual baseado no pensamento algorítmico, com vistas a permitir a expressão de parâmetros e regras bem definidas que, juntos, determinam, codificam e estabelecem uma relação entre a proposta e a resposta do projeto. Wooff (2016) afirma ainda que, por meio de métodos de projeto paramétricos, é possível manipular e ajustar parâmetros como coeficiente de aproveitamento do solo, relação entre as alturas, ocupação dos lotes, porcentagem de espaço aberto entre outros aspectos para visualizar e avaliar vários resultados.

Dessa forma, é possível afirmar que o emprego de recursos computacionais nos processos de projeto e planejamento urbano é uma possibilidade de crescente importância e relevância, que deve ser compreendida como um auxílio na promoção de práticas e de processos em que seja possível inserir parâmetros na etapa de concepção dos espaços, permitindo rápida produção, visualização, modificação e avaliação das possíveis soluções projetuais (BEIRÃO *et al.*, 2010).

Diante do contexto exposto, esta dissertação apresenta como tema uma exploração das potencialidades da parametrização e da lógica algorítmica no campo do planejamento de bairros e de cidades, desenvolvendo uma análise auxiliada por recursos computacionais de aspectos fundamentais do projeto urbano sustentável: a densidade urbana e a diversidade de usos. O trabalho aqui realizado pretende ser complementar ao do projeto de pesquisa *Métricas Urbanas*, com especial ênfase na exploração de possibilidades de implementação computacional de métricas objetivamente quantificáveis em contextos urbanos.

Mais especificamente, a presente pesquisa trata de uma implementação computacional das ferramentas de *CityMetrics* (LIMA, 2017), aplicadas com o objetivo de elaborar uma análise do panorama de duas variáveis (densidade e diversidade) na cidade de Juiz de Fora, visando a discutir as relações entre a densidade urbana e a diversidade de usos nas áreas

analisadas, com vistas a estabelecer uma relação entre a forma urbana e os resultados encontrados.

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A introdução de ferramentas computacionais aplicadas ao campo da arquitetura é datada do final da década de 1960, com o desenvolvimento e a apresentação do *Sketchpad* por Ivan Sutherland (HENRIQUES, 2013; LOH, 2016). Desde então, as abordagens digitais e os métodos computacionais têm desempenhado um importante papel na produção projetual contemporânea, especialmente por meio da utilização de softwares que atuam no auxílio da representação gráfica (LEACH, 2009). Mais recentemente, com o desenvolvimento tecnológico da computação, as implementações de novas abordagens computacionais (Sistemas Generativos, Modelagem Paramétrica, Lógica Algorítmica, *Building Information Modeling* — BIM, etc.) transformaram o computador em uma ferramenta de participação ativa dentro dos processos projetuais (KOTNIK, 2010).

Recentemente, na escala do edifício, esses avanços tecnológicos têm impactado a produção projetual de forma cada vez mais pragmática, especialmente porque a popularização da implementação do processo de projeto e gestão BIM, por exemplo — ou Modelagem da Informação da Construção — tem passado por um aumento crescente. Esse processo se destaca por possibilitar uma visão global da cadeia produtiva do edifício, além de gerir, integrar e compartilhar todas as informações produzidas por diferentes profissionais da indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) que estejam atuando diretamente no edifício (KRYGIEL; BRADLEY, 2008).

No entanto, a implementação dos recursos computacionais ainda não alcançou a mesma proporção no campo do planejamento urbano. No cenário atual, o emprego dessa abordagem com objetivo de promover análises e outras tarefas relacionadas ao projeto de cidades, constitui uma possibilidade relativamente nova que, apesar de crescente, ainda se encontra aplicada com menor frequência ou não tão desenvolvida quanto aquelas voltadas à escala do edifício, limitando-se muitas vezes apenas a tarefas de suporte gráfico (STEINØ; VEIRUM, 2005; GIL *et al.*, 2010; DUARTE *et al.*, 2012; LIMA, 2017).

Uma justificativa para a pouca difusão destes recursos é apresentada por Amorim (2015, p.91), que destaca as diferenças entre o projeto de uma edificação e os processos de consolidação de uma cidade, “[...] que raramente é planejada, projetada, construída, ocupada e usada num curto prazo”. De acordo com o autor, Brasília e outras poucas cidades são raras

exemplos disto, com as áreas urbanas passando por processos de transformação contínuos, “[...] aumentando a sua complexidade e com demandas sempre crescentes, seja pelo novo, seja pela melhoria daquilo já existente”.

No atual contexto de megacidades, com grandes concentrações populacionais, há uma crescente preocupação com a sustentabilidade frente à escassez de solo, água e energia, dentre outros recursos naturais. Os recursos de planejamento que eram usualmente empregados nas tarefas de gestão e monitoramento das cidades até então atendiam, com maior ou menor eficácia, as necessidades urbanas e das transformações delas decorrentes (ROGERS, 2001; LEITE, 2012; AMORIM, 2015).

Segundo aponta Amorim (2015, p. 91), essas novas prioridades se aliaram a uma demanda “por novos serviços, a expansão dos padrões de consumo, a incorporação de parcelas das populações que antes não eram atendidas ou estavam marginalizadas, o combate à poluição, as mudanças climáticas e a proteção ao meio ambiente”. Essas novas demandas geram ainda um aumento relevante nos custos econômicos e financeiros para viabilizar uma série de serviços fundamentais para fazer frente a esses desafios e, neste cenário, há uma necessidade de novas ferramentas e estratégias que aumentem a eficiência e dinamizem as atividades de gestão e do planejamento de bairros e cidades contemporâneas.

Dessa forma, justifica-se a ênfase dada por esta dissertação ao estudo das possibilidades de aplicação de recursos computacionais em contexto urbano, entendendo que essa abordagem oferece um suporte mais dinâmico aos profissionais que atuam em atividades de análise e de planejamento urbano, viabilizando produção de análises e soluções projetuais baseadas em parâmetros de desempenho específicos, como no caso desta pesquisa, a elaboração de uma análise visando a obtenção de valores objetivos (ou métricas) de densidade urbana e de diversidade urbana em três áreas de estudo da cidade de Juiz de Fora.

Mediante o cenário descrito, a pesquisa aqui relatada partiu do seguinte questionamento: como é possível aplicar os recursos computacionais, mais especificamente a lógica algorítmica⁴ e a modelagem paramétrica⁵, de maneira a contribuir no processo de projeto do espaço urbano, mais especificamente analisando a composição geométrica e as relações entre a forma urbana e urbanidade?

⁴ Lógica algorítmica: A lógica algorítmica é uma abordagem que pressupõe a associação entre o uso de algoritmos e a capacidade de processamento dos computadores, com vista a permitir gerenciar de maneira mais eficiente uma grande quantidade de dados, cálculos e interações. Ver seção 2.1.1. deste trabalho;

⁵ Modelagem Paramétrica: A modelagem paramétrica é uma abordagem metodológica que pretende descrever um determinado fenômeno para que se obtenham previsões acerca de seu comportamento. Ver seção 2.1.2. deste trabalho;

1.2 OBJETIVOS

Esta seção trata de apresentar o objetivo geral desta pesquisa, assim como os objetivos específicos que foram lançados para que o mesmo pudesse ser atingido.

1.2.1 Objetivo geral

Esta dissertação pretende contribuir para a área de projeto urbano ao se debruçar sobre uma exploração de possibilidades de análise computacional em bairros e cidades, mais especialmente, no que tange à adoção de estratégias de avaliação e proposição do espaço urbano auxiliadas por recursos computacionais. Especificamente, esta pesquisa tem por objetivo geral explorar as potencialidades da aplicação de recursos algorítmico-paramétricos na realização de análises de densidade urbana construída e de diversidade de usos, de maneira a analisar e inter-relacionar esses dois aspectos fundamentais da morfologia urbana.

1.2.2 Objetivos específicos

Para que a presente pesquisa atinja o objetivo geral apresentado, integram este trabalho os seguintes objetivos específicos:

- a) Elaborar uma revisão narrativa de literatura, apresentando os aspectos da incorporação de recursos computacionais em tarefas de análise e de projeto urbano, mais especificamente abordando a incorporação da lógica algorítmica e da modelagem paramétrica nesses processos;
- b) Referenciar sobre os aspectos da densidade urbana e da diversidade de usos, objetivando compreender como essas duas variáveis da morfologia urbana influenciam a qualidade e a dinâmica do espaço urbano;
- c) Apresentar indicadores ou índices que abordem a densidade urbana construída e a diversidade de usos de maneira objetiva e mensurável, com a finalidade de implementar essas métricas em um modelo computacional (sistema) de lógica algorítmica e paramétrica;
- d) Propor uma análise computacional em três áreas (recortes específicos de três bairros) de Juiz de Fora, a fim de analisá-las por meio de uma abordagem mensurável de suas características de densidade construída e de diversidade de usos, posteriormente discutindo o método utilizado e os resultados obtidos.

1.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa se apropria de abordagens metodológicas quali-quantitativas, implementando as análises propostas por meio de levantamentos bi e tridimensionais da forma urbana em três áreas de estudo, com vistas a obtenção de dados objetivos para discussão. Esta investigação pode ser organizada cronologicamente, do ponto de vista dos procedimentos que foram realizados, em duas etapas distintas, que são: uma revisão narrativa de bibliografia e de conceitos sobre os temas, para embasamento e fundamentação da pesquisa a partir do desenho desse estado da arte, ressaltando a sua relação com os aspectos morfológicos das cidades; e uma implementação de recursos computacionais algorítmico-paramétricos, de maneira a permitir elaborar uma análise das variáveis densidade urbana e diversidade de usos em três bairros da cidade de Juiz de Fora, analisando e discutindo os resultados encontrados em seguida.

Mais especificamente, a primeira etapa consiste na apresentação dos resultados obtidos por meio de uma revisão narrativa sobre:

- a) abordagens computacionais aplicadas a problemas urbanos;
- b) o paradigma de compactidade urbana e os aspectos de densidade urbana e da diversidade de usos;
- c) identificação e apresentação de parâmetros e de indicadores objetivos que possam ser aplicados na segunda etapa da pesquisa (análise computacional).

Já a segunda etapa corresponde à implementação da análise computacional em três áreas de análise de três bairros da cidade de Juiz de Fora, procurando apresentar o panorama de densidade urbana e de diversidade urbana. Para realização desta etapa da pesquisa, foi escolhido como ferramenta digital o software *Rhinoceros3D*⁶, além de seu plugin generativo *Grasshopper*. Desta forma, para elaboração da modelagem digital foram sugeridos, resumidamente, os seguintes procedimentos:

- a) definir um critério para seleção da amostra de pesquisa (bairros);
- b) escolher o recorte territorial específico que será analisado em cada um dos bairros;
- c) tratamento dos arquivos e levantamento de dados;
- d) implementar os parâmetros (*inputs*) identificados na etapa de revisão bibliográfica (indicadores de densidade e diversidade);
- e) listar os resultados obtidos nas amostras de pesquisa (*output*);
- f) discutir e analisar os resultados obtidos.

⁶ A versão do *Rhinoceros3D*, software desenvolvido pela *Robert McNeel & Associates*, assim como o seu plugin *Grasshopper*, foram utilizados no contexto desta dissertação com uma versão devidamente licenciada.

Figura 1 – Esquema-resumo dos procedimentos metodológicos

Embasamento Teórico

Revisão narrativa sobre: (i) abordagens computacionais aplicada a problemas urbanos; (ii) densidade urbana construída; e (iii) diversidade de usos urbanos.

Preparação de arquivos / coleta de dados

Definir os bairros e os recortes de estudo;
Levantar os dados morfológicos para análise;
Inserir os arquivos no *Rhinceros3D+Grasshopper*.

Análise / resultados

Estruturar, de maneira algorítmica, os indicadores / índices que serão aplicados na análise;
INPUT: modelagem paramétrica dos recortes de estudo;
OUTPUT: métricas objetivas de densidade construída e de diversidade de usos;

Disussões

Analisar e discutir os resultados obtidos na análise;
Apontar as limitações da pesquisa e apresentar novas possibilidades / estudos futuros;

Fonte: preparado pelo autor (2019).

1.4 ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está estruturada em sete capítulos, incluindo Introdução e Considerações Finais. O objetivo da organização escolhida é refletir as etapas percorridas durante o desenvolvimento da presente investigação, que se desenvolve por meio do estudo de características morfológicas, utilizando os recursos da parametrização, da lógica algorítmica e da implementação de modelos computacionais para análise de configurações urbanas.

No Capítulo 2, será apresentado o embasamento teórico sobre a introdução de computadores em tarefas de planejamento e de análise urbana, mais especificamente abordando dois conceitos fundamentais no âmbito da proposta desta dissertação: a modelagem paramétrica e a lógica algorítmica. Além das referências que foram selecionadas por relação direta com as obras examinadas durante o desenvolvimento desta pesquisa, também foram consultadas as plataformas SciELO, CumInCAD, Elsevier's Scopus e Google Acadêmico, filtrando a busca em obras relacionadas com o campo da Arquitetura e Urbanismo, por meio de palavras como: *Algoritmos Urbanos; Urban Algorithms; Modelagem Urbana; Urban Modeling; Parametrização; Parametrization;*

O Capítulo 3 também apresentará uma revisão narrativa de literatura, com ênfase nas duas variáveis fundamentais da morfologia urbana abordados por essa pesquisa, e que podem ser utilizados como instrumentos de planejamento: a densidade urbana e a diversidade de usos urbana. As referências utilizadas também foram encontradas com base na busca nas plataformas SciELO, CumInCAD, Elsevier's Scopus e Google Acadêmico, adotando palavras-chaves como: *Compacidade Urbana; Urban Compactness; Densidade Urbana; Urban Density; Diversidade Urbana; Urban Diversity; Uso Misto Urbano; Urban Mixed-use.* Também foram consultadas as principais produções citadas, dentro do conjunto mais amplo de obras revisadas por esta pesquisa. No decorrer do segundo capítulo, serão apresentados conceitos e também paradigmas projetuais com o objetivo de reforçar importância dessas duas variáveis para o desenvolvimento desta pesquisa.

O Capítulo 4 tratará de apresentar o sistema *CityMetrics* (LIMA, 2017), que será implementado para realização da proposta de análise deste trabalho. Também no quarto capítulo serão introduzidos os indicadores que atribuem valores objetivos para mensurar a densidade urbana e a diversidade de usos. Este capítulo descreve a lógica de cálculo desses indicadores, além de apresentar como eles podem ser aproveitados no contexto desta pesquisa, sob a perspectiva de seu objetivo de avaliar dois aspectos fundamentais da composição do espaço urbano.

O Capítulo 5 apresentará, de forma expedita, a cidade de Juiz de Fora, objeto de estudo desta pesquisa. Em seguida, serão abordados os critérios utilizados para definição das três áreas que compõem a amostra desta pesquisa, localizadas em três bairros diferentes da cidade. Em seguida, o capítulo expõe a implementação computacional do conjunto de ferramentas de *CityMetrics* (LIMA, 2017) nas três áreas de estudo. Ainda no quinto capítulo, serão apresentados os resultados da avaliação, com as informações obtidas já tratadas, verificadas e apresentadas da maneira mais clara possível, para que então seja possível discutir todo o processo percorrido por esta investigação.

O Capítulo 6, Discussões, trata de apresentar reflexões sobre os resultados obtidos a luz do referencial teórico trabalhado no contexto desta dissertação e por fim, nas Considerações Finais, serão apresentadas reflexões acerca das revisões bibliográficas realizadas e também dos resultados obtidos com a análise, subsidiando pesquisas futuras e reforçando a contribuição desta dissertação para o campo do urbanismo, mais especialmente por meio da disponibilidade dos dados de densidade e diversidade das três áreas analisadas e por todo embasamento que objetiva difundir um melhor emprego dos recursos computacionais direcionados ao suporte de atividades de planejamento de bairros e cidades.

2 ABORDAGENS COMPUTACIONAIS APLICADAS A PROBLEMAS PROJETUAIS URBANOS

O segundo capítulo desta dissertação tem por objetivo apresentar, brevemente, um histórico do desenvolvimento e da introdução dos computadores nos processos de análise e de projeto de arquitetura e urbanismo. Em seguida, este capítulo abordará aplicações dos recursos computacionais implementadas mais recentemente, articuladas por meio de processos de modelagem elaborados com direcionamento específico ao contexto urbano, especialmente porque os componentes associados que compõem um bairro ou uma cidade (geometria das edificações, desenho das vias, topografia, etc.) compartilham similaridades que podem ser definidas parametricamente. Em sequência, o capítulo apresentará a Lógica Algorítmico-paramétrica (LIMA, 2017), além de duas abordagens metodológicas que associadas permitem a sua implementação: a lógica algorítmica e a modelagem paramétrica.

2.1 ABORDAGENS COMPUTACIONAIS E SEUS REFLEXOS EM TAREFAS DE ANÁLISE E PROJETO: UM BREVE HISTÓRICO E APLICAÇÕES RECENTES

O primeiro software (editor gráfico) desenvolvido para atuar diretamente no suporte de tarefas de desenho orientado a objetos (no sentido que conhecemos o termo atualmente) foi o *Sketchpad*; tratava-se de um editor gráfico desenvolvido por Ivan Sutherland, em sua tese de doutoramento (premiada no *Turing Award 1988* e no *Kyoto Prize 2012*) desenvolvida no âmbito do Massachusetts Institute of Technology (MIT) e apresentada no ano de 1963. É considerado, por vários motivos, um marco da informática: além de ser possível introduzir cores, o software permitia criar objetos que poderiam ser manipulados de forma distinta. Os principais conceitos apresentados junto de *Sketchpad* foram o ponto de partida para demonstrar que as abordagens computacionais (computação gráfica aplicada ao projeto) poderiam ser implementadas para fins artísticos e técnicos, além de apresentarem um novo paradigma de interação homem-computador (GUZDIAL, 2001; SEARS; JACKO, 2007).

Diversos autores (STEINØ; VEIRUM, 2005; GIL *et al.*, 2010; KOTNIK, 2010; DUARTE *et al.*, 2012; AMORIM, 2015; LIMA, 2017) destacam que os recursos computacionais têm sido mais empregados no projeto de objetos arquitetônicos do que no projeto de cidades, justificando essa disparidade graças a linearidade dos processos projetuais de um edifício, mais especialmente devido a particularidade dos processos de conformação das

idades e dos agentes sociais que transformam o espaço urbano, fatores esses que, por sua vez, não são tangíveis para os processos computacionais que operam com métricas objetivas visando suportar a tarefas de projeto de bairros e cidades.

Porém, o processo de evolução das demandas do projeto urbano (associado ao desenvolvimento de recursos e ferramentas computacionais mais robustos) e os novos paradigmas de planejamento (compacidade, sustentabilidade e gestão de recursos energéticos, aprimoramento dos transportes coletivos, etc.) e as novas demandas da gestão das cidades, especialmente as megacidades, abrem espaço para uma maior difusão e uma implementação crescente dos recursos computacionais aplicados as tarefas urbanas, uma vez que essas ferramentas também tem demonstrado maior eficiência em oferecer suporte a tomada de decisões no planejamento de cidades (ROGERS, 2001; BERGHAUSER PONT; HAUPT, 2010; AMORIM, 2015; LIMA, 2017).

Para Picon (2010), a incorporação da computação como ferramenta também promoveu transformações na atividade projetual enquanto disciplina.

Em pouco mais de uma década, o computador impactou profundamente a prática da arquitetura. Seus impactos transformaram até mesmo a definição da arquitetura como disciplina. Mais do que uma evolução, essa mudança representa uma revolução prática e teórica. Mudar é quase sempre um misto de criação e destruição. Enquanto novas possibilidades surgiram, alguns aspectos do projeto arquitetônico que costumavam ser considerados fundamentais foram questionados (PICON, 2010, p.25, tradução nossa⁷).

Mitchell (1977) afirma que o paradigma de desenho computacional vai além apenas da representação, produzindo alternativas e soluções para problemas projetuais por meio da manipulação de informações substanciais que estão associadas aos elementos gráficos. Para Mitchell e McCullough (1991), a introdução de métodos computacionais foi responsável por apresentar uma alternativa aos processos convencionais de projeto, dado sua alta capacidade de processamento de dados, parâmetros e interações, permitindo visualizar (e avaliar) de maneira mais rápida e dinâmica, diferentes alternativas e soluções para um problema abordado. Ainda sobre métodos computacionais, Menges (2012) afirma que eles são responsáveis por viabilizar aos arquitetos (ou aos outros atores envolvidos com processos projetuais) integrar informações

⁷ *In a little more than a decade, the computer has profoundly impacted the practice of architecture. It has also begun to transform the way the discipline defines itself. More than an evolution, this shift represents a revolution both practical and theoretical. Change is almost always a mixed bag of creation and destruction. Where as new possibilities have arisen, some aspects of architectural design that used to be considered fundamental are jeopardized* (PICON, 2010, p. 25).

de projeto cada vez mais complexas, enquanto as lógicas convencionais estão se tornando cada vez mais obsoletas em um contexto composto por sistemas em rede.

O ato de projetar, enquanto disciplina, é uma abordagem baseada em abstração⁸ e em avaliação de possíveis cenários, alternativas de configuração e concretizações, sem a necessidade de se realizar fisicamente cada uma das soluções possíveis (MENGES, 2006). Dessa forma, a arquitetura era, tradicionalmente, uma solução de determinado problema abordado por meio da materialização de desenhos realizados sobre o papel, enquanto a arquitetura contemporânea é a implementação de métodos e técnicas digitais que permitem a concepção de objetos e sistemas com alto nível de complexidade (MITCHELL, 2005).

Abordando os recursos computacionais no âmbito de processos projetuais, é possível distinguir duas possíveis posturas frente à sua utilização. A primeira é aquela que entende o computador apenas como uma ferramenta que utiliza recursos avançados, capazes de gerar resultados sofisticados e maior domínio de soluções. Nesta lógica, entende-se que, apesar do computador alterar significativamente a natureza dos resultados obtidos, não é necessário ou até mesmo desejável o aprofundamento em detalhes de seus processos internos. Já a segunda postura considera inevitável o aprofundamento em questões de programação e dos processos internos algorítmicos para conferir um uso mais frutífero aos recursos computacionais em atividades criativas (PICON, 2006).

Esta dissertação se alinha com a segunda postura apresentada por Picon (2006), por entender que o conhecimento básico de programação (*Visual Programming Language*⁹ — VPL) e o conhecimento e domínio da lógica algorítmica para abordagem de problemas tem por objetivo não “limitar o conjunto das soluções consideradas apenas a experiências pré-definidas, mas, pelo contrário, explorar uma ampla gama de soluções potenciais, em contextos menos restritivos” (LIMA, 2017, p. 83).

Operando sob a postura apresentada, um dos sistemas desenvolvidos em um cenário recente, para atuar especificamente no contexto urbano, foi o UNA — *O Urban Network Analysis*, que consiste em um conjunto de ferramentas computacionais que foi desenvolvido, inicialmente, para atuar junto ao *ArcGIS* (SEVTSUK; MEKONNEN, 2012), tendo sido atualizado para operar junto ao software *Rhinoceros3D* (SEVTSUK; KALVO, 2015). O

⁸ Efeito de abstrair / verbo bitransitivo. De acordo com o dicionário online do Google, o significado de abstrair é: observar (um ou mais elementos de um todo), avaliando características e propriedades em separado.

⁹ Linguagem de Programação Visual: De acordo com o FOLDOC (*Free On-line Dictionary of Computing*) qualquer linguagem de programação que permite aos usuários criar programas manipulando elementos do programa graficamente ao invés de especificá-los textualmente. A VPL permite a programação com expressões visuais, arranjos espaciais de texto e símbolos gráficos, utilizados quer como elementos de sintaxe ou notação secundário.

sistema e suas ferramentas foram desenvolvidos no âmbito do *City Form Lab* (Universidade de Havard - Cambridge, Estados Unidos), com funcionalidades que permitem avaliar distâncias, acessibilidade e encontros entre pessoas ou lugares ao longo de redes espaciais urbanas, objetivando tornar o espaço urbano igualmente acessível para a mobilidade de pedestres e bicicletas assim como para o veículo motorizado (SEVTSUK; KALVO, 2015; SEVTSUK, 2018).

Beirão (2012) apresenta, como um dos produtos da tese de doutoramento, o sistema *CityMaker*, que integra um projeto de pesquisa ainda mais abrangente: o *City Induction* (DUARTE *et al.*, 2012). O autor propõe a articulação de ferramentas baseadas em gramáticas da forma (STINY; GIPS, 1972) com uma ênfase especial em auxiliar tarefas de desenho, concebendo soluções alternativas por meio da combinação de um conjunto de padrões formais de projeto e da “codificação de movimentos tipicamente utilizados em tarefas de projeto urbano” (BEIRÃO, 2012, p.13, tradução nossa¹⁰).

O sistema *Configurbanist*, por sua vez, é composto por um conjunto de ferramentas algorítmico-paramétricas e possui como objetivo contribuir para uma abordagem mais abrangente no planejamento urbano, respondendo dois questionamentos básicos: “como definir uma localização mais apropriada para facilitar a acessibilidade ao ciclismo para um número de famílias e localidades relevantes?” e “como é possível planejar uma rede de ciclismo, levando em conta a preferências dos usuários para essa ciclovia?” (NOURIAN *et al.*, 2015, p.554, tradução nossa¹¹). O sistema pretende contribuir “para análise de redes urbanas, considerando aspectos cognitivos e físicos relacionados às atividades de caminhar e do ciclismo, em relação à configuração espacial urbana, sob aspectos físicos e topológicos” (NOURIAN *et al.*, 2015, p.554, tradução nossa¹²).

O último sistema estudado por esta dissertação, o *Urbano Toolbox*, foi desenvolvido por Dogan, Samaranayake e Saraf (2018). Trata-se de um conjunto de ferramentas paramétricas que permitem mensurar indicadores urbanos relacionados ao transporte ativo. Esse conjunto de ferramentas opera junto ao software *Rhinoceros3D* e pode ser executado por meio de um plug-in para *Grasshopper*. O sistema avalia a utilização das vias por meio de três métricas básicas:

¹⁰ [...] encoding typical design moves used by urban designers (BEIRÃO, 2012, p. 13).

¹¹ How suitable is a certain location as to its walking cycling accessibility to a number of amenities and important locations? How can we plan a cycling network knowing how people would find the new cycling network favourable? (NOURIAN *et al.*, 2015, p. 554).

¹² [...] developing a comprehensive methodology for urban network analysis taking into account the cognitive and physical aspects of walking and cycling in relation to spatial configuration in its geometric and topologic entirety (NOURIAN *et al.*, 2015, p. 554).

- a) *Walkscore* (BREWSTER *et al.*, 2009): versão específica adaptada ao modelo, que fornece uma nota para as ruas de 0 a 100 de acordo com o nível de urbanidade;
- b) *Amenityscore*: métrica que computa a demanda geral por serviços urbanos que deve ser esperada em uma rua, evitando que se adicionem serviços em excesso para equilibrar o *Walkscore*;
- c) *Streetscore*: métrica de quantas pessoas usam cada rua.

2.2 LÓGICA ALGORÍTMICO-PARAMÉTRICA

O termo “lógica algorítmico-paramétrica” é empregado, no contexto desta dissertação, referindo-se a uma abordagem metodológica que pressupõe a associação entre os dois conceitos, que serão destacados em seguida: a lógica algorítmica e a modelagem paramétrica (LIMA, 2017).

No entendimento de Lima (2017, p. 88), a lógica algorítmico-paramétrica pode ser definida como uma abordagem de problema:

[...] que implica na especificação dos parâmetros de um objeto particular e que corresponde à codificação de um conjunto de regras ou relações lógicas, cuja a intenção é a programação, a alteração, a combinação e o compartilhamento de códigos para gerenciar dados e realizar operações lógicas, de maneira a fornecer suporte à diversas tarefas de planejamento urbano.

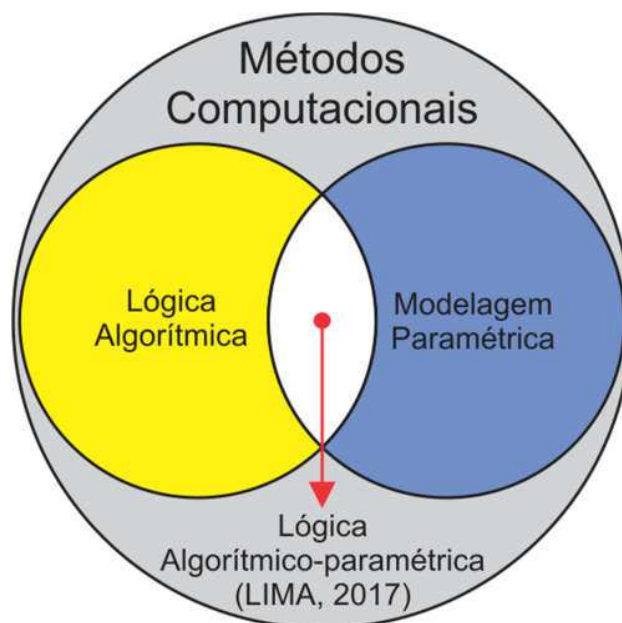
Ainda segundo Henriques e Bueno (2010), a modelagem paramétrica associada à lógica algorítmica corresponde ao desenvolvimento de um código com um conjunto de regras (ou relações) lógicas, geométricas e paramétricas, em uma determinada sequência, com o objetivo de atuar sobre um problema específico.

A lógica algorítmico-paramétrica caracteriza-se como uma abordagem de determinado problema que preconiza o aprofundamento em questões de programação para maximizar o uso de recursos computacionais em atividades específicas (mais especificamente, alinhado a proposta desta dissertação, em atividades de análise urbana). Essa abordagem se estrutura, resumidamente, por meio de: decomposição de uma determinada questão em um conjunto de etapas simples, que possam ser computadas e associadas de maneira a fornecer, por meio de um conjunto de instruções ou ferramentas, uma resposta a uma questão colocada ou uma solução a um problema proposto; e a definição dos atributos (ou parâmetros) necessários para uma especificação completa ou relevante de um modelo que se pretende elaborar, possibilitando

que diferentes partes deste modelo se relacionem e modifiquem juntamente, de maneira coordenada. (LIMA, 2017).

Dessa forma, construir algoritmos parametricamente — ou implementar a lógica algorítmico-paramétrica — significa relacionar os dados, as condições e as variáveis, considerando as relações existentes entre as partes e as possíveis decorrências de rearranjos destas mesmas relações. Neste sentido, os modelos paramétricos diferem essencialmente de outros sistemas tradicionais de modelagem digital, permitindo a implementação e a elaboração de propostas flexíveis e dinâmicas, viabilizando modificações e permitindo gerar (e testar) grande quantidade de versões dentro de um ambiente controlado, a partir da alteração de um ou mais parâmetros específicos (LIMA, 2017).

Figura 2 – Representação simplificada da definição de Lima (2017) para Lógica Algorítmico-paramétrica



Fonte: preparado pelo autor, 2019.

2.2.1 Lógica algorítmica

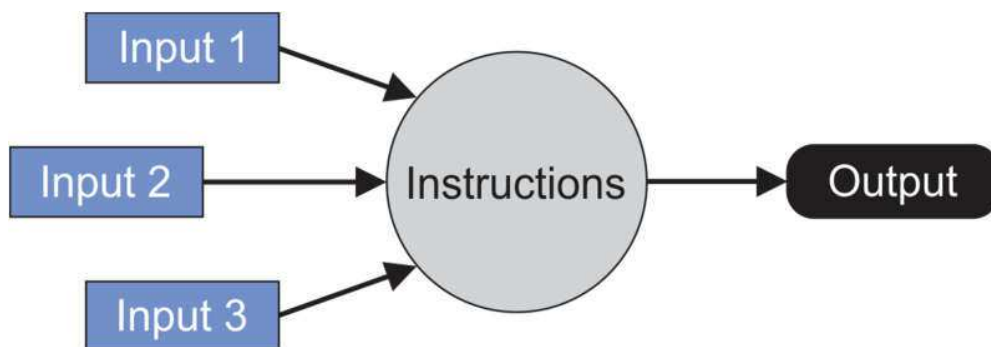
A palavra Algoritmo deriva do latim *Algorismi*, que por sua vez é a versão latina do nome Al-Khwārizmī, matemático persa que escreveu o primeiro tratado sobre álgebra (*al-jabr*)

e sobre procedimentos para a solução de problemas por meio de uma abordagem matemática (DAFFA, 1977; TEDESCHI, 2014).

De acordo com Terzidis (2004, p. 202) algoritmo é um procedimento composto pela extração sistemática de princípios lógicos e do desenvolvimento de instruções estruturadas para solucionar um determinado problema, podendo ser entendido, no contexto desta pesquisa, como um plano estratégico para solucionar um problema específico (TERZIDIS, 2006, p.15). Desse modo, a solução do problema abordado surge a partir de um conjunto de operações lógicas executadas ordenadamente, permitindo que para cada problema projetual exista um universo de soluções possíveis (TERZIDIS, 2006, p. 37).

Tedeschi (2014, p. 22) acrescenta que o algoritmo é uma sequência finita de instruções básicas, bem definidas e não ambíguas, “implementado para decompor um problema determinado em um conjunto de etapas simples, que possam ser associadas e computadas com o objetivo de criar uma solução ao problema exposto”.

Figura 3 – Representação simplificada da definição de Arturo Tedeschi para algoritmo



Fonte: Tedeschi (2014, p. 23, adaptado pelo autor, 2019).

Lima (2017) aponta que a lógica algorítmica implica em adotar um pensamento associativo, além de exigir clareza na hierarquização de informações. Para Kilkelly (2015), o pensamento algorítmico possui uma estrutura que é o oposto do pensamento intuitivo:

O pensamento algorítmico é o oposto do pensamento intuitivo: envolve o uso de um processo passo a passo para resolver um problema. É objetivo em sua essência - o problema está resolvido ou não está. A codificação requer pensamento algorítmico. Obriga você a pensar em todas as etapas de um problema. Você deve considerar todos os *inputs* e *outputs* do programa. Essa abordagem metódica é realmente eficaz na resolução de certos tipos de problemas. Depois de começar a pensar algoritmicamente, você vê outras áreas que poderiam se beneficiar de alguma estrutura e sistema. Nem todo o nosso trabalho como arquitetos deve ser resolvido através de um processo

intuitivo. Até o processo de design pode se beneficiar de um pouco de rigor e estrutura (KILKELLY, 2015, tradução nossa¹³).

A abordagem algorítmica não implica obrigatoriamente no emprego de computadores, com os algoritmos podendo ser definidos independentemente do uso de linguagem de programação. Porém, neste sentido, Burry e Burry (2012) apontam que a utilização de um sistema computacional sempre corresponde a execução de um algoritmo, isto porque um comando dado por um software desencadeia um conjunto de operações que será executada a partir da transformação de um *input* em um *output*. A arquitetura algorítmica pode ser definida como sendo o resultado da formalização do processo projetual como um conjunto de procedimentos e instruções específicas (BURRY; BURRY, 2012, p.252).

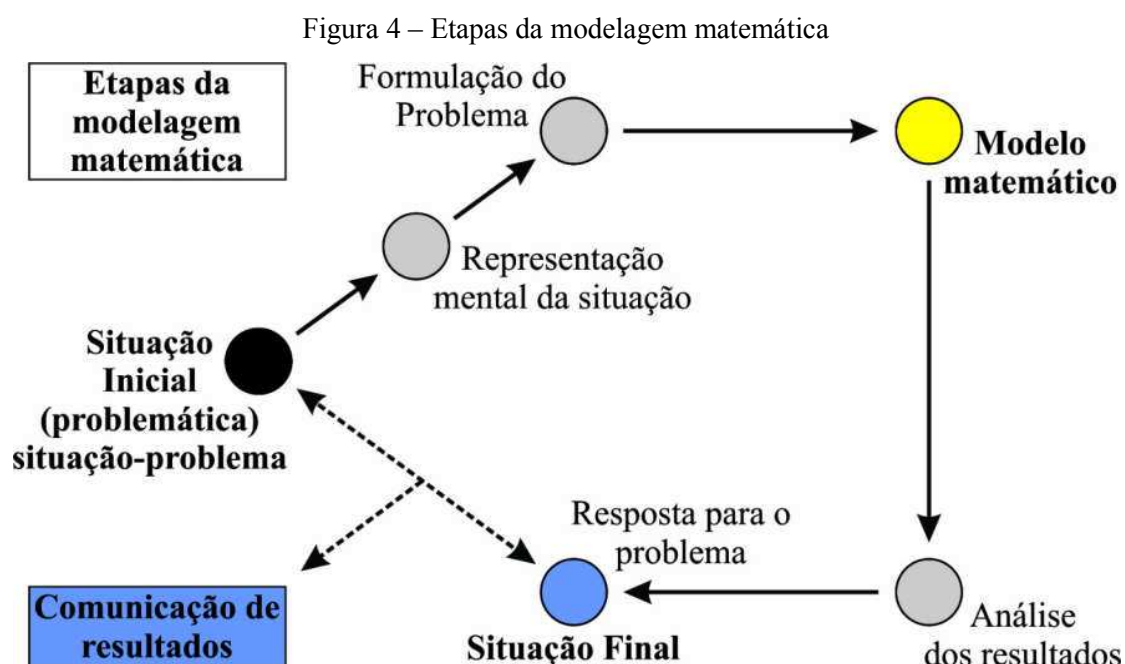
Lima (2017, p. 85) afirma que “adotar a lógica algorítmica como um recurso de suporte a tarefas de projeto urbano pode significar uma postura mais eficiente e dinâmica para o gerenciamento e a proposição de soluções para problemas complexos das cidades”. Este paradigma pode ser adotado para auxiliar a tomada de decisões em diversos contextos, porque os objetivos que a lógica algorítmica-paramétrica aborda são auxiliados pelo uso de regras e padrões específicos para operar com fluxos de informações grandes, considerando ainda a possibilidade de se implementar mais ferramentas ou instrumentos que sejam desenvolvidos especificamente para abordar um ou mais problemas em particular (LIMA, 2017).

Em síntese, a lógica algorítmica é uma abordagem ampla, que possui potencial para ser aplicada em situações e problemas de diversas naturezas, ao mesmo tempo em que pode ser adaptada para auxiliar a busca por soluções em diferentes contextos. No contexto da arquitetura e do urbanismo, outros autores apontam que a associação entre o uso de algoritmos e a capacidade de processamento dos computadores permite gerenciar de maneira mais eficiente uma grande quantidade de dados, cálculos e interações, ampliando as possibilidades de analíticas e propositivas e criando novos cenários criativos e de avaliação (ROGERS, 2001; MITCHELL, 1977; OXMAN, 2006; TERZIDIS, 2006; WOODBURY, 2010; SCHEER, 2014; TEDESCHI 2014; VEREBES, 2014).

¹³ *Algorithmic thinking is the opposite of intuitive thinking. It involves using a step-by-step process to solve a problem. It is objective at it's core – the problem is either solved or it isn't. Coding requires algorithmic thinking. It forces you to think through all the steps of a problem. You must consider all the inputs and the outputs of the program. This methodical approach is really effective at solving certain types of problems. Once you starting thinking algorithmically, you see other areas that could benefit from some structure and systems. Not all our work as architects should be solved through an intuitive process. Even the design process can benefit from some rigor and structure (KILKELLY, 2015).*

2.2.2 Modelagem paramétrica

A modelagem matemática (ou simplesmente modelagem) é a área do conhecimento que utiliza modelos matemáticos para a simulação de sistemas reais (Figura 4), com o objetivo de prever seu comportamento (VELTEN, 2009, p. 4). O Modelo é, basicamente, uma metodologia de auxílio para compreensão e apoio a solução de problemas de determinado sistema, partindo do princípio de recriar esse sistema virtualmente.



Fonte: Almeida e Palharini (2012, p. 911, adaptado pelo autor, 2020).

Velten (2009) ressalta que é comum, no primeiro contato com esse método para abordagem de problemas, preconizar o realismo e a fidelidade dos modelos, mas o autor ressalta que a eficiência da modelagem está associada justamente a uma representação simplificada:

O melhor modelo é o modelo mais simples e que serve seu propósito, ou seja, é complexo o suficiente para auxiliar na compreensão de um sistema e resolver seus problemas. Visto em termos de um modelo simples, a complexidade de um sistema não vai obstruir o seu entendimento, e virtualmente será possível avaliar através dessa complexidade do sistema o centro das coisas (VELTEN, 2009, p. 4, tradução nossa¹⁴).

¹⁴ *The best model is the simplest model that still serves its purpose, that is, which is still complex enough to help us understand a system and to solve problems. Seen in terms of a simple model, the complexity of a complex system*

Já a modelagem paramétrica, no entanto, apresenta-se como um processo responsável pela introdução de uma modificação fundamental aos paradigmas de modelagem convencional (LIMA, 2017, p.86). Para Woodbury (2010), modelagem paramétrica significa definir os parâmetros necessários para uma especificação completa ou relevante de um modelo, o que demanda algumas habilidades, entre elas:

- a) conceber fluxos de dados;
- b) pensar abstratamente;
- c) pensar matematicamente;
- d) pensar algoritmicamente. Parametrizar significa definir os parâmetros necessários para uma especificação completa ou relevante de um modelo ou objeto geométrico (SILVA, 2010).

Segundo Silva e Amorim (2010), a modelagem paramétrica é regulada pela definição dos parâmetros de um objeto particular. Sua abordagem é essencialmente sistêmica, o que permite correlacionar todos os elementos que compõe um código, possibilitando a construção de um verdadeiro complexo de informações em interação — um todo que se caracteriza através das interrelações entre suas diversas partes constituintes.

A modelagem paramétrica não diz respeito apenas à produção de representações, compreendendo também produção de modelos capazes de se adaptar para atender às diretrizes de desempenho estabelecidas, permitindo que a visualização, a validação e a flexibilização ocorram simultaneamente. Dessa forma, os modelos urbanos produzidos parametricamente podem ser compreendidos como uma base de auxílio à tomada de decisões (SILVA, 2010, p.29).

Segundo Hernandez (2006, p. 38), a possibilidade de realizar alterações de forma mais dinâmica é uma característica da modelagem paramétrica que implica na substituição da singularidade pela multiplicidade de soluções no processo projetual. Esta flexibilidade característica não é presente em ferramentas CAD não paramétricas, onde os elementos são definidos de forma isolada, sem uma relação entre as partes e o todo, o que requer que as alterações devam ser feitas em cada um desses elementos (KRYGIEL; BRADLEY, 2008, p.26).

Os sistemas computacionais baseados em parâmetros ampliaram o escopo do uso das ferramentas computacionais para além da representação arquitetônica, permitindo a inclusão de tarefas de análise, simulação e fabricação digital dentro do processo de projeto. Este novo

will no longer obstruct our view, and we will virtually be able to look through the complexity of the system at the heart of things (VELTEN, 2009, p. 4).

paradigma permite ao arquiteto ter uma compreensão dinâmica das suas ideias e de como elas serão, eventualmente, materializadas (GARBER, 2009, p. 8).

Neste sentido, Silva (2010) entende que a aplicação da modelagem paramétrica como suporte a tarefas de planejamento urbano possui grande potencial para aprimorar tarefas de análise e fundamentação de propostas, especialmente porque os componentes que compõem um modelo urbano compartilham atributos — como densidade, uso, forma, espaço e tipologia — que podem ser definidas parametricamente (STEINØ; VEIRUM, 2005, p. 681).

Resumidamente, o processo de modelagem pode ser definido como uma abordagem metodológica que pretende descrever um determinado fenômeno (no contexto desta dissertação, a distribuição de áreas edificadas e a distribuição dos usos em áreas urbanas) para que se obtenham previsões (ou informações) acerca de seu comportamento (LIMA, 2017). Deste modo, a utilização da modelagem paramétrica como metodologia no contexto desta dissertação objetiva valer-se de suas características apresentadas, como o dinamismo e a multiplicidade de soluções, contribuindo para processos de análise urbana implementados por meio da inserção de parâmetros e variáveis da morfologia urbana.

3 DENSIDADE URBANA E DIVERSIDADE DE USOS NO CONTEXTO DO PLANEJAMENTO DE BAIRROS E DE CIDADES

Esta seção do trabalho trata de apresentar os aspectos da densidade urbana e da diversidade usos, assim como também explora as possibilidades de compreensão destas duas variáveis no contexto das tarefas de análise e de planejamento do espaço urbano contemporâneo. Este capítulo relaciona, mais especificamente, o paradigma de compacidade urbana e a vitalidade urbana aos aspectos de densidade urbana e a diversidade de usos, respectivamente.

3.1 O DESEMPENHO DA FORMA URBANA SOB OS ASPECTOS DA DENSIDADE: O PARADIGMA DE COMPACIDADE URBANA

A definição para densidade urbana mais adequada para o contexto desta pesquisa, busca diminuir a confusão na interpretação do significado deste termo, e foi apresentada por Berghauer Pont e Haupt (2010). Portanto, no âmbito desta dissertação a densidade urbana representa uma relação matemática entre o espaço e a forma urbana — ou, como referem Merlim e Choay (2010), representa um indicador estatístico — mais especificamente relacionando os cheios e os vazios de edificações (formas) dentro da malha urbana:

Esta pesquisa visa desenvolver uma definição de densidade capaz de reduzir a confusão em torno do conceito de densidade e torná-lo um conceito produtivo na prática e pesquisa de projeto e planejamento. Essa definição deve relacionar a densidade à forma urbana potencial (tipo de ambiente urbano) e outros desempenhos. Por performances, aqui nos referimos à capacidade do ambiente construído de fornecer resultados diferentes. Exemplos de performances que em graus variados são condicionados pela densidade são o acesso à luz do dia, estacionamento, privacidade e tipos de edifícios em potencial. Através dessas performances, somos capazes de suspender nossos julgamentos em relação às densidades apropriadas. Além disso, a definição de densidade deve permitir o desenvolvimento de um método que possa lidar com os atuais desafios enfrentados no urbanismo (BERGHAUSER PONT; HAUPT, 2010, p.20, tradução nossa¹⁵).

¹⁵ *This research aims to develop a definition of density capable of reducing the confusion surrounding the concept of density and make it a productive concept in design and planning practice and research. Such a definition should relate density to potential urban form (type of urban environment) and other performances. By performances we here refer to the ability or capacity of the built environment to deliver different results. Examples of performances that to a varying extent are conditioned by density are daylight access, parking, privacy and potential buildings types. Through these performances we are able to suspend our judgements concerning appropriate densities. In addition, the definition of density should enable the development of a*

Beirão (2012) afirma que a densidade urbana é, provavelmente, uma das métricas de avaliação mais explorada no âmbito do planejamento de bairros e cidades e, no contexto desta dissertação, trata-se de uma métrica que relaciona a quantidade de espaço construído com a área total disponível em um determinado recorte. Medir objetivamente a densidade urbana fornece aos projetistas e demais profissionais que atuam no campo do urbanismo uma ideia aproximada de quão ocupado por construções está uma determinada área urbana. Métricas de densidade podem ser empregadas no auxílio da tomada de decisões, como um dispositivo de planejamento urbano que norteie propostas para uma distribuição mais eficiente de edificações em áreas urbanas: a densidade urbana pode ser vista como uma informação qualitativa sobre o espaço urbano (BEIRÃO, 2012).

Durante o século passado, a densidade foi abordada com um recurso para descrever os problemas da cidade (excesso de densidade há um século atrás / cidades muito dispersas na atualidade) e, baseado nesse diagnóstico, desenvolviam-se normas para “[...] prescrever alternativas, às vezes formuladas como densidades máximas, em outros momentos como densidades mínimas.” (BERGHAUSER PONT; HAUPT, 2010, p.16, tradução nossa¹⁶). Atualmente, o paradigma de compacidade urbana — alta densidade urbana associada a boa oferta de infraestrutura — é discutido por diversos autores (ROGERS, 2001; GLAESER, 2011; LEITE, 2012; ALEXANDER *et al.*, 2013; CHAKRABARTI, 2013; GEHL, 2013; STUCHI; LEITE, 2015; LIMA, 2017), sendo apontado como um modelo de planejamento urbano mais sustentável.

Para Lima (2017, p.72), áreas urbanas com maiores densidades impulsionam a interação social, favorecem a diversidade urbana e otimizam o uso de recursos públicos destinados ao aprimoramento de infraestruturas urbanas, “além de determinarem menores consumos (principalmente de recursos energéticos) per capita e menor produção de resíduos e de gases de efeito estufa”. Convergingo com esse apontamento, Berghauser Pont e Haupt (2010) destacam que aumentar a densidade por si só não é capaz de solucionar os problemas do alto consumo energético e da dependência do automóvel, mas afirmam que é um pré-requisito para inserção de políticas urbanas mais sustentáveis:

No entanto, parece haver um consenso geral de que nas cidades em expansão, a mobilidade privada e os altos níveis de consumo de energia andam de mãos

method that can deal with the current challenges being faced in urbanism (BERGHAUSER PONT; HAUPT, 2010, p. 20).

¹⁶ “[...] to prescribe alternatives, at times formulated as maximum densities, at other moments as minimum densities. (BERGHAUSER PONT; HAUPT, 2010, p.16).

dadas. A mobilidade dos carros torna possível o desenvolvimento dos subúrbios, e os subúrbios exigem mobilidade privada. As densidades decrescentes contribuem ainda mais para a dependência do carro, aumentam a produção de CO₂ e as mudanças climáticas. Certamente, alternativas de alta densidade para cidades em expansão não fornecem uma solução instantânea para os problemas de consumo de energia e produção de CO₂ causados pela mobilidade dependente do automóvel, mas são pré-requisitos para outras políticas de combate às mudanças climáticas, como incentivos fiscais, racionamento de carbono, investimentos em transporte público, e assim por diante (BERGHAUSER PONT; HAUPT, 2010, p.202, tradução nossa¹⁷)

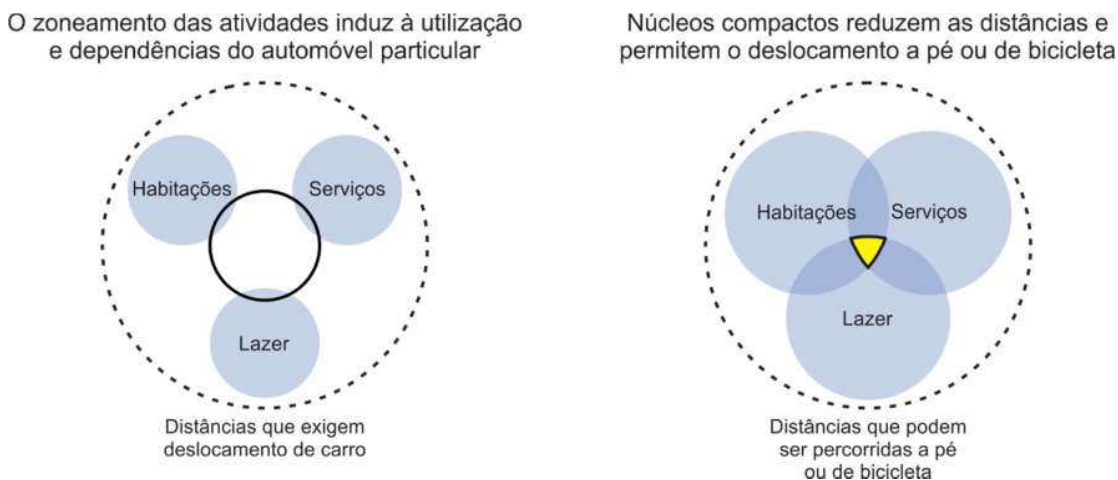
Berghauser Pont e Haupt (2010) entendem que aumentar a compacidade de áreas urbanas é, cada vez mais, considerada uma solução chave para chegar a um modelo de cidade mais sustentável. Chakrabarti (2013) aponta que o espraiamento da malha urbana é a principal causa de problemas no desempenho da forma urbana das cidades, como alterações climáticas, alto custo com saúde e educação pública, desemprego por falta de competitividade mercadológica, entre outros.

Glaeser (2011) e Chakrabarti (2013) convergem em relação a outra potencialidade do paradigma de compacidade em grandes centros urbanos: cidades mais densas — ou mais compactas — favorecem o intercâmbio de ideias, da mão de obra e do capital humano, estimulando por meio desse dinamismo, a prosperidade econômica e o desenvolvimento mercadológico mais sustentável e autônomo, como afirmam os autores.

Leite (2012, p.135) afirma que “a opção pelos parâmetros advindos da cidade compacta tem sido consenso internacional”, enquanto Rogers (2001) reforça que a compacidade está diretamente associada com a autonomia de um centro urbano. A Figura 5 apresenta com mais clareza essa lógica de compacidade, sob os aspectos do deslocamento de pessoas dentro da malha.

¹⁷ *However, there seems to be a general consensus that sprawling cities, private mobility and high levels of energy consumption go hand in hand. Car mobility makes suburbia possible, and suburbia demands private mobility. Decreasing densities further contribute to car dependency, CO₂ production and climate change. Certainly, high density alternatives to sprawling cities do not provide an instant solution to the problems of energy consumption and CO₂ production caused by car mobility, but they are prerequisites for other policies to combat climate change such as fiscal incentives, carbon rationing, investments in public transport, and so forth (BERGHAUSER PONT; HAUPT, 2010, p. 202)*

Figura 5 – Esquema de funcionamento da cidade compacta



Fonte: Rogers (2001, p. 39, adaptado pelo autor, 2019).

Segundo Stuchi e Leite (2015, p. 30-31), o paradigma de cidade compacta se sustenta em três pilares: a otimização de recursos, a inovação e a sustentabilidade. Sob a mesma ótica, Rogers (2001) afirma que as cidades compactas são mais sustentáveis, justificando que a compactidade é responsável por permitir otimizar recursos energéticos e reduzir o nível de poluição (menos deslocamentos), além de oferecer vantagens como a sobreposição de usos, encurtando distâncias na malha urbana entre residência e local de trabalho.

Leite (2012) aponta que, no exterior, as intervenções urbanas que conseguem maior êxito são aquelas que articulam o enfrentamento dos problemas corriqueiros, comuns às grandes metrópoles pós-industriais, a possibilidades de reaproveitamento sustentável dos seus vazios urbanos. Neste sentido, o autor afirma que é importante “voltar a crescer para dentro da metrópole e não mais expandi-la”, por meio de uma lógica de “reciclar o território”, ou seja, uma reestruturação dos territórios urbanizados por meio de um planejamento estratégico para metrópoles (LEITE, 2012). Em síntese, para o autor:

Cidades sustentáveis são, necessariamente, compactas, densas. Como se sabe, maiores densidades urbanas representam menor consumo de energia per capita. Em contraponto ao modelo “Beleza Americana” de subúrbios espalhados no território com baixíssima densidade, as cidades mais densas da Europa e da Ásia são hoje modelos na importante competição internacional entre as *Global Green Cities*, justamente pelas suas altas densidades, otimizando as infraestruturas urbanas e propiciando ambientes de maior qualidade de vida promovida pela sobreposição de usos. (LEITE, 2012, p. 13)

É importante reforçar que o paradigma da alta densidade urbana assume que seus benefícios só podem ser integralmente viabilizados por meio de uma infraestrutura adequada, ou como define Chakrabarti (2013), as infraestruturas de oportunidade: escolas, centros culturais, hospitais, postos de saúde, parques e outros equipamentos sociais fundamentais que viabilizem aspirações sociais como emprego, educação, lazer e saúde.

Ponderando sobre o desempenho de áreas urbanas compactas, é importante destacar que o este paradigma não propõe que os gabaritos de uma determinada área urbana devam ser aumentados de maneira desordenada e em busca de uma densidade máxima, rompendo com a escala humana. Neste sentido, Gehl (2013) discute a escala da cidade avaliando a relação entre as edificações nela existentes e as dimensões humanas. De acordo com ele, as escalas menores permitem uma percepção mais afetiva e intensa da cidade, e os espaços orientados a edificações altas transmitem uma sensação de impessoalidade, um ambiente frio e que não se relaciona com o usuário.

Tomando como base as dimensões da escala humana na caracterização da cidade, pode-se afirmar que a visão é capaz de distinguir objetos até 100 metros, aproximadamente, e que que detalhes podem ser percebidos até 25 metros de afastamento entre o observador e o objeto. Considerando esse parâmetro, um gabarito de cinco pavimentos seria um limite adequado à visão, e quadras com dimensões máximas de aproximadamente 100 metros permitiriam maior interação dentro dos padrões da escala humana (GEHL, 2013).

Alexander *et al.* (2013) apresentam uma interpretação da cidade por meio do número de habitantes: de acordo com ele, uma cidade com 300 mil habitantes, por exemplo, terá um diâmetro entre 3km (32mil hab./km²) e 13,5km (2mil hab./km²), dependendo da sua densidade. Alexander *et al.* (2013) citam ainda uma pesquisa¹⁸ que procurava encontrar um número ideal de habitantes em relação aos serviços urbanos ofertados, concluindo que uma população de 100 a 200 mil habitantes é capaz de viabilizar um centro de grande escala, com atividades recreativas, culturais e lojas (ALEXANDER *et al.*, 2013, p.60).

Em sua obra, Alexander *et al.* (2013) também se fundamentam em pesquisas, principalmente Fanning (1967)¹⁹, que abordam a altura ideal para prédios, relacionando a interação social de moradores e trabalhadores com o espaço público: quanto mais altos os prédios, menor o nível de interação social.

¹⁸ DUNCAN, O. D. The Optimum Size of Cities. In: HATT, P. K.; REISS, A. J. (Orgs.) **Cities and Society**. Nova Iorque: The Free Press, 1967, pp. 759-72, *apud* Alexander *et al.* (2013, p. 60).

¹⁹ FANNING, D. M. Families in Flats. **British Medical Journal**, 18 Nov. 1967, p.382-386, *apud* Alexander *et al.* (2013, p. 118).

Em um edifício com três ou quatro pavimentos, os usuários ainda conseguem caminhar com facilidade até a rua e se sentem parte da paisagem urbana por meio de suas janelas: elas conseguem discernir os detalhes da rua – as pessoas, seus rostos, as plantas, as lojas. A partir de quatro pavimentos, este contato deixa de existir. Os detalhes visuais são perdidos; as pessoas falam do cenário abaixo como se ele fosse um jogo do qual estão completamente dissociadas. A conexão com o chão e a malha urbana se torna tênue; as edificações se tornam um mundo à parte, com seus próprios elevadores e suas cafeterias. (ALEXANDER *et al.*, 2013, p. 118).

Para Gehl (2013), a chave para o bom planejamento urbano consiste em considerar o corpo, os sentidos e a mobilidade humana e, neste sentido, o autor expõe sua preocupação com o desenvolvimento de áreas urbanas cada vez maiores para um número reduzido de pessoas, fugindo à escala humana. Da mesma forma que Alexander *et al.* (2013), Gehl (2013) defende que existe uma altura ideal para as edificações, porém aponta para até seis pavimentos, justificando que acima deste gabarito existe a possibilidade de romper a conexão entre os edifícios e todo o espaço urbano que o cerca.

3.2 O DESEMPENHO DA FORMA URBANA SOB OS ASPECTOS DA DIVERSIDADE DE USOS: A RELAÇÃO ENTRE DIVERSIDADE E VITALIDADE URBANA.

Ainda no âmbito da compreensão das relações do espaço urbano por meio de métricas objetivas, diversos autores (JACOBS, 1961; ROGERS, 2001; GLAESER, 2011; BEIRÃO, 2012; ALEXANDER *et al.*, 2013; CHAKRABARTI, 2013; PANERAI *et al.*, 2013; PEREIRA, 2016; LIMA, 2017) reconhecem a importância de se avaliar os usos presentes na malha urbana, condicionando a qualidade dos espaços a presença de atividades mistas que conferem maior vitalidade e urbanidade as ruas.

De acordo com os apontamentos de diversos autores (ALEXANDER *et al.*, 2013; GEHL, 2013; HOEK, 2008; JACOBS, 1961; LIMA, 2017; PANERAI *et al.*, 2013; ROGERS, 2001), o paradigma de compacidade urbana e o conceito de diversificação dos usos possuem uma essência semelhante e que se complementam, afirmados como paradigmas que se complementam com vistas a propor um modelo de urbanização mais sustentável.

Hoek (2008) expõe que o conceito de associação entre a diversificação dos usos e o aumento da qualidade dos espaços urbanos surge, em um primeiro momento, como um conceito crítico ao paradigma de planejamento da cidade difundido pelo modernismo. Em seguida, um segundo momento importante para a consolidação deste paradigma ocorreu após a crise do petróleo, na década de 1970, quando a ideia de cidade compacta passou a ser vista como um

modelo mais sustentável em meio a crise energética (GEHL, 2013; HOEK, 2008; ROGERS, 2001).

Jacobs²⁰ (1961) chama atenção para a lógica sob a qual, muitas vezes, os planejadores de cidades modernistas operavam, atuando como se as pessoas buscassem locais organizados, calmos e vazios, o que se contrapõe com a realidade, na qual pessoas atraem pessoas. Panerai *et al.* (2013) expõem que o um dos principais problemas relacionados ao paradigma de planejamento urbano modernista se encontra na proposta de dissolução da quadra. Para os autores, abordando mais especialmente as reformas urbanas de Paris no segundo império (Renovação de Haussmann) a escala da quadra reflete diretamente o significado de comunidade. Neste sentido, os autores ressaltam a importância de vizinhanças mistas, do desenvolvimento de atividades diversas e simultâneas dentro do tecido urbano e da acessibilidade a espaços públicos, defendendo que não se pode dissociar questões urbanas da experiência cotidiana da cidade.

Lima (2017) afirma que altas densidades associadas a uma alta diversificação de usos proporciona malhas urbanas com distâncias médias de viagem menores, em diversos modais, o que encoraja o usuário da cidade a se deslocar de maneiras alternativas (caminhada, bicicleta, transporte público, carro, etc). Neste sentido, Gehl (2013) reafirma que a caminhabilidade nos centros urbanos necessita de motivação e, sob os aspectos da compacidade e da diversidade de usos, as cidades podem oferecer esse estímulo através da concentração de atividades em distâncias caminháveis. Lima (2017) afirma ainda que:

A principal premissa do desenvolvimento de alta densidade assume que a colocação de edifícios residenciais perto de grandes nós de transporte, instalações e locais de trabalho irá aumentar a conveniência e, portanto, a aceitação de modos de transporte sustentáveis (LIMA, 2017, p.73).

Em relação aos transportes, Neuman (2005) aponta que a alta densidade por si só, em se tratando de suas configurações formais, é incapaz de diminuir os impactos do carro na sociedade. Berghauer Pont e Haupt (2010) reforçam o que o autor expõe, reafirmando que a sobreposição de usos na malha urbana é um dos fatores fundamentais na construção de um novo paradigma de transportes alternativos:

²⁰ Autora da primeira obra a criticar, em escala global, os resultados da excessiva separação de funções urbanas “que foram muito longe e mataram a vida da cidade” (HOEK, 2008, p.3, tradução nossa — “[...] *that went too far, and killed the city life [...]*”).

Ambientes urbanos mais densos certamente não significam, automaticamente, menos necessidade de transporte e menor consumo de energia. As distâncias entre as residências e os locais de trabalho, a introdução de regulamentos e de políticas fiscais provavelmente têm impactos muito maiores no uso de carros do que o simples *layout* físico das cidades e bairros (BERGHAUSER PONT; HAUPT, 2010, p.65, tradução nossa²¹).

A utilização a que se destina um bairro, ou a vocação de um bairro, é um aspecto que contribui substancialmente para a vitalidade urbana e está intrinsecamente ligada à diversidade de usos. Jacobs (1961), analisando especificamente a multiplicidade de usos na malha urbana na escala do bairro, aponta que:

O bairro, assim como o maior número possível de suas partes internas, deve servir a mais de uma função principal: de preferência, mais de duas. Tal fato deve garantir a presença de pessoas que saem ao ar livre em horários diferentes e estão no local para propósitos diferentes, mas que podem usar muitas instalações em comum (JACOBS, 1961, p.150, tradução nossa²²).

Ainda de acordo com Lima (2017), também avaliando mais especificamente a escala dos bairros, vizinhanças que possuam uma maior diversidade de usos incentivam o deslocamento a pé, graças a diminuição da distância física entre diferentes serviços essenciais, que se sobrepõem no tecido urbano. Para o autor, este tipo de configuração urbana também é relevante por favorecer o contato entre diferentes pessoas, de diferentes culturas e classes, potencializando a qualidade da interação social.

Neste sentido, Alexander *et al.* (2013) defendem, em uma análise social e psicológica, que a distância entre a moradia e o trabalho deve estar entre 20 a 30 minutos de deslocamento, resguardando o convívio familiar nos intervalos do trabalho e criando pequenos grupos de trabalho descentralizados. Esses grupos menores auxiliam na sustentação de atividades e serviços como comércios locais, bares e restaurantes, que idealmente são dispostos em espaços de uso comum. Para os autores, analisando padrões morfológicos, as residências devem ocupar os espaços remanescentes, em edificações cujo térreo abrigue comércio e serviços, ou dispostas

²¹ *Denser urban environments do certainly not automatically mean less transport and energy consumption. Distances between homes and places of work, regulations and fiscal policies probably have far greater impacts on car use than the mere physical layout of cities and regions. (BERGHAUSER PONT; HAUPT, 2010, p.65).*

²² *The district, and indeed as many of its internal parts as possible, must serve more than one primary function: preferably more than two. These must insure the presence of people who go outdoors on different schedules and are in the place for different purposes, but who are able to use many facilities in common. (JACOBS, 1961, p.150)*

em fita, recuadas em relação à via de acesso, mantendo a área comum habitada, evitando assim a sua degradação e potencializando a vitalidade urbana.

Jacobs (1961) e Alexander *et al.* (2013) convergem com a afirmação que as fachadas e as janelas devem estar voltadas para a rua. Jacobs (1961) aponta ainda outras duas principais qualidades para ruas seguras: uma clara demarcação entre espaços públicos e privados; ruas habitadas e utilizadas (vitalidade e diversidade). Conseqüentemente, a diversidade de usos atrai o usuário da cidade para aderir a caminhabilidade, tornando as calçadas instintivamente mais seguras, com residências e comércios se conectando com a vivência da cidade, beneficiando ambos (PEREIRA, 2016).

Rogers (2001) faz uma leitura sobre os variedades de usos em uma determinada área urbana e sua relação com o comércio e com a economia local, destacando como aspecto positivo o processo de desenvolvimento econômico em pequena escala, o que chama de “nova economia”:

A cidade industrial do século XIX evoluiu ao redor da ferrovia ou do abastecimento de carvão e aço. A cidade do final do século XX foi planejada e desenvolveu-se ao redor de zonas com uma única atividade. Na cidade do século XXI, a confiança da economia nos empregos de pequena escala e na troca criativa criará necessidades pessoais muito diferentes. As pequenas empresas são menos dependentes de instalações em grande escala e mais dependentes da infraestrutura da cidade e dos serviços locais (ROGERS, 2001, p. 162-163).

Neste contexto, entende-se que a diversidade de usos é um fator que impacta diretamente a economia das cidades e, sob a ótica da “nova economia” abordada por Rogers (2001), cidades que possuam vida pública, boa mobilidade, educação permanente, equipamentos culturais acessíveis e uma boa gestão estão predispostas a um processo de desenvolvimento econômico mais frutífero.

4 CITYMETRICS: SISTEMA COMPUTACIONAL DE SUPORTE A ANÁLISES DE DENSIDADE URBANA E DIVERSIDADE DE USOS

A prática abrangente de tarefas associadas ao campo do planejamento de bairros e de cidades, com ênfase no desenvolvimento urbano sustentável, exige cada vez mais abordagens fundamentadas pelo conhecimento de dados e orientadas para o desempenho do desenho urbano, explorando as diversas camadas de informações contextualizadas em várias escalas de intervenção (GIL; DUARTE, 2013).

Ainda neste sentido, e relativamente à fundamentação teórica da presente pesquisa, sabe-se que a compreensão do espaço urbano e o desenvolvimento das cidades podem ser analisados por meio de algumas de suas dimensões morfológicas, por meio de relações entre essas dimensões e por meio das relações entre dimensões e as morfologias correspondentes. Neste sentido, Beirão (2012) afirma que explorar a aplicação de regulamentos com base em diferentes medidas do espaço é uma prática comum no campo do planejamento urbano.

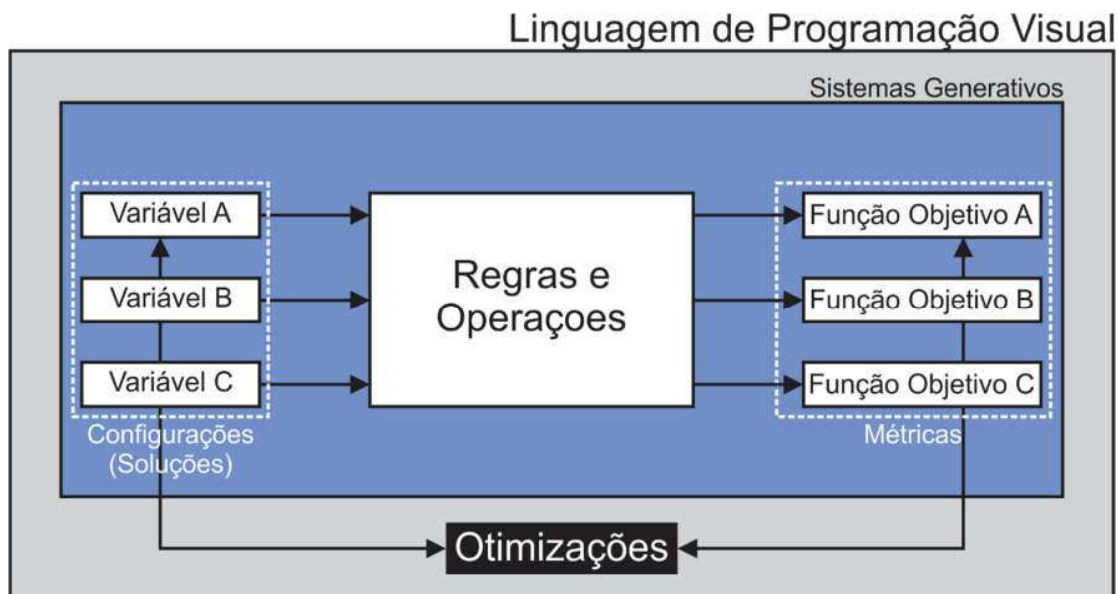
O presente capítulo tem por objetivo apresentar o sistema *CityMetrics*, desenvolvido para auxiliar tarefas de planejamento urbano por meio da articulação entre a abordagem proposta pela Lógica Algorítmica associada a Modelagem Paramétrica, ou Lógica Algorítmico-paramétrica (LIMA, 2017). Também serão apresentados dois indicadores que serão abordados no âmbito desta dissertação, implementados computacionalmente por meio de *CityMetrics*, que auxiliam a mensuração objetivamente a densidade urbana e a diversidade de usos urbana. Serão expostas também a lógica de cálculo com as quais cada um desses dois indicadores opera, além de outros dados relativos ao seu desenvolvimento.

4.1 CITYMETRICS – SISTEMA (PARA)MÉTRICO PARA ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DE CONFIGURAÇÕES URBANAS

O modelo *CityMetrics*, produto da tese de doutoramento de Lima (2017), apresenta-se na forma de um sistema que articula métricas para avaliação de desempenho a recursos e a funcionalidades algorítmico-paramétricas, desenvolvido para operar no ambiente digital do plugin *Grasshopper* para o software *Rhinoceros3D*. *CityMetrics* objetiva atuar no auxílio das tarefas de análise e planejamento urbano, viabilizando inclusive otimizações em diferentes aspectos relativos ao grau de eficiência e às possibilidades de operação de configurações geométricas e algébricas de uma área urbana. O sistema foi elaborado para mensurar e otimizar o desempenho de configurações urbanas por meio de métricas relacionadas a princípios

mensuráveis, derivados do Desenvolvimento Orientado pelo Transporte Sustentável (DOTS) (Figura 6), utilizando para a construção de Sistemas Generativos a lógica da Linguagem de Programação Visual (LIMA *et al.*, 2019).

Figura 6 – A articulação das estratégias fundamentais para a formulação e utilização do *CityMetrics*



Fonte: Lima (2017, p. 126, adaptado pelo autor, 2019).

Em síntese, *CityMetrics* pode ser descrito como um sistema computacional baseado na lógica algorítmico-paramétrica, que ao articular métricas de avaliação de desempenho urbano e operações lógicas, fornecendo índices que podem ser utilizados como funções-objetivo em tarefas de otimização (LIMA *et al.*, 2019).

Lima *et al.* (2019, p. 413) expõem que o sistema de *CityMetrics* desdobra-se nas seguintes ferramentas:

- a) Algoritmo de Proximidade Física (APF) - ferramenta que mede a distância entre um alvo (um serviço) e um local em uma vizinhança (origem), calculando o caminho com distância física menor entre um alvo e um (ou todos) destino(s), considerando ainda a topografia no(s) caminho(s);
- b) Algoritmo de Proximidade Topológica (APT) - ferramenta que calcula a proximidade considerando métricas topológicas, apropriando-se dos conceitos da teoria da Sintaxe Espacial (HILLIER; HANSON, 1984);

- c) Algoritmo de Variedade de Serviços - uma ferramenta que calcula as distâncias médias entre uma determinada fonte e todos os alvos próximos em uma determinada categoria de serviços urbanos;
- d) Algoritmo de Recorrência de Serviços (ARS) - calcula a proporção do número de alvos relatados (em cada categoria de serviços) e o número total de locais em uma área pesquisada;
- e) Algoritmo de Uso Misto (MXI) - calcula a proporção entre a soma de todas as áreas residenciais e não residenciais de uma localidade, fazendo uma comparação dessas proporções (HOEK, 2008);
- f) Algoritmo de Indicadores *Spacematrix* - calcula os atributos de densidade das áreas estudadas, informando três indicadores fundamentais propostos por Berghauer Pont e Haupt (2010): intensidade (*Floor Space Index*, FSI), Cobertura (*Ground Space Index*, GSI) e Densidade de Rede (*Network Density*, N).

Lima (2017) e Lima *et al.* (2019) ressaltam que *CityMetrics* não se destina a atuar como um sistema de capacidade autônoma, solucionando problemas de forma automática ou independente. Os diversos atores envolvidos nas tarefas de planejamento urbano continuam sendo indispensáveis, especialmente porque serão esses os responsáveis em alimentar todo o sistema, estabelecendo os objetivos, diretrizes e, principalmente, considerar e ponderar sobre os aspectos não-programáveis e subjetivos que estão presentes no âmbito de quaisquer tarefas de análise urbana.

Por fim, considerando suas características e o direcionamento analítico da presente pesquisa, *CityMetrics* (LIMA, 2017) se apresenta como um sistema com grande potencialidade de auxiliar na análise proposta por esta dissertação, especialmente por dois motivos principais para sua adoção: operar sob a lógica algorítmico-paramétrica, abordando métricas objetivas das duas variáveis investigadas — densidade urbana e diversidade de usos — de maneira dinâmica; pelo fato de o autor da presente pesquisa possuir experiência previa com a utilização do sistema, levando em conta outras atividades anteriormente realizadas no âmbito do Laboratório de Investigação em Arquitetura e Urbanismo (DOMVS CNPq), na linha de pesquisa Métricas Urbanas, sob coordenação e orientação direta do desenvolvedor do sistema computacional escolhido.

Para o contexto desta investigação, aonde serão analisados apenas as variáveis de densidade (*Spacematrix*) e diversidade (MXI), as ferramentas para avaliação objetiva de caminhabilidade (APF), o índice de recorrência de serviços (ARS) e o índice de proximidade topológica (APT) não serão implementados na análise proposta. Ainda que essas ferramentas

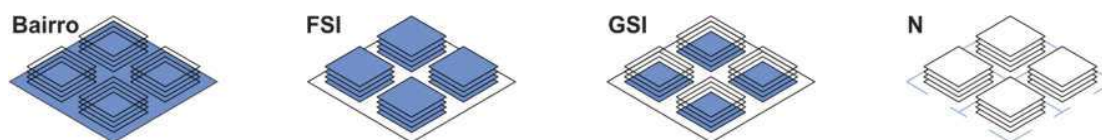
auxiliem a esgotar as possibilidades de análise do espaço urbano, este trabalho enfatiza os aspectos da densidade urbana e da diversidade de usos. Em seguida, dando continuidade ao capítulo, serão apresentados os indicadores e as métricas com que eles operam.

4.2 INDICADORES PARA ANÁLISE DA DENSIDADE URBANA CONSTRUÍDA: *SPACEMATRIX* (MATRIZ ESPACIAL) INDICADORES PARA MEDIR A DENSIDADE URBANA

A implementação dos indicadores *Spacematrix* propostos por Berghauer Pont e Haupt (2010) no contexto desta dissertação visa a auxiliar os cálculos para análise de densidade das áreas estudadas, por meio de três indicadores fundamentais: cobertura (*Ground Space Index* — GSI), intensidade (*Floor Space Index* — FSI) e densidade da rede (*Network Density* — N). A ferramenta funciona a partir do *input* dos contornos da área analisada e de suas edificações, do número de pavimentos de cada uma destas edificações e do desenho das ruas contidas na área de análise. Em seguida, o algoritmo apresenta como *output* o GSI, o FSI e o N da área urbana analisada.

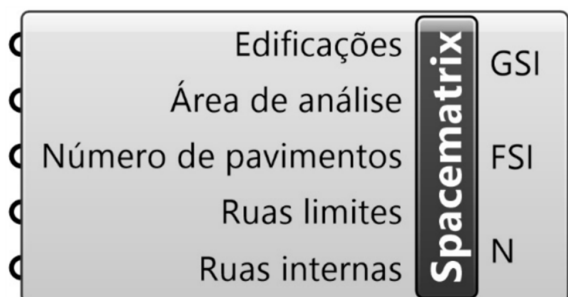
De acordo com Lima (2017, p. 143), esta ferramenta é de grande importância no contexto do modelo *CityMetrics*, permitindo “calcular e visualizar informações acerca da densidade de áreas urbanas em tempo real, permitindo a avaliação dinâmica dos contextos urbanos estudados e das intervenções/modificações propostas”. A Figura 7 apresenta e identifica os indicadores *Spacematrix*, tal como na obra de Berghauer Pont e Haupt (2010), a Figura 8 apresenta o componente desta ferramenta, tal como proposto por Lima (2017) e a Figura 9 o gráfico aonde são articulados os resultados obtidos após a indexação dos indicadores *Spacematrix*.

Figura 7 – Indicadores *Spacematrix*: área de análise (no caso desta pesquisa, um bairro), área total de pisos (FSI), área total de ocupação (GSI) e rede de ruas (N)



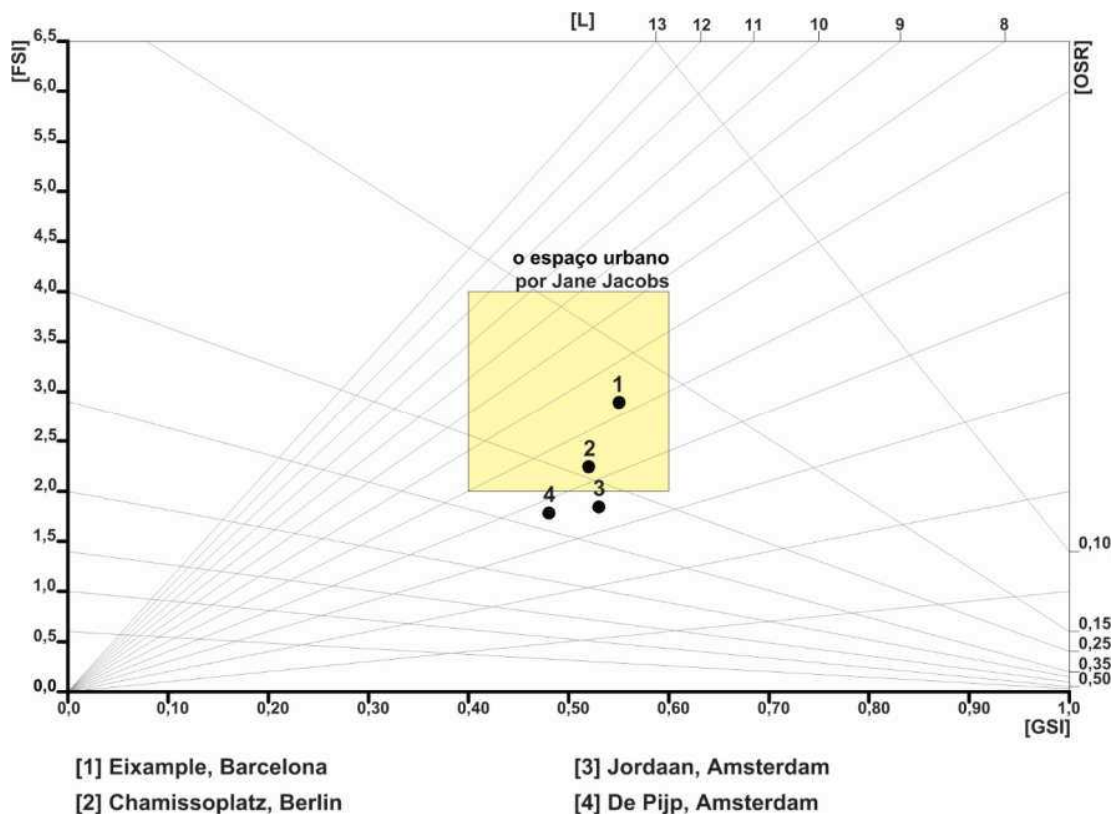
Fonte: Berghauer Pont e Haupt (2010, p. 94-96, adaptado pelo autor, 2019).

Figura 8 – Cluster da ferramenta Algoritmo de Indicadores *Spacematrix* para *Grasshopper*



Fonte: Lima (2017, p. 143).

Figura 9 – Gráfico *Spacematrix* (matriz espacial)



Legenda: Gráfico onde são lançados os resultados após a verificação dos indicadores FSI e GSI. No gráfico utilizado nesta dissertação há uma região que corresponde, de acordo com os autores, a representação do entendimento do espaço urbano qualificado apresentado por Jacobs (1961), além de já constarem também quatro áreas já indexadas por eles, permitindo comparar o cenário de densidade construída.

Fonte: Berghauer Pont e Haupt (2010, p. 198, adaptado pelo autor, 2020).

É importante ressaltar que esta dissertação se alinha com o que defendem os autores dos indicadores *Spacematrix*, no que tange à afirmação e ênfase que não há uma métrica ou um valor específico que determine, numericamente, qual é a melhor densidade ou uma espécie de

“densidade urbana padrão”: mapear, analisar e compreender as características de densidade em uma determinada região deve ser visto como um pré-requisito para se entender e prever, de forma mais assertiva, os efeitos de propostas específicas de planejamento urbano (BERGHAUSER PONT; HAUPT, 2010, p. 11).

4.2.1 GSI - *Ground Space Index*

O indicador GSI, responsável por medir a cobertura da área analisada, apresentando a relação entre espaço construído e não construído, em uma lógica de cálculo ligeiramente semelhante a utilizada nos Planos Diretores para definição da chamada Taxa de Ocupação, e é calculado dado por meio da seguinte fórmula:

GSI_x = B_x / A_x, onde:

- B_x = Área do primeiro pavimento de todas as edificações, que estiver em contato direto com o solo (em metros quadrados);
- A_x = Área de análise (em metros quadrados);
- x = Área de análise, podendo ser um lote, uma quadra, um bairro ou uma cidade.

Dentro da proposta de análise desta pesquisa, medir objetivamente o GSI é uma alternativa para compreender quanto que determinada área de análise possui da superfície do seu solo ocupado por edificações, o que nos apresenta um panorama de cheios e vazios e também nos permite inferir relações como a valorização do solo, por exemplo.

4.2.2 FSI - *Floor Space Index*

O indicador FSI reflete o quão intenso são os edifícios dentro da malha analisada, e também possui uma lógica de cálculo ligeiramente semelhante à adotada nos Planos Diretores para elaboração do cálculo do Coeficiente de Aproveitamento. É obtido por meio da seguinte expressão:

FSI_x = F_x / A_x, onde:

- F_x = Área bruta do piso (em metros quadrados);
- A_x = Área de análise x (em metros quadrados);

- x = Área de análise, podendo ser um lote, uma quadra, um bairro ou uma cidade.

No âmbito desta pesquisa, medir objetivamente o FSI nos permite saber quanto que determinada área de análise possui de verticalização, ou seja: quanto mais alto for o valor obtido para o indicador FSI, maior é a verticalização das edificações e, conseqüentemente, maior densidade urbana nessa área de análise.

4.2.3 N - *Network Density*

A densidade da rede (N) refere-se à concentração de rede de ruas em uma determinada área, ou mais especificamente, a malha viária. A densidade de uma rede é definida como o comprimento da rede por metro quadrado de área de base (m / m²) e é calculada por meio da soma de toda a rede de vias internas e metade do comprimento das redes que delimitam a área estudada (rede de vias externas ou perimetrais). A unidade do resultado é a medida de rede por metro quadrado de área de tecido.

$N_f = (\sum l_i + (\sum l_e / 2)) / A_f$, onde:

- l_i = Comprimento das vias internas (em metros);
- l_e = Comprimento das vias externas ou perimetrais (em metros);
- A_f = Área de análise (em metros quadrados).

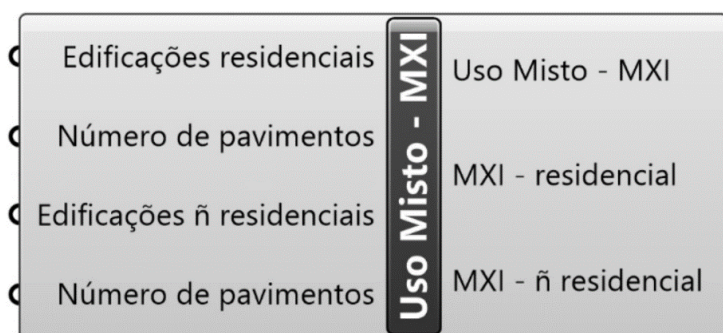
Para os objetivos desta pesquisa, medir objetivamente a densidade da rede de ruas (N) nos permite saber quanto que determinada área de análise é permeada por vias, o que nos facilita compreender as relações de integração existentes dentro do espaço urbano analisado.

4.3 *MIXED-USE INDEX (MXI)*: ÍNDICE PARA MEDIR A DIVERSIDADE URBANA

O Mixed-use Index, ou simplesmente MXI, é um índice de uso misto elaborado por Hoek (2008), que calcula a proporção entre a soma de todas as áreas residenciais e a soma de todas as áreas não residenciais no plano da rua de uma determinada localidade. Em seguida, é feita uma comparação destas proporções, permitindo que se verifique o panorama dos usos na região estudada. De acordo com Hoek (2008), quanto mais próxima essa relação for de 50/50 (equilíbrio), maior a diversidade que essa área urbana possui.

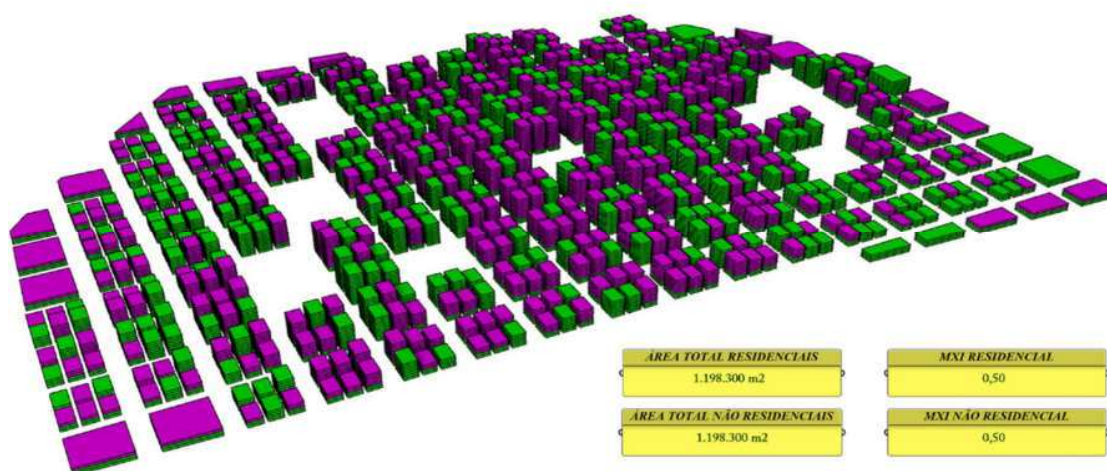
Considerando a implementação do modelo *CityMetrics*, Lima (2017) afirma que este algoritmo possui grande importância em seu contexto, viabilizando mensurar o panorama da diversidade em uma determinada área antes e depois de potenciais intervenções. Neste sentido, Lima (2017) propõe um algoritmo para cálculo do Índice de Uso Misto, visando a medir objetivamente a diversidade em uma localidade não só no plano da rua, como propõe Hoek (2008), mas considerando também os usos nos demais pavimentos da área de estudo. A Figura 10 ilustra a interface do cluster do Algoritmo de Uso Misto (AMXI), a Figura 11 apresenta a base de cálculo do AMXI e a Tabela 1 apresenta a base de referência para o AMXI.

Figura 10 – Cluster da ferramenta Algoritmo de Uso Misto para *Grasshopper*



Fonte: Lima (2017, p. 142).

Figura 11 – Soma de áreas residenciais e não residenciais pelo AMXI



Legenda: O AMXI realiza o cálculo da soma de todas as áreas residenciais (em magenta) e não residenciais (em verde) de uma localidade, calculando a proporção entre elas.

Fonte: Lima (2017, p. 142).

Tabela 1 – Valores de referência para o indicador MXI

Valor MXI	0	50	100
Significado	100% de uso não residencial	Usos equilibrados em 50/50	100% uso residencial
Tipo de Região	Monofuncional	Região com Uso Misto (ideal*)	Monofuncional
Exemplos	Complexos industriais ou comerciais / Serviços	Centros e zonas próximas ao Centro da Cidade	Áreas periféricas / subúrbios

Fonte: Hoek (2008, p. 6, adaptado pelo autor, 2020).

Considerando a proposta de análise desta pesquisa, medir objetivamente o panorama da distribuição dos usos por meio do indicador MXI é uma metodologia eficiente para apresentar, com respaldo de métricas, qual a distribuição dos usos nas áreas analisadas, permitindo inferir a vocação do bairro e até mesmo os aspectos de urbanidade ali presentes.

* É necessário destacar que o MXI apresentado como ideal por Hoek (2008) considera uma área urbana genérica, portanto aponta o equilíbrio em 50/50 como a melhor distribuição entre edificações residenciais e não-residenciais. Dessa forma, é importante ressaltar que a métrica, mesmo que eficiente, não considera fatores como a vocação de um determinado bairro ou até mesmo as características e os fatores externos que contribuem para essa distribuição de usos e para a consolidação de áreas urbanas.

5 ANÁLISE ALGORÍTMICO-PARAMÉTRICO DA DENSIDADE E DA DIVERSIDADE URBANA EM JUIZ DE FORA

Este capítulo apresenta, de maneira expedita, o município de Juiz de Fora e os critérios que foram utilizados para definir a amostra de pesquisa para realização da análise proposto. O capítulo também expõe os procedimentos metodológicos realizados para execução da análise de desempenho da forma urbana (densidade e diversidade urbana) em três áreas de estudo na cidade de Juiz de Fora, assim como os resultados que foram obtidos já sistematizados.

5.1 OBJETO DE ESTUDO: A CIDADE DE JUIZ DE FORA

O município de Juiz de Fora está localizado no estado brasileiro de Minas Gerais (Figura 12), mais precisamente na mesorregião da Zona da Mata Mineira (Latitude: -21.7642, Longitude: -43.3496 / 21° 45' 51" Sul, 43° 20' 59" Oeste), distante 262,5km (via BR-040) a sudeste da capital do estado, Belo Horizonte e 189km (via BR-040) a nordeste do Rio de Janeiro, capital do estado vizinho de mesmo nome. Possui uma população total, contabilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística no ano de 2010, de 516.247 habitantes, sendo na data do levantamento, o quarto município mais populoso do estado de Minas Gerais e o 36° do Brasil. Ocupa uma área total de 1.429,875 km², sendo que apenas 317,740 km² estão dentro do perímetro urbano do município (EMBRAPA, 2010; IBGE, 2010).

Figura 12 – Identificação do estado de Minas Gerais no território do Brasil e da cidade de Juiz de Fora no território do estado de Minas Gerais



Fonte: preparado pelo autor, 2019.

O município é composto pela cidade de Juiz de Fora e por seus quatro distritos (Rosário de Minas, Torreões e Sarandira), sendo ainda subdividido em 111 bairros. A cidade teve notoriedade no cenário nacional após ser conhecida como "Manchester Mineira", à época em que seu pioneirismo nos processos de industrialização fez com que se tornasse o município mais importante do estado de Minas Gerais. Seu desenvolvimento foi afetado pela grande crise econômica de 1929, quando então os municípios mineiros ligados à cafeicultura sofreram um grande impacto econômico e, como consequência, Juiz de Fora só se reestruturou a partir da década de 1960, em um processo consideravelmente mais modesto que antes da crise. Sua área de influência se estende por toda a Zona da Mata Mineira, por uma pequena parte do sul do estado de Minas Gerais e também pela mesorregião do Centro Fluminense, no estado do Rio de Janeiro (JUIZ..., 2008).

O município de Juiz de Fora foi escolhido como objeto de estudo desta investigação por razões como:

- a) sua importância histórica no estado de Minas Gerais;
- b) atualmente é a cidade polo da Região Geográfica Intermediária de Juiz de Fora (antiga mesorregião Zona da Mata Mineira), concentrando serviços oferecidos para as demais cidades;
- c) por possuir uma consolidação da malha urbana em volta do centro histórico da cidade, uma característica particular de Juiz de Fora.

5.2 OS BAIRROS ESCOLHIDOS E OS RECORTES ANALISADOS

De acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU), Juiz de Fora é composta por oito Regiões de Planejamento (RP): RP's Norte, Sul, Leste, Oeste, Centro, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste. Para realização da análise de densidade urbana construída e de diversidade urbana, proposta central desta pesquisa, foram pré-selecionados oito bairros: um bairro por RP, sendo eles os mais populosos de cada uma das regiões de acordo com os dados censitários do IBGE (2010). Em seguida, esse número foi reduzido para três RP's, sendo elas as regiões Centro, Norte e Oeste, escolhidas pelo número total de habitantes que possuem, devido a sua importância na estrutura da malha urbana de Juiz de Fora e, no caso da RP Oeste, por apresentar um cenário recente de intensas transformações morfológicas.

No seguimento da seleção de amostras para esta pesquisa, os bairros escolhidos (Centro, Benfica e São Pedro) são os três que possuem maior relevância dentro de suas respectivas RP's, exercendo um papel importante de centralidade em suas respectivas Unidades de Planejamento

(UP), tanto em aspectos econômicos quanto históricos. Neste sentido, foram estabelecidos os três recortes do tecido urbano estudados por esta dissertação, definidos de maneira espontânea, a partir da seleção de quadras na parte mais central de cada um dos três bairros: no bairro centro, foram selecionadas as quadras que compõem a região popularmente conhecida como “triângulo central expandido”; no bairro Benfica foram selecionadas as quadras adjacentes à Rua Martins Barbosa e no bairro São Pedro foram selecionadas as quadras adjacentes à Avenida Presidente Costa e Silva.

Em síntese, as três áreas escolhidas para serem analisadas no contexto desta dissertação (Tabela 2) foram:

- a) recorte do bairro Centro (Figura 13 e Figura 14), localizada na RP Centro (Anexo A e Anexo B), UP Centro;
- b) recorte do bairro Benfica (Figura 15 e Figura 16), localizada na RP Norte (Anexo C e Anexo D), UP Benfica;
- c) recorte do bairro São Pedro (Figura 17 e Figura 18), localizado na RP Oeste (Anexo E e Anexo F), UP São Pedro.

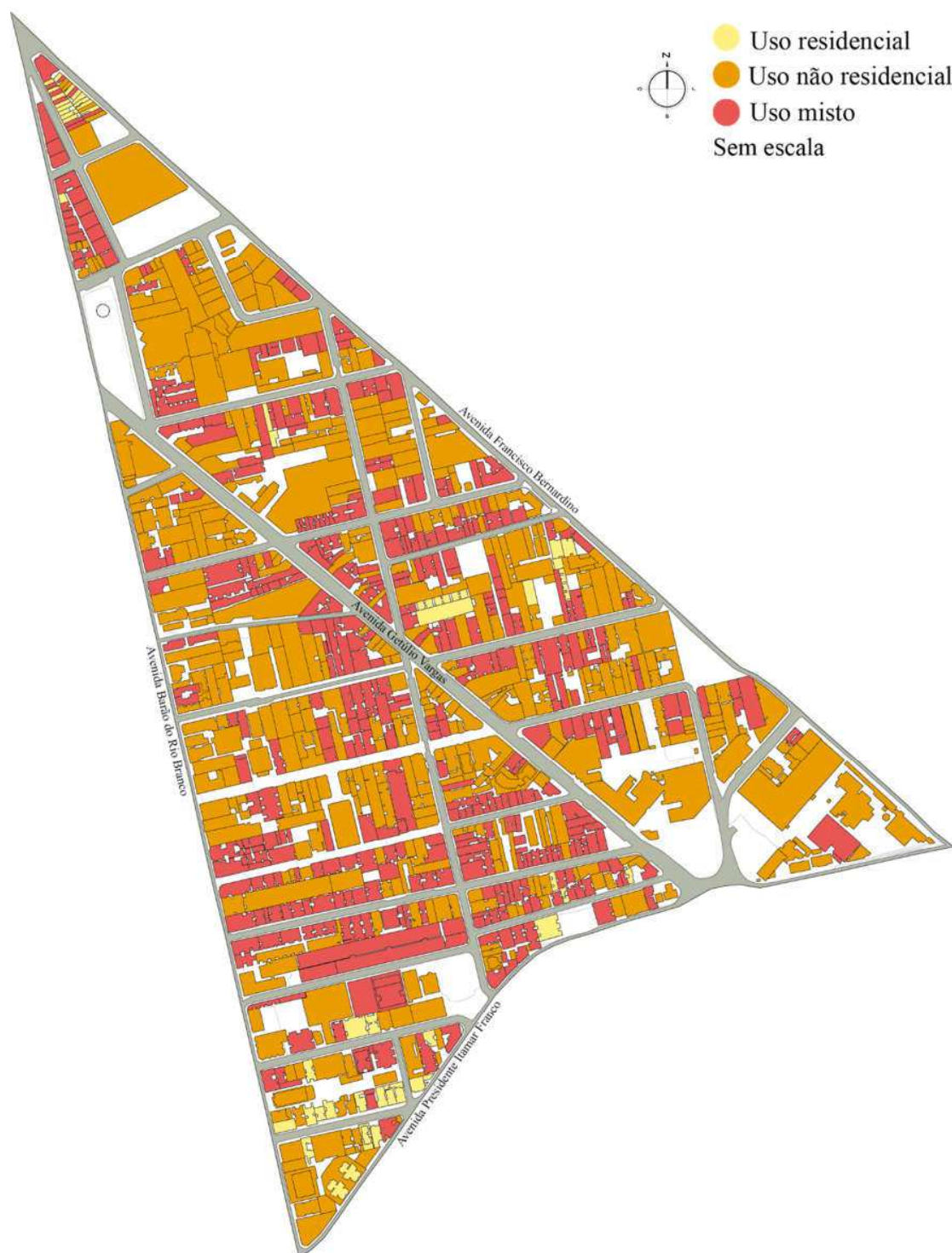
Tabela 2 – Síntese de dados das amostras analisadas pelo trabalho

Bairro	Região de Planejamento	Unidade de Planejamento	Recorte de Análise
Centro	RP Centro (Anexo A e Anexo B)	UP Centro	Região do "Triângulo Central Expandido" (Figuras 14 e 15)
Benfica	RP Norte (Anexo C e Anexo D)	UP Benfica	Imediações da Rua Martins Barbosa (Figuras 16 e 17)
São Pedro	RP Oeste (Anexo E e Anexo F)	UP São Pedro	Imediações da Avenida Presidente Costa e Silva (Figuras 18 e 19)

Fonte: preparado pelo autor, 2020.

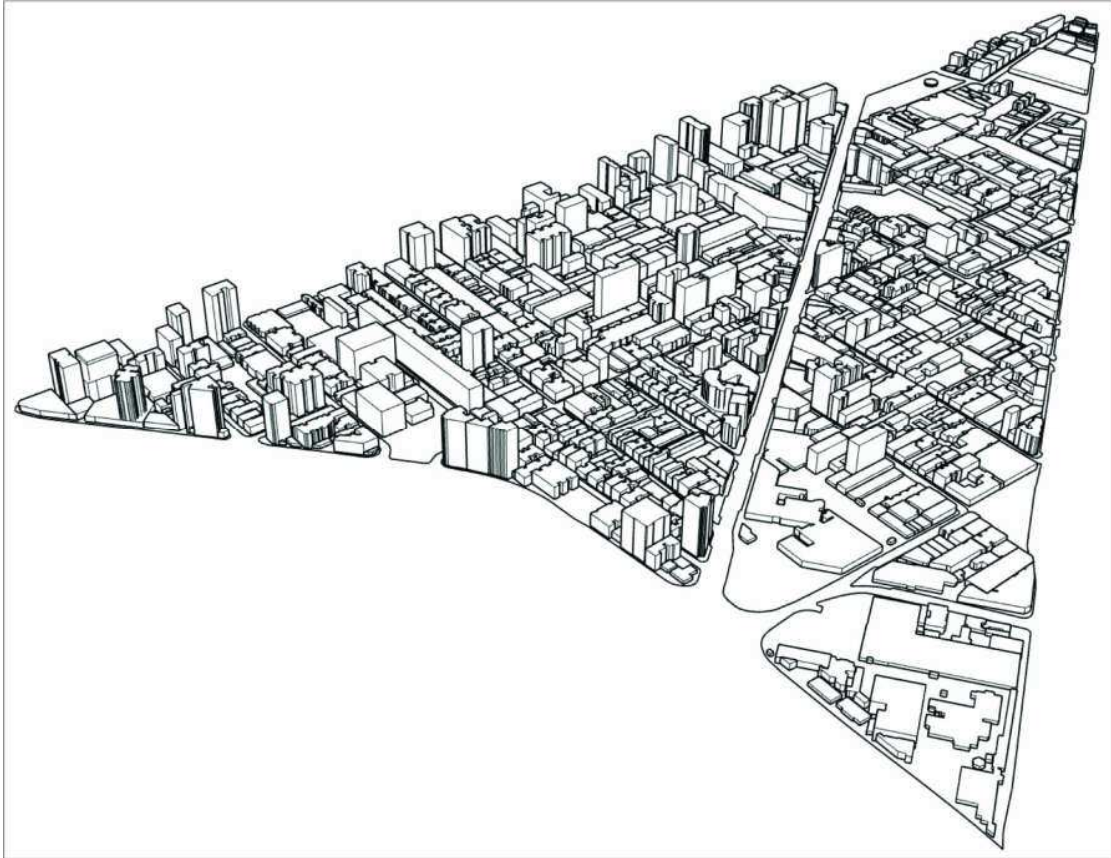
Para melhor identificar as áreas analisadas por esta investigação, a seguir são apresentados mapas bidimensionais que ilustram o panorama de uso nas áreas analisadas, seguidos de uma figura com a representação tridimensional, modelada no *Rhinoceros3D*.

Figura 13 – Área de análise no bairro Centro



Fonte: Preparado pelo autor, 2020.

Figura 14 – Modelo 3D (desenvolvido parametricamente em *Rhinoceros3D* + *Grasshopper*)
do bairro Centro



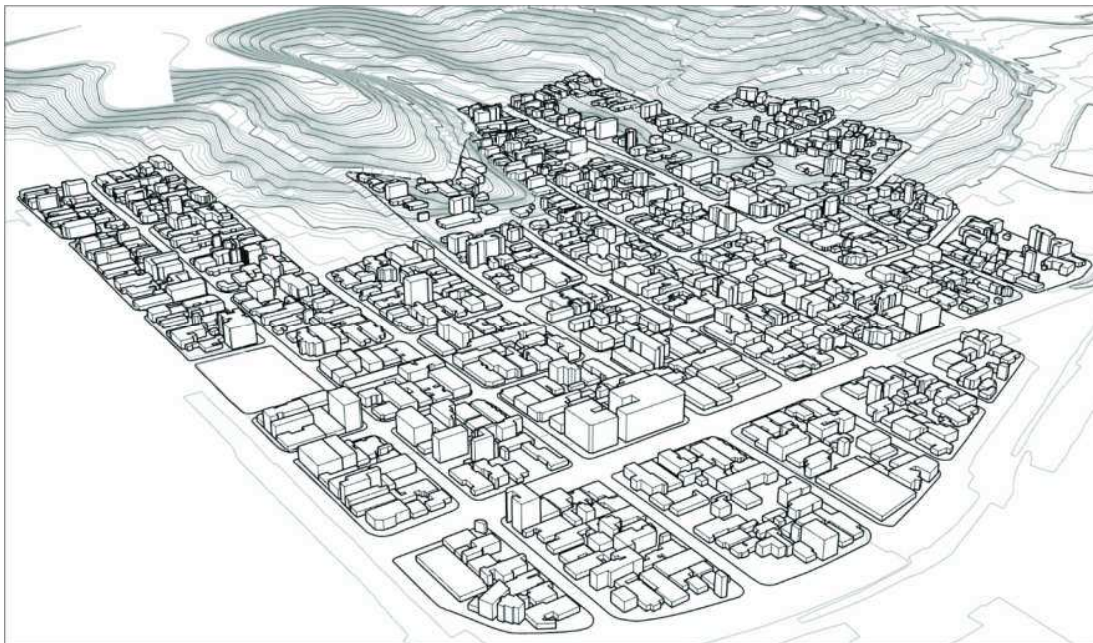
Fonte: Preparado pelo autor, 2020.

Figura 15 – Área de análise no bairro Benfica



Fonte: Preparado pelo autor, 2020.

Figura 16 – Modelo 3D (desenvolvido parametricamente em *Rhino3D* + *Grasshopper*)
do bairro Benfica



Fonte: Preparado pelo autor, 2020.

Figura 17 – Área de análise no bairro São Pedro



Fonte: Preparado pelo autor, 2020.

Figura 18 – Modelo 3D (desenvolvido parametricamente em *Rhino3D* + *Grasshopper*)
do bairro São Pedro



Fonte: Preparado pelo autor, 2020.

5.3 IMPLEMENTANDO *CITYMETRICS*: TAREFAS EXECUTADAS PARA REALIZAÇÃO DA ANÁLISE

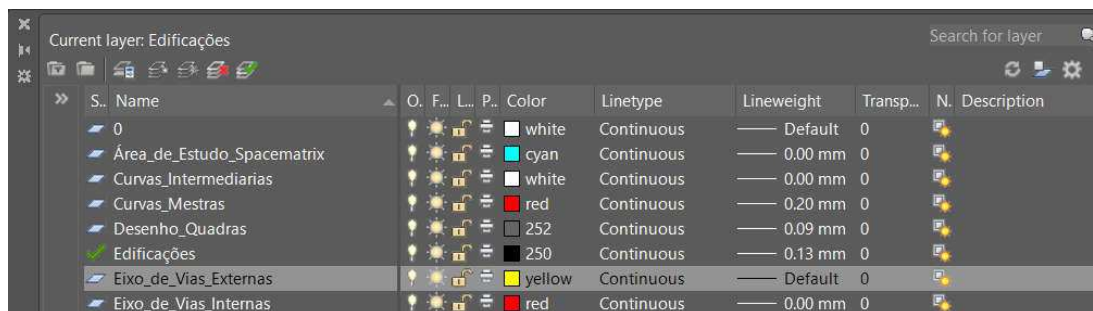
Após a definição das áreas a serem analisadas, o primeiro procedimento para iniciar as tarefas de análise foi desenvolver e preparar os arquivos com as informações necessárias, como: geometria das edificações implantadas; desenho do eixo de vias e desenho das vias completas. *CityMetrics* opera importando esses dados de arquivos em formato .dwg ou arquivos .qgs oriundos de uma base GIS e, no caso específico da presente pesquisa, por razões de disponibilidade de dados, foram utilizados os arquivos no formato .dwg encontrados na internet, fruto de um levantamento planialtimétrico da Prefeitura Municipal de Juiz de Fora, realizado em 2011.

Em seguida, os arquivos .dwg foram analisados, os dados que não seriam necessários para esta pesquisa foram removidos e as informações fundamentais foram organizadas em layers mais adequados (Figura 19), em vista a facilitar os processos seguintes que seriam desenvolvidos no plugin *Grasshopper*, a saber:

- a) layer *Edificações*;
- b) layer *Eixo_de_Vias_Internas*;
- c) layer *Eixo_de_Vias_Externas*;
- d) layer *Desenho_Quadras*;

- e) layer *Área_de_Estudo_Spacematrix*;
- f) layer *Curvas_Mestras*; e (vii) layer *Curvas_Intermediárias*.

Figura 19 – Organização dos layers no âmbito do software *AutoCAD 2019*

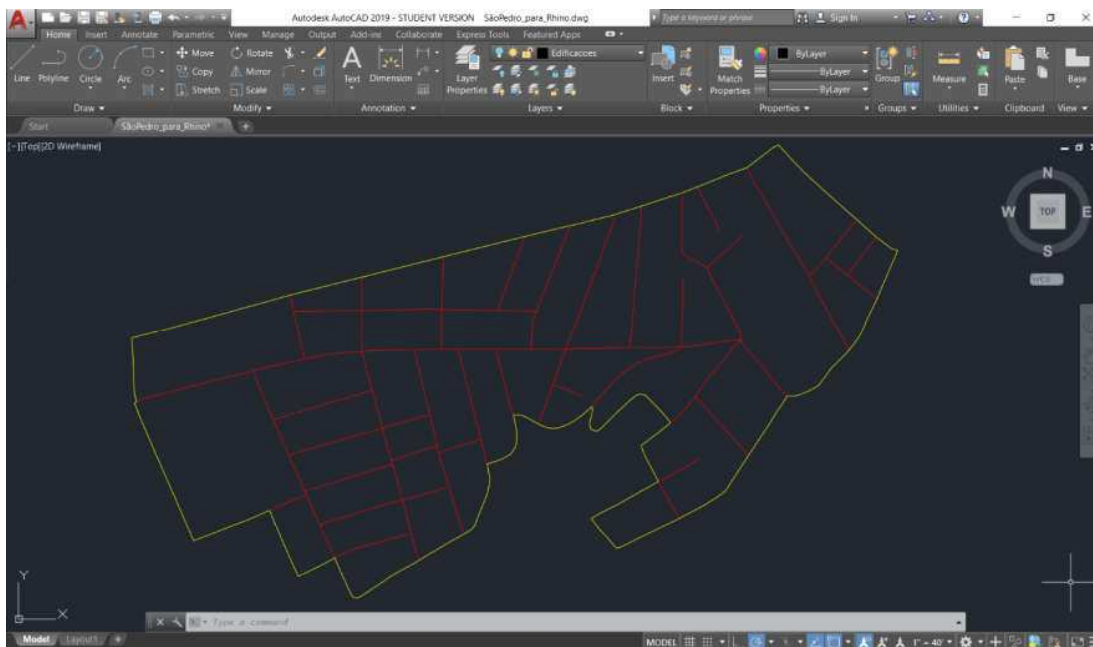


Legenda: Foi utilizado o *software* AutoCAD 2019, da empresa Autodesk (versão devidamente licenciada para estudante), visando facilitar as etapas a serem executadas em seguida no Rhinoceros3D + Grasshopper.

Fonte: preparado pelo autor, 2020.

O layer *Área_de_Estudo_Spacematrix* delimita a área de análise, podendo ou não coincidir com o layer *Eixo_de_Vias_Externas*. Já em relação a diferenciação da classificação entre as Ruas Internas e as Ruas Externas, essa divisão busca atender os princípios de cálculo apresentados por Berghauser Pont e Haupt (2010) nos Indicadores *Spacematrix* (ler a seção 4.2 deste trabalho). As vias classificadas como Ruas Internas são ruas que possuem edificações dos dois lados do seu eixo e as vias classificadas como Ruas Externas são aquelas em que apenas um dos lados de seu eixo possuem edificações (Figura 20).

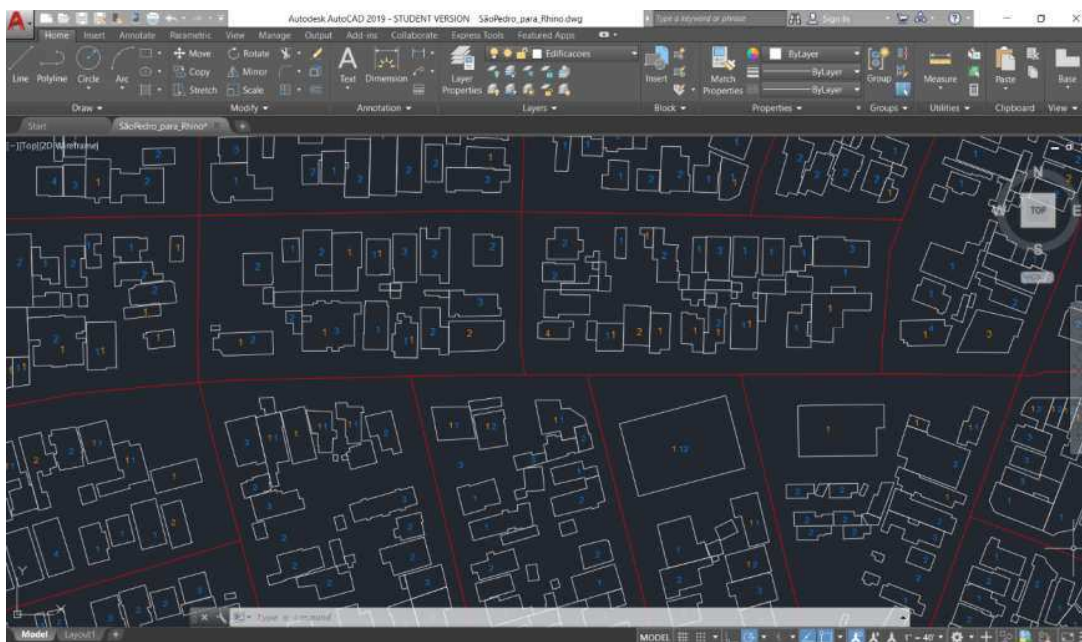
Figura 20 – Diferenciação entre o layer *Eixo_de_Vias_Internas* e o layer *Eixo_de_Vias_Externas*, no bairro São Pedro



Fonte: preparado pelo autor, 2020.

Após a limpeza e a organização dos layers dos arquivos de cada uma das áreas de estudo, é realizado um levantamento dos gabaritos e dos usos nas edificações que compõem cada uma das áreas de estudo (Figura 21) — em sua maior parte por meio do *Google Street View* (captura da imagem: dez. 2017), com conferência em campo apenas de algumas edificações que não constavam na plataforma — registrando quantos pavimentos residenciais e/ou não-residenciais cada uma delas possui. O objetivo deste levantamento é coletar informações para cálculo da diversidade de usos, ou MXI (ler seção 4.3 deste trabalho).

Figura 21 – Levantamento do número de pavimentos e dos usos de cada uma das edificações



Legenda: Em azul, o número de pavimentos residenciais e em laranja o número de pavimentos não-residenciais. O número de pavimentos total de cada edificação é dado pela soma entre os pavimentos residenciais e não-residenciais.

Fonte: preparado pelo autor, 2020.

Após esses processos de tratamento dos arquivos e também de levantamento de alguns dados, os arquivos estão aptos a serem importados no software *Rhinoceors3D*, onde será implementada a lógica algorítmica-paramétrica e, em seguida, executadas as tarefas específicas da análise dos indicadores de densidade e uma avaliação da distribuição dos usos.

No *Rhinoceors3D*, a primeira tarefa é fazer o download das ferramentas de *CityMetrics* para *Grasshopper*, já que o sistema ainda não se encontra disponível sob a forma de plugin. Os *clusters* para o cálculo da densidade urbana (Indicadores *Spacematrix*) e da diversidade de usos (*Mixed-use Index*) já estão devidamente organizados no arquivo das ferramentas (ver Figura 8 e Figura 10, no Capítulo 4 desta dissertação) e, após o download, basta dar início ao processo de importar os arquivos .dwg para dentro do *Rhinoceors3D*.

Com o arquivo .dwg já no *Rhinoceors3D* e com as ferramentas de *CityMetrics* dentro do *Grasshopper*, a próxima etapa é começar a alimentar os *clusters*. É necessário criar quatro parâmetros de curva (*curve*) no *grasshopper*:

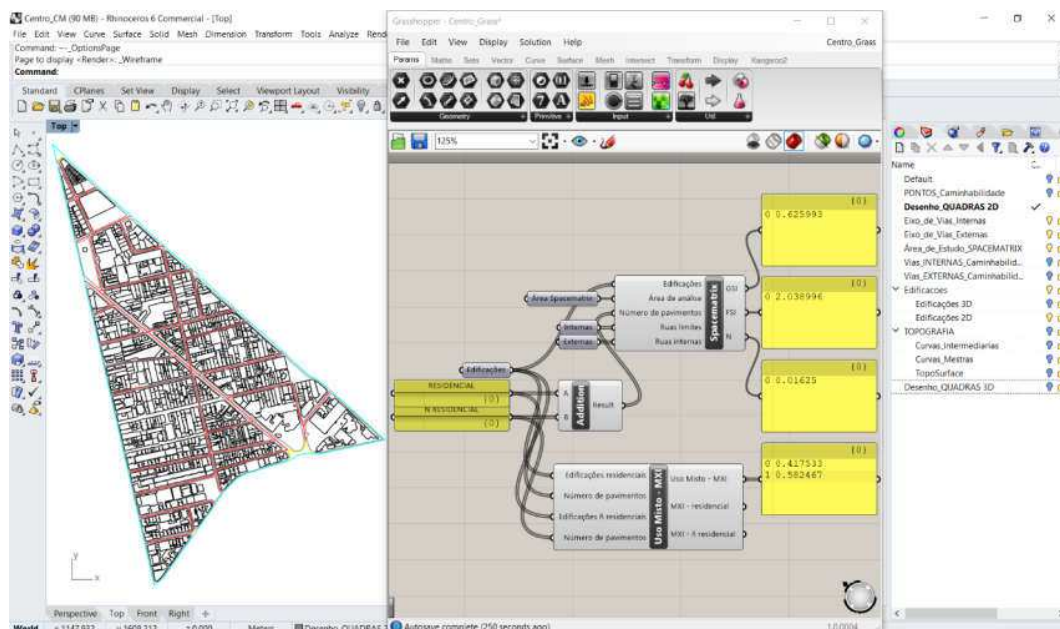
- a) um componente para todas as edificações;
- b) um componente para o *layer Área_de_Estudo_Spacematrix*;
- c) um componente para todos os eixos de vias internas;

d) um componente para todos os eixos de vias externas.

Para adicionar os dados dos pavimentos, devem ser criados dois *panel*: um é responsável por tabelar os números residenciais e outro por tabelar os números não residenciais. Em seguida, o componente *curve* que contém todas as edificações deve ser conectado no componente *area*, e uma das saídas do componente *area* deverá ser conectada em um componente chamada *point list*, o que vai dar um número específico para cada uma das edificações da área de análise. Em seguida, cada um dos dois *panel* deve associar o número da edificação, obtido por meio do componente *point list*, ao número de pavimentos residenciais e não-residenciais respectivamente. Para o cálculo do FSI, um componente *addition* deve conectar os dois *panel* com os dados dos pavimentos e, em seguida, o componente deve ser conectada ao *cluster* de *CityMetrics*.

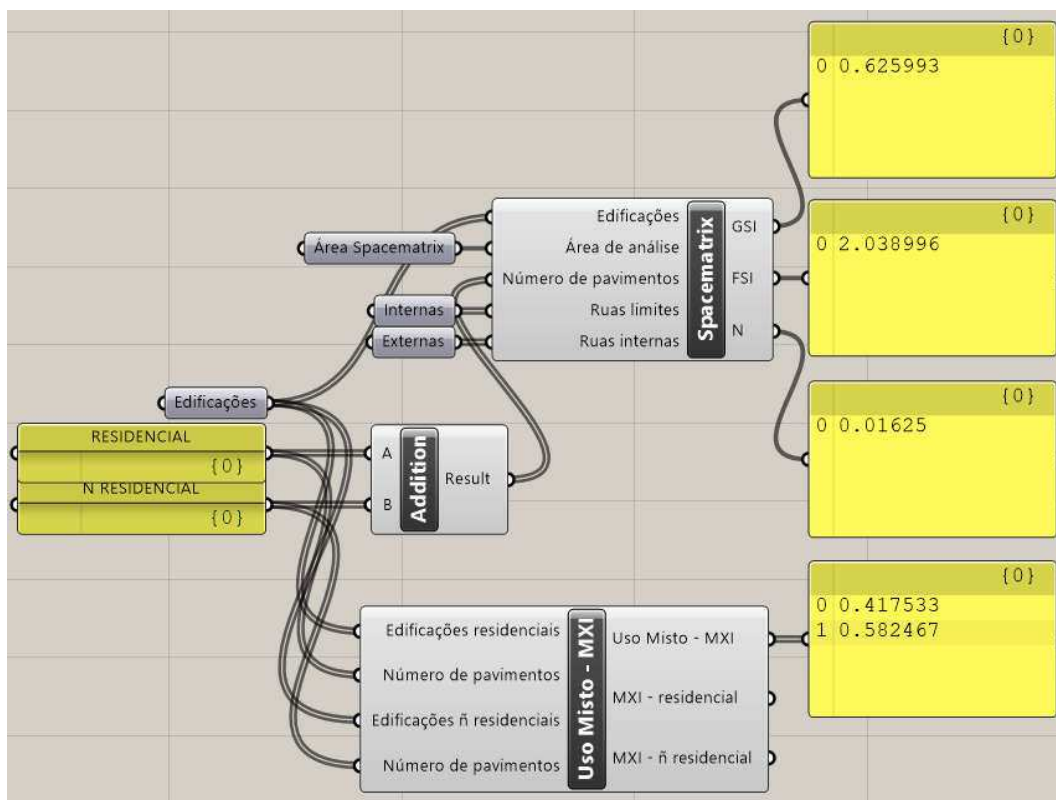
Em seguida, todos os componentes devem ser conectados corretamente nos dois *cluster* (*input*) e em seguida devem ser conectados os *panel* nas saídas do cluster (*output*). Em cada um dos *panels* contém o resultado objetivo para os indicadores GSI, FSI, N e MXI (Figura 22 e Figura 23).

Figura 22 – Exemplo de análise em andamento no *Rhinceros3D + Grasshopper*, aplicada na área de análise do bairro Centro



Fonte: preparado pelo autor, 2020.

Figura 23 – Clusters de CityMetrics



Legenda: Clusters devidamente “alimentados” com as informações necessárias (edificações, eixos de vias internas e externas, delimitação da área de estudo, número de pavimentos e usos dos pavimentos) para realização da análise. Também é possível ver na imagem os resultados obtidos nos 4 painéis conectados à direita.

Fonte: preparado pelo autor, 2020.

5.4 RESULTADOS OBTIDOS

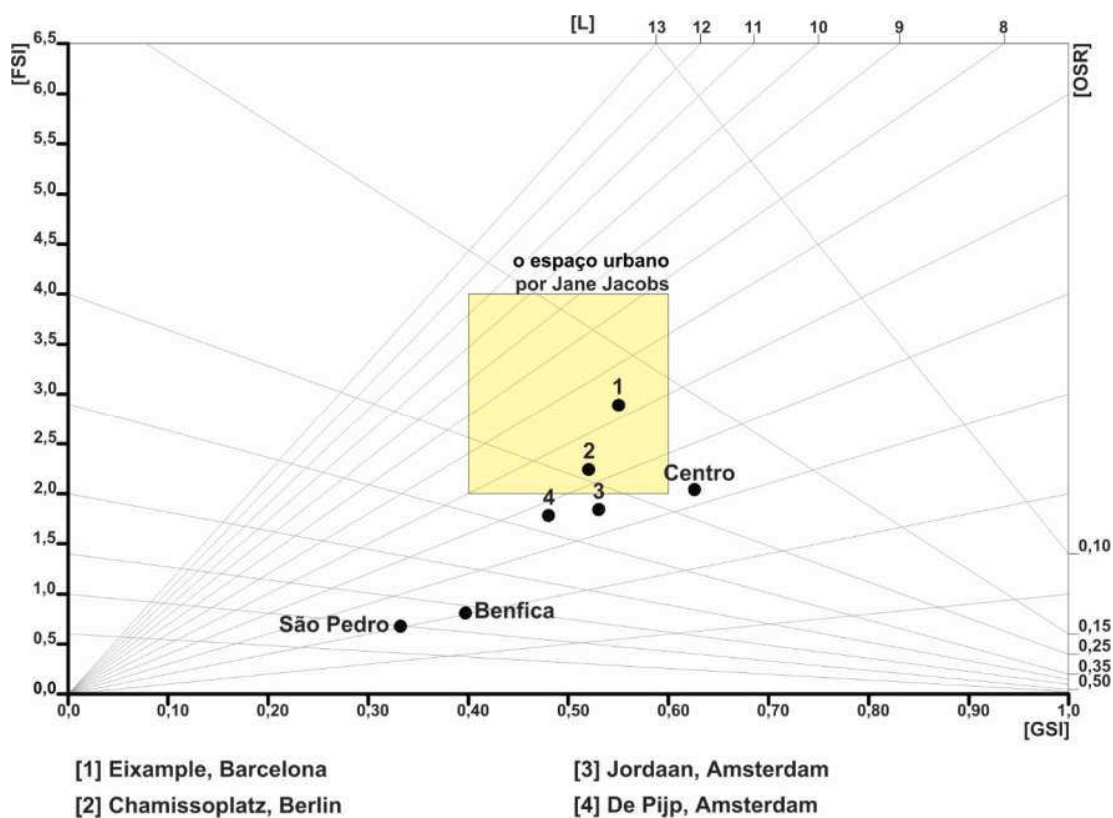
Após a implementação do sistema computacional *CityMetrics* nas três áreas escolhidas para o desenvolvimento da presente análise, foram obtidos os resultados objetivos para os indicadores GSI, FSI, N e MXI, listados na Tabela 3, que também apresenta duas informações relevantes sobre as áreas estudadas: o tamanho de cada uma delas, em hectare, e o número total de edificações contidas dentro de cada um dos recortes. Um instrumento importante para sistematizar os resultados encontrados é o gráfico de matriz espacial *Spacematrix* (Figura 24), permitindo uma comparação e conseqüente análise crítica do cenário analisado.

Tabela 3 – Resultados das análises

Informações gerais		Centro	Benfica	São Pedro				
Área do recorte (em Hectare)		56,50	35,09	49,39				
Número de Edificações		1032	1010	1397				
Indicadores de densidade <i>Spacematrix</i>								
Centro			Benfica			São Pedro		
GSI	FSI	N	GSI	FSI	N	GSI	FSI	N
0,626	2,038	0,016	0,397	0,808	0,018	0,332	0,676	0,015
Índice de uso misto MXI - <i>Mixed-use Index</i>								
Centro			Benfica		São Pedro			
Residencial		0,418	Residencial	0,769	Residencial	0,840		
Não-residencial		0,582	Não-residencial	0,231	Não-residencial	0,160		

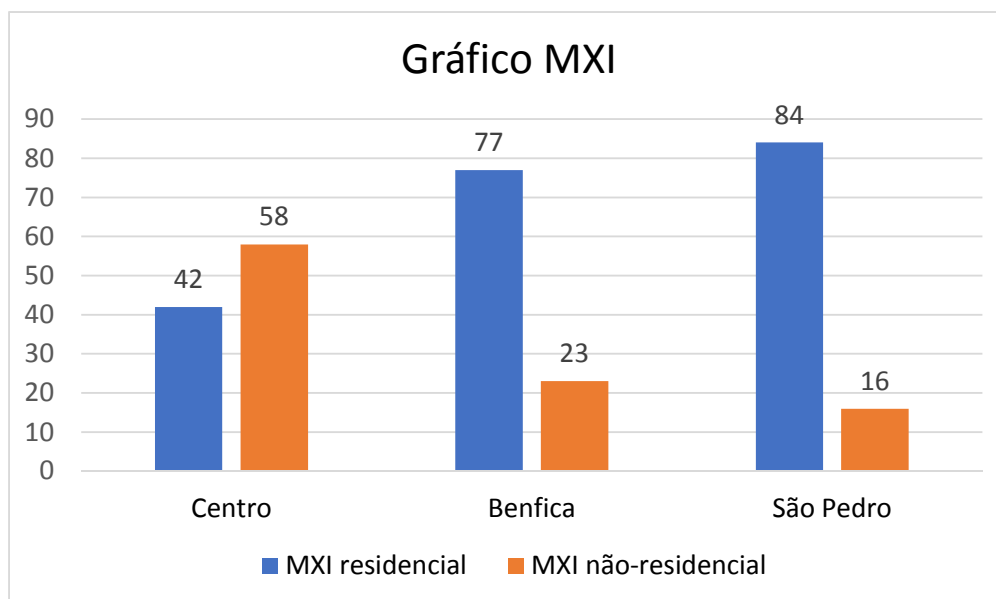
Fonte: preparado pelo autor, 2020.

Figura 24 – Gráfico com os resultados lançados após a implementação dos indicadores *Spacematrix*



Fonte: Berghauer Pont e Haupt (2010, p. 198, adaptado pelo autor, 2020).

Figura 25 – Representação gráfica para o resultado do indicador MXI



Fonte: preparado pelo autor, 2020.

Os resultados obtidos por meio da análise realizada, apresentados na Tabela 3 na Figura 24 e na Figura 25 evidenciam algumas diferenças entre as três áreas de estudo, tanto sob aspectos da densidade construída quanto sob aspectos de diversidade de uso:

- a) No recorte localizado no bairro Centro, foi possível perceber que há uma grande diversidade de usos, representada por um valor objetivo para o índice de uso misto (MXI) próximo do “ideal” apresentado por Hoek (2008), sugerindo que há um bom equilíbrio entre o total de área destinada a edificações residenciais e não-residenciais. Também foi possível identificar um panorama mais satisfatório sob os aspectos da densidade construída em relação às outras amostras, com os valores para os indicadores GSI e FSI sugerindo uma ocupação do solo um pouco acima do ideal (GSI igual a 0.626, ou seja, aproximadamente 62% do recorte) e uma quantidade de área construída total (aproveitamento) adequada (FSI igual a 2.03, ou seja, 203%). Mesmo sendo uma amostra urbana que contemple quatro vias arteriais da cidade de Juiz de Fora, o indicador de densidade de rede viária (N) foi inferior ao da amostra localizada no bairro Benfica e superior à do bairro São Pedro;
- b) No que tange à área de estudo localizada no bairro Benfica, os resultados demonstram que não há um bom equilíbrio no indicador MXI e, dessa forma, conclui-se que a região é predominantemente residencial, com praticamente 77% da área total construída sendo destinada a este tipo de edificação. Sob os aspectos da densidade

construída, os indicadores GSI e FSI sugerem que o bairro possui uma ocupação da terra razoável (aproximadamente 40%) e uma quantidade de área total construída de aproximadamente 81%, ou seja, há um baixo aproveitamento do solo (principalmente se avaliado a luz do paradigma da compacidade urbana). Em relação ao indicador de densidade de rede viária (N), o bairro Benfica é o que possui o melhor indicador;

- c) Por último, os resultados encontrados após análise da amostra localizada no bairro São Pedro também apontam para uma baixa diversidade de usos, representada por um valor objetivo desequilibrado para o índice de uso misto (MXI), sugerindo que o bairro é excessivamente monofuncional, sendo 84% de sua área total construída composta por edificações de uso residencial. Em relação aos aspectos da densidade construída (indicadores GSI e FSI), os valores encontrados sugerem um cenário de ocupação do solo abaixo do ideal (aproximadamente 33%) associado a um baixo aproveitamento da terra, com uma área construída total igual a 67%. Esta amostra possui o menor indicador N dentre as três analisadas, ou seja, a menor densidade de rede viária.

5.4.1 Nova análise: verificando como as principais vias impactam nos indicadores em cada amostra analisada

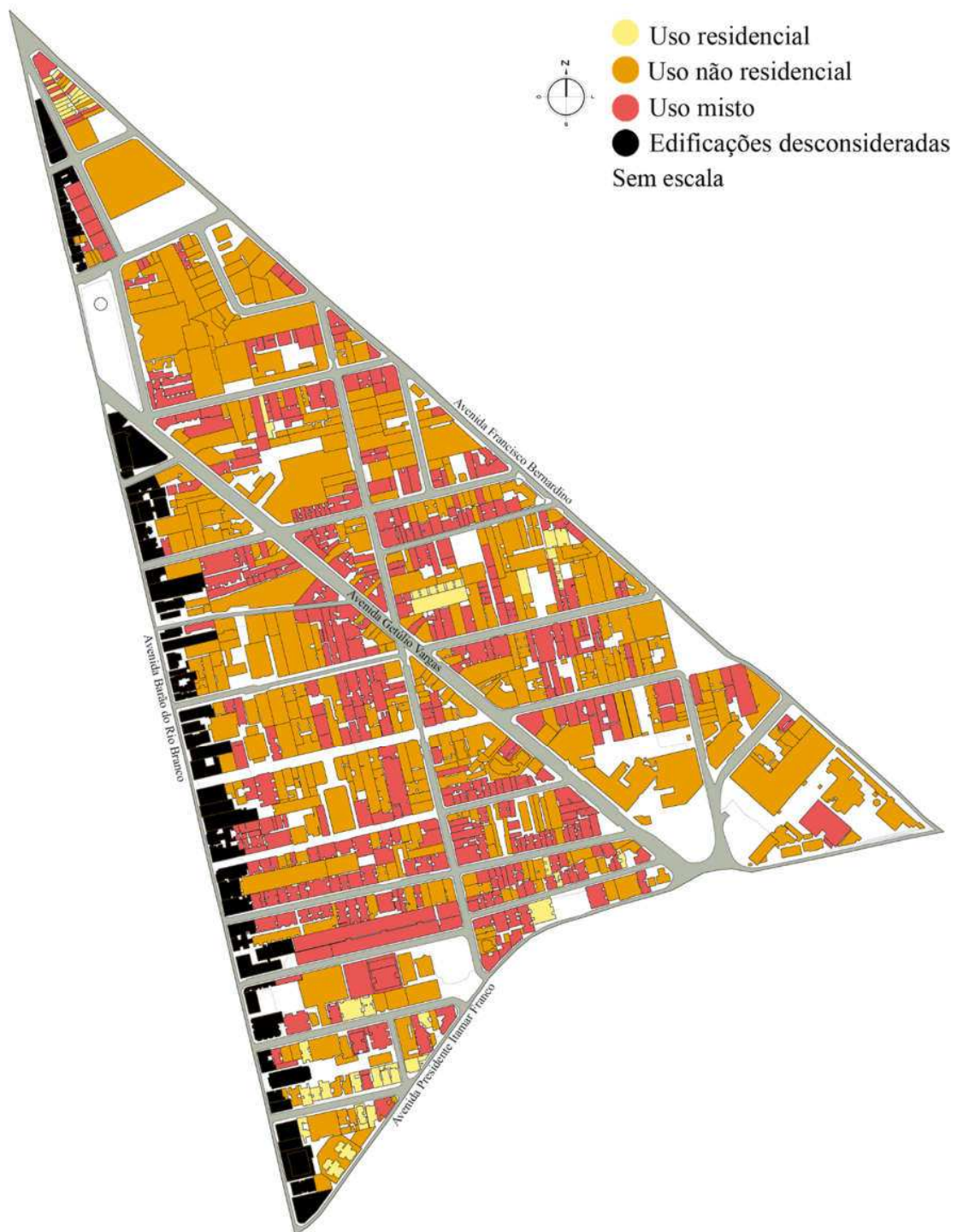
Para aprofundar a investigação sobre os aspectos morfológicos nas três áreas de estudo, foi realizada uma nova análise objetiva relacionada a densidade construída e a diversidade de usos, com o objetivo de compreender em que nível as vias principais de cada um dos recortes influenciam na região, comparando os resultados com aqueles encontrados na primeira análise e promovendo discussões mais amplas sobre o panorama das áreas estudadas. Neste senso, vale reforçar que esta investigação reconhece que seria utópico desconsiderar a principal rua de uma determinada região urbana para avaliar seus aspectos morfológicos, porém, ao realizar uma nova análise excluindo essas vias permitiu verificar como cada uma delas impacta nos três recortes analisados, permitindo observar sua influência na distribuição ou concentração dos serviços e no panorama de uniformidade dos aspectos de densidade (GSI e FSI) e de diversidade (MXI). Ou seja, a ideia aqui era a de verificar se, em uma escala menor – a dos bairros – há boa distribuição de serviços ou se estes se concentram predominantemente nas vias principais.

Para realização desta nova análise, a principal via de cada um dos recortes abordados teve as edificações que se encontram alinhadas com a testada totalmente desconsideradas, com o objetivo de investigar uma percepção — construída a partir da análise dos mapas

bidimensionais (Figura 13, Figura 15, Figura 17) e da modelagem tridimensional (Figura 14, Figura 16 e Figura 18) — de que nessas vias há uma alta concentração de edificações que possuem, em sua maioria, uso misto ou não-residencial e os gabaritos mais altos, o que pode vir a influenciar nos resultados obtidos.

Os mapas apresentados a seguir ilustram quais as edificações que foram desconsideradas para realização da nova proposta de análise (Cenário I).

Figura 26 – Cenário I – bairro Centro



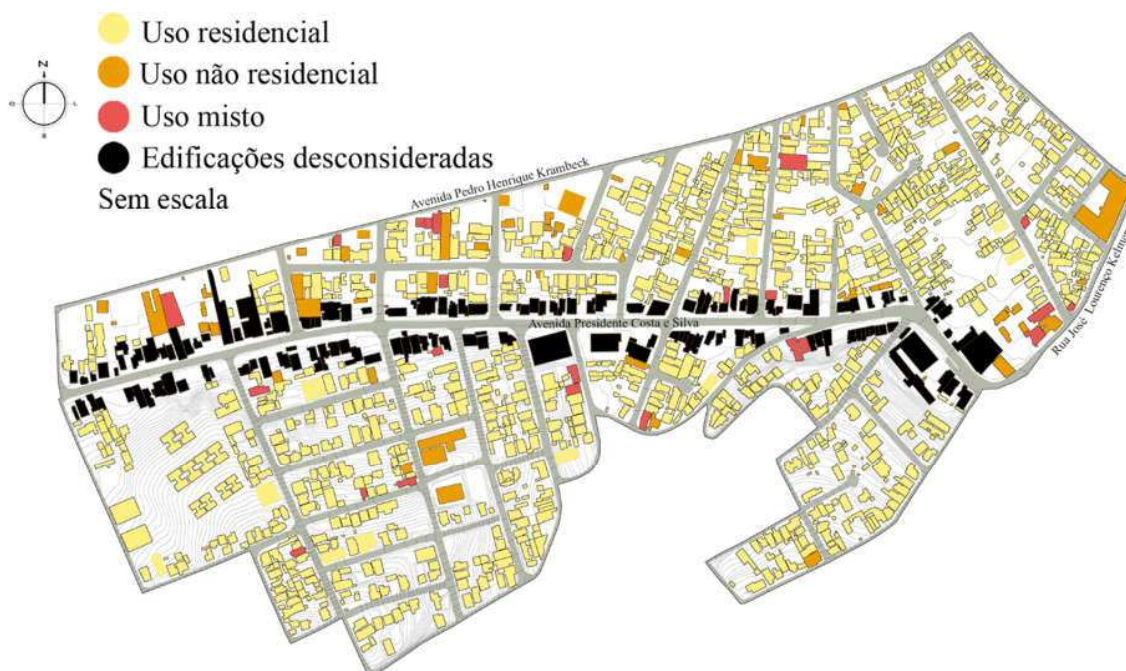
Fonte: preparado pelo autor, 2020.

Figura 27 – Cenário I – bairro Benfica



Fonte: Preparado pelo autor, 2020.

Figura 28 – Cenário I – bairro São Pedro



Fonte: Preparado pelo autor, 2020.

Após uma nova análise na amostra do bairro Centro, desconsiderando as edificações com frente para a Avenida Barão do Rio Branco, foi possível perceber que os índices GSI, FSI e MXI tiveram uma variação uniforme (Tabela 4), mantendo as principais características da análise anterior: o solo possui uma alta ocupação (aproximadamente 56% no Cenário I) e um aproveitamento do solo que agora passa a ser de 180%. Em relação ao equilíbrio de usos no Cenário I, 46% da área total construída é composta por edificações residenciais (um pouco mais equilibrado que na análise anterior). Dessa forma, pode-se afirmar que o bairro centro possui uma configuração urbana bastante uniforme, com as edificações desconsideradas não promovendo um alto impacto nos indicadores.

Tabela 4 – Nova análise no bairro Centro

Bairro Centro - Cenário I				
Indicadores de densidade <i>Spacematrix</i> - Antes / Depois				
GSI		FSI		N
0,626	0,569	2,038	1,800	0,016
Índice de uso misto MXI - <i>Mixed-use Index</i> - Antes / Depois				
Residencial		0,418	Residencial 0,466	
Não-residencial		0,582	Não-residencial 0,534	

Fonte: preparado pelo autor, 2020.

Na amostra localizada no bairro Benfica, de forma semelhante ao bairro Centro, houve uma queda uniforme nos valores objetivos encontrados para os indicadores avaliados (Tabela 5). A análise aponta que houve uma diminuição de aproximadamente 6% no valor do MXI não-residencial, o que representa um aumento no desequilíbrio de usos da área. É importante ressaltar que o bairro ainda se manteve com um MXI não-residencial de aproximadamente 17% (o valor era de 23% na primeira análise), o que indica que, apesar da pequena queda no valor do indicador, não há uma alta concentração de serviços na principal via do bairro.

Tabela 5 – Nova análise no bairro Benfica

Bairro Benfica - Cenário I				
Indicadores de densidade <i>Spacematrix</i> - Antes / Depois				
GSI		FSI		N
0,397	0,347	0,808	0,650	0,018
Índice de uso misto MXI - <i>Mixed-use Index</i> - Antes / Depois				
Residencial		0,769	Residencial 0,834	
Não-residencial		0,231	Não-residencial 0,166	

Fonte: preparado pelo autor, 2020.

O Cenário I no bairro São Pedro é o que apresenta o resultado menos satisfatório sob os aspectos estudados por esta investigação: após desconsiderar as edificações com testada para a principal via do bairro, foi possível perceber que houve uma queda de 9% no valor do MXI não-residencial (Tabela 6). Isso significa que, além de não possuir uma grande diversidade de usos, essa área de análise concentra a maior parte dos usos não residenciais na avenida principal, o que configura pouco equilíbrio na distribuição dos serviços nas outras ruas (baixa vitalidade urbana), diminuindo os aspectos de urbanidade a medida que determinado ponto se afasta das imediações da Avenida Presidente Costa e Silva.

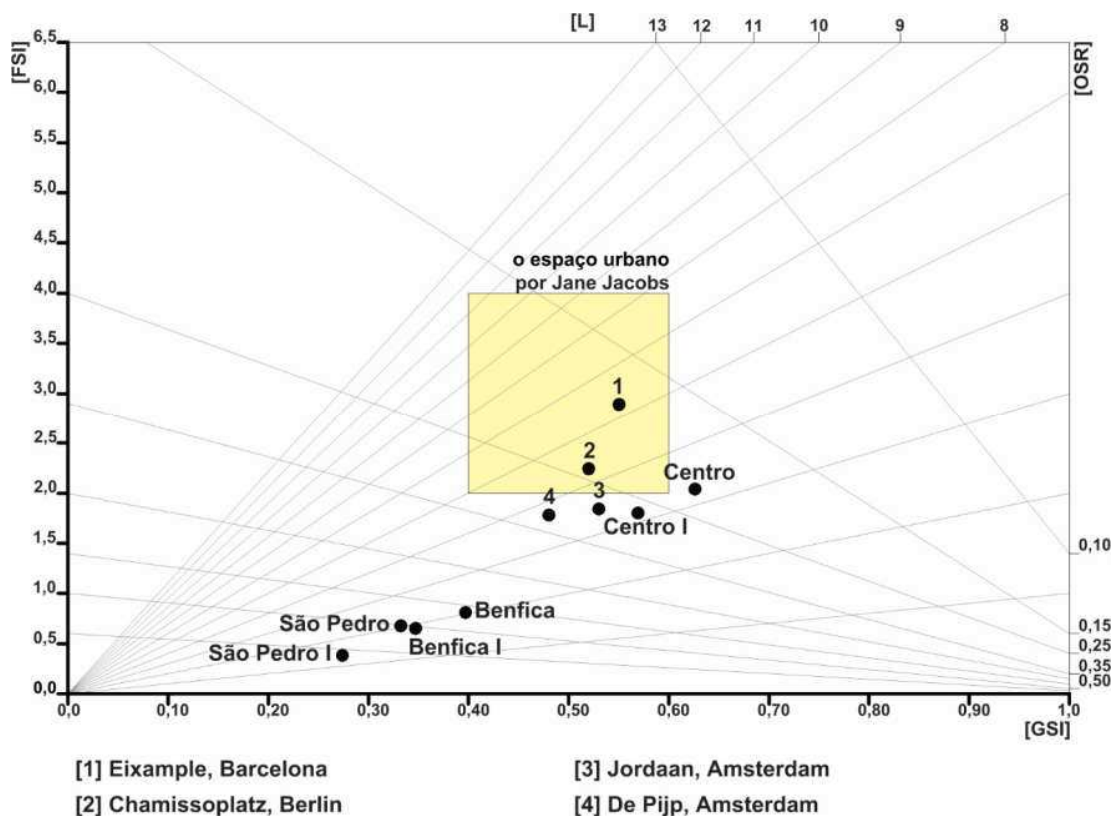
Já em relação à ocupação do solo (GSI), a variação não foi tão significativa, apontando para um ligeiro cenário de maior ocupação da terra na Avenida Presidente Costa e Silva. Já em relação a verticalização (FSI), a variação foi grande, com o bairro também não apresentando um panorama uniforme de densidade. Portanto, é possível afirmar que o FSI encontrado na análise (0,676) não refle os aspectos de densidade de todo o bairro, uma vez que os edifícios mais altos se localizam na via principal. Desconsiderando os edifícios mencionados, o valor para o indicador FSI abaixa praticamente para a metade (0,382), o que não representa um cenário positivo sob os aspectos da compacidade urbana.

Tabela 6 – Nova análise no bairro São Pedro

Bairro São Pedro - Cenário I				
Indicadores de densidade <i>Spacematrix</i> - Antes / Depois				
GSI		FSI		N
0,332	0,274	0,676	0,382	0,014
Índice de uso misto MXI - <i>Mixed-use Index</i> - Antes / Depois				
Residencial		0,840	Residencial 0,950	
Não-residencial		0,160	Não-residencial 0,050	

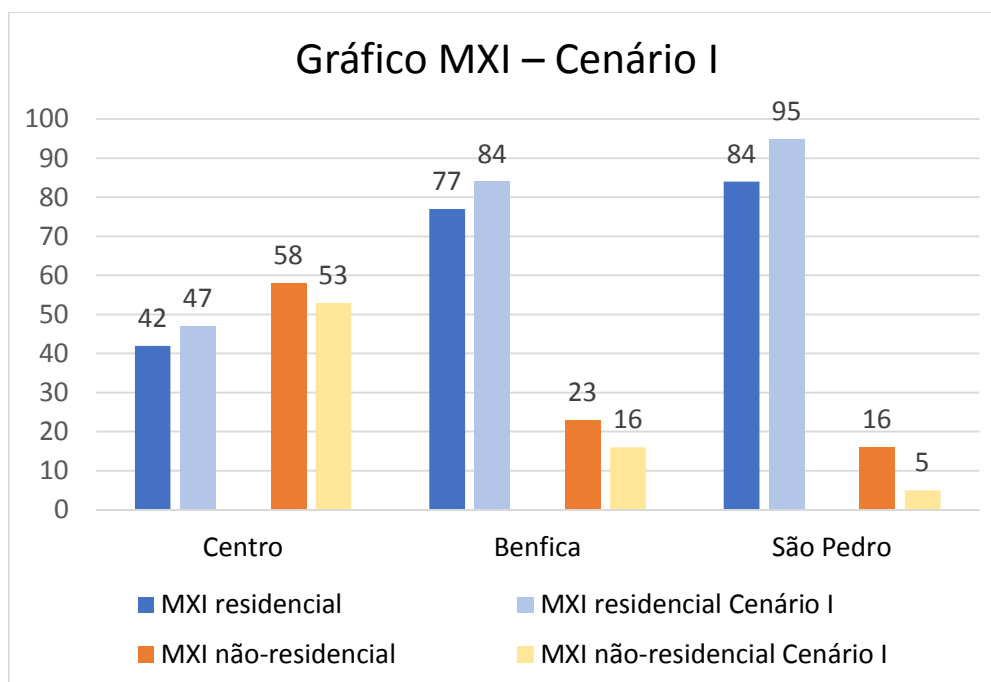
Fonte: preparado pelo autor, 2020.

Os gráficos a seguir (Figura 29 e Figura 30) apresentam uma comparação dos resultados obtidos nas amostras durante a primeira de análise e no Cenário I.

Figura 29 – Gráfico *Spacematrix* com os resultados da análise e do Cenário I

Fonte: Berghauer Pont e Haupt (2010, p. 198, adaptado pelo autor, 2020).

Figura 30 – Representação gráfica para o resultado do indicador MXI no Cenário I



Fonte: preparado pelo autor, 2020.

Os dois cenários de análise organizados por esta pesquisa foram importantes para visualizar o equilíbrio entre os usos e o panorama da ocupação e do aproveitamento do solo nas três amostras selecionadas, além de expor o impacto que as principais vias de cara recorte exercem nos indicadores abordados por este estudo. A adoção de procedimentos metodológicos algorítmico-paramétricos viabilizou a organização de um novo cenário de análise (Cenário I) de maneira expedita, tendo sido necessário apenas identificar quais as edificações que não seriam consideradas e anulando-as dos componentes de *Grasshopper*. Isto posto, destaca-se o potencial da metodologia frente a complexidade do espaço urbano, contribuindo para uma gestão e manipulação de dados e informações mais dinâmica e eficaz.

Os resultados obtidos na primeira análise, mais especificamente em relação a densidade construída, permitiram verificar que no recorte do bairro Benfica possui uma ocupação do solo maior que no recorte do bairro São Pedro e menor que no recorte do bairro Centro. Os valores encontrados para o indicador GSI apontam que as amostras dos bairros Benfica e São Pedro podem aumentar um pouco a ocupação do solo, enquanto na amostra do bairro centro o valor deste indicador já se encontra um pouco acima do ideal. Em relação aos resultados obtidos para o indicador FSI, sugere-se que para aumentar a compacidade nas três amostras, o aproveitamento do solo precisa aumentar, especialmente nos nas amostras do Benfica e do São

Pedro. Já em relação a variedade de usos, a amostra do bairro centro apresenta um desequilíbrio pequeno; já as amostras do bairro Benfica e São Pedro apresentam um panorama excessivamente monofuncional (residencial), com pouca oferta de serviços.

No tocante ao indicador N, que avalia a densidade da rede de ruas, o resultado foi surpreendente (considerando as observações empíricas feitas antes da análise): o panorama esperado era de que a amostra do bairro Centro apresentasse a maior permeabilidade devido ao fato de englobar trechos de quatro vias arteriais da cidade — Avenida Barão do Rio Branco, Avenida Getúlio Vargas, Avenida Francisco Bernardino e Avenida Itamar Franco, além de um grande número de vias coletoras. Sob os aspectos da urbanidade, essa característica é positiva para a amostra do bairro Benfica, recorte com a maior densidade de rede, uma vez que essa região é bem servida de infraestrutura viária e sugere um bom cenário para a caminhabilidade e para adoção de transportes alternativos. A amostra do bairro São Pedro possui o indicador N mais baixo dentre as três áreas, fator que pode ser justificado pela presença de algumas quadras dispersas e de grande dimensão na região, o que sugere que a organização formal do bairro se deu a partir dos arredores da rua Presidente Costa e Silva, além de reforçar o caráter do bairro ser transitado, essencialmente, por meio de sua via principal.

Por meio da organização de um novo cenário, foi possível compreender, a partir dos valores objetivos encontrados após a nova análise, quanto a principal via em cada uma das amostras analisadas impacta nos indicadores abordados por esta investigação, ou seja: foi possível avaliar quanto os recortes urbanos aqui estudados são dependentes dessas vias sob os aspectos da diversidade de usos e da compacidade urbana, além de permitir também que se verifique a uniformidade da configuração urbana das três amostras — caso haja uma grande variação no valor dos indicadores aqui estudados, significa que a uniformidade da configuração urbana é baixa, indicando que as características morfológicas na via principal diferem do restante da amostra.

A amostra do bairro Centro teve uma queda uniforme nos indicadores MXI, GSI e FSI, que ainda permaneceram próximos aos obtidos na primeira análise, o que significa que a distribuição dos serviços e das habitações é bem uniforme neste recorte, assim como o padrão de uso e de ocupação do solo. No caso da amostra localizada no bairro Benfica, a ligeira queda nos indicadores aponta para uma grande presença de serviços na rua Martins Barbosa, mas ainda mantendo parte desses serviços distribuídos no restante da amostra. As edificações localizadas na principal via deste recorte impactaram razoavelmente nos indicadores GSI e FSI, sugerindo que ao longo da rua Martins Barbosa as edificações ocupam mais o solo e possuem maior coeficiente de aproveitamento. Já em relação ao recorte de análise do bairro São Pedro,

os indicadores variaram bastante, tanto em relação ao uso (MXI) quanto em relação a densidade construída (GSI e FSI), o que sugere que o bairro concentra os serviços e as edificações de maior gabarito e ocupação do solo na testada da Avenida Presidente Costa e Silva.

6 DISCUSSÕES

Em relação ao conteúdo estudado sobre a densidade construída, foi possível confirmar que esse aspecto pode ser um importante balizador para o desenvolvimento de projetos urbanos com mais qualidade e, neste sentido, é importante destacar a relevância de estudos específicos que o abordem, tais como as simulações computacionais ou análises objetivas (como a proposta por esta pesquisa) que avaliem sua potencialidade e os possíveis impactos deste aspecto em diferentes cenários de proposição. Também foi possível compreender que não se pode determinar qual a densidade urbana ideal para uma área analisada sem considerar toda sua configuração dos usos e como é a qualidade da rede de infraestrutura ali existente.

No mesmo senso, em relação a uma malha urbana com mais diversidade de usos, a revisão de literatura aqui relatada tornou possível compreender que este é um aspecto fundamental para viabilizar a compacidade urbana, especialmente porque o alto número de pessoas concentradas em centros urbanos compactos aumenta consideravelmente a demanda por serviços urbanos e por serviços de natureza diversa. De forma semelhante à densidade urbana construída, mensurar a diversidade de usos também pode ser aplicado como um balizador para projetos urbanos de maior qualidade, com vistas a propor regiões menos monofuncionais e com maior vitalidade urbana.

Os estudos desenvolvidos ao longo desta dissertação também permitiram entender que o conhecimento dos aspectos da densidade urbana construída e da diversidade de usos é um importante passo para um planejamento de bairros e de cidades mais sustentáveis, que favoreçam o desenvolvimento de uma dinâmica social mais equilibrada. A revisão proposta por esta investigação permitiu compreender que a associação entre o paradigma de compacidade dos centros urbanos e a diversificação dos usos na malha urbana (ou sobreposição dos usos) permite que as cidades ganhem em urbanidade e que otimizem os recursos públicos, graças a um melhor aproveitamento das redes de infraestrutura urbana.

Do ponto de vista da sustentabilidade, cidades compactas otimizam a utilização dos transportes coletivos, além de também incentivarem a utilização de outros modais alternativos, como a bicicleta, patinetes, skate e etc., diminuindo assim o impacto causado pelo automóvel graças ao seu alto consumo energético e a emissão de poluentes na atmosfera. Já sob os aspectos sociais, regiões mais compactas e mais diversas possuem como característica morfológica a aproximação entre as moradias e os locais de trabalho, o que permite aos habitantes criarem uma relação de maior intimidade com o espaço urbano, além de aumentar significativamente o fluxo de pessoas e as possibilidades de encontro e de convívio entre elas, criando mais

oportunidade para o desenvolvimento social e um maior estímulo para o estabelecimento de pequenos empreendimentos, ou seja: um impulso para diversas trocas que englobem capital social, humano e financeiro.

Neste contexto, esta pesquisa destaca a importância de se investigar a cidade em diversas escalas, especialmente por meio de abordagens objetivas, que exploram os aspectos físicos e formais, comparando as áreas estudadas e seus aspectos de densidade e de diversidade de usos. Neste cenário, a investigação aqui relatada pretende estimular a adoção dos recursos computacionais para lidar, mais especificamente, com tarefas de modelagem das informações e das características físicas da cidade, associada a avaliação do desempenho da forma urbana por meio de índices e de métricas objetivas, explorados a fim de auxiliar na gestão das cidades. Por meio da análise realizada neste trabalho, pode-se afirmar que é possível tomar decisões amparadas por dados objetivos, como por exemplo:

- a) propor diretrizes e desenvolver ideias que auxiliem a modificar o panorama excessivamente monofuncional nos bairros Benfica e São Pedro;
- b) promover empreendimentos habitacionais no centro da cidade, considerando o alto MXI não-residencial ali encontrado;
- c) promover atualizações nos instrumentos que regem as leis de uso e ocupação do solo em Juiz de Fora, afim de estimular o aumento de densidade em regiões que possuam a infraestrutura adequada;
- d) atualizar e realizar novos estudos na cidade, afim de balizar o desenvolvimento urbano em seus aspectos objetivos, visando atingir um cenário de maior compacidade urbana.

Por fim, propondo uma reflexão sobre as relações entre o desenvolvimento da forma urbana e a aplicação dos indicadores aqui apresentados e estudados, destaca-se que, a longo prazo, a forma da cidade será um reflexo das ações do mercado imobiliário. Dessa forma, é importante reforçar o papel das autoridades na escala municipal, por exemplo os setores das prefeituras que lidam com a gestão do espaço urbano, responsáveis diretos por:

- a) estabelecer as leis de uso e de ocupação do solo condizentes com as reais necessidades dos bairros e da cidade;
- b) investir em infraestruturas de oportunidade (ver página 40 deste trabalho) para qualificar o espaço urbano;
- c) monitorar os processos de consolidação da malha urbana e a evolução formal das edificações que a compõe, objetivando atualizar os dispositivos legais que balizam o desenvolvimento urbano; e

- d) estabelecer políticas públicas adequadas para incentivar (ou desincentivar) determinados modelos de ocupação do espaço urbano, por exemplo, por meio da aplicação dos recursos computacionais apresentados por esta pesquisa, com a finalidade de balizar os indicadores de densidade construída e de diversidade de usos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi apresentado no segundo capítulo, a aplicação dos recursos computacionais em tarefas de planejamento de bairros e de cidades ainda se encontra menos desenvolvida que na escala do edifício, geralmente mais direcionada apenas ao suporte gráfico. Esta pesquisa destaca que a revisão narrativa proposta apontou para um cenário de desenvolvimento na utilização desses recursos, especialmente as ferramentas que se apropriam das potencialidades da lógica algorítmica, da modelagem paramétrica (ou, simplesmente, da lógica algorítmico-paramétrica) e da VPL (*Visual Programming Language*) como principal método de abordagem.

O aumento na implementação dessas ferramentas pode ser justificado graças as novas demandas das cidades, mais especificamente as megacidades — que passam a precisar de novos recursos de gestão, adequadas ao alto volume de informações e dados para serem manipulados, como as redes de lógica, de transportes coletivos, água, esgoto, energia elétrica e etc. — e também ao avanço nas tecnologias disponíveis ao usuário final, como arquitetos, urbanistas e demais agentes que atuam no planejamento urbano, que mais recentemente dispõem de computadores mais velozes, com maior capacidade de processamento e com configurações que permitam explorar uma quantidade de dados e parâmetros condizente com a complexidade do cenário urbano.

Ao apresentar, ainda que de forma breve, o panorama recente de algumas abordagens computacionais direcionadas a atividades de análise e de projeto urbano — *Urban Network Analysis*, *CItyMaker*, *Configurbanist*, *CityMetrics* e *Urbano Toolbox* — foi possível consolidar que a aplicação dessas ferramentas tem por objetivo atuar potencializando tarefas como:

- a) dinamizar a gestão de uma grande quantidade de dados;
- b) apresentar em ambiente digital, por meio de modelos 3D, uma visualização dos cenários e os impactos de possíveis intervenções urbanas;
- c) gerar soluções por meio de algoritmos (método de projeto indireto), ordenando as condicionantes de forma não ambígua e produzindo uma solução projetual (*output*) que atenda os parâmetros inseridos;
- d) permitir comparar diversos cenários por meio de métricas objetivas.

Outro aspecto que foi melhor compreendido é que o crescimento na implementação desses recursos não diminui a importância dos profissionais que atuam no campo do planejamento urbano: o papel que exercem continua sendo fundamental, uma vez que é de sua responsabilidade definir quais os parâmetros ou métricas (indicadores) que serão utilizados para alimentar o sistema, estipular as estratégias adequadas para atingir os objetivos projetuais e

discutir, para cada caso em específico, as melhores soluções e propostas, uma vez que o espaço urbano também é composto e influenciado por fatores subjetivos e não tangíveis. Portanto, esta dissertação não afirma que apenas a aplicação em si de recursos computacionais ou de modelos digitais é capaz de produzir, de forma autônoma, bairros e cidades mais bem planejados, tampouco afirma que esses são os únicos recursos capazes de auxiliar na gestão e no planejamento do espaço urbano contemporâneo.

Abordando especificamente esta dissertação, mesmo considerando todos os benefícios e potencialidades advindos da implementação de um sistema computacional para suporte à análise urbana apresentados no âmbito desta pesquisa, o autor identifica algumas limitações e fragilidades no método aqui apresentado, a saber:

- a) Em busca de mais precisão na análise, seria interessante que fosse utilizado um banco de dados mais atual (base GIS ou .dwg) do município de Juiz de Fora, evitando a etapa de levantamento e conferência em campo das amostras para confirmar as informações e os dados que foram considerados unicamente por meio de arquivos computacionais;
- b) Para ampliar a análise, seria mais interessante discutir os resultados a partir da implementação todas as ferramentas do sistema *CityMetrics*, enriquecendo a discussão por meio de novas métricas, analisando também outros aspectos como a caminhabilidade e a integração dos espaços nas áreas estudadas;
- c) No caso específico do recorte de análise no bairro Centro (triângulo central expandido), devido as particularidades históricas relacionadas a sua consolidação morfológica, seria interessante a construção de novos cenários para a coleta de dados e uma discussão mais rica sobre seus aspectos de densidade e de diversidade;
- d) Em relação a definição dos três recortes estudados, após a coleta dos resultados foi possível notar que: no recorte localizado no bairro Centro era importante ter avaliado os dois lados da Avenida Barão do Rio Branco e da Avenida Itamar Franco, e não apenas um como foi feito por esta pesquisa, e que o recorte de estudo localizado no bairro Benfica poderia ter sido expandido em mais uma quadra para o norte, acima da Avenida Inês García;
- e) Mesmo no âmbito de uma implementação computacional, por diversas vezes os procedimentos metodológicos realizados não foram desenvolvidos totalmente em ambiente digital, como por exemplo no levantamento de usos e na tarefa de planilhar os pavimentos — elaboradas por meio de levantamento manual, sistematizados em

folhas de papel — o que representa uma incompatibilidade com a potencialidade de dinamizar o gerenciamento de dados já mencionado neste trabalho.

Em face dos objetivos apresentados inicialmente e considerando a pergunta que problematiza e norteia esta investigação — a possibilidade de aplicação de recursos computacionais, objetivando auxiliar nos processo de análise e de projeto do espaço urbano — esta dissertação pretende contribuir para a área do planejamento urbano, demonstrando o potencial da aplicação dos sistemas computacionais no suporte de projeto de bairros e de cidades mais equilibrados espacial e socialmente.

7.1 DESDOBRAMENTOS E TRABALHOS FUTUROS

Considerando o conteúdo apresentado e o contexto exposto nesta dissertação, especialmente o crescimento no emprego dos recursos computacionais face sua potencialidade de adaptação a tarefas e a ênfases diversas, vislumbram-se como desdobramentos e trabalhos futuros após esta investigação:

- a) Ampliar e consolidar os estudos urbanos realizados por esta pesquisa por meio da implementação de novas métricas, especialmente as outras ferramentas de *CityMetrics* que não foram exploradas, além da possibilidade de se incorporar ferramentas de outros sistemas aqui mencionados, ampliando as análises e enriquecendo a discussão a respeito do panorama urbano de cada uma das amostras;
- b) Seguir revisando o cenário de pesquisas atuais, com ênfase nas possibilidades recentes de incorporação do uso de computadores como ferramenta de análise e proposição em um contexto mais amplo, especificamente o paradigma *City Information Modeling* (CIM) ou Modelagem das Informações da Cidade;
- c) Dar continuidade ao processo de investigação da aplicação dos recursos computacionais em tarefas de análise e de projeto urbano, mais especificamente durante um possível processo de doutoramento, onde pretende-se desenvolver novas ferramentas baseadas em novas métricas, com ênfase pragmática e apresentadas por meio de plug-ins, para facilitar sua difusão e utilização;
- d) Seguir com os estudos sobre o espaço urbano, principalmente sobre os seus aspectos não tangíveis, objetivando fortalecer a base crítica para discutir, avaliar e confrontar os resultados obtidos por meio da aplicação de uma abordagem objetiva.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, C.; ISHIKAWA, S.; SILVERSTEIN, M. **Uma linguagem de padrões**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ALMEIDA, L. M. W.; PALHARINI, B. N. Os “Mundos da Matemática” em Atividades de Modelagem Matemática. **Bolema**, [s. l.], v. 26, ed. 43, p. 907-934, ago. 2020.

AMORIM, A. Discutindo City Information Modeling (CIM) e conceitos correlatos. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 87-100, nov. 2015.

ASCHER, F. **La société hypermoderne**. La Tour-d'Aigues: Editions de l'Aube, 2005.

BEIRÃO, J. DUARTE, J.; MONTENEGRO, N.; GIL, J. Monitoring urban design through generative design support tools: a generative grammar for Praia. **Architecture and modern information technologies**, [s. l.], v. 2, n. 11, p. 1-25, maio 2010.

BEIRÃO, J. N. **CityMaker: designing grammars for urban design**. 2012. 272 p. Tese (Doutorado em Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura, Delft University of Technology, Delft, 2012.

BEIRÃO, J.; NOURIAN, P.; MASHHOODI, B. Parametric urban design: an interactive sketching system for shaping neighborhoods. *In: ECAADE CONFERENCE*, 29., 2011, Liubliana. **Anais [...]**. Liubliana: Universidade de Liubliana, 2011.

BEIRÃO, J.; NOURIAN, P.; VAN WALDERVEEN, B. Parametric 'route structure' generation and analysis: an interactive design system application for urban design. *In: WORLD CONFERENCE ON DESIGN RESEARCH*, 4., 2011, Delft. **Anais [...]**. Delft: Universidade Técnica de Delft, 2011.

BERG, N. Citizens as sensors. *In: BOOKS, T. City 2.0: the habitat of the future and how to get there*. Nova Iorque: TED Conferences, 2012. *E-book* (141 p).

BERGHAUSER PONT, M.; HAUPT, P. **Spacematrix: space density and urban form**. Rotterdam: NAI Publishers, 2010.

BREWSTER, M.; HURTADO, D.; OLSON, S.; YEN, J. Walkscore.com: a new methodology to explore associations between neighborhood resources, race, and health. *In: APHA ANNUAL MEETING*, 137., 2009, Pensilvânia. **Anais [...]**. Pensilvânia: Pennsylvania Convention Center, 2009. Disponível em: <https://apha.confex.com/apha/137am/webprogram/Paper205082.html>. Acesso em: 16 jun. 2019.

CHAKRABARTI, V. **A country of cities: a manifesto for an urban america**. Nova Iorque: Metropolis Books, 2014.

DAFFA, A. A. **The Muslim contribution to mathematics**. Londres: Croom Helm, 1977.

DOGAN, T.; SAMARANAYAKE, S.; SARAF, N. Urbano: a new tool to promote mobility-aware urban design, active transportation modeling and access analysis for amenities and public transport. *In: SYMPOSIUM FOR ARCHITECTURE AND URBAN DESIGN*, 2018, Delft. **Anais [...]**. Delft: Universidade Técnica de Delft, 2018.

DUARTE, J. P.; BEIRÃO, J. N.; MONTENEGRO, N.; GIL, J. City Induction: a model for formulating, generating, and evaluating urban designs. *In: ARISONA*, S.; ASCHWANDEN, G.; HALATSCH, J.; WONKA, P. (org.). **Digital urban modeling and simulation**. Berlim: Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 73-98.

ELIAS, S.; BEIRÃO, J. N. As relações determinantes entre Forma Urbana e Urbanidade. **Blucher Design Proceedings**, [S. l.], v. 3, p. 565-572, 2017. Trabalho apresentado no XXI CONGRESO INTERNACIONAL DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 2017, Concepción.

EMBRAPA. **Embrapa Monitoramento por Satélite**. Página inicial. [S. l.], 2010. Disponível em: <http://www.urbanizacao.cnpm.embrapa.br/conteudo/uf/mg.html>. Acesso em: 05 fev. 2020.

GARBER, R. Optimisation Stories: the impact of building information modelling on contemporary design practice. **Architectural Design: closing the gap**. Information models in contemporary design practice, Londres, v. 79, n. 2, p. 6-13, mar.-abr. 2009.

GEHL, J. **Cidades para pessoas**. São Paulo: Perspectiva, 2013.

GIL, J.; BEIRÃO, J.; MONTENEGRO, N.; DUARTE, J. Assessing computational tools for urban design: towards a “City Information Model”. *In: ECAADE CONFERENCE*, 28., 2010, Zurique. **Anais [...]**. Zurique: ETH Zurich, 2010.

GIL, J.; DUARTE, J. The backbone of city information modelling (CIM): Spatial data models and tools for urban design. *In: PEDAGOGY MEETS BIG DATA AND BIM CONFERENCE*, 2013, Londres. **Anais [...]**. Bartlett: UCL, 2013.

GLAESER, E. **Os centros urbanos: a maior invenção da humanidade**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2011.

GUZDIAL, M. **Squeak: object-oriented design with multimedia applications**. Nova Jersey: Prentice Hall, 2001.

HENRIQUES, G. **TetraScript: sistema de aberturas responsivo para controlar a luz, de acordo com fatores externos e internos**. 2013. 448 f. Tese (Doutorado em arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2013.

HENRIQUES, G.; BUENO, E. Geometrias complexas e desenho paramétrico. **DROPS**, [s. l.], ano 10, fev. 2010.

HERNANDEZ, C. R. B. **Design procedures: a computational framework for parametric design and complex architecture**. 2006. 196 p. Tese (Doutorado em Ciência e Arquitetura) – Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2006.

HILLIER, B.; HANSON, J. **The social logic of space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

HOEK, J. The MXI (mixed-use index): an instrument for anti-sprawl policy? *In*: ISOCARP CONGRESS, 44., 2008, Dalian. **Anais [...]**. China, Dalian, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios: Censo de 2010**. [s. l., s. n.], 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=Juiz+de+Fora>. Acesso em: 14 jan. 2020.

JABI, W. **Parametric design for architecture**. Londres: Laurence King, 2013.

JACOBS, J. **The death and life of great american cities**. Nova Iorque: Vintage books edition, 1961.

JUIZ de Fora Minas Gerais - uma breve história da Manchester mineira. *In*: **Wayback machine internet archive**. [s. l.], 2018. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20080222145855/http://www.conotec.com.br/juizdefora.html>. Acesso em: 10 jan. 2020.

KILKELLY, M. 5 reasons architects should learn to code. *In*: **ArchDaily Brasil**. [s. l.], 2015. Disponível em: <https://www.archdaily.com/613896/5-reasons-architects-should-learn-to-code>. Acesso em: 21 ago. 2019.

KOTNIK, T. Digital Architectural Design as Exploration of Computable Functions. **International Journal of Architectural Computing**, Londres, v. 8, n. 01, 16 p., 2010.

KRYGIEL, E.; BRADLEY, N. **Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling**. Indianapolis: Wiley Publishing, 2008.

LEACH, N. AD: Architectural Design. **Digital Cities**, Londres, v. 79, n. 4, p. 6-13, 2009.

LEITE, C. **Cidades sustentáveis, cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

LIMA, F. T. A. **Métricas Urbanas: Sistema (para)métrico para análise e otimização de configurações urbanas de acordo com métricas de avaliação de desempenho**. 2017. 236 p. Tese (Doutorado em Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

LIMA, F. T. A.; MONTENEGRO, N.; PARAIZO, R. C.; KÓS, J. R. Citymetrics: sistema (para)métrico para análise e otimização de configurações urbanas. **Oculum Ensaios**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 409-427, 2019.

LOH, P. Computing helps with the complex design of modern architecture. *In*: **The Conversation**. [s. l.], 2016. Disponível em: <https://theconversation.com/computing-helps-with-the-complex-design-of-modern-architecture-57657>. Acesso em: 4 ago. 2019.

MENGES, A. Instrumental geometry, architectural design, techniques and technologies in morphogenetic design. **Editorial Offices**, [s. l.], v. 76, n. 2, 2006.

MERLIN, P.; CHOAY, F. **Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement**. Paris: Presses Universitaires de France, 2000.

MITCHELL, W. **Computer-aided architectural design**. Nova Iorque: Van Nostrand Reinhold, 1977.

MITCHELL, W. Constructing Complexity. *In*: INTERNATIONAL CAAD FUTURES CONFERENCE, 11., 2005, Viena. **Computer Aided Architectural Design Futures 2005**. Viena, Austria: Vienna University of Technology, 2005.

MITCHELL, W.; MCCULLOUGH, M. **Digital design media**. Nova Iorque: Van Nostrand Reinhold, 1991.

MONTENEGRO, N. **CityPlan**: Contributo para o desenvolvimento de uma metodologia e ferramenta computacional para apoio ao desenho urbano. 2015. 440 f. Tese (Doutorado em Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

NEUMAN, M. The compact city fallacy. **Journal of Planning Education and Research**, [s. l.], n. 25, p. 11-26, 2005.

NOURIAN, P.; REZVANI, S.; SARIYILDIZ, S.; HOEVEN, F. Configurbanist: Urban Configuration Analysis for Walking and Cycling via Easiest Paths. *In*: ECAADE CONFERENCE, 33., 2015, Viena, Áustria. **Anais [...]**. Viena, Áustria: Universidade Técnica de Viena, 2015. p. 553-564.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Mais de 70% da população mundial viverá em cidades até 2050**. Quênia, Nairóbi: [s. n.], 2013. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/onu-mais-de-70-da-populacao-mundial-vivera-em-cidades-ate-2050/>. Acesso em: 23 dez. 2018.

OXMAN, R. Theory and design in the first digital age. **Design Studies**, [s. l.], v. 27, p. 229-265, 2006.

PEREIRA, B. I. **Algoritmos Urbanos**: Potencialidades e aplicação do Distrito Federal. 2016. 150 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2016.

PICON, A. Digital Culture and Architecture: evolution or revolution. *In*: ANNUAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTER AIDED DESIGN IN ARCHITECTURE (ACADIA), 30., 2010, Nova Iorque. **Anais [...]**. Nova Iorque: Cooper Union, Pratt Institute, 2010.

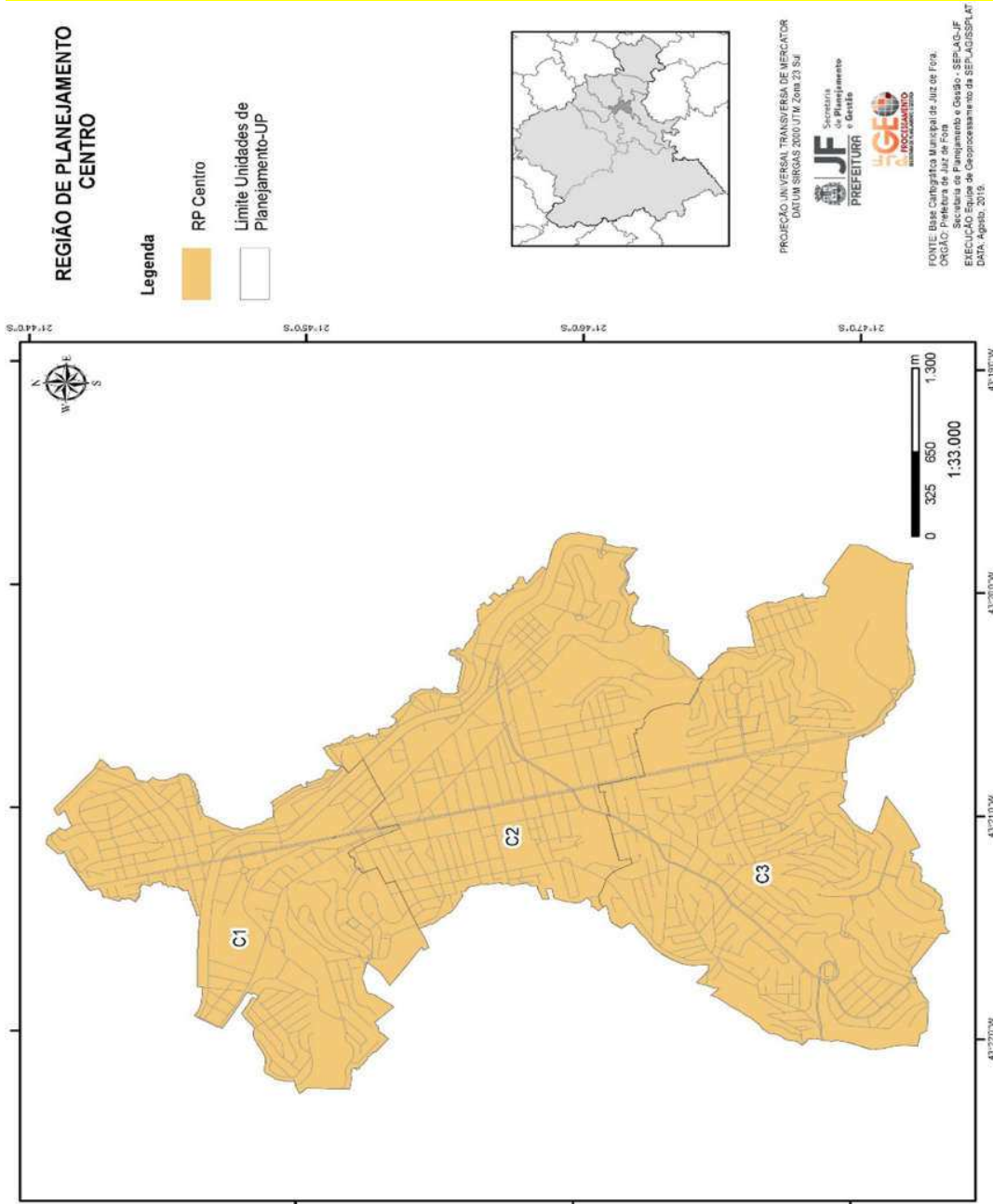
PICON, A. Foreword. *In*: TERZIDIS, K. **Algorithmic Architecture**. Nova Iorque: Routledge, 2006.

ROGERS, R. **Cidades para um pequeno planeta**. 4. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2001.

SCHEER, D. **The death of drawing**: Architecture in the age of Simulation. Nova Iorque: Routledge, 2014.

- SEARS, A.; JACKO, J. A. **Human-computer Interaction Handbook: fundamentals, evolving technologies and emerging applications**. Boca Raton: CRC Press, 2013.
- SEVTSUK, A. **Urban Network Analysis: tools for modeling pedestrian and bicycle trips in cities**. Cambridge, MA: Harvard Graduate School of Design, 2018. Disponível em: https://www.dropbox.com/s/pr0g3r1j6x0m89y/UNA_user_guide_2018.pdf?dl=0. Acesso em 17 jul. 2019.
- SEVTSUK, A.; KALVO, R. **Urban Network Analysis Toolbox for Rhinoceros 3D**. Singapore: City Form Lab, 2015. Disponível em: https://urbanterainsdigitallab.files.wordpress.com/2015/11/cityformlab_una_eng.pdf. Acesso em: 17 jul. 2019.
- SEVTSUK, A.; MEKONNEN, M. Urban Network Analysis Toolbox. **International Journal of Geomatics and Spatial Analysis**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 287–305, 2012.
- SHAW, G. B. **The religious speeches of Bernard Shaw**. 1. ed. Pensilvânia: Pennsylvania State University Press, 1963.
- SILVA, R. C. D. **Urbanismo paramétrico: parametrizando urbanidade**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2010.
- SILVA, R.; AMORIM, L. Urbanismo paramétrico: emergência, limites e perspectivas de nova corrente de desenho urbano fundamentada em sistemas de desenho paramétrico. **V!RUS**, São Carlos, n. 3, 2010.
- STEINØ, N.; VEIRUM, N. A parametric approach to urban design. *In: ECAADE CONFERENCE, 23.*, 2005, Lisboa. **Anais [...]**. Portugal: Universidade Técnica de Lisboa, 2005.
- STINY, G.; GIPS, J. Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture. **Information Processing**, Amsterdam, n. 71, p. 1.460–1.465, 1972.
- TEDESCHI, A. **Algorithms-aided design: parametric strategies using grasshopper**. Brianza: Le Penseur, 2014.
- TERZIDIS, K. **Algorithmic architecture**. Nova Iorque: Routledge, 2006.
- VELTEN, K. **Mathematical modeling and simulation: Introduction for scientists and engineers**. Weinheim: Wiley-VCH, 2009.
- VEREBES, T. **Masterplanning: the adaptive city**. Nova Iorque: Routledge, 2014.
- WOODBURY, R. **Elements of parametric design**. Nova Iorque: Routledge, 2010.
- WOOFF, S. **Parametric Urbanism**. A digital methodology for manipulating typological forms of density in 21st century urbanism. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de Pós-Graduação e Pós-Doutorado da Universidade de Carleton, Ottawa, 2016.

ANEXO A – MAPA DA RP CENTRO

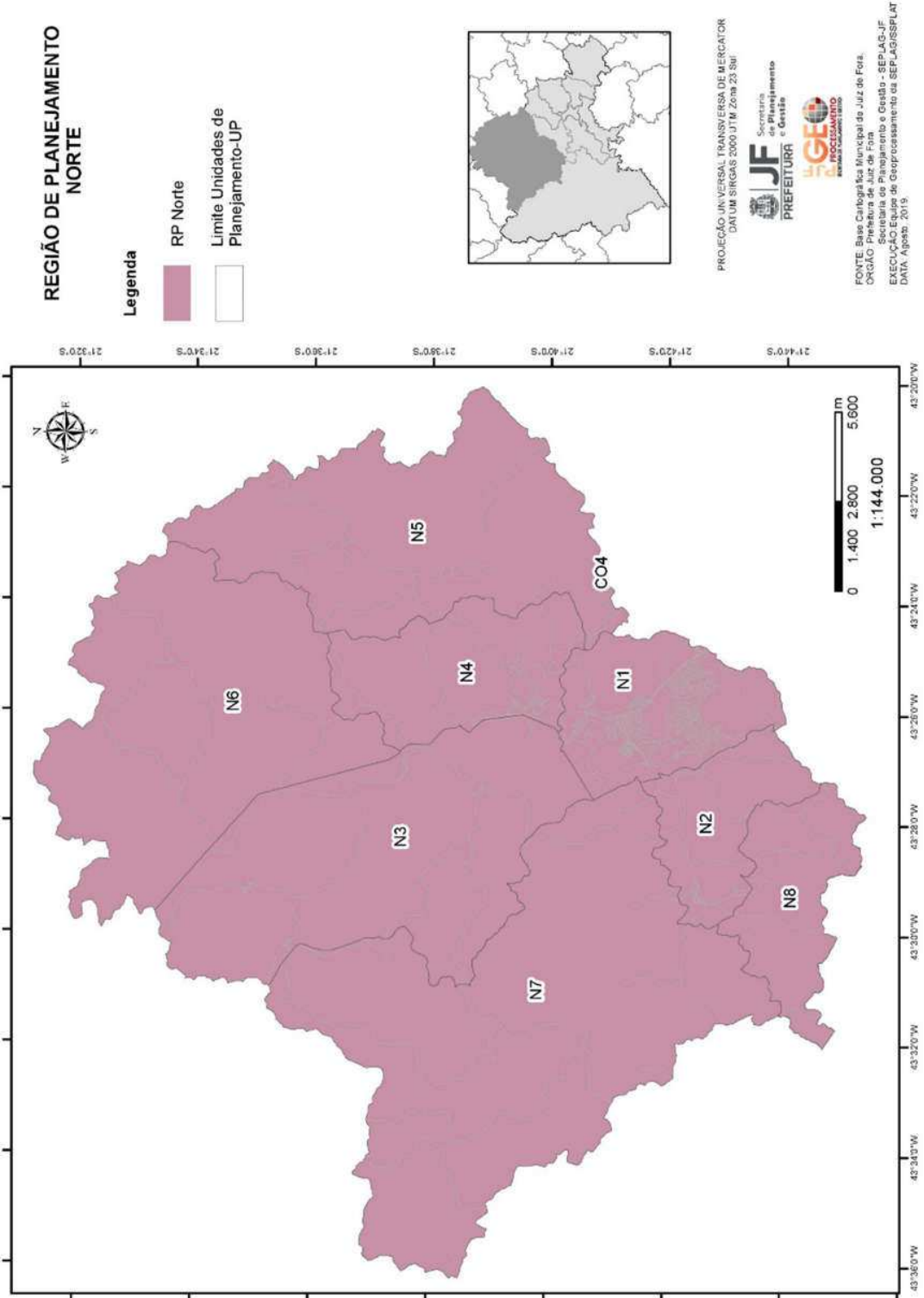


ANEXO B – UP’S DA RP CENTRO

REGIÃO DE PLANEJAMENTO - RP	UNIDADE DE PLANEJAMENTO-UP	BAIRROS/LOCALIDADES/LOTEAMENTOS	ÁREA HECTARE-UP	POPULAÇÃO-UP*	DENSIDADE-UP*
CENTRO	C1-Mariano Procópio	Bairú, Democrata, Jardim Glória, Ladeira, Manoel Honório, Mariano Procópio, Morro da Glória, Santa Catarina, Vale do Ipê, Alto Bairú	334,64	29.227	87,34
	C2-Centro	Baixada do Paraibuna, Botánagua, Centro, Costa Carvalho, Granbery, Menino Jesus de Praga, Paineiras, Poço Rico, Santa Helena, Santa Tereza, São Jorge	394,16	39.639	100,57
	C3-São Mateus	Alto Dom Bosco, Alto dos Passos, Boa Vista, Bom Pastor, Cascatinha, Cidade Jardim, Dom Bosco, Dom Caetano, Estrela Sul, Jardim Europa, Jardim Laranjeiras, Jardim Liú, Jardim Paraíso, Mansões do Bom Pastor, Mundo Novo, Padre Café, Parque Guarúá, Santa Cecília, São Mateus, São Vicente	554,78	54.710	98,62

Fonte: IBGE/2010, SEPLAG-JF/2019
*População e densidade aproximada

ANEXO C – MAPA DA RP NORTE



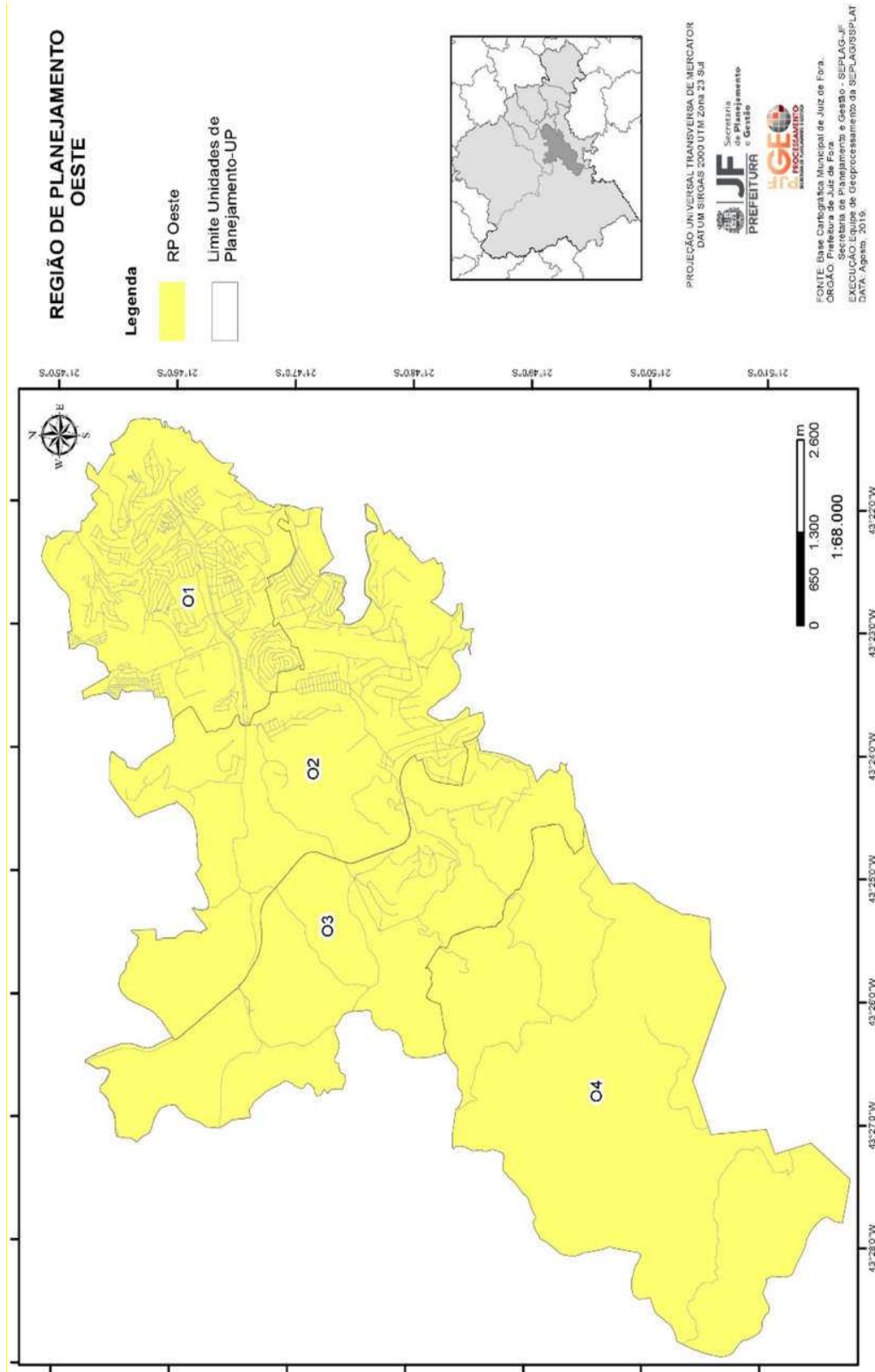
ANEXO D – UP’S DA RP NORTE

REGIÃO DE PLANEJAMENTO - RP	UNIDADE DE PLANEJAMENTO-UP	BAIROS/LOCALIDADES/LOTEAMENTOS	ÁREA HECTARE-UP	POPULAÇÃO-UP*	DENSIDADE-UP*
NORTE	N1-Benfica	Araújo, Bela Vista, Benfica, Distrito Industrial, Jardim Bom Jesus, Jardim dos Alfaiates, Jardim Santa Bárbara, Jardim Santa Isabel, Jardim Saudade, Morada Nova, Nova Benfica, Nova Era I, Nova Era II, Oswaldo Cruz, Ponte Preta, Residencial Bela Vista, Residencial Miguel Marinho, Residencial Monte Verde, Santa Amélia, Santa Clara, Santa Cruz, Santa Lúcia, Santo Agostinho, São Damião, São João Batista, São Judas Tadeu, Verbo Divino, Vila Espada, Vila Esperança I, Vila Esperança II	2.473,36	49.821	20,14
	N2-Igrejinha	Cacheirinha, Condomínio Toca do Leão, Igrejinha, Parque da Cachoeira, São Judas Tadeu, Sítio da Cachoeira, Vila Paraíso, Vila São João Batista, Vila São José	1.696,53	2.383	1,40
	N3-Dias Tavares	Chapéu D'Uvas, Dias Tavares, Estiva, Granjeamento de Dias Tavares, Granjeamento Vale do Tinguá, Paula Lima	6.775,47	2.643	0,39
	N4-Barreira do Triunfo	Aldeia, Barreira do Triunfo, Campo Grande, Contendas, Granjas Belvedere, Granjas Recanto do Sol, Granjeamento Irmãos Fernandes, Granjeamento São Sebastião, Nautico, Novo Triunfo, Novo Triunfo II	2.578,45	2.809	1,09
	N5-Represa	Alto do Maracujá, Enseada I, Enseada II, Enseada III, Enseada IV, Enseada V, Filomena, Granjas Jardim Paraíso, Maracujá, Morro da Pedra, Represa, Represa Congo, Tabá Iporanga, Taiobas, Vargem Grande	6.008,01	590	0,10
	N6-Varginha	Atrás do Morro, Bastinho, Boa Vista, Capim – Gordura, Carneiro, Carrapato, Feijão – Cru, Fundão, Granjeamento da Varginha, Limoeiro, Pasto da Cruz, Varginha	7.192,90	113	0,02
	N7-Espírito Santo	Caracol, Granjeamento do Tanque, Residencial Caracol, Vista Alegre, Cachoeira, França, São Joaquim	10.840,68	112	0,01
	N8-Cachoeira	Barriga Lisa, Café Apolo, Nova Jerusalém, Recanto da Boa Vista	1.915,51	375	0,20

Fonte: IBGE/2010, SEPLAG-JF-2019

*População e densidade aproximada

ANEXO E – MAPA DA RP OESTE



ANEXO F – UP'S DA RP OESTE

REGIÃO DE PLANEJAMENTO - RP	UNIDADE DE PLANEJAMENTO-UP	BAIRROS/LOCALIDADES/LOTEAMENTOS	ÁREA HECTARE-UP	POPULAÇÃO-UP*	DENSIDADE-UP*
OESTE	O1-São Pedro	Adolpho Vireque, Alto dos Pinheiros, Borboleta, Bosque Imperial, Caçaras I, Caçaras II, Chalés do Algarve, Chalés do Imperador, Colinas do Imperador, Condomínio Jardim de Minas, Granville, Itatiaia, Jardim Casablanca, Jardim Colonial, Jardim das Azaléias, Jardim Universitário, Jardins Imperiais, Mandala Park, Mantiqueira, Martelos, Morro do Cristo, NEO Residencial, Nossa Senhora de Fátima, Nova Germânia, Nova Vida, Parque do Império, Parque Flamboyants, Parque Imperial, Parque Jaguar, Parque São Pedro, Portal da Torre, Recanto Residencial Regente, Residencial Cidade Alta, Residencial Colinas de São Pedro, Residencial Green Park Life, Residencial Jardim da Serra, Residencial Pinheiros, Residencial San Pietro, Residencial Santa Maria, Santana, Santos Dumont, São Lucas I, São Lucas II, São Pedro, São Vicente de Paulo, Serra D'Água, Serra D'Água, Serro Azul, Tupã, Via do Sol, Vila Nair	1.136,45	30.240	26,61
	O2-Aeroporto	Aeroporto, Alphaville, Alto da Serra, Alto Sumaré, Bosque do Imperador, Condomínio Bosque do Lago, Cruzeiro de Santo Antônio, Granja do Bosque, Granjas Icarai, Granjas Santo Antônio, Jardim Guadalajara, Lajinha Green Park, Marilândia, Nova Califórnia, Novo Horizonte, Parque Alto, Parque Jardim da Serra, Pedras Altas, Portal do Aeroporto, Portal do Aeroporto II, Recanto do Brugges, Reserva São Pedro, Residencial Alvim, Residencial Paraíso, São Clemente, Serra, Spinaville II, Spinaville III, Tabuinhas, Vifa Del Mar	1.788,14	4.694	2,63
	O3-Paço Del Rey	Condomínio Ecológico Estrada Real, Fazendinhas de São Pedro, Grotta do Pinto, Residencial Colina do Sol, Tabuinhas, Vale da Serra I, Vale da Serra II, Vargem Alegre, Villágio da Serra, Villágio da Serra II, Chácaras Passos Del Rey	1.549,74	290	0,19
	O4-Cordeiros	Cordeiro de Santo Antônio	2.472,35	103	0,04

Fonte: IBGE/2010, SEPLAG-JF/2019

*População e densidade aproximada