



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - FACULDADE DE ARQUITETURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL

TESE DE DOUTORADO

# **UM MODELO *HARMONY-SEEKING* DE DESENHO URBANO**

ALICE RAUBER GONÇALVES

Porto Alegre

2022

ALICE RAUBER GONÇALVES

# **UM MODELO *HARMONY-SEEKING* DE DESENHO URBANO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutora em Planejamento Urbano e Regional.

Orientador: Prof. Romulo Krafta, PhD

Porto Alegre

2022

### CIP - Catalogação na Publicação

Gonçalves, Alice Rauber  
Um modelo harmony-seeking de desenho urbano / Alice  
Rauber Gonçalves. -- 2022.  
220 f.  
Orientador: Romulo Krafta.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa de  
Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto  
Alegre, BR-RS, 2022.

1. Desenho Urbano. 2. Christopher Alexander. 3.  
Wholeness. 4. Sistemas Configuracionais Urbanos. 5.  
Grafos Multicamadas. I. Krafta, Romulo, orient. II.  
Título.

*Aos meus amores Joana e Guilherme*



# AGRADECIMENTOS

Fazer uma tese é uma das jornadas mais solitárias que alguém pode fazer na vida. Paradoxalmente, não deixa de ser uma empreitada extremamente coletiva, já que implica no envolvimento de muitas pessoas. Agradeço a todos que participaram da minha jornada, direta ou indiretamente, em especial:

Ao orientador Romulo Krafta, pela competência com que conduziu meu processo de formação como pesquisadora, desde o mestrado até o doutorado. Grata por esse rico período com orientação de tão alto nível.

Grupo de pesquisa, Clarice, Bárbara, Ana, Eliziéle, Tiago e demais colegas, pela parceria e pelos incansáveis debates configuracionais nos encontros presenciais e virtuais.

Professores do PROPUR e professores-colegas do Departamento de Urbanismo da UFRGS, pelo acolhimento, carinho e incentivo. Foram fundamentais, especialmente nos períodos conturbados.

Ana Faria, pelo excelente debate na Defesa e pelas contribuições na revisão final do documento.

Guilherme, pelo apoio, incentivo e suporte emocional.

Família, amigos e colegas, sempre compreensíveis e na torcida.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por sua estrutura, bibliotecas, funcionários, professores, cursos e disciplinas. Serei eternamente grata pela oportunidade de ensino público, gratuito e de qualidade.

Alunos, minha maior motivação. Sem eles nada disso faria sentido.

## RESUMO

A presente tese faz uma exploração no âmbito do desenho urbano tomando como ponto de partida teorias de Christopher Alexander, em especial os conceitos desenvolvidos em *The Nature of Order*. O objetivo principal foi o de propor as bases teórico-metodológicas para a formalização de um modelo de desenho urbano, denominado *harmony-seeking* em homenagem ao processo de busca pela harmonia, descrito por Alexander. Tal processo ocorreria, segundo o autor, mediante quinze propriedades que descrevem como centros, isto é, partes, se organizam para estruturar o todo e gerar inteireza (*wholeness*). Inteireza se refere ao caráter estrutural global de uma dada configuração existente no espaço e os centros são as entidades, isto é, as partes que a compõem. Alexander destaca que a noção de inteireza é passível de descrições matemáticas, porém admite que não há ainda um método computacional para alcançar isso. A hipótese considerada foi a de que uma abordagem apoiada em matemática de grafos, como a que vem sendo desenvolvida no campo de sistemas configuracionais urbanos, ofereceria um caminho para a operacionalização da teoria dos centros em direção a um modelo de desenho urbano. A primeira parte do trabalho, pautada pelo viés das teorias de complexidade em cidades, discutiu as teorias de Alexander em relação a especificidades do desenho urbano, sugerindo que: a) a ideia de uma qualidade universal intrínseca à forma, geralmente encontrada nos artefatos naturais, não se aplicaria às cidades, tendo em vista que estas são constituídas por agentes que operam com intencionalidade, diferentemente da auto-organização observada na natureza; b) nem todas as quinze propriedades seriam capazes de descrever a real natureza das cidades devido ao seu caráter genérico e não-sistêmico. A partir dessas constatações, a segunda parte do trabalho expôs o modelo proposto, onde a busca pela harmonia é reinterpretada como a busca por uma intenção de projeto, adotando a visão de que qualidade é relativa a valores e muda conforme o contexto. O modelo aprofunda a questão da descrição do sistema espacial urbano com base em uma abordagem de grafos multicamadas. Os centros são representados como nós do grafo e no lugar das quinze propriedades são utilizadas métricas de diferenciação espacial já disponíveis na literatura, como acessibilidade e centralidade. Assim, propõe-se um processo iterativo entre desenho e análise, em que se pode verificar efeitos de hipóteses de projeto. Ao final do trabalho foram apresentados estudos exploratórios realizados a partir de dados empíricos, que permitiram aprofundar questões de representação e visualização. A pesquisa mostrou que a ideia de abordar a teoria de Alexander sob uma perspectiva de redes multicamadas apresenta potencial para aplicações em desenho urbano, principalmente por aumentar a capacidade de compreensão do todo e do papel das partes, bem como por possibilitar a descrição de múltiplas dimensões do desenho urbano.

Palavras-chave: Desenho Urbano; Christopher Alexander; Inteireza; Teoria dos Centros; Sistemas Configuracionais Urbanos; Grafos Multicamadas

# ABSTRACT

This thesis explores the context of urban design, taking Christopher Alexander's theories as a starting point, especially the key concepts developed in *The Nature of Order*. The main objective was to put forward the theoretical-methodological bases for the formalization of an urban design model, called harmony-seeking to refer to the process of search for harmony described by Alexander. According to the author, harmony-seeking process occurs through fifteen properties that describe how centers organize themselves to structure the whole and generate wholeness. Wholeness refers to the global structural character of a given configuration existing in space and centers are the entities that compose it. Alexander emphasizes that the notion of wholeness is amenable to mathematical descriptions, although admits that there is still no mathematical language or computational method to achieve this. The main hypothesis explored is that an approach based on graph mathematics, such as the configurational urban systems approach, would offer a way to operationalize Alexander's ideas towards an urban design model. The first part of the research, guided by the bias of complexity theories of cities, discussed Alexander's theories in relation to specificities of urban design, suggesting that: a) the idea of a universal quality intrinsic to form, usually found in natural artifacts, it would not apply to cities, considering that they are constituted by agents that operate intentionally, differently from the self-organization processes observed in nature; b) not all the fifteen properties would be capable of describing the real nature of cities due to the generic and non-systemic character of most of them. From these findings, the second part of the work exposes the proposed model, where the search for harmony is reinterpreted as the search for a design intention, adopting the view that quality is relative to values and changes according to the context. The model deepens the question of the description of the urban system based on a multilayered graph approach. Centers are represented as nodes of the graph and instead of fifteen properties, spatial differentiation metrics already available in the literature are used, such as accessibility and centrality. An iterative process between design and analysis is proposed, so that the effects of design hypotheses can be verified. At the end of the work, exploratory studies conducted from empirical data are presented so that representation and visualization issues are discussed. The research showed that the idea of approaching Alexander's theory from a multilayered network approach has potential for supporting urban, since it strengthens the ability to understand the whole and the role of parts, as well as it enables description of multiple dimensions of urban design.

Keywords: Urban Design; Christopher Alexander; Wholeness; Center Theory; Configurational Urban Systems; Multilayer Networks

# SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>4</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>6</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>10</b>
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	<b>13</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 Delimitação do tema.....	14
1.1.1 Desenho urbano: definição e recorte.....	14
1.1.2 Desenho urbano e morfologia urbana.....	16
1.1.3 Christopher Alexander.....	18
1.2 Delimitação do problema de pesquisa.....	21
1.3 Objetivos.....	24
1.4 Justificativa e relevância.....	26
1.5 Estrutura da tese.....	27
<b>2. CIDADE, COMPLEXIDADE E DESENHO URBANO</b> .....	<b>28</b>
2.1 A cidade como um sistema complexo.....	28
2.1.1 Teorias da complexidade.....	29
2.1.2 Teorias da complexidade em cidades.....	32
2.1.3 Abordagens quantitativas.....	35
2.1.4 Teorias da complexidade em cidades: visão crítica.....	38
2.1.5 Sistemas complexos e desenho urbano.....	39
2.1.6 Conclusões da seção.....	41
2.2 Desenho urbano e métodos analíticos.....	42
2.2.1 Debates clássicos.....	43
2.2.2 Tendências contemporâneas.....	48
2.2.3 Conclusões da seção.....	51
2.3 Christopher Alexander e a natureza da ordem.....	52
2.3.1 As relações entre as partes e o todo.....	52
2.3.2 A teoria dos centros e o processo <i>harmony-seeking</i> .....	53
2.3.3 Medindo inteireza / grau de vida.....	59
2.3.4 Explorações feitas por outros autores.....	61
2.3.5 Conclusões da seção.....	64
2.4 Conclusões do capítulo.....	65
<b>3. SISTEMAS DESCRITIVOS BASEADOS EM GRAFOS</b> .....	<b>70</b>
3.1 A abordagem configuracional nos estudos urbanos.....	71
3.1.1 Estudos pioneiros de Cambridge.....	71

3.1.2 Sintaxe espacial .....	72
3.1.3 Estudos de redes espaciais .....	74
3.1.4 Estudos que combinam morfologia urbana e redes espaciais .....	76
3.2 Representação do sistema espacial urbano .....	78
3.2.1 Representação do sistema viário .....	79
3.2.2 Representação das formas construídas e outros elementos .....	82
3.2.3 Representação da cognição espacial.....	85
3.3 Grafos multicamadas.....	90
3.4 Conclusões do capítulo .....	93
<b>4. MODELO HARMONY-SEEKING DE DESENHO URBANO.....</b>	<b>96</b>
4.1 Definições preliminares .....	98
4.1.1 Caráter sistêmico: interdependência das partes com o todo .....	99
4.1.2 Aspectos espaciais, funcionais e cognitivos.....	101
4.1.3 Aspectos temporais: abordagem orientada a processos .....	103
4.2 Sistema descritivo.....	105
4.2.1 Os <i>centros</i> de Alexander como nós de um grafo .....	106
4.2.2 O sistema espacial urbano como um grafo multicamadas .....	107
4.3 Medidas de diferenciação espacial .....	117
4.4 Visualização e comparação de resultados .....	119
4.4.1 Padrões de distribuição estatística .....	122
4.4.2 Padrões de distribuição espacial .....	122
4.4.3 Outros métodos para análise dos padrões de distribuição espacial .....	125
4.5 Propriedades estruturais da forma urbana .....	126
4.6 Formalização do modelo harmony-seeking .....	128
<b>5. ESTUDOS EXPLORATÓRIOS: PARTE I .....</b>	<b>133</b>
5.1 Apresentação do estudo empírico.....	134
5.2 Aspectos metodológicos.....	137
5.2.1 Sobre a representação com grafos multicamadas .....	139
5.2.2 Sobre o processamento das medidas de diferenciação espacial .....	146
5.2.3 Sobre a visualização dos resultados .....	147
5.2.4 Resumo dos experimentos .....	152
5.3 Resultados e discussão.....	153
5.3.1 Acessibilidade .....	154
5.3.2 Centralidade e polaridade.....	157
5.3.3 Discussão.....	160
5.4 Conclusões do capítulo .....	162
<b>6. ESTUDOS EXPLORATÓRIOS: PARTE II .....</b>	<b>163</b>
6.1 Apresentação das hipóteses de projeto .....	163
6.1.1 Revitalização da orla do Rio Taquari.....	165
6.1.2 Parque Linear do Arroio do Engenho .....	165

6.1.3 Eixo comercial rua Santos Filho .....	165
6.2 Aspectos metodológicos.....	166
6.3 Resultados e discussão.....	167
6.3.1 Objetivo 1 .....	167
6.3.2 Objetivo 2.....	169
6.3.3 Objetivo 3.....	171
6.4 Conclusões do capítulo .....	172
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>174</b>
7.1 Contribuições do trabalho.....	175
7.1.1 Contribuições teóricas .....	175
7.1.2 Contribuições para o campo de desenho urbano.....	176
7.1.3 Contribuições para o campo de sistemas configuracionais .....	177
7.2 Potencialidades e limitações do delineamento proposto .....	178
7.3 Perspectivas para desenvolvimentos futuros .....	179
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>181</b>

ANEXO A: As Quinze Propriedades

ANEXO B: Medidas de Diferenciação Espacial

ANEXO C: Resultados do Capítulo 5

ANEXO D: Artigo publicado em periódico e métricas obtidas na plataforma ResearchGate

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quadro unificado do desenho urbano e morfologia urbana, onde estão representados: a) processo de abstração; b) transformação ao longo do tempo; c) construção, ou seja, conversão do desenho em realidade física; d) processo de projeto. Adaptado de Marshall e Çalişkan (2011).

Figura 2 - Modelo PDI de March. Fonte: El-Khouly (2015, p.33).

Figura 3 - Estrutura do *geodesign*. Adaptado de Miller (2012).

Figura 4 - Modelos de projeto. Fonte: Çalişkan (2012).

Figura 5 – Exemplos do processo que busca harmonia: a) morfogênese da pata de um rato; b) evolução de Amsterdam. Fonte: Alexander (2009)

Figura 6 - Grafo

Figura 7 - Grafo evidenciando conexões entre formas construídas. Fonte: Krüger (1979).

Figura 8 – Representação dos espaços públicos. Fonte: Adaptado de Figueiredo (2004).

Figura 9 - Sistemas descritivos e grafos correspondentes. Fonte: Rauber e Krafta (2018).

Figura 10 - Representação da estrutura espacial urbana. Fonte: Zechlinski (2013).

Figura 11 - Grafo representando relações de vizinhança entre lotes. Fonte: Constantinou (2007).

Figura 12 – Modelo que integra espaços públicos com formas construídas. Fonte: Sevtsuk (2018)

Figura 13 - Representação das menores partículas que formam o espaço urbano. Fonte: Krafta (2013).

Figura 14 - Espectro de conceitos espaciais. Fonte: O'Sullivan (2000, p.38)

Figura 15 – Exemplo de grafo com duas camadas, em que uma representa uma rede de estações de trem e outra a rede de ruas. Fonte: Ding et al. (2017).

Figura 16 – Esquema *hypernetworks* para modelagem de dados em planejamento urbano. Fonte: Johnson (2012, p. 166).

Figura 17 – Modelo de rede urbana multimodal. Fonte: Gil (2014).

Figura 18 - Síntese teórica do modelo *harmony-seeking*. Fonte: da autora.

Figura 19 - Esquema da formação de sentido dos lugares, na confluência das dimensões física (forma/ atributos físicos), funcional (atividades/ movimento) e cognitiva (concepções/ imagem). Fonte: Adaptado de Del Rio (1990, p.70).

Figura 20 - Elementos que compõem a representação do sistema espacial urbano. Fonte: da autora.

Figura 21 - Esquema da representação da rede de ruas

Figura 22 - Esquema da representação de praças e parques.

Figura 23 – Três hipóteses para representação do transporte.

Figura 24 - Esquema da representação da ciclovia.

Figura 25 - Atributos numéricos que representam as formas construídas obtidos por agregação (A) ou desagregação (B) de variáveis.

Figura 26 - Representação das unidades de informação (UI): a) identificação das UI; b) representação das UI e suas conexões sob a forma de um grafo; c) grafo incluindo camada da estrutura viária e da estrutura cognitiva.

Figura 27 - Histogramas de frequência e os correspondentes gráficos de distribuição das probabilidades acumuladas de três padrões distributivos de valores: a) gaussiana; b) decaimento exponencial; c) lei de potência. Fonte: Faria (2010, p.38).

Figura 28 – Visualização da medida centralidade por perpasso com diferentes esquemas de classificação: a) Natural Breaks; b) Head/Tail Breaks.

Figura 29 - Combinação entre diferentes medidas de diferenciação e representações para obter um conjunto de características da forma urbana.

Figura 30 – Esquema básico do modelo proposto.

Figura 31 - Localização da área de estudo, dentro da área urbana do município de Lajeado/RS

Figura 32 - Distribuição do uso do solo: a) uso residencial; b) usos não residenciais.

Figura 33 - Medida de acessibilidade e centralidade com representação apenas da rede de ruas (a e b); medida de centralidade e polaridade com representação da rede de ruas e uso do solo (c e d).

Figura 34 - Área de estudo x limite do bairro Centro

Figura 35 – Grafo: a) da rede de ruas e b) da rede de ruas e praças/parques

Figura 36 – Trajetos das linhas de ônibus existentes (1, 2 e 3) e da linha hipotética (4)

Figura 37 - Grafos com a representação das linhas de transporte coletivo

Figura 38 – Ciclovias existente (1) e hipotética (2); e sua respectiva representação em grafos

Figura 39 – Distribuição: a) da densidade habitacional; e b) do comércio e equipamentos

Figura 40 - Grafo com atributos da forma construída do tipo: a) demanda; b) oferta; c) somatório dos atributos de demanda e oferta

Figura 41 – Mapa com as unidades de informação e sua representação na forma de um grafo.

Figura 42 - Grafos com a representação da camada cognitiva

Figura 43 – Processo de geoprocessamento para obtenção de mapa com resultados absolutos padronizados entre 0 e 1.

Figura 44 - Legendas para os resultados normalizados entre 0 e 1, com seus respectivos histogramas e esquemas de quebra de intervalos: intervalos iguais para acessibilidade e quebras naturais (valores já arredondados) para centralidade e polaridade.

Figura 45 - Mapa de diferenças relativas de B em relação a A.

Figura 46 - Processo de geoprocessamento para obtenção de mapas de diferenças.

Figura 47 - Legendas dos mapas com normalização entre 0 e 1 e dos mapas de diferença percentual

Figura 48 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada de praças e parques, para a medida de acessibilidade

Figura 49 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada de ciclovias (Ciclovias 1), para a medida de acessibilidade



Figura 50 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada de transportes, representando a Linha 1 de ônibus, para a medida de acessibilidade

Figura 51 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada cognitiva, representando a estrutura cognitiva completa, para a medida de acessibilidade.

Figura 52 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada de praças e parques, para a medida de centralidade

Figura 53 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada e grafo com a camada de ciclovias (Ciclovias 1), para a medida de centralidade

Figura 54 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada de transportes, representando a Linha 1 de ônibus, para a medida de centralidade

Figura 55 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada de transportes, representando a estrutura cognitiva completa, para a medida de centralidade

Figura 56 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com atributos de uso do solo, para a medida de centralidade.

Figura 57 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com atributos de uso do solo, para a medida de polaridade.

Figura 58 – Localização das propostas de intervenção: 1) Revitalização da Orla; 2) Parque linear Arroio do Engenho; 3) Eixo comercial rua Santos Filho.

Figura 59 - Propostas de intervenção

Figura 60 – Exemplos de representação de hipóteses de projeto

Figura 61 - Resultados para avaliar o objetivo 1

Figura 62 - Resultados para avaliar o objetivo 2

Figura 63 - Resultados para avaliar o objetivo 3

# LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese dos principais sistemas descritivos encontrados na literatura. Adaptado de Faria (2010) e Marshall et al. (2018).

Quadro 2 - *Framework* para a representação do sistema espacial urbano sob a forma de um grafo multidimensional.

Quadro 3 - Unidades de informação e sua representação. Adaptado de Faria (2010).

Quadro 4 - Métricas de diferenciação espacial utilizadas neste trabalho.

Quadro 5 - Exemplos de combinações possíveis para obter uma caracterização de certas qualidades do desenho urbano.

Quadro 6 – Variáveis utilizadas para descrever o uso do solo e seus respectivos pesos.

Quadro 7 – Resumo dos experimentos realizados.

Quadro 8 – Objetivos de projeto, medidas de diferenciação espacial e camadas representadas

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Delimitação do tema

Desenho urbano, tema central desta tese, pode ser definido, em linhas gerais, como um tipo particular de projeto que trata de gerenciar e conferir forma ao tecido urbano. Trata-se, no entanto, de termo impreciso e cheio de ambiguidades (MADANIPOUR, 1996, 2007), assim como *design*, que é um conceito rico em significação e, justamente por isso, problemático (REYES, 2015). Por isso, antes de passar ao tema-problema de pesquisa cabe esclarecer o que se entende por desenho urbano no âmbito desta tese e quais de seus aspectos especificamente são contemplados.

Após definir o que é desenho urbano, esta seção aborda também a relação entre desenho urbano e morfologia urbana, tendo em vista que essa última constitui também um aspecto central da tese. Por fim, introduz o teórico Christopher Alexander, cujas teorias constituem o ponto de partida para a montagem do problema de pesquisa.

### 1.1.1 Desenho urbano: definição e recorte

É preciso ter cuidado com o termo *design*, usado na língua inglesa, já que ele pode ser traduzido tanto como *desenho* quanto como *projeto*. Nesse trabalho utiliza-se *design* enquanto projeto, isto é, que equivale à concepção prévia de algo, antes de sua construção. Em outras palavras, se refere ao ato de criação, frequentemente expresso na forma de algum tipo de representação (desenho). Diferente da arte, o *design* opera com condicionantes externos, sociais e econômicos, ou seja, possui normas culturais e é dependente de tecnologias, o que implica em um contexto específico (ÇALIŞKAN, 2012, p. 273). É uma atividade orientada para um objetivo, um propósito. Tais noções se aplicam também ao projeto do espaço construído, isto é, o *projeto* no âmbito da arquitetura e urbanismo, o que inclui desenho urbano.

Conforme Ascher (2010 *apud* FONSECA, 2017, p.136) existe diferença entre *desenho urbano* e *projeto urbano*. Projeto urbano passou a assumir, após a década de 1990, uma conotação que agrega aspectos de política e gestão ao desenho urbano. Não é errado usar *projeto urbano* como sinônimo de *desenho urbano*, mas apenas uma minoria de autores faz esse uso, ao menos na literatura de língua portuguesa, conforme constatam Oliveira e Rovati (2016). O termo projeto urbano geralmente é utilizado por autores que tratam do processo de produção

e gestão do espaço urbano, em suas dimensões éticas, ideológicas e políticas. Tais aspectos não são o foco dessa tese, portanto dar-se-á preferência ao termo *desenho urbano*, que remete a uma definição mais próxima do *urban design*, isto é, do projeto em escala urbana no sentido mais relacionado à forma urbana. Cabe ressaltar que desenho urbano e forma urbana não são indissociáveis de processos sociais e políticos, apenas procura-se aqui definir um foco de abordagem.

Distintas definições de desenho urbano podem ser encontradas na literatura, sendo muitas delas genéricas e abrangentes. Procurando delimitar melhor o que se entende por desenho urbano no âmbito dessa tese, algumas questões relacionadas ao termo são comentadas a seguir. Isso é feito, principalmente, com base na discussão conduzida por Madanipour (1996, 2007), que elenca uma série de ambiguidades comuns quando se fala em desenho urbano.

A primeira delas se refere à questão da escala. O projeto do ambiente construído é tão abrangente que se divide em distintos campos disciplinares – arquitetura, paisagismo, desenho urbano, planejamento urbano e assim por diante. Cada um dá ênfase a uma escala ou uma gama de escalas, isto é, possui uma certa abrangência espacial e um certo grau de detalhamento, que definem os distintos enfoques e especificidades de trabalho de cada campo.

Desenho urbano se situa entre o âmbito da arquitetura, que é mais voltado à escala do edifício isolado; e do planejamento urbano, que abrange a escala da cidade como um todo, ou parte dela, mas que pode ir até a escala regional. Para Greene e Vega (2011 *apud* FONSECA, 2017, p.137), o que se entende, hoje, por desenho urbano remonta à tentativa de conjugar os campos da arquitetura, da arquitetura da paisagem e do planejamento urbano, isto é, abrange intervenções em diferentes escalas. Fonseca (2017, p.136) argumenta que “na esfera do urbanismo contemporâneo, os limites entre plano e projeto se tangenciam, se sobrepõem, complementam-se ou inexistem”, sugerindo que não há precisão na delimitação do desenho urbano. Tais sobreposições podem levar a uma compreensão ambígua sobre o enfoque do desenho urbano

Para Madanipour (2007, p.14), apesar do desenho urbano lidar com ampla gama de escalas, é possível estabelecer uma subdivisão em duas escalas distintas, que envolvem diferentes técnicas e habilidades. Trabalhar com o *master plan* de uma cidade, ou parte dela, é inevitavelmente diferente do que pensar no detalhamento de uma rua. Assim, pode-se dizer que há uma escala do desenho urbano que está mais próxima do planejamento urbano; mas há outra que pende para o lado da arquitetura ou arquitetura da paisagem. Enquanto uma abrange elementos físico-espaciais de macroescala, como configuração dos espaços públicos, distribuição das edificações e atividades, uso do solo, densidades populacionais; a

outra trata de questões de âmbito local, tais como pavimentação, mobiliário, desenho de cruzamentos, isto é, detalhes da microescala, mais voltados à materialidade do desenho. O enfoque desta tese está no desenho urbano da macroescala, o qual pode até abranger múltiplas escalas, mas que não envolve questões de materialidade e detalhamento.

Conforme Madanipour (2007), outra questão que é motivo de ambiguidade quanto ao desenho urbano se refere à sua ênfase: se seria mais visual, espacial ou social. Embora exista uma vertente do desenho urbano que remonte às tradições mais voltadas para qualidades visuais, isto é, compositivas, como, por exemplo, a abordagem de Cullen (1961), esta não é a visão predominante. Atualmente, há um certo consenso de que a natureza do desenho urbano é, na verdade, multidimensional. Para Madanipour (2007) as dimensões espaciais e sociais são fortemente interligadas à dimensão visual, pois ao moldar o espaço urbano inevitavelmente estamos lidando com seu contexto social (MADANIPOUR, 2007, p.16). Conforme Montgomery (1998), o desenho da cidade envolve atributos físicos, atividades e concepções. Para Carmona e Tiesdell (2007) desenho urbano envolve múltiplas dimensões: morfológica, cognitiva, visual, social, funcional e temporal. Logo, é possível notar que desenho urbano vai além de questões físicas, envolvendo também questões funcionais, perceptuais e outras, ou seja, possui natureza multidimensional, aspecto esse que será debatido neste trabalho.

Deve-se atentar também ao fato de o termo desenho urbano ser utilizado tanto no sentido de *produto* quanto de *processo* (MANDANIPOUR, 1996, 2007; MARSHALL; ÇALIŞKAN, 2011). Distintos autores enfatizam o desenho urbano como um *processo* que permite gerenciar e conferir forma ao ambiente urbano (DEL RIO, 1990; MADANIPOUR, 2007; REYES, 2015), e não apenas como produto acabado. A natureza desse processo será discutida ao longo da tese.

Então, no contexto desta tese, desenho urbano diz respeito à macroescala, isto é, o desenho urbano que é mais próximo do planejamento urbano, incluindo definições espaciais, como, por exemplo, a configuração viária e a alocação de usos e atividades, mas sem detalhar a materialidade. Além disso, a presente pesquisa assume o caráter processual e multidimensional do desenho urbano, na linha do que propõem os autores supracitados.

### 1.1.2 Desenho urbano e morfologia urbana

Outro ponto importante para a delimitação do tema nesta pesquisa está em esclarecer a relação entre desenho urbano e morfologia urbana. Desenho urbano é tratado neste trabalho, principalmente, quanto ao aspecto da representação, descrição e análise da forma urbana, ou seja, sob o ponto de vista da morfologia urbana. Segundo Moudon (1997), morfologia urbana trata do estudo da cidade enquanto *habitat* humano, analisando sua evolução e

identificando e dissecando seus componentes. Considerando que a cidade é decorrente de muitas ações individuais, moldadas por forças econômicas e sociais, pode-se dizer que os morfólogos estudam os resultados tangíveis dessas forças: edificações, parcelas, ruas, praças, entre outros (MOUDON, 1997).

Morfologia urbana trata do estudo da cidade, ao passo que desenho urbano trata do(s) projeto(s) para modificá-la (KRAFTA, 2014). Morfologia e desenho urbano constituem campos distintos, porém interdependentes. Morfologia urbana trata de reconhecimento e análise de padrões; desenho urbano trata de criação de padrões. São conhecimentos associados a disciplinas distintas e com diferentes tradições. Desenho urbano é ligado quase que exclusivamente à disciplina de arquitetura e urbanismo, enquanto morfologia pode incluir geógrafos e profissionais que lidam com análise espacial, isto é, possuem base científico-analítica, mas não são treinados para projetar. A conexão entre morfologia e desenho urbano nem sempre é plenamente explicitada na literatura. Conforme Çalişkan e Marshall (2011), cerca de 90% da pesquisa em morfologia urbana não tem relação direta com desenho urbano, embora não restem dúvidas de que seu bom entendimento é fundamental para bons resultados de desenho urbano.

Marshall e Çalişkan (2011) procuram estabelecer um quadro comum entre os dois campos: ambos lidam com a dimensão física do tecido urbano, isto é, a forma urbana; ambos lidam com abstração dos elementos urbanos, ou seja, algum tipo de representação; ambos lidam com distintas escalas; ambos podem ser vistos como produto e como processo. São interligados: morfologia é parte [importante] do processo de desenho urbano, enquanto desenho urbano [já implementado] é parte do que os morfólogos estudam.

A figura 1 ajuda a explicitar relações entre morfologia e desenho urbano, dentro de uma perspectiva de passado, presente e futuro. A morfologia urbana, para entender a forma urbana atual, estuda seu desenho original e sua evolução ao longo do tempo. O desenho urbano, por sua vez, propõe alterações na forma urbana, que, ao serem implementadas, modificam o tecido urbano existente.

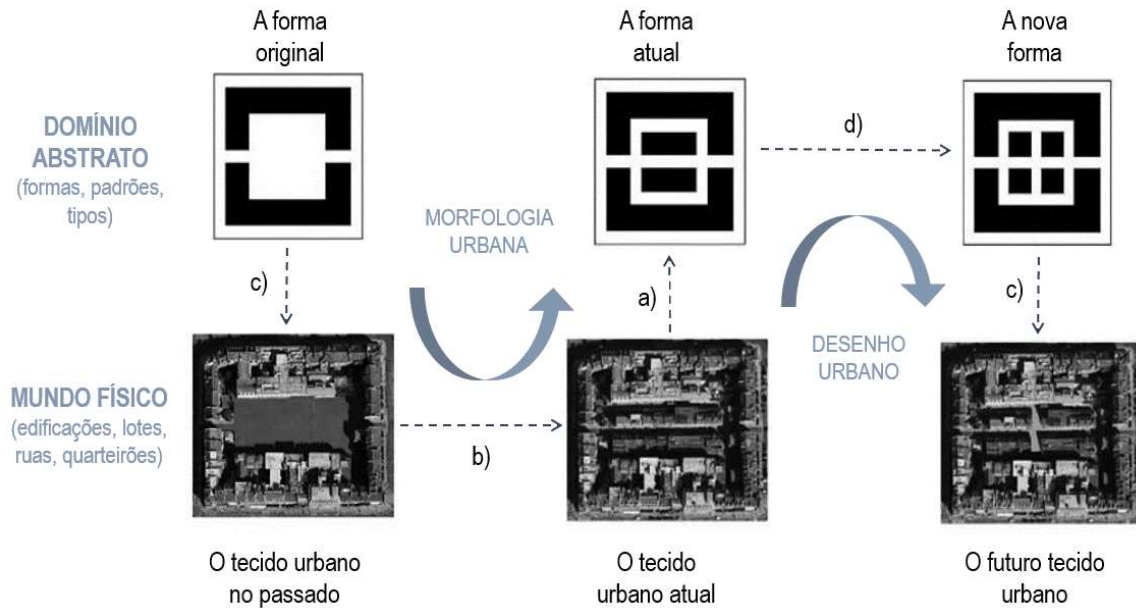


Figura 1 - Quadro unificado do desenho urbano e morfologia urbana, onde estão representados: a) processo de abstração; b) transformação ao longo do tempo; c) construção, ou seja, conversão do desenho em realidade física; d) processo de projeto. Adaptado de Marshall e Çalişkan (2011).

Para Marshall e Çalişkan, há um potencial latente a ser explorado, levando em consideração os interesses mútuos entre os campos. Os autores sugerem maior integração, já que o modo de pensar morfológico sobre o tecido urbano – incluindo seu contexto espacial e temporal-dinâmico – apresenta potencial para melhorar o processo de projeto. Assim, os autores defendem abordagens morfológica e informadas ao desenho urbano (ÇALIŞKAN; MARSHALL, 2011), o que constitui um dos enfoques desse trabalho.

A presente tese aborda a morfologia principalmente sob um enfoque configuracional, cujo potencial para aplicações em desenho urbano ainda não foi totalmente explorado. Assim, o foco de interesse encontra-se, principalmente, no desenvolvimento de metodologias de apoio ao projeto, o que insere a pesquisa na área de concentração de *sistemas de suporte à decisão em planejamento e desenho urbano*.

### 1.1.3 Christopher Alexander

Para tratar dos temas anteriormente citados, a tese parte das ideias de Christopher Alexander, teórico que tem buscado estabelecer bases científicas e filosóficas para o campo da arquitetura e urbanismo. O autor propõe uma noção de ordem que, segundo ele, auxiliaria a produzir arquitetura de melhor qualidade.

Alexander é considerado por alguns autores – Leitner (2015), Mehaffy (2015b, 2019), entre outros – como um dos mais importantes teóricos da arquitetura e urbanismo, sobretudo por levantar, desde os anos 1960, questões fundamentais sobre a projeção do ambiente

construído, buscando superar a ideia de produção arquitetônica/urbanística como algo concebido exclusivamente de forma autoral, arbitrária e subjetiva. Para Seamon (2019, p.11) o principal mérito de Alexander está no seu esforço incessante de entender os processos de projeto-construção e identificar princípios, procedimentos e ações que geram coisas, ambientes e lugares coerentes.

Seu universo teórico é vasto, denso e controverso, não cabendo aqui abordar de maneira completa todos os múltiplos aspectos de sua obra, mas sim aproximar algumas de suas contribuições de um debate sobre desenho urbano, foco deste trabalho. O autor trata de espaço e matéria de modo abrangente, fornecendo uma visão sobre configuração de formas de qualquer natureza, em qualquer escala – sejam elas produzidas pelo homem ou encontradas na natureza – do átomo ao universo. Embora não aborde especificamente e exclusivamente desenho urbano e morfologia urbana, estes campos são amplamente contemplados na temática de sua obra. Assim sendo, Alexander oferece elementos suficientes para um debate relevante a ambos os campos.

Convém destacar que o autor é mais comumente associado a obras como *Notes on the Synthesis of Form* (1964), *A Pattern Language* (1977) e *The City is Not a Tree* (1988 [1965]), que já foram amplamente abordadas na literatura<sup>1</sup>. Contudo, o foco de interesse da presente pesquisa está em alguns de seus trabalhos mais recentes e menos conhecidos, cuja obra central é *The Nature of Order – An essay on the art of building and the nature of the universe* (2002-2005), lançada em quatro volumes. A obra é fruto de mais de 20 anos de pesquisa, contando com uma publicação que lança bases iniciais – *A New Theory of Urban Design* (ALEXANDER et al., 1987) – as quais foram revistas e expandidas em *The Nature of Order*. Artigos diretamente relacionados a essa obra também constituem importantes referências para a presente pesquisa: *New concepts in complexity theory* (Alexander, 2003), no qual o autor rebate questionamentos da comunidade científica; e *Harmony-seeking computations* (Alexander, 2009) onde desenvolve a ideia do processo *harmony-seeking*.

As contribuições contidas nesse conjunto de publicações (ALEXANDER, 2002-2005; 2003, 2009) receberam, até o momento, pouca atenção no meio acadêmico, especialmente se compararmos com o grande número de citações e desdobramentos gerados a partir de suas teorias iniciais, produzidas nas décadas de 1960 e 1970. *A Pattern Language*, por exemplo, além de *best-seller*, teve forte influência no campo das ciências da computação (ANDRADE,

---

<sup>1</sup> Para uma visão geral sobre todo o conjunto da obra de Alexander ver Andrade (2011), Leitner (2015) e Mehaffy (2015b, 2019).



2011; MEHAFFY, 2019). Uma busca rápida no Google Scholar revela que *A Pattern Language*<sup>2</sup> possui mais de 12.000 citações, enquanto *The Nature of Order*<sup>3</sup> tem apenas 108.

Não significa que seja uma obra menos importante em sua trajetória, mas que ainda não foi devidamente explorada em todo seu potencial. Para Leitner (2015, p.15 e 27), *The Nature of Order* pode ser considerada a principal obra de Alexander, pois busca um novo entendimento de espaço e matéria, ou seja, uma nova maneira de perceber ordem no universo, incluindo seus processos e suas estruturas. É, provavelmente, sua obra mais ambiciosa (MEHAFFY, 2015b), como o próprio título do livro sugere (*A natureza da ordem: um ensaio sobre a arte de construir e a natureza do universo*).

Alexander não está interessado meramente na ordem geométrica e mecanicista, mas sim em uma definição de ordem que, nas suas palavras, “toque o coração” – algo que a física e a biologia não oferecem. Para o autor, as distintas definições de ordem usualmente utilizadas no meio científico fornecem, no máximo, visões parciais de ordem, insuficientes para produzir uma arquitetura mais bela e coerente. Considera que toda a noção de ordem estabelecida no século 20 é inadequada, por isso se propõe a buscar uma definição em que *ornamento* e *função* sejam vistos de modo interdependente. Alexander trabalha com a possibilidade de que a ordem observada na ciência e a ordem criada nas artes possam ser tratadas como um mesmo fenômeno. Não se trata de apenas questionar o *que é ordem*, mas sim a própria *natureza da ordem*.

*The Nature of Order* está longe de ser uma obra livre de polêmicas, assim como boa parte da produção de Alexander, de modo que foi duramente criticada. Alguns críticos consideram que suas novas teorias se distanciam dos seus trabalhos anteriores, cientificamente rigorosos, indo em direção a um certo misticismo. Mehaffy (2019) não vê fundamento para tais críticas. O autor não apenas explicita a coerência que existe ao longo da carreira de Alexander (ver seção 2.3.1), como mostra a relação que existe entre seu trabalho e o de outros cientistas e filósofos, lamentavelmente, não citados por Alexander, talvez devido ao seu estilo iconoclasta. Alexander não foi cuidadoso em mapear suas próprias ideias dentro de outros campos e, nas palavras de Mehaffy (2019, p.9), “parece alheio e até mesmo desinteressado em trabalhos similares aos seus”<sup>4</sup>. Todavia, é inegável que suas teorias encontrem sustentação na física, na filosofia e em outras áreas, inclusive, nas teorias de sistemas e teorias da complexidade. Constata-se que Alexander está em “efetiva congruência epistemológica com os princípios da

<sup>2</sup> Google Scholar. “A pattern language”. Disponível em: [https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as\\_sdt=0%2C5&q=a+pattern+language&btnG=](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=a+pattern+language&btnG=). Acesso em: 15 set. 2019.

<sup>3</sup> Google Scholar. “The nature of order”. Disponível em: [https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as\\_sdt=0%2C5&q=%22the+nature+of+order%22&btnG=](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=%22the+nature+of+order%22&btnG=). Acesso em: 15 set. 2019.

<sup>4</sup> (...) *he did seem unaware of and even uninterested at times in the similar work of others* (MEHAFFY, 2019, p.9)

teoria dos sistemas” (ANDRADE, 2011, p.26), além de discutir os processos de morfogênese e projeto sob um ponto de vista que se aproxima das abordagens da complexidade (MEHAFFY, 2015b, 2019), sendo este um aspecto de particular interesse para o presente trabalho.

É válido destacar que teorias da complexidade têm penetrado cada vez mais nos estudos urbanos e vêm contribuindo para moldar a noção de cidade como sistema complexo, além de embasar diversas aplicações de modelagem urbana e trazer novas perspectivas para o campo da morfologia e desenho urbano. *Teorias da complexidade em cidades* é um campo relativamente recente, que vem ganhando maior visibilidade nos últimos anos a partir da contribuição de pesquisadores de distintas áreas, como os físicos Geoffrey West e Luis Bettencourt, Mansueto Institute for Urban Innovation, na University of Chicago; o cientista de redes complexas Marc Barthelemy, do Institut de Physique Théorique; e o geógrafo e cientista de dados Michael Batty, do Centre for Advanced Spatial Analysis, na University College London.

Assim, o interesse de focar nesse conjunto específico de trabalhos de Alexander reside, principalmente, na possibilidade de um debate sob o ponto de vista das teorias de sistemas complexos, cujas alusões, embora estivessem presentes desde sempre em sua obra, se tornam mais explícitas nessa nova fase, especialmente a partir de *The Nature of Order*. Tal interesse advém principalmente do *background* da autora do presente trabalho, a qual já vem, desde o mestrado, explorando abordagens sistêmicas aplicadas aos estudos urbanos, mais precisamente na linha de Sistemas Configuracionais Urbanos. Nesta tese, a cidade é abordada sob um ponto de vista sistêmico e representada como uma rede, de modo que a escolha em discutir um autor com as características de Christopher Alexander não é, de modo algum, aleatória.

Em linhas gerais, o presente estudo se propõe a debater elementos da teoria de Alexander sob o ponto de vista do desenho urbano, assumindo a natureza sistêmica e complexa das cidades, suas estruturas e seus processos, com enfoque para sua descrição. Feita a delimitação do tema, o restante do capítulo apresenta a delimitação do problema de pesquisa, bem como objetivos, hipóteses, justificativas e estrutura da tese.

## **1.2 Delimitação do problema de pesquisa**

A pesquisa tem como ponto de partida questões abordadas por Christopher Alexander em *The Nature of Order* e obras relacionadas. Estes trabalhos trazem *insights* e indagações científicas que parecem abrir novas possibilidades de pesquisa, que ainda não foram

totalmente exploradas na literatura dos estudos urbanos, conforme se procura destacar nesta seção.

Um conceito-chave para Alexander é a noção de *wholeness*, ou *inteireza* – como será aqui traduzida – que se refere à característica global de uma determinada configuração. Tal característica se encontra na base dos processos de emergência de ordem, presentes, em maior ou menor grau, em todas as estruturas da natureza e naquelas criadas pelo homem. O autor enfatiza que isso não vem da configuração em si, mas de um processo, que se dá de forma incremental e que gera configurações coerentes. Existiria, assim, um nível de estrutura mais profundo sob os padrões visíveis das estruturas. Um processo de formação de *centros* seria responsável por gerar *inteireza* nas estruturas. Centros se referem a entidades que formam uma dada configuração. *Inteireza* seria, portanto, uma estrutura recursiva formada por centros, que, por sua vez, são formados por outros centros. Alexander identifica quinze propriedades que descrevem como esses centros interagem uns com outros, e como eles se ajudam mutuamente a intensificar sua força e a gerar novos centros. A aplicação sucessiva de transformações baseadas nessas propriedades é considerada por Alexander como um processo que leva à formação de estruturas vivas, belas e harmoniosas, uma vez que tais transformações buscam preservar a estrutura e aperfeiçoá-la. Tal processo é denominado pelo autor de *harmony-seeking*.

Para Alexander (2003), os cientistas que estudam fenômenos, como da biologia e da física, são passivos quanto ao aspecto da criação. Os arquitetos, por outro lado, são proponentes ativos, cujos projetos interferem direta ou indiretamente na vida das pessoas. Portanto, a criação de estruturas complexas bem adaptadas deveria se tornar um importante tópico científico. Alexander sugere que estética tem um papel decisivo na co-adaptação de sistemas complexos, ou seja, que as transformações que levam à emergência das formas na natureza e nos artefatos humanos não são aleatórias, mas obedecem a certas regras universais que conduzem à harmonia e beleza das formas (as quinze propriedades). Com isso, abre a perspectiva de tratar projeto como um problema de complexidade. As quinze propriedades, na visão do autor, ajudariam a projetar melhor, pois são uma forma de entender como se estabelecem relações entre os *centros*, de modo a gerar boas configurações.

Convém enfatizar o alto grau de abstração das quinze propriedades, da noção de *inteireza* e de toda a teoria lançada em *The Nature of Order* – obra que, não à toa, ganhou fama de beirar o misticismo e isso se deve, principalmente, à dificuldade de capturar seus conceitos de forma objetiva.

Além disso, sua teoria, não está completa. Alexander (2002, 2003, 2009) enfatiza que a noção de *inteireza* é passível de descrições matemáticas e objetivas, uma vez que as propriedades

podem ser observadas e descritas de forma precisa. Porém, o próprio autor admite que ainda não temos uma maneira de representar ou um método computacional para alcançar isso. Reconhece que seus *insights* são ainda iniciais, e propõe uma agenda de pesquisa em torno disso (Alexander, 2009). Poucos autores, no campo da arquitetura e urbanismo (SALINGAROS, 1997 e 2014 [2005]; EKINOGLU; KUBAT, 2017; JIANG, 2015 e 2016) se aventuraram a trilhar os caminhos esboçados por Alexander, embora cerca de vinte anos já tenham se passado desde a publicação de *The Nature of Order*.

A agenda de pesquisa proposta pelo autor, isto é, a operacionalização matemática de suas quinze propriedades e do processo *harmony-seeking*, constitui tema bastante instigante, sobretudo para aqueles que trabalham com modelagem computacional e com projeto. Todavia, tal escopo seria amplo demais, tendo em vista que a teoria proposta por Alexander se refere a todo e qualquer processo de geração e/ou transformação de forma, abrangendo uma infinidade de processos criativos, não apenas o desenho urbano.

Além do recorte adotado aqui, do projeto na escala do desenho urbano. É preciso assinalar que não há, no presente trabalho, intenção de assumir *a priori* que todas suas afirmações sejam totalmente verdadeiras, tampouco de validar – ou não – seus *insights*. Além do caráter abrangente de sua teoria, existem contradições com as quais se precisou lidar ao longo da pesquisa. Por exemplo, Alexander, ao longo da obra, parece indeciso quanto à uma abordagem mais objetiva ou mais intuitiva, bem como parece não reconhecer as limitações das quinze propriedades para entender o papel das partes e destas com o todo.

Assim, o problema de pesquisa da presente tese é delimitado pela investigação da possibilidade de operacionalizar o processo *harmony-seeking* sob a perspectiva do desenho urbano, procurando avançar nos *insights* de Alexander. Não é possível avançar no debate sem antes discutir a aderência dos conceitos de Alexander ao desenho e planejamento urbano e às especificidades desta escala. O problema de pesquisa se traduz em duas questões principais:

**Seria possível operacionalizar o processo *harmony-seeking*, tendo em vista uma aplicação voltada especificamente ao desenho urbano? Como avançar nas ideias de Christopher Alexander em direção a um modelo de desenho urbano?**

Com essas questões, busca-se investigar, ao mesmo tempo, os gargalos dos conceitos de Alexander para o âmbito do desenho urbano; que outras teorias poderiam vir a complementar suas ideias-chave; e como conjugar tudo isso tendo em vista o desenvolvimento de métodos voltados para o desenho urbano.

A estratégia adotada neste trabalho foi a de explorar uma possível aplicação em desenho urbano inspirada nas ideias, aproximando estas instigantes teorias do foco específico do

desenho urbano. Apesar do potencial que as teorias de Alexander parecem trazer para o entendimento de ordem do ambiente construído, foi preciso debater também contradições, limitações e dificuldades de se tentar aplicá-las ao desenho urbano. Para tal debate, foi necessária uma incursão em outros aspectos pertinentes ao tema-problema aqui delimitado, tais como: a cidade como um sistema complexo; o papel da ciência e dos métodos analíticos no desenho urbano e no processo de projeto; e, sobretudo, como a obra de Alexander se relaciona com esses temas.

### 1.3 Objetivos

A presente pesquisa pretende se pautar nas contribuições de Alexander (2002, 2003, 2009), para avançar em direção a um modelo de desenho urbano. *Modelo de design, ou modelo de projeto*, diz respeito à representação de uma filosofia ou estratégia de projeto proposta para mostrar *como o projeto é e como pode ser feito* (REYMEN, 2011). *Estratégia de projeto*, por sua vez, se refere ao plano geral de ação para um projeto e a sequência de atividades particulares – isto é, métodos – as quais o projetista espera realizar durante o processo de projeto. Ter uma estratégia significa estar ciente do que se vai fazer e como se pretende chegar lá (CROSS, 1994 *apud* REYMEN, 2011). *Modelo de desenho urbano* se refere, portanto, à formalização de uma estratégia para projetar o espaço urbano, qualificando esse processo. É precisamente isso que a presente pesquisa procura desenvolver. **O objetivo central da tese está em propor as bases teórico-metodológicas para a formalização de um modelo *harmony-seeking* de desenho urbano, isto é, um modelo inspirado, ao menos parcialmente, nas teorias de Alexander.** A pesquisa consiste em buscar elementos teóricos e metodológicos capazes de sustentar tal proposição.

Parte-se do pressuposto de que a cidade deve ser vista como um sistema complexo, ou seja, deve ser estudada sob uma abordagem sistêmica. Assim sendo, trabalha-se com a hipótese de que modelos configuracionais urbanos e métodos analíticos que capturam aspectos sistêmicos da morfologia urbana, mais especificamente aqueles baseados em grafos, já disponíveis na literatura, poderiam ser um caminho, ainda que inicial, para desenvolver um modelo de desenho urbano que explore o processo *harmony-seeking* esboçado por Alexander. Com esses elementos, busca-se esboçar as bases conceituais de uma estratégia de projeto orientada por análises espaciais, em especial aquelas que adotam uma abordagem sistêmica, como é o caso dos modelos configuracionais urbanos.

A pesquisa parte do entendimento de que tanto as teorias de Alexander quanto as abordagens baseadas em grafos contêm contribuições que permanecem subexploradas na literatura em desenho urbano. Possuem em comum uma perspectiva de redes e sistemas complexos, que

parece um elemento fundamental a ser explorado em desenho urbano, dada a natureza complexa das cidades. As teorias esboçadas por Christopher Alexander constituem um esforço ainda inicial, carecendo de discussão e interpretação. Métodos analíticos baseados em grafos, por sua vez, embora relativamente bem estabelecidos na literatura de estudos urbanos, requerem também um debate aprofundado para que se possa aproximá-los de um contexto de projeto.

Possivelmente haveria muitas, quem sabe infinitas, possibilidades de explorar aplicações de Christopher Alexander ao desenho urbano, de modo que adotar uma abordagem de grafos acaba funcionando também como um recorte para a pesquisa. As teorias de Alexander, especialmente aquelas relacionadas à obra *The Nature of Order*, são bastante sugestivas de uma abordagem sistêmica, conexão esta já apontada por outros autores (ANDRADE, 2011; JIANG, 2016). Tal perspectiva, no entanto, ainda não foi completamente explorada e aprofundada com um enfoque para as especificidades do processo de projeto na escala do desenho urbano, o que confere originalidade ao recorte adotado no presente trabalho.

Os objetivos específicos da pesquisa abrangem:

- a) Discutir possibilidades de aplicação das teorias de Alexander para um âmbito de desenho urbano, verificando limites e perspectivas;
- b) Discutir possibilidades de aplicação de modelos configuracionais urbanos para um âmbito de desenho urbano, verificando limites e perspectivas;
- c) Explorar a representação dos *centros* e suas relações sob uma perspectiva de redes, isto é, partindo do entendimento de que a cidade é um sistema de entidades interconectadas e que pode ser representada por meio de grafos;
- d) A partir da representação dos *centros* por meio de grafos, explorar a descrição e visualização de propriedades estruturais do sistema espacial urbano, verificando a existência de alguma correspondência entre medidas de centralidade desenvolvidas pelo campo de sistemas configuracionais urbanos e as quinze propriedades descritas por Alexander.
- e) Ao final do trabalho, retomar os conceitos de Alexander sob uma nova interpretação, tendo em vista o modelo proposto.

Por fim, convém lembrar que a obra de Alexander é por demais abstrata e abrangente para que se possa propor algo de forma inequívoca; e que seus conceitos requerem sempre algum nível de interpretação e, conseqüentemente, incerteza. Assim, esse trabalho se propõe a explorar apenas um possível caminho, sem a pretensão de trazer uma interpretação completa

ou definitiva da obra de Alexander. Em vista disso, cabe salientar o caráter altamente exploratório deste trabalho.

## 1.4 Justificativa e relevância

Técnicas de análise espacial não são ainda totalmente incorporados sob a forma de métodos formais no processo de desenho urbano. Consta-se certo distanciamento entre o desenho urbano – posto em prática nas cidades e até mesmo nos ateliês dos cursos de Arquitetura/Urbanismo – e os avanços recentes da ciência. Desenho urbano, geralmente, é baseado em critérios subjetivos e em condicionantes legais (SALINGAROS, 2014), dificilmente incorporando abordagens surgidas mais recentemente. Não seria exagero dizer que, na prática, predomina uma visão de projeto quase como uma “inspiração divina” (REYES, 2015).

Desse modo, o trabalho se justifica, em primeiro lugar, pela necessidade de maior aproximação do desenho urbano com métodos analíticos, em especial aqueles relacionados à morfologia urbana. Diversos autores advogam por um desenho urbano mais bem informado, isto é, baseado em dados e evidências científicas (ÇALIŞKAN; MARSHALL, 2011; HILLIER, 2006; KARIMI, 2012a). Nesse sentido, a exploração proposta nessa tese vem ao encontro do que já vem sendo discutido na literatura em termos de métodos formais, ou seja, o desenho urbano suportado por métodos analíticos.

Desenho urbano está longe de ser um tema de pesquisa já esgotado. Novos entendimentos sobre a natureza complexa das cidades, novas técnicas de análise, especialmente aquelas baseadas em grafos, bem como as teorias recentes de Alexander, justificam os esforços aqui empregados de trazer novas perspectivas para esse campo. Abordagens baseadas em grafos parecem ainda subaproveitadas para fins de desenho.

Por fim, a presente pesquisa aprofunda a discussão sobre os *insights* de Alexander, ao trazer o recorte específico do desenho urbano e o viés da complexidade. Debater a teoria de Alexander se justifica não apenas pela relevância do autor no campo da arquitetura e urbanismo, mas sobretudo por tratar de aspectos de sua obra que permanecem subexplorados no âmbito dos estudos urbanos, conforme já exposto anteriormente. Além do mais, ao longo do processo de elaboração da tese, foi apresentado em evento científico e publicado em periódico internacional artigo intitulado *Alexander's theories applied to urban design* (RAUBER; KRAFTA, 2018) contendo impressões ainda preliminares sobre o tema. O alto grau de interesse gerado pelo trabalho na plataforma *ResearchGate*<sup>5</sup> comprova o

---

<sup>5</sup> Rede social acadêmica voltada para compartilhar pesquisas (<https://www.researchgate.net/>)

interesse da comunidade científica no tema. O artigo e os índices do *ResearchGate* encontram-se no Anexo D.

## 1.5 Estrutura da tese

Tendo em vista o principal objetivo da tese – de propor as bases teórico-metodológicas para a formalização de um modelo de desenho urbano *harmony-seeking*, a metodologia empregada é, essencialmente, teórica e argumentativa, apesar de conter alguns capítulos com explorações empíricas.

Nos Capítulos 2 e 3 são feitas revisões da literatura de tópicos pertinentes aos objetivos da pesquisa. O Capítulo 2 busca verificar até que ponto é possível avançar na agenda de pesquisa proposta por Alexander em direção a um novo modelo de desenho urbano. Para isso, situa as teorias do autor em relação aos principais debates sobre a natureza complexa das cidades e sobre métodos formais de projeto e desenho urbano. Já o Capítulo 3 revisa aspectos conceituais e metodológicos da chamada abordagem configuracional e de outras abordagens baseadas em grafos aplicadas aos estudos urbanos. Este tipo de abordagem constitui a principal hipótese desta pesquisa para operacionalizar as teorias de Alexander em direção a um modelo de desenho urbano, interessando, principalmente questões relativas à representação dos elementos que compõem o sistema espacial urbano.

A partir das questões levantadas nos Capítulos 2 e 3, o Capítulo 4 faz uma síntese teórica, propondo as bases teórico-metodológicas para a formalização daquilo que seria um modelo *harmony-seeking* de desenho urbano. O modelo proposto se apoia, principalmente: nas contribuições de Alexander; na noção de desenho urbano baseado em evidências; na representação baseada em grafos e métodos analíticos desenvolvidos no âmbito de sistemas configuracionais urbanos.

Por fim, os Capítulos 5 e 6 trazem uma aplicação do modelo proposto baseada em dados empíricos, permitindo aprofundar questões de representação e visualização dos resultados, além de possibilitar discutir limitações e potencialidades do modelo proposto. O Capítulo 7 apresenta considerações finais.



## 2. CIDADE, COMPLEXIDADE E DESENHO URBANO

Este capítulo revisa as principais referências teóricas para essa tese, organizadas em três blocos. No primeiro bloco são revisados os recentes avanços da ciência das cidades e de algumas técnicas de modelagem urbana. O segundo revisa os debates clássicos sobre a natureza do desenho urbano e as tendências contemporâneas, tendo em vista o papel dos métodos analíticos para esse campo. O terceiro e último bloco traz em maiores detalhes as teorias de Christopher Alexander pertinentes ao presente trabalho. O objetivo deste capítulo está em discutir suas teorias e conceitos a partir de noções de teorias da complexidade e do debate sobre métodos formais de projeto e desenho urbano. Optou-se por apresentar esses elementos teóricos antes de introduzir as ideias de Alexander, que são centrais a esse trabalho, por três motivos: a) por uma questão de organização; b) para facilitar a compreensão dos argumentos apresentados ao final do capítulo; c) para facilitar a compreensão do universo teórico de Alexander, que é amplamente baseado em uma visão sistêmica e complexa.

Por fim, nas conclusões do capítulo, apresenta-se uma síntese teórica que traz uma primeira aproximação à questão que essa pesquisa levanta, que é a formalização de um modelo de desenho urbano inspirado nas proposições teóricas de Alexander. O presente capítulo discute as principais contradições e dificuldades metodológicas existentes na teoria de Alexander, tendo em vista as especificidades da escala urbana. Ao mesmo tempo, esse capítulo traz o estado da arte no que diz respeito ao recorte *cidade, complexidade e desenho urbano* e como esses temas se relacionam com as teorias de Alexander.

### 2.1 A cidade como um sistema complexo

Nosso entendimento sobre cidades tem evoluído a partir das contribuições das teorias da complexidade. Durante as últimas décadas, a imagem de cidade como máquina foi sendo substituída pela de um organismo (BATTY, 2007, 2013a). Para diversos autores, as cidades tendem a ser vistas mais como sistemas biológicos do que mecânicos, pois parecem ser produto mais de lentos processos evolucionários do que de grandes projetos implantados de uma só vez – muito embora grandes projetos, ou mesmo grandes catástrofes, possam engendrar significativas mudanças. Dentro dessa visão, cidades podem ser tratadas como sistemas complexos, conforme se explora nessa seção.

A seção 2.1.1 contextualiza o surgimento das teorias da complexidade, apresentando noções de abordagem sistêmica, auto-organização e sistemas complexos. A seção 2.1.2 aprofunda

a visão de cidade como um sistema complexo. Tal visão o traz como vantagem a possibilidade de incorporar novos métodos analíticos e técnicas de modelagem ao estudo da forma urbana e seus processos subjacentes, como mostra a seção 2.1.3, focada em abordagens quantitativas. A seção 2.1.4, retoma algumas das críticas que tais abordagens tem sofrido. Por fim, na seção 2.1.5, são discutidos os principais desafios que uma abordagem sob uma perspectiva de sistema complexo traz para o desenho e planejamento urbano.

## 2.1.1 Teorias da complexidade

A origem das teorias da complexidade pode ser contextualizada como parte de uma profunda quebra de paradigma ocorrida ao longo do século XX. Kuhn (1962) define um paradigma científico como uma constelação de concepções, valores e técnicas compartilhadas por uma comunidade científica, e mostra que mudanças de paradigmas ocorrem por rupturas descontínuas e revolucionárias.

A seguir são revisadas as principais abordagens e teorias que compõem o que se denomina hoje de teorias da complexidade.

### 2.1.1.1 Abordagem sistêmica

A partir do início do século XX, a visão de mundo mecanicista, com ênfase nas partes, começa a ser questionada por uma visão de mundo com ênfase no todo e nas relações entre as partes (PORTUGALI, 1999). Essa nova visão também é conhecida como *pensamento sistêmico* (CAPRA, 2006, p.33,) ou como *abordagem sistêmica* (BATTY, 2007, p.5). Tal abordagem perpassa diferentes campos do conhecimento nas primeiras décadas do século XX, como é o caso da física quântica, da psicologia da Gestalt e da ecologia. Nesse contexto, se discute a teoria geral de sistemas (BERTALANFFY, 1968) e surge a cibernética (WIENER, 1948), duas abordagens fundamentais à construção das atuais concepções de sistemas complexos.

Um sistema pode ser definido como um conjunto de elementos conectados e interdependentes. Sistemas também podem ser concebidos como tendo subsistemas atrelados através de interações, dessa forma, evocando a ideia de rede (BATTY, 2007). Na abordagem sistêmica, ao contrário do mecanicismo cartesiano, as propriedades das partes apenas podem ser entendidas pela organização do todo, isto é, dentro de um contexto mais amplo, pois alterações nas partes de um sistema trazem consequências para o todo, e vice-versa. Não por acaso, a ideia de que *o todo é maior que a soma das partes*, do filósofo Christian von Ehrenfels, torna-se um dos conceitos centrais para os pensadores sistêmicos (CAPRA, 2006, p.42).

As teorias de sistemas são preponderantemente matemáticas, mas oferecem visão muito mais ampla, a qual transcende as aplicações estritamente tecnológicas ou matemáticas. Isso é precisamente o que Bertalanffy (1968) propõe em *General System Theory* – uma compilação de artigos produzidos entre as décadas de 1940 e 1960 – mas cujas noções já vinham sendo desenvolvidas desde os anos 1920. Bertalanffy inicia seus estudos no campo da biologia, desenvolvendo a ideia de organismo como sistema aberto, mas logo percebe potencial para a formação de uma teoria interdisciplinar. Ao investigar princípios básicos interdisciplinares, propõe uma forma abrangente de descrever fenômenos de diferentes domínios, da natureza à sociedade.

Na época, Christopher Alexander também já explorava o conceito de sistema, demonstrando especial interesse nas relações das partes com o todo e no seu caráter holístico. Para Alexander (1980 [1971], p.57-58) “Um sistema entendido como um todo não é um objeto, mas uma maneira de ver um objeto. Reside em um fenômeno holístico que somente pode ser entendido como um produto da interação entre as partes”. Propõe que para chamar algo de *sistema* é preciso definir com clareza: a) o comportamento holístico que se deseja enfatizar; b) as partes e as interações que produzem o comportamento holístico; c) o modo como a interação entre as partes produz o comportamento holístico (ALEXANDER, 1980 [1971], p.61). Assim, para o autor, sistema refere-se a um esquema abstrato de qualquer comportamento holístico específico.

#### 2.1.1.2 Auto-organização

Paralelamente ao desenvolvimento de uma teoria geral de sistemas, desenvolvia-se também o campo da cibernética – termo proposto por Wiener (1948). Cibernética se refere à “ciência do controle e da comunicação, no animal ou na máquina” (WIENER, 1948). Além de impulsionar o desenvolvimento da computação e do uso da lógica matemática para entender o funcionamento do cérebro, a cibernética introduz um conceito-chave para o pensamento sistêmico e para as ciências da complexidade: retroalimentação, ou *feedback*, no termo em inglês. *Feedback* surge a partir da interação entre os elementos. Esse conceito é fundamental para o entendimento de fenômenos não lineares e decisivo para a ideia de auto-organização.

Auto-organização é um dos conceitos-chave dentro das teorias da complexidade. Se refere ao fenômeno pelo qual um sistema se auto-organiza internamente, independentemente de fatores externos (PORTUGALI, 1999, p.49). Não significa que fatores externos não existam, mas que há uma lógica interna que não é afetada por mudanças externas. A auto-organização envolve a emergência de novas estruturas, em sistemas abertos e longe do equilíbrio,

caracterizados pela conexão não-linear entre os componentes, isto é, com laços de realimentação internos (CAPRA, 2006).

Auto-organização não se trata de uma teoria única, mas sim um termo guarda-chuva para distintas abordagens teóricas que exploram essa noção (FARIA, 2002, p.25; PORTUGALI, 1999, p.49), como, por exemplo, teoria da sinérgica, estruturas dissipativas, teoria de Gaia e criticalidade auto-organizada, dentre outras<sup>6</sup>. Portugali (1999, 2016) destaca a influência que algumas dessas tiveram para os estudos urbanos, ao levarem, por exemplo, Peter Allen (1997) a elaborar as primeiras teorias de complexidade em cidades e regiões; e a reformular a teoria dos lugares centrais com base na noção de estruturas dissipativas (ALLEN; SANGLIER, 1981).

### 2.1.1.3 Sistemas complexos

Sistemas complexos podem ser definidos aproximadamente como sistemas não-lineares formados por componentes capazes de produzir padrões emergentes, de forma auto-organizada. Conforme Faria (2002, p.17), a definição de sistemas complexos ainda não é plenamente consolidada dentro da ciência, embora exista consenso de que o foco está na relação entre os objetos ou entre as partes e nos efeitos que tais relações produzem.

Sistemas complexos se caracterizam principalmente por<sup>7</sup>: i) serem constituídos por componentes que interagem de modo não-linear, o que significa dizer que o todo é mais do que a soma das partes; ii) não haver controle central – o sistema se *auto-organiza* de modo descentralizado, de baixo para cima (*bottom-up*) e não de cima para baixo (*top down*); iii) apresentarem comportamento emergente, ou seja, sua evolução se dá com base em aprendizado e adaptação, que ocasiona a emergência de novos padrões. Conforme Batty (2013a), o reconhecimento de que sistemas funcionam sob uma lógica de baixo para cima é uma mudança fundamental em relação às primeiras noções lançadas na teoria geral de sistemas.

As questões centrais para o estudo dos sistemas complexos são<sup>8</sup>: i) dinâmica: estudo das contínuas mudanças na estrutura e o comportamento dos sistemas; ii) informação: estudo da representação, símbolos, comunicação; iii) computação: estudo de como sistemas processam informação e agem sobre os resultados; iv) evolução: estudo de como os sistemas evoluem e se adaptam.

<sup>6</sup> Para uma visão geral introdutória a essas teorias ver Capra (2006).

<sup>7</sup> Adaptado do curso online *Introduction to Complexity*, do *Complexity Explorer - Santa Fe Institute*

<sup>8</sup> Adaptado do curso online *Introduction to Complexity*, do *Complexity Explorer - Santa Fe Institute*

Conforme Haken (2012), uma das principais finalidades dos estudos da complexidade está no desenvolvimento de ferramentas matemáticas e computacionais que levem ao cruzamento de conhecimentos disciplinares. No entanto, o desenvolvimento de uma teoria geral da complexidade que unifique diferentes disciplinas ou mesmo a ideia de uma *ciência da complexidade* ainda são questões controversas (HAKEN, 2012). De qualquer forma, os conceitos, princípios e teorias desenvolvidos pela complexidade têm sido absorvidos por diversos campos. As teorias relacionadas à auto-organização, por exemplo, tão logo surgem na física, química e matemática, passam a ser discutidas, aplicadas e elaborados em diversos outros domínios científicos (PORTUGALI, 1999, p.51).

Um dos campos que tem explorado abordagens da complexidade é justamente o dos estudos urbanos, já que a natureza das cidades propicia um entendimento como fenômeno da complexidade organizada. A próxima seção aprofunda a noção de cidade como sistema complexo, e revisa como as distintas teorias da complexidade têm influenciado e sido incorporadas nos estudos urbanos, gerando um campo de estudo conhecido como Teorias da Complexidade em Cidades (*Complexity Theories of Cities*).

### 2.1.2 Teorias da complexidade em cidades

As teorias da complexidade de cidades podem ser vistas como um campo de pesquisa interdisciplinar, com engajamento de geógrafos, planejadores, urbanistas, matemáticos, físicos e outros (PORTUGALI, 2012). Esse campo de estudo tem fornecido base teórica e formalizações matemáticas à noção de cidade como sistema complexo, que inicialmente foi sugerida por Jane Jacobs (1961) e Christopher Alexander (1964, 1965).

Jane Jacobs (2007 [1961]), com base nas contribuições de Weaver (1948), sugere que os problemas das cidades entram na categoria de complexidade organizada. Weaver havia classificado os problemas matemáticos em: a) *problemas de simplicidade elementar*, com poucas variáveis, geralmente duas apenas, que podem ser mensuradas com precisão e verificadas relações entre elas (exemplo: pressão e volume); b) *problemas de complexidade desorganizada*, com muitas variáveis, que interagem de forma desorganizada (probabilidades e mecânica estatística); c) *problemas de complexidade organizada*, com moderado número de variáveis inter-relacionadas num todo orgânico, isto é, que interagem de modo não-linear (problemas da biologia e comportamento de grupos sociais).

Jacobs captura a natureza das cidades:

“As cidades, mais uma vez como nas ciências biológicas, não apresentam *um* problema de complexidade organizada que, se compreendido, é a explicação de tudo. Elas podem ser analisadas sob vários desses problemas ou segmentos que, como nas ciências biológicas, estão também inter-

relacionados. As variáveis são diversas, mas não são desordenadas; elas estão inter-relacionadas num todo orgânico. (JACOBS, 2007 [1961], p.482).

Alexander (2015 [1965]), em *A City is not a tree*<sup>9</sup>, apresenta também uma notável visão de cidade como sistema complexo, segundo a qual a cidade não pode ser considerada uma estrutura totalmente hierárquica – uma árvore – mas sim uma semitráma (*semilattice*), que é uma estrutura complexa, com sobreposições e ambiguidades. A cidade é cheia dessas estruturas sobrepostas e ambíguas, que são responsáveis por sua riqueza e complexidade. O autor considera que um dos grandes problemas das cidades artificiais [planejadas], como Brasília, reside no fato de ser pensada como uma árvore, com hierarquia rígida, em contraste com as cidades naturais (não-planejadas), que exibem a verdadeira natureza das cidades, isto é, com inúmeras sobreposições de estruturas, atividades e grupos sociais. As tais estruturas em semitráma de Alexander são, na verdade, princípios de organização, não formas físicas – ou seja, são estruturas abstratas, conforme bem colocado por Porta, Rofè e Vidoli (2015). Para Batty (2015), a principal contribuição deste trabalho de Alexander está em reconhecer que a variedade de interconexões existentes no mundo é tal que sobreposições de subsistemas são necessárias e inevitáveis, e isso gera diversidade. Bettencourt (2015) destaca que sua ousada inovação está em colocar os problemas da arquitetura no mesmo nível dos da física e da biologia e em procurar respostas usando métodos científicos, expressos em linguagem matemática.

Jacobs e Alexander foram pioneiros no entendimento da estrutura complexa das cidades ao descrevê-la de modo mais realista do que a geometria simplista do modelo previamente idealizado pelo CIAM – Congresso Internacional da Arquitetura Moderna (SALINGAROS, 2014, p.173). Enquanto os arquitetos do CIAM entendiam a cidade como uma máquina, estes autores inauguraram um novo entendimento, de cidade como organismo complexo.

Para Portugali (2016), Peter Allen (ALLEN; SANGLIER, 1981; ALLEN, 1997) foi o primeiro a formalizar, de fato, uma teoria da complexidade de cidades, estruturada em princípios de auto-organização. Desde então, diversos pesquisadores têm se ocupado de estudar, não apenas a estrutura urbana (padrões e configuração), mas também as dinâmicas (processos) que moldam seu crescimento (BATTY, 2005, 2008, 2013a; PORTUGALI, 1999; PORTUGALI et al., 2012; PORTUGALI; STOLK, 2016; SALAT; BOURDIC, 2012 – apenas para citar alguns), sustentando que as cidades apresentam características que sugerem fortemente que possam ser entendidas como sistemas complexos.

---

<sup>9</sup> Mehaffy (2015a) organizou recentemente uma edição comentada sobre *The city is not a tree*, com autores da área de sistemas urbanos, como Michael Batty, Luis Bettencourt e Sergio Porta, entre outros. Cabe ressaltar que esse é um dos mais importantes e famosos trabalhos de Alexander.

Para Portugali (1999, p.45-47) cidades podem ser consideradas: i) sistemas abertos, já que trocam matéria, energia, informações e pessoas com o ambiente; ii) sistemas complexos, já que não é possível descrevê-las em termos de causa e efeito, nem de probabilidades; iii) imprevisíveis e caóticas, uma vez que se auto-organizam independentemente de regras de planejamento urbano, uma vez que a ordem global emerge de interações locais. Para Batty (2013a) sistemas como as cidades não podem ser pensadas como estruturas em equilíbrio, dada sua natureza essencialmente *bottom up*.

Portugali aponta um dilema inerente à ideia de cidade como sistema complexo: “cidades também são enormes artefatos e artefatos são essencialmente sistemas simples. Então, o que faz de uma cidade um sistema complexo?”<sup>10</sup>. O autor explica que a cidade, vista apenas como um conjunto de componentes materiais, como, por exemplo, edificações e ruas, é, sem dúvida, um sistema simples. Por outro lado, a cidade tida sob o ponto de vista de seus componentes humanos, isto é, agentes em constante interação, pode ser considerada um sistema complexo. Então, pode-se dizer que a cidade é um sistema híbrido, simples e complexo ao mesmo tempo. “Os agentes urbanos por meio de suas interações - entre eles próprios, com os componentes materiais e com o ambiente - transformam o artefato cidade em um sistema complexo artificial”<sup>11</sup> (PORTUGALI, 2016, p.5).

Portugali (2006, 2012) enfatiza a distinção entre sistemas naturais e artificiais, justamente pelo fato de a cidade ser um artefato, então não é comparável a outros tipos de sistemas. A principal diferença é que a cidade possui, como componentes, agentes, isto é, humanos, que são cognitivamente diferentes de animais, células e moléculas. A cidade, enquanto artefato, é produto de objetivos, intenções, planos e projetos (PORTUGALI, 2006, p.656)

Corroborando a noção de cidade como sistema complexo, alguns autores (HOLLING; GOLDBERG, 1971; ALBERTI, 2008; ROMICE et al., 2017), sob viés ecológico, abordam a cidade como um ecossistema. Holling e Goldberg (1971), nos anos 1970, já faziam um apelo para uma radical mudança na abordagem às cidades, argumentando que as cidades exibem quatro propriedades similares às dos sistemas ecológicos: i) caracterizadas não apenas por suas partes, mas também pela interação entre elas; ii) enquanto produto histórico, apresentam caráter evolutivo, isto é, são constituídas ao longo do tempo; iii) enquanto entidades espaciais, possuem significativas interações espaciais, o que significa que, além de serem afetadas por eventos que ocorrem ao longo do tempo, são afetadas por eventos em diferentes locais; iv) enquanto sistemas não lineares sua dinâmica exhibe limites, limiares e descontinuidades.

---

<sup>10</sup> *But there is a dilemma here as cities are large-scale artifacts and artifacts are essentially simple systems. So what makes the city a complex system?* (PORTUGALI, 2016, p.3).

<sup>11</sup> *(...) the urban agents that by means of their interaction—among themselves, with the city’s material components and with the environment—transform the artifact city into the complex artificial system city* (PORTUGALI, 2016, p.5).

Conforme Romice et al. (2017), a cidade não se desenvolve em direção a um estado final, mas passa por constantes flutuações dentro de um domínio de estabilidade ao longo de uma trajetória que nunca termina. Esta estabilidade é o que se entende por resiliência urbana. Alberti (2008), de modo similar a Portugali (2012), aponta diferenças entre ecossistemas ecológicos e o ecossistema urbano. O ecossistema urbano apresenta padrões e fluxos não observáveis na natureza.

Para Salat, Bourdic e Labbe (2014), o desafio para as teorias de complexidade em cidades está em entender as ligações entre morfogênese, eficiência e resiliência, bem como a relação entre auto-organização e planejamento urbano. A quantidade de agentes operando simultaneamente na cidade sugere um processo emergente e auto-organizado de crescimento urbano. Por outro lado, o planejamento tem papel importante ao indicar diretrizes gerais, mas pode ser pensado como algo externo ao processo auto-organizado de desenvolvimento da cidade.

Para além de questões conceituais, o entendimento de cidade como sistema complexo, serve de embasamento para a construção de novas abordagens de modelagem e métodos analíticos que, rapidamente, vêm se multiplicando e se desenvolvendo – BOEING, 2018; STRANO et al., 2012; LOUF; BARTHELEMY, 2013; SPHUZA, 2014; KRAFTA, 2013, apenas para citar alguns. Autores, como Batty (2013a), Salat, Bourdic e Labbe (2014), começam a falar em uma *ciência das cidades*, tendo em vista o engajamento, não apenas de planejadores e urbanistas, mas também de físicos, matemáticos e cientistas da computação no estudo das cidades e desenvolvimento de novas abordagens quantitativas. Para Batty (2008), aos poucos vem se formando teorias integradas sobre os processos evolutivos das cidades, ligando conhecimentos de economia urbana e transporte a conhecimentos da ciência das redes, alometria e geometria fractal. Talvez ainda seja cedo para afirmar que se trate, de fato, de uma ciência. Contudo, o termo *ciência das cidades* é empregado nesse trabalho para se referir às teorias da complexidade em cidades.

### 2.1.3 Abordagens quantitativas

O principal papel das teorias da complexidade em cidades tem sido o desenvolvimento de abordagens quantitativas. Procedimentos analíticos de outros campos do conhecimento vêm sendo importados para o estudo das cidades, para o desenvolvimento de novas técnicas de análise, modelagem e simulação. Faria (2002, p.19), com base em Couclelis (1986), enfatiza que “o objetivo da modelagem e simulação não é espelhar o sistema representado, mas sim recriar o sistema de forma a tornar explícitos seus elementos, relações e possibilidades de comportamento.” Faria (2002) destaca também o potencial que simulações elaboradas dentro



do paradigma sistêmico possuem para gerar *insights* sobre o comportamento dos sistemas envolvidos.

A matemática da complexidade, desenvolvida a partir dos anos 1950, envolve equações não-lineares, geometria fractal e números complexos, entre outros. Tais ferramentas possibilitaram a formalização das teorias de auto-organização e têm sido fundamentais na compreensão de fenômenos de dinâmica não linear, pois seu enfoque está no estudo de relações e padrões. A teoria do caos e da criticalidade auto-organizada, por exemplo, exploram esse tipo de dinâmica complexa. E mais recentemente, o estudo de redes complexas têm obtido enorme progresso, a partir das pesquisas de Newman, Barabási e Watts (2006), entre outros.

Esse ferramental tem sido utilizado para o desenvolvimento de técnicas de modelagem e simulação para o estudo de cidades. Existem diversas formas de capturar a complexidade da forma urbana (BATTY, 2005; BATTY; LONGLEY, 1994; BOEING, 2018), podendo abranger aspectos temporais, espaciais ou ambos. A seguir são destacadas duas abordagens que vêm sendo exploradas nos estudos urbanos.

### 2.1.3.1 *Fractais e leis de escala*

Propriedades como auto-similaridade e invariância espacial entre diferentes escalas, próprias da geometria fractal (MANDELBROT, 1983) começam a ser reconhecidas a partir dos anos 1980, quando cidades também passam a ser interpretadas como fractais (BATTY e LONGLEY, 1994). A dimensão fractal mensura a complexidade da forma. Pode ser utilizada para medir, por exemplo, quanto a complexidade dessa forma muda a cada escala, para verificar a existência de auto-similaridade entre escalas.

Mais recentemente, a questão das escalas vem ganhando cada vez mais atenção, uma vez que técnicas de escalonamento (*scaling*) e alometria têm sido incorporadas aos estudos urbanos. São conceitos importados de estudos da física e biologia, em especial relações de escala entre metabolismo e massa corporal de animais. Alometria estuda padrões de crescimento – mais especificamente, trata do crescimento das partes de um sistema que estão correlacionadas com as mudanças no seu tamanho como um todo. Sphuza (2014) diferencia dois tipos de alometria: *ontogenetic* e *allomorphosis*. O primeiro seria para estudar relações alométricas em um indivíduo, ou uma cidade, e o segundo, para comparar diferentes indivíduos, ou cidades. Relações alométricas são verificadas através de leis de potência (*power laws*). As leis de potência são consideradas uma espécie de assinatura da invariância de escala em um sistema, o que significa que certas propriedades permanecem imutáveis dentro de um fator multiplicativo sob transformações na escala de uma variável independente (FARIA, 2010, p.40). Batty (2013a) destaca algumas categorias de leis de escala encontradas

nas cidades. Uma delas diz respeito à frequência de tamanhos, sendo Zipf (1949) um dos pioneiros a verificar relações de escala desse tipo nas cidades (*rank size rule*).

Para o físico West (2006, p.71), “leis de escala tipicamente refletem, e, frequentemente, revelam os princípios gerais que existem sob a estrutura de um problema físico”<sup>12</sup>. Os estudos relacionados às leis de escala nas cidades (*urban scaling*) sugerem fortemente a existência de propriedades de escala em sistemas urbanos. Achados empíricos recentes mostram que algumas métricas nas cidades, como, por exemplo, taxa de criminalidade, renda total e número de patentes, são função do tamanho total da população (BETTENCOURT; WEST, 2010; BETTENCOURT, 2013). Para Batty (2008, 2013), as leis de escala surgem, provavelmente, da intensa competição por espaço.

Para Salat, Bourdic e Labbe (2014, p.77)

“Regularidades matemáticas emergem em cidades resilientes, oriundas de propriedades independentes de escala de sistemas complexos que apresentam o mesmo nível de complexidade através de diferentes escalas. Assumem a forma de leis de potência invertidas, que são a assinatura da complexidade.”<sup>13</sup>

Batty (2013) destaca ainda o papel das interações sociais na relação de escala verificada entre tamanho de população e atributos como inovação, renda e outros. É bastante provável que nesse ponto estejam as explicações para as regularidades empíricas dos trabalhos de Bettencourt e West. As cidades possuem o papel de juntar pessoas, cuja interação e compartilhamento de ideias acaba gerando novas ideias, novas atividades econômicas. Conforme Batty, a pesquisa de ponta, hoje, busca justamente entender como as redes se interconectam e se relacionam, em outras palavras, como os padrões morfológicos operam, sendo manifestações físicas de processos sociais e econômicos, e como influenciam esses processos.

### 2.1.3.2 Redes espaciais

Na fronteira entre os recentes avanços da ciência das cidades e da modelagem urbana, existem estudos que encontram sustentação nos estudos de redes, abordando o fenômeno urbano sob um ponto de vista sistêmico, isto é, que tratam a cidade como uma rede composta de partes interconectadas. Nas últimas décadas, teorias de redes complexas têm fornecido importantes contribuições para a caracterização quantitativa de padrões de redes de ruas.

<sup>12</sup> *Scaling laws typically reflect, and often reveal, the general principles underlying the structure of a physical problem* (WEST, 2006, p. 71).

<sup>13</sup> *Mathematical regularities emerge in resilient cities, coming from the scale-free properties of complex systems that present the same level of complexity across their different scales. They take the form of inverse power laws that are the « signature » of complexity.* (SALAT; BOURDIC; LABBE, 2014, p. 77).

Diversos estudos mostram que a rede de ruas desempenha um papel central não só na organização de áreas urbanas, mas também para os processos dinâmicos que ali ocorrem e para a evolução do sistema urbano em geral.

Conforme Salingaros (2014, p.132), o entendimento da evolução da morfologia urbana passa pelo exame das alterações de conexões ao longo do tempo. O autor propõe a compreensão da rede urbana através da teoria dos grafos. Por isso, salienta três princípios importantes: a) nós de atividades humanas, isto é, qualquer ponto que atraia pessoas, desde edificações com moradia ou trabalho, até uma barraca de cachorro-quente; b) conexões que se formam entre os nós; c) hierarquia ordenada de nós e conexões em diferentes níveis de escala. A coerência urbana seria dada justamente por uma boa distribuição hierárquica.

Endossando essa ideia, Salat e Bourdic (2012, p.60) sugerem que “o caráter evolutivo das cidades diz respeito não apenas a formas e funções, mas também a um terceiro tipo de elemento: conectividade”<sup>14</sup>. Para os autores, as conexões são o elemento mais fundamental da resiliência das cidades, contribuindo para gerar cidades vivas e sustentáveis. Argumentam também que podemos nos inspirar nos sistemas vivos para entender como projetar prédios, cidades e regiões sustentáveis. Para Salat e Bourdic (2012) a resiliência é maior quando se configura de acordo com uma estrutura *scale-free*, ou seja, estes autores também destacam a questão das relações hierárquicas entre componentes.

#### 2.1.4 Teorias da complexidade em cidades: visão crítica

Portugali (2012) vê com otimismo o potencial das aplicações de teorias da complexidade em cidades, ao mesmo tempo em que tece algumas críticas. Admite que até o momento essas teorias pouco contribuíram com os problemas das cidades do século XXI e que as pesquisas na área, muitas vezes, ainda seguem um viés mecanicista, sem, de fato, incorporar as noções de sistemas complexos.

Conforme Portugali (2012, p.51), existiam originalmente duas culturas de cidades, isto é, duas abordagens. A primeira, quantitativa-positivista, advogava por abordagens quantitativas-científicas e a segunda, com proponentes do estruturalismo, marxismo e fenomenologias (e mais recentemente pós-modernismo), advogava por abordagens qualitativas, hermenêuticas e críticas. Conforme o autor, nas pesquisas urbanas entre os anos 1950 e meados dos anos

---

<sup>14</sup> *The evolving nature of cities is linked not only to forms and functions but also to a key third element: connectivity.* (SALAT; BOURDIC, 2012, p.60)

1970<sup>15</sup> houve predominância da abordagem quantitativa e, nas últimas três décadas, da abordagem qualitativa.

Portugali (2012) argumenta que as teorias da complexidade em cidades têm potencial, não só para lidar com problemas do século XXI, mas também para superar essa divisão. O autor vê essas teorias como uma terceira cultura de cidades, ou seja, uma terceira forma de abordagem, inaugurada por Jacobs e Alexander, que, assim como as teorias sociais é crítica à primeira cultura (positivista).

Para Gurr e Walloth (2014), abordagens quantitativas ou qualitativas isoladamente não são capazes de entender e lidar com sistemas urbanos complexos, por isso os autores defendem abordagens transdisciplinares. No entanto, reconhecem que ainda falta uma base conceitual bem-fundamentada para o desenvolvimento de metodologias e estratégias de modelagem da complexidade urbana que seja realmente transdisciplinar.

### 2.1.5 Sistemas complexos e desenho urbano

Para Boeing (2018) uma abordagem sob o ponto de vista da complexidade problematiza racionalidade e certeza no desenho e planejamento urbano, fornecendo lentes para abordar problemas mal definidos – *wicked problems* (RITTEL; WEBBER, 1973) – como é o caso em desenho e planejamento urbano. Na mesma linha, Gurr e Walloth (2014) sustentam que o entendimento de cidade como sistema complexo traz uma visão crítica a certas “receitas” de boas práticas em desenho e planejamento urbano, porque sistemas tendem a responder de forma diferente a intervenções similares. Por isso, entendem que os profissionais que lidam com desenho e planejamento urbano deveriam se engajar no diálogo com pesquisas sobre sistemas urbanos complexos.

Duas publicações surgidas a partir de conferências sobre teorias da complexidade em cidades, na Universidade de Delft, abordam este tema: *Complexity Theories of Cities Have Come of Age - An Overview with Implications to Urban Planning and Design*, organizado por Portugali e outros (2012), e *Complexity Cognition, Urban Planning and Design*, editado por Portugali e Stolk (2016). Boa parte desses trabalhos exploram a questão da cognição nos processos de planejamento e desenho urbano. Portugali (2016) trata da dualidade entre representações externas (da cidade de fato) e representações internas (a cidade

---

<sup>15</sup> Portugali (2012) retoma as duras críticas feitas aos estudos urbanos da linha quantitativa-positivista, nos anos 1970, como, por exemplo, aquelas feitas por David Harvey (1973), para quem os urbanistas quantitativos estavam distantes dos problemas reais das cidades. As críticas dessa época resultaram na separação dos estudos urbanos em dois campos distintos.

cognitivamente estruturada na mente das pessoas), enquanto Kelso, Stolk e Portugali (2016) as tratam como pares complementares no processo de projeto.

O entendimento de cidade enquanto sistema complexo abre novas possibilidades de se pensar seu planejamento e desenho. Auto-organização sugere que ordem e regularidade podem emergir espontaneamente como um processo que opera puramente sob lógicas *bottom-up*. Planejamento e desenho urbano pressupõe exatamente o oposto: que ordem e organização passam a existir a partir do mérito de um projetista de maneira *top-down*. Segundo Portugali (2016), a perspectiva de sistemas complexos abre potencial para um novo campo de estudo no qual planejamento e desenho urbano não sejam tratados como intervenções externas dentro de um processo urbano complexo e espontâneo, mas sim como elementos integrais nessa dinâmica. A grande questão está em como fazer isso.

Krafta (2014, p.32-33) reforça a visão de cidade como fenômeno auto-organizado, ao sugerir que “(...) nenhum projeto global [*top-down*] seria capaz de gerar e ao mesmo tempo controlar a evolução de uma forma urbana duradoura”. Por outro lado, “Uma profusão de projetos, desenvolvidos e implementados de forma independente, por muitos agentes [*bottom-up*], públicos e privados, interagindo entre si, produzem, a cada momento, uma forma urbana resultante, ou seja, não intencional, na escala macro” (KRAFTA, 2014, p.33).

A visão de Batty (2016) também converge para a ideia de desenho urbano como um processo, que acima de tudo possui caráter complexo e multifacetado. Segundo o autor, alguns até podem argumentar que um projeto pode ser elaborado em momentos instantâneos de inspiração, mas isso é raro. O mais comum é que seja elaborado de forma iterativa. Para o autor, o projeto é sequencial, baseado em um processo de argumentação, onde frequentemente as formas que estão sendo projetadas correspondem a interesses distintos entre muitos participantes, cujo contexto é frequentemente político. Assim, “projeto é inerentemente complexo e os processos que caracterizam sistemas complexos possuem analogias úteis” (BATTY, 2016, p.22).

Inspirado na obra de Alexander e em sua visão algorítmica, Salingaros (2014) sugere que o bom projeto é adaptativo, isto é, segue um processo que só funciona bem se tiver mecanismos de *feedback*. O autor explora também a ideia de desenho urbano como um processo algorítmico (Salingaros, 2012), onde a morfogênese urbana seria uma sequência de computações, ou seja, adições (cômputos), que transformam *input* desorganizado em *output* organizado. Para o autor, o que os urbanistas fazem é, nada mais nada menos, do que computação – embora poucos vejam ou discutam seu trabalho dessa maneira. Sugere repensar o desenho urbano usando algoritmos como modelo. Um algoritmo é uma sequência de passos prescritivos que levam a um resultado. Uma computação urbana usa dados (regras,

restrições, pré-existências) para a tomada de decisão em desenho urbano. Sob o ponto de vista matemático, a computação transforma os dados iniciais em um resultado. O desenho final é acúmulo de muitas decisões individuais de desenho.

Dovey e Pafka (2016) reconhecem a importância do desenvolvimento de pesquisas que ajudam a entender como as cidades funcionam por meio de técnicas de modelagem (trabalhos de Batty e Bettencourt, por exemplo), muito embora admitam que o conhecimento em desenho urbano seja bem mais amplo, abarcando também ciências naturais, sociais, artes e humanidades. Argumentam que o desenho urbano deve eliminar dicotomias como objetividade e subjetividade, ou ciências e humanidades. Sugerem que um caminho para isso seria unificar as ciências da complexidade com o quadro teórico social, e que o desafio está em avançar em direção a abordagens que liguem espacialidade e sociedade. Esse tipo de abordagem pode ser encontrado no trabalho seminal de Christopher Alexander e de Jane Jacobs, e, no contexto mais recente, isso tem sido perseguido pelo campo de sistemas configuracionais urbanos (COLUSSO, 2015; HOLANDA, 2012; KRAFTA, 1996, 2014; NETTO, 2014; PAROLI, 2019, ZECHLINSKI, 2013 – apenas para citar alguns), porém geralmente com ênfase mais analítica do que projetual.

### 2.1.6 Conclusões da seção

Esta seção procurou mostrar a visão de cidade como sistema complexo, que cresce e se desenvolve por pequenas ações individuais – orientadas ou não pelo planejamento global, mas com protagonismo dos processos *bottom-up*. Conforme visto, diferentes estudos têm mostrado que as cidades exibem propriedades semelhantes às dos sistemas complexos naturais, o que significa que modelos matemáticos desenvolvidos para estudar sistemas complexos naturais podem ser aplicados também às cidades. Isso torna possível quantificar/medir aspectos importantes da estrutura e da dinâmica urbana, mas conforme Portugali (2016) pontua, há que se levar em conta uma dificuldade extra: as cidades não são exatamente sistemas complexos naturais. A diferença fundamental é que as cidades, enquanto sistemas complexos artificiais, possuem como componentes agentes, cujos objetivos e intenções são distintos e variados. Além disso, há que se considerar a capacidade de aprendizado e a multiplicidade de escalas de interação, envolvendo indivíduos e diferentes grupos de indivíduos ou instituições.

De qualquer forma, novos conjuntos de dados e técnicas desenvolvidas no âmbito dos estudos da complexidade estão possibilitando que sejam testadas teorias sobre como as cidades funcionam e se modificam ao longo do tempo. Batty (2013a) aponta diversos

caminhos para desenvolvimentos futuros, sugerindo que tais abordagens venham a avançar rapidamente nas próximas décadas.

Assim sendo, a bibliografia vista nesta seção mostra uma série de teorias e abordagens que reforçam o potencial disponível para um desenho urbano cada vez mais amparado por dados e análises espaciais. O maior desafio está em como fazer com que métodos analíticos passem a fazer parte do processo de desenho urbano. A próxima seção aborda como isso vem sendo pensado tanto sob o ponto de vista dos debates clássicos sobre métodos de *design*, quanto sob o ponto de vista do contexto mais recente, de retomada de interesse em métodos formais quantitativos.

## 2.2 Desenho urbano e métodos analíticos

Teorias e pesquisas em *design* abrangem tanto o estudo do projeto de forma independente de domínio, quanto o projeto contextualizado a algum domínio particular, isto é, alguma disciplina, como, por exemplo, arquitetura e urbanismo (REYMEN, 2011). Para essa tese interessa o domínio específico do desenho urbano, apesar de muitos dos trabalhos citados se referirem a teorias mais genéricas de projeto, isto é, independente de domínio.

Tradicionalmente, o campo do desenho urbano se baseia em uma série de trabalhos considerados clássicos, tais como Kevin Lynch (1960), Jane Jacobs (1961), Gordon Cullen (1961), Ian McHarg (1969), Martin e March (1972), Jan Gehl (1987), Christopher Alexander (ALEXANDER et al., 1977; ALEXANDER, 1979), Bill Hillier (HILLIER; HANSON, 1984; HILLIER et al., 1993), entre outros. As ideias desses e outros autores vêm sendo debatidas, criticadas, testadas, desenvolvidas e estendidas por muitos pesquisadores, praticantes e gestores urbanos, constituindo até hoje os fundamentos para a prática de desenho urbano (CARMONA e TIESDELL, 2007, p.2).

No entanto, o campo disciplinar do desenho urbano ainda sofre críticas por não possuir uma base teórica [científica] consistente (CUTHBERT, 2007; KLASSEN, 2007). Para Cuthbert (2007), o desenho urbano ainda guarda fortes relações com a tradição arquitetônica, que cultiva a imagem do arquiteto individual, e isso gera teorias desconectadas, dependentes e sectárias. Para o autor, desenho urbano deveria ter uma base teórica comum com outras disciplinas, enraizada nas áreas de sociologia urbana, economia, geografia e estudos culturais. Para Klaasen (2003), falta debate científico no campo e justamente por não haver um corpo teórico consistente, acaba havendo predomínio de uma relação do tipo mestre-aprendiz na educação em desenho urbano. Salingaros (2014) destaca que abordagens surgidas mais recentemente dificilmente são incorporadas à prática do desenho urbano, que acaba sendo mais baseada em critérios subjetivos e condicionantes legais.

Alguns autores consideram o desenho urbano como *pseudociência* (MARSHALL, 2012), pois se sustenta em uma série de hipóteses não confirmadas, ou então em achados científicos que não são cientificamente incorporados ao corpo teórico do desenho urbano. Outros preferem definir o campo como *protociência* (DOVEY e PAFKA, 2016), já que, mesmo não sendo uma ciência propriamente dita, é ligado às ciências da probabilidade, adaptação e complexidade.

Em resumo, tais críticas endereçam basicamente: i) a falta de comprovação científica das proposições teóricas de autores clássicos que sustentam o desenho urbano (como Jacobs, Lynch); ii) a subutilização de métodos científicos no processo de projeto. O primeiro item foge ao escopo do presente trabalho, enquanto a questão da subutilização de métodos analítico-científicos se relaciona diretamente ao enfoque dessa pesquisa, pois diz respeito à incorporação de técnicas analíticas ao processo de projeto.

Esta seção coloca a questão em perspectiva histórica, mostrando como o debate sobre métodos formais de projeto e sua pretensa cientificidade evoluíram ao longo do século XX. Essa seção procura também situar as ideias de Alexander no contexto de debates sobre projeto, contrapondo-as com as de outros teóricos.

A seção 2.2.1 coloca em perspectiva histórica questões referentes à natureza do processo de projeto, mostrando como o debate sobre métodos formais de projeto e sua pretensa cientificidade evoluíram ao longo do século XX. Nessa seção é feito um resgate de debates clássicos para o mundo do *design* e da arquitetura e urbanismo, que são importantes não apenas para entender como se dá o processo de projeto, mas também para situar a visão de Alexander dentro desse debate, auxiliando a trazer suas ideias para mais próximo de um contexto de desenho urbano. A seção 2.2.2 apresenta um breve apanhado de abordagens mais recentes, que buscam maior ênfase aos métodos analíticos no processo de projeto e que, portanto, interessam diretamente a este trabalho.

## 2.2.1 Debates clássicos

### 2.2.1.1 Sobre a natureza do projeto

A visão sobre a natureza do *design* foi se transformando ao longo do século XX, quando se estabeleceram importantes debates, tanto para o estudo de *design* enquanto campo independente de domínio quanto para o campo específico da arquitetura e urbanismo. Cross (2006) destaca dois períodos importantes da história do *design*, que remetem às principais tentativas de racionalização, primeiramente dos *produtos* e depois dos *processos* de projeto.

No Movimento Moderno, nos anos 1920, se percebe um desejo de produzir objetos de arte e *design* baseados em objetividade e racionalidade, que são valores da ciência. Le Corbusier,



por exemplo, trata a casa como uma *máquina de morar* objetivamente desenhada. Nessa época a preocupação era com a racionalização dos *produtos*.

Nos anos 1960, inicia-se uma busca por *processos* de projeto mais racionais e científicos. É dessa época o movimento dos métodos de projeto (*design methods movement*), o qual propõe o *design* e seus métodos como um campo de pesquisa. Conforme El-Khouly (2015, p.19), neste período se destacam as contribuições de Christopher Alexander<sup>16</sup> sobre métodos racionais para arquitetura e planejamento urbano, além de outros que também advogavam pelo *design* baseado em objetividade e racionalidade. A ideia era basear, não só os produtos, mas o próprio processo de projeto em si em objetividade e racionalidade. A evolução tecnológica da época, com surgimento de ferramentas computacionais, contribui para esse contexto (CROSS, 2006).

Após intensos debates, a década culmina com o lançamento de *The sciences of the artificial*, de Herbert Simon, em 1969, que propõe o desenvolvimento de uma ciência do *design* nas universidades (CROSS, 2006). Simon propõe que a ciência do *design* poderia formar uma base comum do empenho intelectual entre artes, ciências e tecnologia, isto é, o estudo do *design* poderia ser interdisciplinar e acessível a todos os envolvidos nas atividades criativas de fazer o mundo artificial. Na visão de Simon, o projeto é visto como uma atividade científica, isto é, organizada, racional e pré-concebida através de uma abordagem metódica e um processo linear (EL-KHOULY, 2015). Isso já vinha sendo desenvolvido principalmente nas áreas de engenharia e desenho industrial, cujos problemas geralmente são passíveis de processos de otimização. Pensava-se que o campo da arquitetura também poderia se beneficiar desse tipo de abordagem.

Conforme Cross (2006), nos anos 1970, surge uma reação contrária à racionalidade das metodologias de projeto e até mesmo certa rejeição de seus valores. As causas para tal reação estão no contexto político e social contestatório da época e na falta de sucesso na aplicação das metodologias. As críticas são semelhantes àquelas relatadas na seção 2.1.4. Nesse contexto, questões fundamentais foram levantadas por Rittel e Webber (1973), que caracterizam os problemas de planejamento urbano – e que podemos estender aos problemas de desenho urbano – como *wicked problems*, isto é, problemas mal definidos. Esse tipo de problema não é passível de ser tratado com as técnicas da ciência tradicional positivista, que é mais propensa a lidar com *tamed problems*, isto é, problemas bem delimitados. O tipo de problemas que o planejamento e o desenho urbano enfrentam não possuem uma formulação precisa e nem uma única resposta correta.

---

<sup>16</sup> Particularmente, *Notes on the synthesis of form* (ALEXANDER, 1973[1964]) e *The atoms of environmental structure* (ALEXANDER; POYNER, 1984 [1973]).

Donald Schön (1983), em contraponto à visão positivista de Simon, propõe um paradigma construtivista. Critica a visão de Simon, por esta ser baseada em abordagens para resolver problemas bem delimitados, enquanto na prática os profissionais enfrentam situações problemáticas, bagunçadas. Schön propõe buscar embasamento na prática implícita nos processos artísticos e intuitivos, cujos praticantes estão habituados a lidar com situações problemáticas, únicas e incertas. Conforme sua teoria, projeto se baseia na prática reflexiva, isto é, um processo que opera sobre tentativa e erro. A prática reflexiva de Schön, em contraposição à abordagem positivista de Simon é um dos debates mais clássicos no campo do *design* (CROSS, 2006; EL-KHOULY, 2015; REYES, 2015; REYMEN, 2011, entre outros).

Outro debate relevante da época se dá entre Christopher Alexander e Lionel March<sup>17</sup>. Alexander e Poyner (1984 [1973]) criticam a arbitrariedade geométrica adotada nos projetos e, especialmente, a arbitrariedade na definição dos programas, que usualmente são definidos com base em necessidades dos usuários. Alexander e Poyner sugerem tratar necessidade como uma *tendência*, isto é, uma hipótese, que deve ser investigada e questionada. Nesse caso o projetista deve arduamente tentar construir hipóteses alternativas. Outra questão colocada pelos autores é que uma necessidade não gera necessariamente demandas no ambiente físico. Especificações geométricas são requeridas apenas para resolver conflitos entre tendências. Desse modo, os autores definem o bom projeto não como aquele que satisfaz as necessidades do usuário, mas aquele no qual inexistam tendências conflituosas. Com essas ideias, procuram trazer um ponto de vista racional e científico para a prática projetual. Alexander e Poyner se opõem à visão de que o *certo* e o *errado* em um projeto, ou em um programa, seja uma mera questão de opinião. Para os autores, a qualidade é uma questão de fato, isto é, defendem que existe uma qualidade objetiva nas coisas projetadas. É justamente essa ideia que Alexander tem buscado capturar ao longo de toda sua carreira, com a *qualidade sem nome* e, mais recentemente, com a noção de *inteireza*.

March (1984 [1976]), por sua vez, questiona a visão de Alexander e Poyner (1984 [1973]), relativizando a noção de certo ou errado em projeto. Apesar de estar também engajado com o desenvolvimento de uma abordagem científica ao projeto, para March não se trata de uma abordagem que visa propor uma solução *correta*, mas sim que seleciona uma solução dentre uma gama de possibilidades e procura avaliar seu valor relativo (CROSS, 1984, p.239).

Rittel e Weber (1973), ao discutir os problemas mal definidos, fornecem outro ponto de vista sobre a questão. Não apenas as *tendências* podem ser conflituosas, mas também os *valores*

---

<sup>17</sup> Essa discussão, bem como os referidos trabalhos de ambos os autores podem ser encontrados na coletânea de artigos *Developments in Design Methodology*, editada por Cross (1984). Ao trazer artigos lançados entre 1962 e 1984, a obra fornece um bom quadro das principais questões debatidas nesse período, conhecido como *design methods movement*.

(CROSS, 1984). Argumentam que a busca por bases científicas para resolver problemas sociais [como muitas vezes é o caso em desenho urbano] tende a falhar por causa da natureza *wicked* desses problemas. As ideias destes autores foram amplamente aceitas (CROSS, 1984),

Hillier, Musgrove e O'Sullivan (1984 [1972]) também tecem críticas ao racionalismo. Para os autores, *design* não se trata de otimização, e sugerem que conjectura e análise andam lado a lado. Sugerem que a ciência deveria ajudar os projetistas a estruturarem melhor os problemas, o que fortalece sua capacidade de fazer conjecturas, isto é, lançar hipóteses de projeto.

Apesar de buscar proximidade com a racionalidade técnica, os metodólogos do design procuraram desde sempre fazer distinção entre *design* e ciência. Conforme Cross (2006), “métodos podem ser vitais para a prática da ciência (no sentido de validar resultados) mas não são para a prática do *design* (onde os resultados não precisam ser reproduzíveis, e em muitos casos, nem devem ser reproduzidos)”<sup>18</sup>. Segundo Cross (2006), a conferência do *Design Research Society*, de 1980, sobre *projeto, ciência e métodos* deu oportunidade de tratar dessas considerações. O sentimento geral da conferência é que era chegada a hora de superar comparações simplistas e distinções entre ciência e *design*. E que talvez não houvesse tanto assim para o *design* aprender com a ciência e, mais do que isso, talvez a ciência tivesse algo a aprender com o *design*. Cross (2006) propõe que o design ocupe uma posição entre a ciência e as artes (humanidades). Reyes (2015, p.32) complementa que o projeto convive muito bem no *entre* diferentes racionalidades, como pensamento analítico e criatividade.

### 2.2.1.2 Sobre a formalização do processo de projeto

Quanto à formalização do processo de projeto, é possível notar mudanças radicais ao longo do tempo, que refletem diferentes visões sobre a natureza do projeto, conforme se destaca a seguir. Na visão racional de Simon (1969), análise e síntese constituem um processo linear, onde primeiro se fazem as análises e depois as propostas. O modelo *análise-síntese-avaliação* é clássico (JONES, 1963 *apud* EL-KHOULY 2105), mas existem outros que propõem variações nessa sequência e que questionam a linearidade do processo.

Para Hillier, Musgrove e O'Sullivan (1984 [1972]), hipóteses de projeto e análise andam lado a lado. Em substituição ao modelo análise-síntese, os autores propõem um modelo *conjectura-testes*, com base na ideia de *conjecturas e refutações* de Popper (1963). Assim

---

<sup>18</sup> (...) *method may be vital to the practice of science (where it validates the results) but not to the practice of design (where results do not have to be repeatable, and in most cases must not be repeated, or copied)*. (CROSS, 2006, p.97).

como na ciência, os projetistas partem de conjecturas, que precisam vir precocemente no processo de design, permitindo estruturar o entendimento do problema. Argumentam que uma ampla gama de decisões de projeto não pode ser tomada antes que uma solução seja vislumbrada. As conjecturas, isto é, as hipóteses de solução do projeto, se tornam mais precisas na medida em que dados são coletados e utilizados para testá-las. Com isso, os autores mostram que conjectura e estruturação do problema andam juntas e não em sequência. Conjecturas não surgem da análise de dados, mas sim da capacidade cognitiva pré-existente do projetista. Assim, a principal contribuição de Hillier e colegas está em admitir que, para os projetistas, é inevitável operar com base em preconceções e pré-estruturas, e que isso é perfeitamente válido em contexto projetual, assim como é em contexto científico. Argumentam que desde Popper (1963) se sabe que a ciência não progride sem conjecturas.

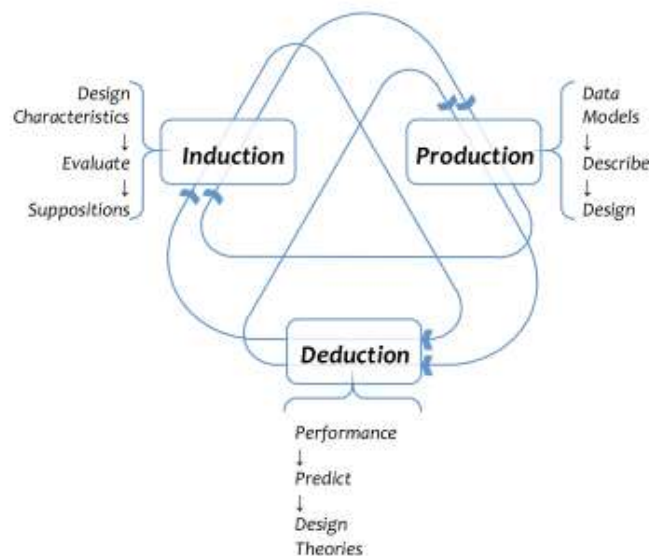


Figura 2 - Modelo PDI de March. Fonte: El-Khouly (2015, p.33).

Em contraste à visão de Hillier e colegas, March (1984 [1976]) considera que a lógica científica de Popper não é a mais apropriada ao *design*, tendo em vista que uma hipótese de projeto não é mesma coisa que uma hipótese científica. March argumenta que toda hipótese científica é, de alguma forma, falseável; ao passo que uma hipótese de projeto é lançada justamente na expectativa de sucesso e não de falha. March propõe um modelo PDI – *Production-Deduction-Induction* (ver figura 2) para explicar o processo de projeto como sendo operado por três lógicas distintas: a) produtiva, ou seja, abdutiva (composição); b) dedutiva (decomposição); c) indutiva (suposição). A criação de uma nova composição, isto é, de uma hipótese de projeto é feita sob uma lógica *produtiva*. A lógica *dedutiva* é utilizada para prever características de performance, isto é, se refere à fase analítica, que March chama de decomposição em referência à análise das partes que compõem o todo. A lógica *indutiva* se refere à avaliação do projeto, que fornece acúmulo de noções e valores estabelecidos. Nessa

fase, a etapa de produção é criticada, isto é, avaliada, fornecendo modelos mais criteriosos para o próximo ciclo de projeto. Isso se dá a partir de generalizações, que vêm a se tornar suposições úteis para o refinamento do projeto ou para projetos futuros. Segundo March (1984), a composição em si, ou um conjunto de características pelas quais ela é percebida, não possuem valores intrínsecos. Passam a assumir valores relativos a partir de comparações com outras hipóteses de projeto. A avaliação assume que suposições sobre valores, preferências e utilidade, entre outras, podem ser inferidas – e essas suposições é que sustentam a fase produtiva do design. Com isso, March argumenta que os modelos requeridos para produzir projetos são, na verdade, carregados de valores.

No modelo de March, o processo de projeto é concebido como uma atividade cíclica e iterativa, com constantes refinamentos e redefinições na medida em que o processo avança, sem haver uma ordem específica. Tanto March quanto Hillier, Musgrove e O’Sullivan admitem que o processo de projeto está mais para uma atividade cíclica do que linear. Os modelos mais recentes, comentados na próxima seção, já internalizam essa noção, que atualmente é a mais aceita para explicar a natureza do processo de projeto.

## 2.2.2 Tendências contemporâneas

A complexidade dos problemas atuais, combinada ao enorme avanço tecnológico e maior disponibilidade de dados, tem levado diversos autores a sustentar que a tomada de decisões em desenho urbano deveria ser mais embasada em dados e em métodos analíticos, isto é, mais científica (HILLIER, 2006; KARIMI, 2012a). Recentemente, um volume especial do periódico *Urban Design International* foi inteiramente dedicado ao tema (*Special Issue: Evidence-informed and analytical methods in urban design*), tratando da integração da análise de dados ao processo de projeto. Conforme o editorial de Karimi (2012a), um projeto é, sempre, permeado por intuição e criatividade, porém é inegável que exista também um componente baseado em sabedoria e pensamento analítico. A edição aborda o desenho urbano sob o ponto de vista da exploração de métodos e ferramentas que podem melhorar o processo de projeto, sem prejudicar o aspecto intuitivo desse processo.

Termos como *evidence-based urban design* e *informed urban design* têm aparecido em publicações recentes, e se referem a abordagens em que as decisões de projeto são baseadas em dados e métodos analíticos. Distintas abordagens procuram trazer para o âmbito de projeto, métodos analíticos – novos ou já conhecidos. Dentre essas, podemos citar: *geodesign* (GOODCHILD, 2010; BATTY, 2013b) *big data informed urban design* (KOENIG, 2014), *configurational-informed urban design* (KARIMI, 2012b), *wholeness-oriented urban design* (JIANG, 2016) e *isobenefit lines* (D’ACCI, 2015), entre outros.

Todos esses campos de pesquisa emergentes citados anteriormente se baseiam na ideia de algum tipo de apoio tecnológico ao projeto. Cabe destacar, porém, que a ideia de desenho baseado em dados e análises não é exatamente nova. Ian McHarg, fazia exatamente isso, nos anos 1960, no seminal *Design with Nature* (1969), a partir da sobreposição de mapas – muito antes de existirem os Sistemas de Informações Geográficas (SIG). A diferença é que, hoje, a grande quantidade de dados disponíveis e ferramentas computacionais para manipulá-los, parece ter despertado o interesse no desenvolvimento de métodos de desenho urbano mais bem informados, interesse este que ficou adormecido por algum tempo.

Paralelamente às discussões sobre teorias e métodos de projeto, ocorridas ao longo do século XX, foram se desenvolvendo técnicas de análise espacial em distintos campos do conhecimento, como geografia, urbanismo, engenharia e, mais recentemente, na física. Tudo isso contribui para uma retomada de ideias inicialmente lançadas por McHarg, sob a forma de um novo conceito – *geodesign*, que se refere à aplicação de geotecnologias ao planejamento, desenho e gestão territorial (GOODCHILD, 2010; MILLER, 2012; BATTY, 2013). A abordagem de *geodesign*, por lidar explicitamente com dados geográficos, modelagem e análise espacial, é a que interessa mais diretamente para a proposição realizada nessa tese.

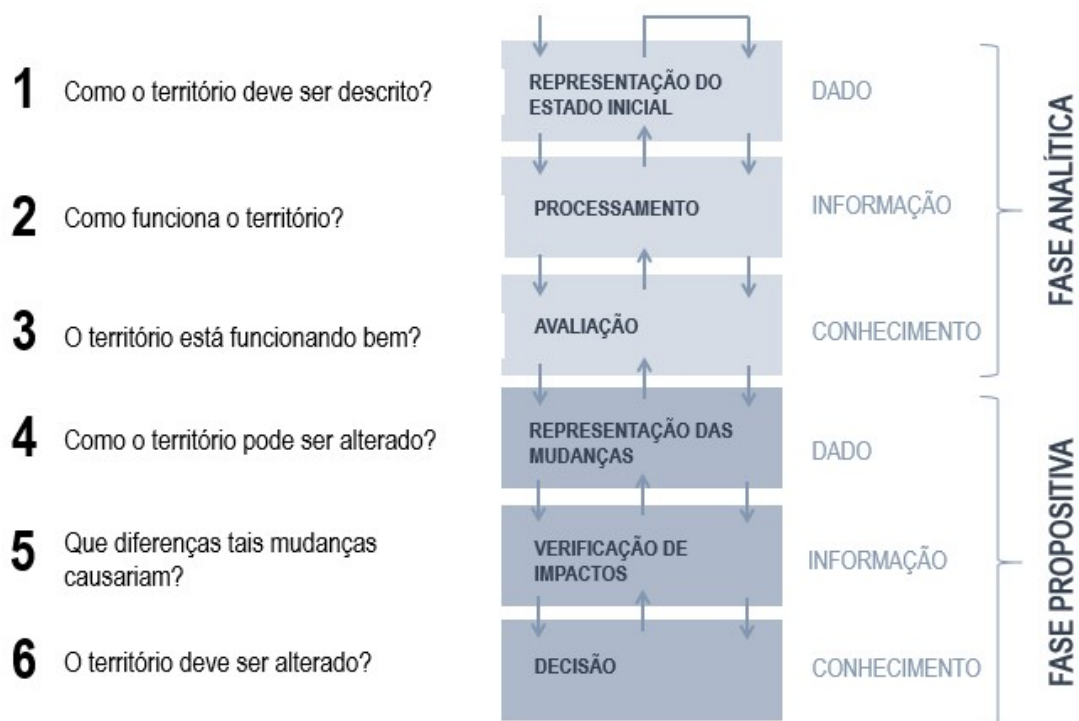


Figura 3 - Estrutura do *geodesign*. Adaptado de Miller (2012).

Conforme Steinitz (2012) e Miller (2012), nesse modelo, a sequência de desenho urbano é composta por duas etapas, uma analítica e outra propositiva, sendo que cada uma é composta

por subetapas, como mostra a figura 3. A fase analítica é composta pela representação (1), processamento (2) e avaliação (3) do estado inicial; e na fase propositiva, são modelados possíveis cenários de intervenção (4), avaliação de seus impactos (5) e, finalmente, tomada de decisão (6). Desse modo cada fase é composta por um ciclo completo de transformação de *dados* (conteúdo bruto, em *informação* (conteúdo interpretado), que finalmente é transformado em *conhecimento* (conteúdo aplicado). Esses ciclos não são necessariamente lineares, é provável que exista um vai e vêm entre cada passo, até que se chegue a uma decisão final

A visão de Krafta (2014) se alinha com a noção de *geodesign*. O autor sugere o uso de indicadores de desempenho como controle de projeto, isto é, um desenho urbano baseado em indicadores. Conforme o autor, a construção disso requer a associação dos indicadores a valores, definidos externa ou internamente a cada projeto, de modo que forneçam algum sentido de avaliação aos indicadores.

“Por controle de projeto se entende um instrumento ou procedimento analítico que permite aferir a possível resposta de um arranjo espacial proposto a uma demanda, caracterizado por um atributo, uma forma de medir e uma escala de variação. A resposta, expressa na forma de uma medida, pode ser comparada com outros arranjos alternativos, ou com situações eventualmente tomadas como referência.” (KRAFTA, 2014, p. 340).

Outra formalização do processo de desenho urbano é feita por Çalişkan (2012), que propõe um modelo de desenho urbano baseado nas teorias de *Design Thinking*<sup>19</sup>. O autor propõe superar os modelos indutivos e técnico-racional, que na prática são as abordagens predominantes, propondo uma abordagem auto-reflexiva (Figura 4). O processo de projeto inicia com uma *hipótese*, que se refere a uma ideia inicial abstrata de projeto, que enquadra o problema e direciona as análises. O passo seguinte é a *análise* exploratória, tanto do contexto, quanto da ideia inicial de projeto. Na sequência vem a formulação (síntese) de um *modelo* (forma) daquela ideia inicial, e *testes* para aferir sua performance. O processo não é linear, mas cíclico, envolvendo mecanismos de *feedback*. Assim, a análise é difusa por todo o processo e empregada de acordo com os objetivos do projetista. Operações de análise e síntese tendem a ficar borradas.

---

<sup>19</sup> Abordagem inspirada em Schön (1983).

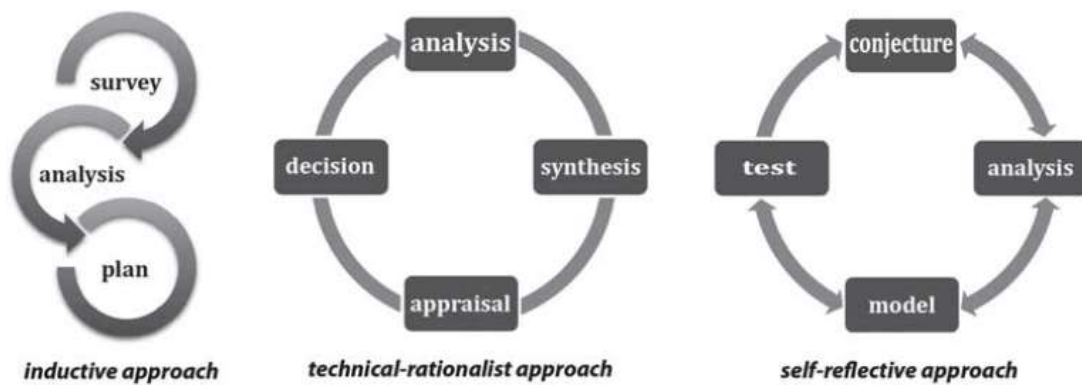


Figura 4 - Modelos de projeto. Fonte: Çalışkan (2012).

Tanto a abordagem autorreflexiva de Çalışkan (2012) quanto o *geodesign* (GOODCHILD, 2010; MILLER, 2012; STEINITZ, 2012) são concebidos como processos cíclicos, onde os métodos analíticos ocupam, ou podem ocupar, papel importante em distintas fases do processo. Percebe-se que nessas abordagens contemporâneas há uma convergência na incorporação de métodos analíticos (científicos) em um processo que, assumidamente, não é inteiramente racional. Ambas abordagens incorporam também a ideia de performance, isto é, uso de métodos que permitam avaliar as hipóteses de projeto.

Em tal contexto, percebe-se a tendência de uma maior aproximação entre desenho urbano e métodos analíticos, justificando maior uso de dados e ferramentas computacionais. Assim, o desenho urbano baseado em evidências ganha destaque no contexto contemporâneo, especialmente os métodos diretamente ligados à forma urbana, isto é, aqueles desenvolvidos no âmbito de estudos sobre morfologia urbana.

### 2.2.3 Conclusões da seção

Com base no que foi visto nessa seção, interessa principalmente a noção de desenho urbano enquanto: i) processo que é passível de ser sistematizado sob a forma de um modelo; ii) processo que pode ser apoiado por ferramentas analíticas

Quanto à sua natureza, o desenho e o planejamento urbano estão longe de serem problemas de otimização, uma vez que não possuem formulação precisa, nem resposta única, como bem colocaram Rittel e Weber (1973). No entanto, os métodos analíticos têm papel importante nesse processo, já que permitem ao projetista ir avaliando cada passo dado em direção à solução final. O processo de projeto é cíclico e a fase de análise pode ocorrer várias vezes no decorrer do processo, como mostram March (1984), Çalışkan (2012), Miller (2012) e outros. Tudo isso se alinha com a atual tendência de um desenho urbano suportado por métodos analíticos. Também propicia a adoção de abordagens que considerem a cidade como um



sistema complexo e o real desenvolvimento em direção a uma ciência das cidades, conforme visto na seção anterior, com a incorporação de novos métodos.

Além disso, os debates clássicos sobre design aqui revisados fornecem pistas importantes para a discussão das teorias mais recentes de Christopher Alexander, que são abordadas na próxima seção. Tais debates são retomados ao final desse capítulo.

## 2.3 Christopher Alexander e a natureza da ordem

Esta seção tem por objetivo revisar os componentes teóricos da obra de Alexander que interessam mais diretamente a esta tese, bem como verificar como outros autores têm contribuído para a discussão e desenvolvimento das proposições teóricas sugeridas pelo autor. A seção 2.3.1 destaca um aspecto central na obra de Alexander: relações entre as partes e o todo – aspecto esse que permeia todas suas publicações desde as mais antigas até as mais recentes. A seção 2.3.2 aborda a teoria dos centros e o processo *harmony-seeking*, principais componentes de *The Nature of Order* e obras correlatas. Aborda também a agenda de pesquisa proposta por Alexander. A seção 2.3.3 enfoca aspectos matemáticos e pistas que o autor dá em relação a essa agenda de pesquisa; enquanto a 2.3.4 trata de explorações feitas por outros autores. Finalmente, nas conclusões da seção são discutidas perspectivas de desenvolvimento e operacionalização de tais teorias em relação ao desenho urbano.

### 2.3.1 As relações entre as partes e o todo

Um aspecto marcante na trajetória de Alexander é o enfoque do projeto como uma questão de relação entre as partes e o todo (MEHAFFY, 2019; SEAMON, 2016). Mehaffy (2019, p.6-7) considera Alexander um mereologista<sup>20</sup>, pois estuda a natureza das relações de partes com o todo, sendo praticamente um dos pioneiros a desenvolver o tópico na arquitetura. Vale lembrar que Alexander teve sua formação inicial em matemática, física e química antes de cursar arquitetura, o que certamente deve ter despertado curiosidades. Mehaffy (2015b, 2019) destaca como esse aspecto, absolutamente central em *The Nature of Order*, já havia aparecido em suas obras anteriores, conforme se pode notar nos pontos levantados a seguir.

Desde *Notes on the synthesis of form* (1964), Alexander se debruça sobre o problema de projeto como uma questão de relação entre partes e o todo, mapeando a estrutura dessas relações. Percebe que as partes de um problema de projeto tendem a se relacionar com o todo através de uma relação hierárquica: partes possuem subpartes, que por sua vez,

---

<sup>20</sup> Na filosofia e na matemática, *mereologia* se refere ao estudo da relação entre partes e o todo.

possuem subpartes, e assim por diante. Mas tais relações não são totalmente hierárquicas, porque possuem sobreposições, o que gera complexidade. Logo, em *The city is not a tree* (1965), que trata mais especificamente da escala urbana, enfatiza as relações não-hierárquicas, as sobreposições e o aspecto de rede presente nas cidades.

Em seguida, propõe o método da linguagem de padrões (ALEXANDER, 1979; ALEXANDER et al., 1977) para auxiliar na tarefa de projetar o ambiente construído com tal riqueza de interconexões. Alexander apoia-se nas qualidades das cidades com crescimento espontâneo e das edificações vernáculas para destilar os famosos “padrões” de *A Pattern Language*. O autor considera esse tipo de arquitetura melhor do que a contemporânea por ser resultado de um longo processo adaptativo de soluções de projeto. Os padrões são uma espécie de catálogo de boas soluções de projeto para várias escalas. Esse pressuposto de que uma arquitetura seria melhor do que outra é, sem dúvida, um ponto polêmico da linguagem de padrões, contestado por alguns autores. Não obstante, se tornou sua obra mais conhecida e mais comentada.

Mehaffy (2015b) relata que, apesar da popularidade do livro, Alexander e seus colegas ficaram decepcionados com o resultado prático desse método, pois arquitetura de má qualidade continuou sendo produzida, mesmo por projetistas inspirados no seu método. “Claramente, eles [Alexander e colegas] não tiveram sucesso ao tentar substituir a tradicional linguagem de padrões da arquitetura vernácula com algum equivalente para as novas tecnologias. O que estava faltando na metodologia?” (MEHAFFY, 2015b)<sup>21</sup>.

Segundo Mehaffy (2015b), a partir daí, Alexander repensa a metodologia, acreditando que não havia lidado suficientemente com o detalhamento do problema da geometria. Por isso retoma a questão das relações das partes com o todo, focando nas particularidades do ambiente construído presentes em configurações consideradas satisfatórias. Que características elas têm e qual processo as gera? Essa é a principal questão que procura responder em *The Nature of Order*, cujos conceitos centrais são revisados a seguir.

### 2.3.2 A teoria dos centros e o processo *harmony-seeking*

Em *The Nature of Order*, Alexander apresenta um novo aprofundamento sobre a questão de como as partes se organizam para estruturar o todo. Um conceito-chave para essa questão é a noção de *inteireza* (*wholeness*).

---

<sup>21</sup> *Clearly they not succeeded in replacing the traditional pattern language of vernacular building with an equivalent new technology. What was missing from the methodology?* (MEHAFFY, 2015b).

*Inteireza* se refere à característica global de uma determinada configuração, que se encontra na base dos processos de emergência de ordem, presentes, em maior ou menor grau, em todas as estruturas, tanto naturais quanto criadas pelo homem. Para Alexander (2002), todo espaço e matéria, orgânico ou inorgânico, tem algum *grau de vida*<sup>22</sup>, e matéria e espaço são mais – ou menos – *vivos* de acordo com sua estrutura e a maneira como estão arranjados. Assim, *grau de vida* refere-se a uma certa qualidade presente nas estruturas, que tem a relação com coerência, harmonia, vitalidade, bem-estar e beleza. Inteireza, de certa forma, sintetiza essa qualidade. Alguns autores (LEITNER, 2015, p. 15; SEAMON, 2016, p.53) sugerem que *inteireza* seria uma nova versão da famosa *qualidade sem nome*, proposta anteriormente por Alexander (1979). *Gräu de vida* seria uma medida do grau de inteireza de uma configuração.

Inteireza, para o autor, não viria exatamente da configuração em si, mas sim de um processo, que se dá de forma incremental, que respeita a estrutura existente e que gera configurações coerentes. Existiria, assim, um nível de estrutura mais profundo sob os padrões, e um *processo de formação de centros* seria responsável por gerar inteireza. Para Alexander (2002a, p.294), “o conceito de inteireza como uma estrutura depende da ideia de que diferentes centros possuem diferentes graus de vida, e, portanto, da ideia de que a existência desta variedade de graus de vida no espaço é um fato sobre o mundo”<sup>23</sup>.

Inteireza é, portanto, uma estrutura recursiva formada por *centros*, que, por sua vez, são formados por outros centros. Alexander entende um centro como:

Uma ‘coisa’, não um ponto. O centro não é, como a palavra sugere, um ponto que passa a ser um centro de um grande campo. O centro é uma entidade, ou, se você preferir, uma “coisa”. Pode ser um edifício, um espaço ao ar livre, um jardim, um muro, um caminho, uma janela, um complexo de vários destas coisas ao mesmo tempo. (ALEXANDER et al., 1987, p.92)<sup>24</sup>.

Centros são os elementos a partir dos quais as estruturas são constituídas, e os centros se constituem como tal em resultado da configuração como um todo. Centros possuem diferentes níveis de força e coerência, sendo que a coerência de uma configuração é dada pelas relações com outros centros. Um centro é, portanto, uma entidade abstrata – pode ser uma edificação, um espaço aberto, uma estrada ou até mesmo um vazio. A definição de centro se

<sup>22</sup> *Vida*, para Alexander, tem significado distinto da biologia (ver ALEXANDER 2002a)

<sup>23</sup> *The concept of wholeness as a structure depends on the idea that different centers have different degrees of life, and therefore on the idea that the existence of these varying degree of life throughout space is a fact about the world.* (ALEXANDER, 2002a, p.294)

<sup>24</sup> *A ‘thing’, not a point. A center is not, as the word suggests, a point that happens to be a center of some larger field. A center is an entity; if you like, a “thing”. It may be a building, an outdoor space, a garden, a wall, a road, a window, a complex of several of these at the same time.* (ALEXANDER et al., 1987, p.92, tradução de ANDRADE, 2011, p.71).

aplica tanto ao espaço quanto à matéria, isto é, objetos. Cada centro é um todo, que é composto por todos secundários, ou seja, outros centros.

Jiang (2016) esclarece que centros não são simplesmente partes de um todo. Partes existem apesar do todo, são fáceis de identificar, são simples e não-recursivas. Centros são induzidos pelo todo, são difíceis de identificar, são recursivos e complexos.

Alexander entende que existe uma profunda relação de interdependência das partes (os centros) com o todo (inteireza/ *wholeness*), que leva à coerência da configuração e que resulta em estruturas vivas. A partir dessa visão, procura identificar propriedades geométricas que evoquem vida, isto é, que mostrem como os centros interagem. Assim, identifica quinze propriedades (centros robustos, níveis de escala, bordas espessas, repetições alternadas, espaço positivo, boa forma, simetrias locais, Interação profunda e ambiguidade, contraste, gradientes, rugosidade, ecos, o vazio, simplicidade e calma interior, não-separação)<sup>25</sup> que descrevem como esses centros interagem uns com outros, e como eles se ajudam mutuamente a intensificar sua força e a gerar novos centros. O autor argumenta que as quinze propriedades são recorrentes em tudo na natureza e essa ideia se aplicaria também a artefatos produzidos pelo homem. Mas pondera que as propriedades não estão presentes em todos os artefatos feitos pelo homem, apenas nos bons (ALEXANDER, 2002, p.293), de modo que alguns são mais vivos do que outros, conforme a presença (ou não) de ao menos algumas das propriedades.

Através de inúmeros exemplos, Alexander (2002, p.290) mostra que as quinze propriedades estão presentes na natureza, em todas as escalas, desde partículas subatômicas até organismos vivos, rios, montanhas e planetas, incluindo também fenômenos, como as ondas do mar. As formas e fenômenos na natureza possuem explicações baseadas em forças e processos mecânicos, como, por exemplo, a lei da gravidade. Não há, no entanto, uma teoria que explique o porquê da recorrência dessas propriedades geométricas específicas em todas as estruturas da natureza, o que Alexander considera até mesmo uma lacuna nas teorias de auto-organização (ALEXANDER, 2003). Para o autor não se trata de uma coincidência. Argumenta que as quinze propriedades são responsáveis por dar estabilidade e coerência aos sistemas presentes na natureza. Cada propriedade não seria gratuita, teria uma função, um propósito.

Para ilustrar, um dos exemplos utilizados é o da propriedade *borda espessa*. Uma célula sanguínea tem uma borda, que é a membrana, que filtra impurezas antes de chegarem ao núcleo. O sol tem uma borda, que é a coroa, que serve de transição entre o calor intenso no seu interior e o extremo frio do espaço exterior. O papel da propriedade de borda, assim como

---

<sup>25</sup> Ver Anexo A para uma descrição de cada uma das propriedades.

o de todas as demais propriedades, é de dar estabilidade ao todo, conferindo coerência entre as diversas partes de uma estrutura. Assim, todas as propriedades também cumpririam determinado papel nas configurações.

Outro ponto importante dessa teoria, é que Alexander aborda a morfogênese como um processo adaptativo. A aplicação sucessiva e recursiva de transformações baseadas nas quinze propriedades levaria à formação de estruturas vivas, belas e coerentes. Seria um processo *harmony-seeking*, isto é, um processo que busca harmonia. A emergência de configurações harmônicas, além de obedecer a certas regras, isto é, quinze tipos de transformações, baseadas nas quinze propriedades (ALEXANDER, 2002b, p. 77-79), procura preservar a estrutura latente presente em determinada configuração. Por isso, tais transformações também podem ser vistas como um processo que *preserva a estrutura (structure-preserving)* (ALEXANDER, 2009). *Structure-preserving* diz respeito à preservação da estrutura em sua inteireza. Esse termo é, às vezes, usado na matemática para se referir a transformações que preservam algum particular aspecto estrutural de um dado sistema, mas este aspecto particular pode ser arbitrariamente escolhido. No uso que Alexander faz do termo, isso significa que algumas transformações preservam o todo, e isso não é totalmente arbitrário, pois depende da habilidade do observador em enxergar o todo.

A figura 5 mostra exemplos do processo que busca a harmonia, através de transformações que preservam, ao menos parcialmente, a estrutura existente. A primeira sequência mostra o processo de formação da pata de um rato, um exemplo de morfogênese encontrado na natureza; enquanto a segunda mostra a evolução da cidade de Amsterdam, como um exemplo – um *bom* exemplo – de desenho urbano. Para Alexander, o bom *design* geralmente está relacionado à transformação daquilo que existia anteriormente, e não a criações do tipo “tábula rasa”. A ideia de preservação da estrutura latente é particularmente interessante à escala do desenho urbano, dado que estrutura primária de uma cidade tende a ser duradoura.

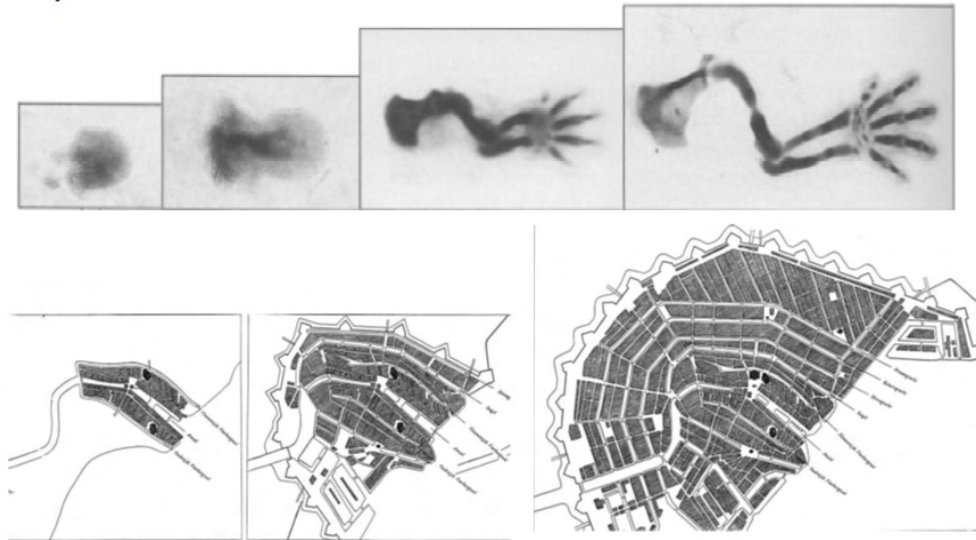


Figura 5 – Exemplos do processo incremental que busca harmonia: a) morfogênese da pata de um rato; b) evolução de Amsterdam. Fonte: Alexander (2009)

Em ambos os exemplos da Figura 5, a cada passo, ou a cada transformação, é possível identificar o uso de alguma(s) das quinze propriedades (para mais detalhes ver Alexander, 2002b e 2009). Essas transformações que preservam a estrutura são combinações e sequências de quinze possibilidades de transformações espaciais baseadas nas quinze propriedades que determinam como centros podem ser construídos a partir de algum outro. Em *Harmony-seeking computations*, Alexander (2009) explica que uma teoria computacional avançada destas transformações ainda não existe, mas mostra como novas configurações podem emergir dessas transformações e como isso pode ser o esboço de uma nova (e computável) *teoria de desdobramentos (unfolding theory)*.

Conforme Alexander, um ponto importante dessa teoria está na possibilidade de descrever esse processo objetivamente, tendo em vista que para o autor as propriedades podem ser observadas e descritas de forma precisa. No entanto, Alexander admite que as quinze propriedades são um tanto evasivas para permitir descrições matemáticas ou operações computacionais. Propõe até mesmo uma agenda de pesquisa (ALEXANDER, 2009, p.55) em torno disso, que, no entanto, envolve altíssimo grau de dificuldade, tendo em vista que, não só as propriedades, mas a própria noção de *inteireza* é difícil de capturar e permanece um tanto obscura.

Seamon (2016, 2019), traz argumentos importantes para o presente trabalho ao comentar dificuldades metodológicas quanto às proposições de Alexander. A primeira questão está no caráter compreensivo de *The Nature of Order*, que para Seamon é uma das fraquezas da obra. O autor argumenta que a obra é “tão abrangente em suas partes teóricas e práticas que,

ironicamente, perde-se a visão do trabalho como um todo”<sup>26</sup> (SEAMON, 2019, p.3). Alexander se propõe a fornecer indicações para o processo de criação de coisas em todos os níveis – ambiental e arquitetônico, de cidades a edificações, salas e detalhes ornamentais, incluindo peças artísticas. Para Seamon (2019, p.10) não está claro se as 15 propriedades podem realmente facilitar o claro entendimento de sua teoria, em tão ampla gama de escalas materiais.

Seamon (2016, p.57-59) argumenta também que nem todas as propriedades podem ser transportadas diretamente para qualidades do mundo real, de modo que as explicações de Alexander não são satisfatórias em demonstrar uma ligação convincente entre o físico e o existencial, o geométrico e o vivido. A propriedade de *centros robustos*, por exemplo, pode ser relacionada a regiões no espaço que concentram algo; a propriedade *gradientes* também podem ser relacionada a variações espaciais; e outras propriedades ainda poderiam evocar interpretações, mas provavelmente arbitrárias e forçadas. Para Seamon, essa também é uma das fraquezas da obra de Alexander.

Outra preocupação de Seamon (2016, p. 59-61) é quanto ao caráter essencialmente local das propriedades – são mais fragmentárias, isto é, locais, do que holísticas ou globais. Por um lado, uma ênfase nas qualidades locais de *wholeness* oferece uma poderosa percepção para lidar com objetos decorativos, pois são entidades físicas mais ou menos independentes e estáticas que não abrigam sociedades humanas. Por outro lado, as quinze propriedades podem lançar um entendimento incompleto quando se tenta aplicar para ambientes de maior escala, como edificações, bairros e cidades. Para Seamon, a natureza local das quinze propriedades pode ser uma das principais razões pelas quais não possam ser prontamente transportadas para estruturas, situações ou eventos da vida real.

Propriedades como *gradientes* ou *níveis de escala*, claramente descrevem, ao menos parcialmente, como um centro se relaciona com outros. Mas, conforme Seamon (2016, p.60), ainda não se trata de uma descrição de configuração espacial, relações topológicas e interconexões, mas sim uma descrição com foco nas partes.

Embora não esteja entre os objetivos desta tese tentar operacionalizar a modelagem das quinze propriedades, as próximas seções investigam as tentativas feitas por outros autores bem como as pistas fornecidas pelo próprio Alexander, com o intuito de reunir elementos úteis para o que a tese se propõe neste trabalho, que é a formalização de um modelo de desenho urbano. Assim, busca-se verificar quais dessas tentativas e quais aspectos das proposições de Alexander são pertinentes às especificidades do desenho urbano.

---

<sup>26</sup> “(...) is so wide-ranging in its theoretical and practical parts that, ironically, one can readily lose sight of the work as a whole.” (SEAMON, 2019, p.3)

### 2.3.3 Medindo inteireza / grau de vida

Embora não indique como capturar o *grau de vida* nas configurações, Alexander fornece algumas aproximações, que oscilam entre abordagens mais intuitivas e outras mais matemáticas, argumentando que ambas são objetivas.

Seus experimentos sobre mensuração do grau de vida envolvem, geralmente, a observação e comparação entre dois objetos. Mais do que percepção, ele procura se apoiar em um método intuitivo, perguntando a si mesmo e aos seus voluntários qual dos objetos gera maior sentimento de vida, completude, harmonia, proximidade com Deus, e coisas desse tipo. Observa os objetos como se fossem um espelho dele mesmo, pois entende como fundamental que o método se apoie no observador (*mirror-of-the-self test*, um método onde, nas palavras do autor, usamos nós mesmos como instrumentos de mensuração). Apesar de tudo isso sugerir uma abordagem altamente subjetiva, pessoal e não-científica, Alexander argumenta que não está medindo reações ou nível de satisfação dos usuários, mas sim algo mais profundo e, ao mesmo tempo, muito objetivo.

Percebe-se que tal método pode até funcionar de forma convincente em experimentos com objetos simples, em que a grande maioria das pessoas dá respostas parecidas. Mas para objetos mais complexos, como edificações e assentamentos urbanos, o método se mostra frágil, pois as pessoas tendem a responder de modo completamente diferente. Ekinoglu, Kubat e Plunz (2017) realizaram um experimento em que 10 especialistas avaliaram 10 cidades quanto ao seu grau de inteireza. Mesmo estabelecendo três atributos específicos para quantificar grau de inteireza, as respostas foram totalmente distintas, demonstrando o alto grau de subjetividade de tal método. Isso demonstra que a noção de inteireza não é tão intuitiva assim. Alexander admite que para esses casos de objetos mais complexos um observador precisaria ter passado muitos anos observando coisas, isto é, sendo treinado, ou precisaria de um método auxiliar.

Esse método auxiliar, matemático, trata-se justamente da agenda de pesquisa proposta por Alexander. Para Leitner (2015, p. 50), os esforços de Alexander nesse sentido apresentam uma contradição paradoxal. Se for realmente possível o desenvolvimento de um modelo matemático capaz de medir “qualidade de vida” ou “grau de vida”, isso, por um lado, fortalece o aspecto objetivo das teorias de Alexander, mas por outro, enfraquece a ideia de uma medida voltada à intuição do observador. De qualquer forma, a presente pesquisa opta por manter o foco nas possibilidades de desenvolvimento da operacionalização matemática e computacional.

Os apêndices do Volume 1 de *The Nature of Order* trazem aspectos matemáticos de sua teoria, que embora incipientes enquanto método analítico, fornecem pistas sobre a visão do



autor. Em um dos apêndices, por exemplo, Alexander (2002a, p. 446-448) define *wholeness* (*W*) como o sistema delimitado por uma região *R*, de onde se distinguem suas sub-regiões *S*, que possuem diferentes graus de coerência. Assim, cada sub-região pode ter um grau de coerência *c* que varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, mais coerente elas são. As sub-regiões mais coerentes ele chama de centros (as 10% mais coerentes do *ranking*, mais precisamente). Para efeitos práticos, a inteireza *W* é gerada pela interação da geometria da região *R* e a ordem gerada pela hierarquia de seus centros.

Alexander não esclarece como se calcula o grau de coerência dessas sub-regiões, sugerindo novamente algo intuitivo, como no trecho a seguir.

“Apesar de ser impossível construir uma classificação completa de todas as sub-regiões, está claro que nossa intuição tipicamente designa algum grau relativo de coerência para cada diferente sub-região. Nós realmente reconhecemos coerência no mundo. Tal coerência nada mais é do que aquele atributo ao qual me referi ao longo do Livro 1 como *vida*.”<sup>27</sup> (ALEXANDER, 2002a, p.446).

Além disso, sugere que tal medida é uma medida relativa, isto é, se expressa em relação aos demais elementos. Em certas passagens sugere a existência de conexões entre as regiões *R* e que uma leitura dessas relações topológicas pode ser útil para esclarecer a noção de inteireza, inclusive que grau de vida estaria associado ao grau de conectividade.

“A natureza de *wholeness W* pode ser esclarecida considerando-a como uma generalização da topologia de uma figura (...).

Apesar da questão topológica ser rica e profunda, origina-se da simples intuição: a saber, que o caráter de uma configuração é dado pelo específico sistema de sub-regiões que estão conectadas e pela maneira como estas regiões conectadas se sobrepõe e pertencem umas às outras.”<sup>28</sup> (ALEXANDER, 2002a, p.447).

As ideias de topologia e conectividade são sugestivas de uma abordagem sob o ponto de vista de grafos. Além disso, em outras passagens Alexander (2002a, p. 449-452 e 458-462) sugere que a força de um centro está relacionada à maneira como ele se posiciona em relação aos demais e como uns ajudam a reforçar outros. Novamente o foco volta-se para relações entre elementos e destes com o todo, como, por exemplo, ao argumentar que

“A vida de qualquer centro depende de todo campo de centros nos quais este encontra-se. Isso significa que a mais fundamental propriedade de cada centro – seu grau de vida – é definida não pelo

<sup>27</sup> *Although it may be impossible to construct a complete rank order of all the different possible subregions, it is clear that our intuition does typically assign some relative degree of coherence to each different subregion. We do recognize coherence in the world. This coherence is just that attribute which I referred throughout Book 1 as life.* (ALEXANDER, 2002a, p.446).

<sup>28</sup> *The nature of the wholeness W may be clarified by considering it as a generalization of the topology of a figure (...). Although the subject of topology is rich and profound, it all originates from this simple intuition: namely, that the character of a configuration is given by the particular system of subregions that are connected, and by the way these connected subregions overlap and lie within each other.* (ALEXANDER, 2002a, p.447)

próprio centro, mas por sua posição em todo campo de centros.”<sup>29</sup>  
(ALEXANDER, 2002a, p.459).

Conforme visto aqui, com os elementos apresentados por Alexander, a possibilidade de desenvolver uma versão matemática do conceito de inteireza ainda fica bastante vaga. Ainda assim a ideia de conectividade e topologia é a que parece mais promissora, pela possibilidade de utilizar uma linguagem que já existe, a dos grafos.

### 2.3.4 Explorações feitas por outros autores

Distintos pesquisadores têm procurado avançar em direção aos caminhos delineados por Alexander, mas pode-se considerar que é um número relativamente pequeno, tendo em vista que vinte anos já tenham se passado desde a publicação de *The Nature of Order*. Algumas explorações são de áreas distantes da arquitetura, como, por exemplo, na ciência da computação (HOVERD; STEPNEY, 2010), na matemática, na colaboração/inação e até mesmo na educação. A seguir são apresentadas as experimentações mais próximas da arquitetura e urbanismo, contendo sugestões de como mensurar inteireza (SALINGAROS, 1997; JIANG, 2015, 2016; EKINOGLU; KUBAT, 2017).

#### 2.3.4.1 Salingaros (1997)

Nikos Salingaros propõe métricas para mensurar o grau de vida em edificações. Salingaros (1997), em *Life and Complexity in Architecture from a Thermodynamic Analogy*, propõe uma primeira aproximação para um tratamento matemático do tema, fazendo uma analogia com a termodinâmica. O método é baseado na ideia de contar as *simetrias locais* presentes em uma configuração – método desenvolvido por Alexander (2002a, p.188-192) com a colaboração de Salingaros.

Salingaros analisa 24 edificações e busca uma forma de medir certas propriedades presentes nelas (simetrias, níveis de escala, bordas e outras) a partir de uma foto da fachada. Embora simples, tal tarefa já seria inviabilizada pela contagem de simetrias. Ao invés disso, o autor faz uma estimativa estatística da quantidade de simetrias e de outras propriedades. Atribui valores para cada propriedade: 0, 1 ou 2 (ausente, parcialmente presente, fortemente presente) e depois faz um somatório para estabelecer um ranqueamento entre as obras analisadas.

---

<sup>29</sup> The life of any given center depends on the whole field of centers in which this center exists. This means that the most fundamental property of each center – its degree of life – is defined not by the center itself but by its position in the entire field of centers. (Alexander, 2002a, p. 459)

Alexander, ao relatar esse experimento (2002a, p. 469-472), considera que as métricas propostas por Salingaros, embora simples, surpreendentemente, apresentam resultados consistentes com sentimentos a respeito da vida que esses edifícios transmitem. Mesmo satisfeito com os resultados, Alexander não deixa de apontar limitações do método proposto pelo colega, como por exemplo, a ausência da recursividade. Sua medida captura, na verdade, a aleatoriedade dos padrões, verificando apenas a presença (ou não) de uma quantidade razoável de propriedades.

#### 2.3.4.2 Jiang (2015, 2016)

Jiang propõe um método para quantificar o grau de *wholeness* em feições geográficas ou arquitetônicas. Duas principais contribuições podem ser destacadas: a) traz a noção de *wholeness* para uma perspectiva de redes complexas (JIANG, 2016); b) desenvolve um modelo matemático de *wholeness* através de um grafo hierárquico (JIANG, 2015).

Jiang (2016) propõe trazer a noção de *wholeness* para uma abordagem sob o ponto de vista de redes complexas, a fim de objetivar esse conceito. Redes simples são aquelas em que existe uniformidade no grau de conectividade dos nós. Redes complexas são aquelas que apresentam hierarquia entre os nós, como, por exemplo, redes *scale free* e *small worlds* (NEWMAN; BARABÁSI; WATTS, 2006). Redes *scale free* apresentam distribuição de conectividade sob a forma de uma lei de potência, indicando que há poucos nós bem conectados e muitos nós pouco conectados. A hierarquia de escala é, portanto, uma importante propriedade das redes complexas, Jiang associa com a propriedade *níveis de escala*, que ele considera a mais importante das quinze propriedades. No método proposto, a representação do espaço e das formas estudadas é feita através de grafos, no qual os *centros* são representados pelos nós e suas interações são representados pelas linhas de ligação. Os centros podem ser qualquer feição geográfica em qualquer escala – ruas ou cidades, por exemplo.

Redes complexas tendem a apresentar *clusters*. Um *cluster* possui várias conexões internas e poucas conexões externas. Para Jiang (2016) os *clusters* se parecem muito com o conceito de *centro* de Alexander.

Jiang (2015) propõe medir o grau de vida de cada centro, isto é, estabelecer uma ordem hierárquica entre os centros, através da medida *PageRank* – *PR score*. Trata-se de um algoritmo usado para hierarquizar *websites* conforme sua importância, isto é, conforme sua conectividade. Centros mais bem conectados recebem valores maiores. Conforme Jiang (2015) *PageRank* é uma medida de centralidade, que é associada à propriedade das redes complexas de não possuírem escala (*scale free*).

A quantificação do grau de *wholeness* é feita através do *head-tail index* – *ht-index* (JIANG; YIN, 2014), que se trata de um algoritmo de definição de classes de intervalo para dados com distribuição de cauda pesada (*heavy-tailed*), como, por exemplo, leis de potência. É parecido com o método de quebras naturais, de Jenks, mas conforme Jiang, mostra melhor os níveis de escala presentes em distribuições de cauda pesada. Conforme Jiang, a ordem proposta por Alexander se difere da geometria Euclidiana e de estatísticas Gaussianas. Por isso, defende o uso de geometria fractal, não só no sentido de formas irregulares, mas também no padrão de escalonamento: mais entidades pequenas do que entidades grandes. O *ht-index* é, portanto, uma medida global, que Jiang (2015) usa para medir *wholeness*.

O algoritmo separa os valores, considerando que aquelas que estão acima da média são a *cabeça* (*head*) e o que estão abaixo, a *cauda* (*tail*). Este processo de quebra continua recursivamente para os valores *head* até que a noção de bem mais coisas pequenas (*far more small things*) não esteja mais presente (isso é definido pelo usuário, pode ser uma proporção 80/20, 70/30 ou outra). Assim, o *ht-index* pode ser definido como o número de vezes que o padrão de mais coisas pequenas do que grandes ocorre (JIANG; YIN, 2014), podendo ser utilizado para comparar diferentes sistemas.

Conforme Jiang (2015), o modelo de *wholeness* proposto permite explicar por que complexidade visual e fractais generativos são belos, além de permitir comparações entre graus de beleza. Para o autor, “este tipo de beleza reside na estrutura profunda, e não na superfície colorida ou na aparência”<sup>30</sup>. Com essa noção de *wholeness*, beleza torna-se algo computável e quantificável. Dessa forma, beleza poderia ser considerada parte da ciência da complexidade e tal noção ajudaria a criar uma ponte entre ciência e artes.

A abordagem de Jiang (2015, 2016) merece destaque no sentido de trazer a teoria de Alexander para uma perspectiva sistêmica, usando uma abordagem de grafos, o que parece coerente com o programa de pesquisa proposto por Alexander. Fornece uma maneira de hierarquizar os centros (*PageRank*) e um índice global (*ht-index*) que pode ser utilizado como um indicador para fins comparativos, além de fornecer ao mesmo tempo um esquema de visualização. No entanto, há duas limitações importantes no trabalho de Jiang. A primeira delas é o caráter genérico e abstrato de suas proposições, que pode ser exemplificado pela inexistência de relação da medida de centralidade *PageRank* com alguma qualidade urbana. Outra limitação é que o autor apenas dá atenção à propriedade *níveis de escala*, o que reduziria a noção de inteireza a basicamente uma única propriedade e não quinze. Além disso, ao enfatizar a questão estética, Jiang dá pouca ênfase à questão de desempenho funcional e

---

<sup>30</sup> *This kind of beauty exists in the deep structure, rather than in the surface coloring or appearance* (JIANG, 2015, p.12).

outros aspectos que seriam importantes ao desenho urbano. Assim, seu método parece insuficiente como apoio ao desenho urbano.

#### 2.3.4.3 Ekinoglu e Kubat (2017) / Ekinoglu, Kubat e Plunz (2017)

Adaptando a questão de “como mensurar *inteireza*” à análise espacial, Ekinoglu e Kubat (2017) reformulam a pergunta da seguinte maneira: quão completo é um espaço baseado na informação expressa através de suas várias, multi-escalares, possibilidades morfológicas? Com base nisso, os autores exploram o conceito de *inteireza* como uma medida de entropia, que é uma medida de incerteza e desordem. A entropia de Shannon (1948) é uma medida de incerteza e desordem. Nessa interpretação, baixa entropia seria sinônimo de grau mais alto de *inteireza*.

Ekinoglu, Kubat e Plunz (2017) sugerem ainda que *inteireza* estaria associada à legibilidade na morfologia que um sistema revela em seus vários níveis de escala. De modo semelhante a Jiang, a principal contribuição dos trabalhos destes autores está na constatação de que a noção de *inteireza* não estaria na geometria Euclidiana, isto é, no layout geométrico ou orgânico de uma cidade, mas sim na geometria fractal, o que torna *inteireza* um aspecto mensurável.

#### 2.3.5 Conclusões da seção

Conforme visto nessa seção, Alexander fornece uma visão singular sobre a natureza da ordem do ambiente construído. Levanta questões instigantes e pertinentes ao mundo do *design*, como, por exemplo, propriedades geométricas que, conforme seus argumentos, nos ajudariam a projetar melhor. No entanto, o autor não objetiva exatamente uma forma de operacionalizá-las, propondo uma agenda de pesquisa em torno disso, para cujo desenvolvimento fornece poucas pistas.

O que existe atualmente é um conjunto de explorações feitas por outros pesquisadores em torno de como mensurar *inteireza*, dentre as quais as mais promissoras são aquelas que trazem o problema para uma perspectiva de sistemas complexos. Jiang (2015, 2016) sugere uma abordagem de redes; Ekinoglu e Kubat (2017) sugerem uma medida de entropia. Ao mesmo tempo, a visão crítica de Seamon (2016, 2019) ajuda a entender as dificuldades metodológicas envolvidas na tarefa de levar a cabo a agenda proposta por Alexander.

Com os pontos levantados nessa seção, chega-se à conclusão de que é muito difícil uma teoria geral de *wholeness* conforme Alexander pretende, isto é, uma definição que se aplique

a todas as estruturas da natureza e feitas pelo homem, de todos os tipos e em todas as escalas. Uma das dificuldades envolvidas na objetivação das ideias de Alexander está justamente no caráter abrangente de suas teorias. O lado positivo desse caráter compreensivo está no fato de permitir diversas possibilidades de exploração, até mesmo por outros campos de pesquisa. Porém, pensando sob o ponto de vista específico do desenho urbano, torna-se problemático. Conclui-se que transpor suas ideias para o âmbito do desenho urbano requer interpretações e, talvez, relaxar alguns aspectos dessa teoria, tendo em vista que as quinze propriedades não parecem totalmente capazes de capturar qualidades espaciais úteis na escala do desenho urbano, tampouco parecem realmente se aproximar de um debate sob o ponto de vista de sistemas complexos.

## 2.4 Conclusões do capítulo

Retomando os principais pontos vistos neste capítulo destaca-se:

- i. A visão de cidade como um sistema complexo, isto é, que opera por lógicas mais *bottom-up* do que *top-down*, mas que é passível de descrições matemáticas, abrindo possibilidade de incorporação de ferramentas analíticas desenvolvidas em outros campos;
- ii. A existência de diferenças importantes no processo de auto-organização de sistemas naturais e artificiais, conforme apontado por Portugali (2006, 2012);
- iii. O desenho urbano como um processo que precisa lidar com a natureza mal definida (RITTEL; WEBER, 1973), imprevisível e multifacetada dos problemas urbanos;
- iv. As tendências contemporâneas do desenho urbano mais baseado em métodos analíticos e métodos quantitativos, incluindo possibilidades de incorporação de métodos já utilizados para estudar sistemas complexos;
- v. As teorias recentes de Alexander, e que se propõem como embasamento genérico para uma prática projetual baseada no processo *harmony-seeking*, descrito pelo autor, mas que na prática não são automaticamente transponíveis para o desenho urbano, justamente por seu caráter genérico e não-sistêmico, isto é, por não focarem nas especificidades desse campo;
- vi. O esforço de Alexander de entender o todo a partir da interação entre as partes, que embora seja coerente com a ideia de cidade como um sistema complexo, ainda permanece distante de constituir um método formal para desenho urbano;
- vii. A agenda de pesquisa proposta por Alexander, que já conta com algumas [poucas] tentativas de operacionalização por parte de alguns autores, sendo os mais

promissores aqueles que adotam abordagens de sistemas complexos, como Jiang (2015, 2016) e Ekinoglu e Kubat (2017).

Então, levando em conta esses pontos, e pensando nas teorias de Alexander sob o ponto de vista de sua possível aplicação ao desenho urbano, é possível derivar algumas questões com implicações para o presente trabalho.

A primeira delas é que Alexander sustenta que *inteireza* e o *processo de formação de centros* encontram-se presentes, em maior ou menor grau, em todas as coisas na natureza – desde átomos até sistemas planetários – ou feitas pelo homem – desde tapetes e obras de arte até edificações e cidades, porém, conforme visto, suas descrições são excessivamente genéricas e abrangentes. Assim, o primeiro desafio estaria em contextualizar essas teorias no âmbito específico do desenho urbano, isto é, na escala da cidade. Projetos nessa escala possuem particularidades específicas desse tipo de projeto, conforme evidenciado na seção 2.2. Cabe lembrar que essa tese se refere ao desenho urbano com enfoque para elementos como a rede viária, as formas construídas, a distribuição de atividades, os espaços abertos e os modais de transporte, entre outros, ou seja, desenho urbano num sentido que se aproxima mais da escala e do escopo do planejamento urbano que da arquitetura/paisagismo. Assim, como levar as teorias de Alexander para o contexto de desenho urbano em tal escala?

Atrelada a essa questão, cabe também questionar a real utilidade de se buscar interpretações para as quinze propriedades, em analogia com alguma propriedade urbana. Para Alexander, a presença das quinze propriedades, ou pelo menos, de algumas delas, seria indicativo de qualidade. Será que isso é válido em se tratando da forma urbana? Até que ponto as quinze propriedades são realmente capazes de capturar alguma qualidade essencial na escala da cidade, que possa ser relacionada à algum fenômeno real?

Para discutir esses pontos, dois argumentos principais podem ser apreendidos na revisão da literatura feita neste capítulo. Primeiramente, contrapondo a noção de sistemas complexos com as teorias de Alexander, podemos nos referir à natureza das interações, que são distintas nos sistemas complexos naturais e nos sistemas complexos artificiais. Nos sistemas naturais, as partes interagem de forma aleatória até que surja um padrão auto-organizado. Não há intencionalidade, é uma forma de auto-organização sem intenções. Nos sistemas artificiais, por outro lado, há intencionalidade, os agentes são inteligentes – agem e interagem conforme seus interesses. Alexander qualifica os processos de morfogênese como *harmony-seeking*. Na natureza, sem que haja um comando central, é possível observar processos auto-organizados do tipo *bottom-up*, que resultam em formas belas e funcionais. Em sua teoria, se conseguíssemos de alguma forma reproduzir o mesmo processo de morfogênese, com os mesmos princípios geométricos observado na natureza, atingiríamos equivalente qualidade

nos artefatos produzidos pelo homem. No entanto, conforme já mencionado anteriormente, claramente existe uma diferença entre os processos de morfogênese na natureza e nas cidades (PORTUGALI, 2006). Assim, em se tratando de desenho urbano, um processo que leva a uma qualidade inquestionável seria contraditório com a própria natureza complexa das cidades, repleta de problemas mal definidos (*wicked*). Nas cidades, as ações são intencionais e o conflito de interesses, intenções e valores é inerente ao seu processo de crescimento e desenvolvimento.

A segunda questão é que, na visão de Alexander, qualidade é intrínseca à forma – noção esta que esteve presente ao longo de toda sua obra. Nesse sentido, segundo a sua teoria, as quinze propriedades geométricas seriam suficientes como princípios de ordem para quaisquer coisas projetada pelo homem, inclusive bairros e cidades. Talvez tais ideias possam ser validadas como esquema compositivo para artefatos mais simples e quem sabe até mesmo para composição de fachadas, conforme visto no experimento de Salingaros (1997). No entanto, pensando especificamente sob o ponto de vista do desenho urbano, não parece possível utilizar as quinze propriedades como critério universal de qualidade, ou de boa forma, tendo em vista a natureza multidimensional e mal definida do desenho urbano. Refuta-se, portanto, a ideia de qualidade intrínseca de Alexander.

Um contraponto que pode ser feito à teoria de Alexander é a visão de March (1984 [1976]), para quem qualidade não é intrínseca à forma, mas sim relativa a valores, que podem mudar conforme o contexto. Conforme March, uma abordagem projetual científica não seria aquela que visa propor uma solução *correta*, mas sim que seleciona uma solução preferencial dentro de uma gama de possibilidades e procura avaliar seu valor relativo. Para Alexander uma hipótese de projeto é como uma hipótese científica, ela pode ser aceita ou refutada, ou seja, é correta ou não é correta (ALEXANDER; POYNER, 1984). Para March uma hipótese de projeto não é a mesma coisa que uma hipótese científica, embora admita que o projeto possa ser explicado por lógicas científicas. Assim, hipóteses de projeto contém, necessariamente, valores embutidos, que nem sempre são universais e absolutos. Contém, portanto, intenções do projetista e dos demais atores, que fazem parte de certa visão de mundo, podendo variar conforme época, local ou comunidade.

A visão de March, ao admitir que há intencionalidade, parece mais realista com a verdadeira natureza das cidades e dos seus agentes dotados de intenções – ao se assumir a visão de cidade como sistema complexo artificial. A cidade é inerentemente conflituosa. Assim, a visão de Alexander e Poyner (1984), de que os conflitos devem ser eliminados por meio do projeto, não parece ser possível de concretizar frente à complexidade da cidade e a natureza *wicked* de seus problemas, como Rittel e Weber (1973) apontaram.



Tais questões não são explicitadas em *The Nature of Order*. Alexander busca uma teoria abrangente o suficiente para abarcar todo tipo de configuração. No entanto, quando se tenta trazer o foco para o âmbito do desenho urbano, não há como escapar de uma discussão como essa. A principal conclusão para esse debate é que, dada sua própria natureza, o desenho urbano é mais orientado a propósitos e intenções de agentes (uma comunidade, um proponente público ou privado, ou o próprio projetista) do que a geometrias, embora seu resultado seja uma prescrição de formas. Dito isso, as quinze propriedades podem ser vistas como uma maneira de descrever relações entre elementos, mas não necessariamente como uma maneira de avaliar.

Ainda assim, a visão humanística e holística de Alexander e, em especial, suas reflexões sobre como as partes se organizam para estruturar o todo permanecem importantes para o desenho urbano. A ênfase colocada à questão dos *centros* e aos modos como eles se relacionam soa familiar àqueles que estão habituados a trabalhar com a abordagem dos sistemas configuracionais. Esse é um ponto interessante a ser explorado sob o ponto de vista do desenho urbano.

Por fim, sintetizando o referencial revisado neste capítulo, destacam-se alguns pontos:

- Existência de forte relação entre o discurso de Alexander e os principais postulados das teorias da complexidade, o que sugere que uma abordagem sistêmica seja pertinente e que a linguagem matemática que o autor reivindica estar faltando para a modelagem do processo *hamorny-seeking* possa, talvez, ser a matemática de grafos.
- A ideia de trazer a teoria de Alexander para uma perspectiva sistêmica, usando uma abordagem de grafos, conforme sugerido por Jiang (2015, 2016). Jiang, no entanto, explora pouco toda a riqueza de métodos já desenvolvidos no campo de sistemas configuracionais urbanos. Por exemplo, para medir a ordem hierárquica dos centros, existem outras medidas, já testadas em estudos urbanos, como, por exemplo, aquelas propostas em Freeman (1977), Krafta (1994), Crucitti, Latora e Porta (2006) e outras<sup>31</sup>, talvez mais úteis do que a medida de *PageRank* utilizada por Jiang. Sendo assim, parece que outras medidas poderiam ser exploradas e essa é uma lacuna que o presente trabalho se propõe a explorar.
- Com relação às quinze propriedades, parece difícil aplicá-las diretamente como indicadores de qualidades espaciais, pois envolveria admitir uma qualidade intrínseca à geometria, o que não parece ser o caso, conforme já exposto. Pensando sob o ponto de vista de uma exploração de representação por grafos, a dificuldade estaria no

---

<sup>31</sup> Ver Capítulo 3.

caráter não sistêmico e essencialmente local da maior parte das propriedades, como apontado por Seamon (2016).

- Diante da pouca utilidade de se esboçar um sistema de indicadores urbanos baseados nas quinze propriedades, ainda assim, há algo a ser investigado dentro do escopo esboçado por Alexander. Seria a representação detalhada do sistema urbano, isto é, da descrição dos centros e suas relações, e na captura de suas hierarquias por meio de indicadores baseados em métricas de rede, como aqueles produzidos no âmbito dos sistemas configuracionais urbanos. Essas propriedades de rede poderiam, de certa forma, substituir as propriedades de Alexander, pois capturam aspectos globais da configuração e relações entre componentes.

Modelos urbanos baseados na configuração espacial têm sido utilizados para descrever e mensurar aspectos estruturais da forma urbana em meio computacional. São potencialmente úteis para capturar propriedades espaciais de natureza sistêmica, graças à sua capacidade de descrever detalhadamente os elementos que compõem a estrutura espacial urbana e suas relações. Ao levar em conta detalhes da morfologia urbana, constituem poderosas ferramentas analíticas para avaliação da forma urbana (KRAFTA, 2014), podendo oferecer uma alternativa às quinze propriedades de Alexander.

Visando uma contribuição dentro dessa problemática, a presente pesquisa se volta para o desenvolvimento da proposição teórico-metodológica de um modelo de desenho urbano que contemple a visão de cidade como um sistema complexo, tendo como inspiração os *insights* de Alexander. O próximo capítulo explora as contribuições possíveis do campo de sistemas configuracionais urbanos e áreas correlatas que também se utilizem da matemática de grafos. Ao tratar as cidades sob uma perspectiva de redes, abordagens baseadas em grafos oferecem potencial para objetivar e operacionalizar, ao menos parcialmente, as questões levantadas por Alexander, auxiliando na formulação de um modelo de desenho urbano. A linguagem de grafos é coerente com a ideia de descrever relações entre as partes e das partes com o todo, portanto os sistemas descritivos baseados em grafos serão o foco do próximo capítulo.

### 3. SISTEMAS DESCRITIVOS BASEADOS EM GRAFOS

Conforme visto, o entendimento do todo a partir de suas partes, ponto central na teoria de Alexander, ainda apresenta lacunas no que tange uma operacionalização voltada ao desenho urbano. Este capítulo revisa aspectos conceituais e metodológicos da chamada abordagem configuracional e de outras abordagens baseadas em grafos, que constituem a principal hipótese desta pesquisa para lidar com as teorias de Alexander em direção a um modelo de desenho urbano. Interessa, assim, principalmente questões relativas à representação dos elementos que compõem o sistema espacial urbano.

A abordagem configuracional tem seu enfoque na maneira como as entidades se relacionam e trata o espaço urbano como um sistema. Matemática de grafos e estudos de redes são a base desse tipo de modelagem (FARIA, 2010; KIVELÄ et al., 2014), uma vez que os grafos constituem a principal linguagem para descrever propriedades de elementos conectados (NEWMAN, 2003; NEWMAN; BARABÁSI; WATTS, 2006). Um grafo é um conjunto de vértices conectados por arestas, também denominados nós e ligações, respectivamente. Trata-se de uma linguagem matemática que permite descrever e quantificar relações entre elementos, que nas últimas décadas vem se consolidando nos estudos urbanos como uma poderosa ferramenta analítica<sup>32</sup>.

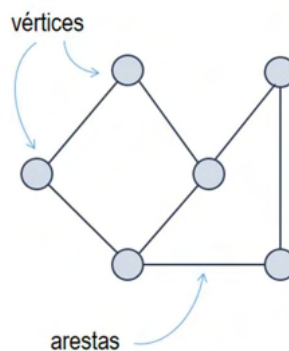


Figura 6 - Grafo

Diante dessas características, métodos baseados em grafos mostram-se como uma alternativa de linguagem que poderia ser explorada em resposta à questão levantada por Alexander de como os *centros*, isto é, as partes, se relacionam numa dada configuração. O restante do capítulo se organiza conforme segue. A seção 3.1 apresenta um quadro geral sobre as principais correntes que compõem o corpo teórico dos estudos urbanos que usam grafos para explorar a configuração e a morfologia urbana. A seção 3.2 enfatiza as distintas

<sup>32</sup> Sobre grafos ver também Wasserman e Faust (2009) e a revisão bibliográfica de Faria (2010).

maneiras que têm sido utilizadas para representar a estrutura espacial urbana sob a forma de grafos, enquanto a 3.3 discute formas de representar aspectos cognitivos por meio de grafos. A seção 3.4 traz a noção de grafos multicamadas. Na seção 3.5 são apontadas as conclusões do capítulo.

### 3.1 A abordagem configuracional nos estudos urbanos

As primeiras aplicações da matemática de grafos aparecem em estudos sobre redes sociais (WASSERMAN; FAUST, 2009). Nos anos 1960, Haggett e Chorley (1969) trazem a abordagem de redes para o campo da geografia e para o estudo das cidades. Em seguida, passa a fazer parte dos métodos formais utilizados em arquitetura e urbanismo, a partir de trabalhos de March e Steadman (1971).

Esta seção procura sistematizar as principais correntes, nos estudos urbanos, que se utilizam da matemática de grafos. Busca-se apresentar e contextualizar essas distintas correntes de estudo, sendo que a ênfase do recorte adotado nessa revisão está na investigação de distintas maneiras de descrever as cidades. Interessam estudos que tenham interface com morfologia urbana, não necessariamente se restringindo ao campo da arquitetura e urbanismo. Ficam de fora os estudos da área de transportes, que embora também explorem a abordagem de redes espaciais urbanas, constituem campo de pesquisa específico demais, fugindo ao escopo desse trabalho. O objetivo aqui é trazer uma visão geral dos estudos que exploram a noção de redes em cidades, apresentando métodos que podem ser úteis ao desenho urbano.

#### 3.1.1 Estudos pioneiros de Cambridge

Os estudos de Krüger (1979, 1980, 1981a, 1981b), publicados entre o final dos anos 1970 e início dos anos 1980, foram pioneiros no uso de grafos para estudos urbanos, contribuindo enormemente para a formação de uma nova maneira de abordar a morfologia urbana e de representar a estrutura espacial urbana. Até então, a morfologia urbana era vista praticamente apenas a partir de uma abordagem histórica e tipológica (Conzen, Panerai, entre outros). Antes de Krüger, outros pesquisadores do *Martin Centre for Architecture and Urban Studies*, da Universidade de Cambridge (March e Steadman, 1971)<sup>33</sup>, já haviam proposto a aplicação de grafos para arquitetura, mas como forma de analisar a estrutura de compartimentação interna das edificações.

Krüger (1979) propõe que o grafo urbano seja subdividido em uma rede de canais (*channel network*), baseada na rede de ruas, e uma galáxia de formas construídas (*built form galaxy*),

---

<sup>33</sup> O'Sullivan (2000) faz uma boa síntese dos estudos da Escola de Cambridge e da Sintaxe Espacial.

baseada na representação abstrata das formas construídas. Para o autor, os grafos permitem uma representação simplificada do tecido urbano, possibilitando mostrar relações entre as formas construídas; entre as formas construídas e o entorno; e entre as formas construídas e a rede de ruas. Sugere o conceito de *formas construídas (built form units)* como sendo modelos matemáticos para representar edifícios em estudos teóricos, sugerindo também uma abordagem para a descrição da conectividade da forma construída. Conforme Krüger (1988, p.2), “(...) formas construídas não são edifícios, mas representações simplificadas de suas propriedades, inter-relacionadas sistematicamente e coerentemente, em função das finalidades para as quais são elaboradas”.

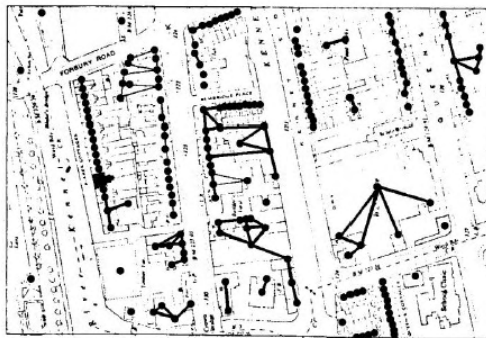


Figura 7 - Grafo evidenciando conexões entre formas construídas. Fonte: Krüger (1979).

Echenique e Owers (1994 *apud* O’SULLIVAN, 2000) consideram que o trabalho inicial dos pesquisadores do Martin Centre era altamente abstrato e pouco conectado com a prática nos campos de arquitetura e planejamento urbano. No entanto, esses trabalhos foram centrais no desenvolvimento de modelos posteriores.

### 3.1.2 Sintaxe espacial

Um segundo bloco de trabalhos de fundamental relevância para o campo dos sistemas configuracionais é o da sintaxe espacial, teoria desenvolvida originalmente na *Bartlett School of Architecture and Planning*, da *University College London (UCL)*, por Bill Hillier e colegas. Essa teoria foi pioneira nos estudos urbanos ao fornecer um método que permite associar características físicas, isto é, configuracionais, à ideia de uma lógica social de ocupação do espaço e de padrões de movimento (HILLIER; HANSON, 1984). Essa linha de pesquisa vem buscando dar sustentação para hipótese de que a configuração da rede viária possui efeitos sobre movimentação de pedestres, uso do solo e desenvolvimento urbano (HILLIER et al., 1993). Estudos empíricos iniciais mostraram que a malha urbana molda o movimento,

concentrando o fluxo de passagem em certas vias, conforme sua hierarquia (HILLIER et al., 1993)<sup>34</sup>.

Além da teoria que relaciona aspectos espaciais e sociais, a sintaxe espacial trouxe como contribuição um método para descrever o espaço urbano. A representação dos espaços públicos é feita originalmente de duas maneiras: a) por meio de linhas axiais, que são o menor conjunto de linhas retas que interconecta os espaços públicos de um recorte urbano; b) por polígonos convexos, que representam os espaços convexos (figura 8).

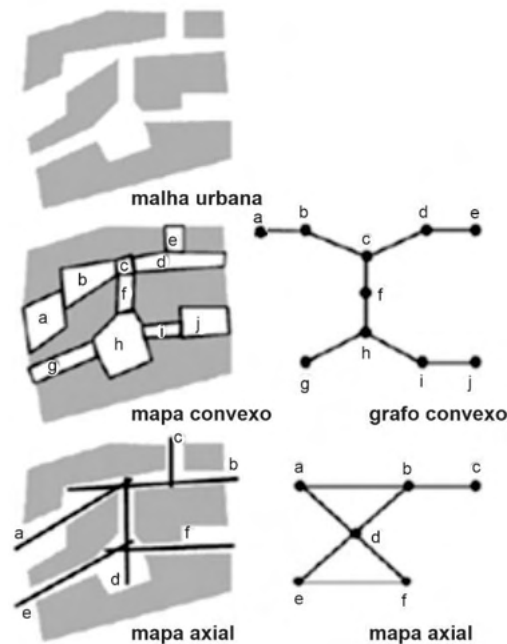


Figura 8 – Representação dos espaços públicos. Fonte: Adaptado de Figueiredo (2004).

A partir destas unidades espaciais, constrói-se um grafo, que consiste em um sistema de relações topológicas entre os espaços descritos. Finalmente, a partir do grafo se calculam métricas de acessibilidade, chamada de medida de *integração – integration*, na terminologia da sintaxe espacial; e centralidade, conhecida por *escolha rápida – choice*<sup>35</sup>. Enquanto a primeira é baseada em um somatório de distâncias, a segunda se refere à quantidade de caminhos mínimos que passa por cada linha axial, por isso pode ser considerada uma medida baseada em intermediação, isto é, posição relativa. Ambas se referem a qualidades do todo, o que diferencia a sintaxe espacial de abordagens tradicionais da morfologia urbana, focadas em elementos isolados.

<sup>34</sup> Estudos empíricos posteriores nem sempre corroboram tal hipótese, pois em alguns casos há baixa correlação entre medidas da sintaxe espacial e dados sobre movimento.

<sup>35</sup> A base de cálculo da *choice* é praticamente igual à clássica medida de centralidade por perpasso – *betweenness centrality*, sugerida por Freeman (1977, 1979).

Nos anos 1980, tal teoria parecia capaz de fornecer o esperado apoio científico que as teorias urbanas e socioespaciais ficavam devendo à prática urbanística (NETTO, 2013). Porém, limitações importantes vêm sendo apontadas (RATTI, 2004; NETTO, 2013; PAFKA; DOVEY; ASCHWANDEN, 2018), como, por exemplo, o fato de as métricas da sintaxe espacial não incorporarem uso do solo e de as linhas axiais serem uma forma muito agregada de leitura de certos eixos.

Dos anos 1980 para cá, a teoria da sintaxe espacial foi bastante difundida entre diversos centros de pesquisa no mundo todo. Outros métodos de representação foram propostos, em alternativa ao clássico método de linhas axiais, como é o caso das linhas de continuidade (FIGUEIREDO; AMORIN, 2005) e os eixos definidos pelo nome das ruas (JIANG; CLARAMUNT, 2004). Representações mais desagregadas (BATTY, 2004a, 2004b) também passam a figurar entre as possibilidades de aplicação das medidas da sintaxe, ganhando em grau de detalhamento, mas perdendo o aspecto cognitivo, que originou a ideia de uso de linhas axiais.

Vale destacar que, diferentemente dos estudos da Escola de Cambridge, que buscavam formas de representar tanto a rede de ruas como as formas construídas, a sintaxe espacial tradicionalmente manteve o foco na rede de espaços públicos, com variadas formas de representação. Apesar de haver trabalhos que combinem estudo sintático com uso do solo (como KARIMI et al., 2013; ACHARYA et al., 2017), a forma construída não é facilmente incorporada.

### 3.1.3 Estudos de redes espaciais

Tanto os estudos desenvolvidos na Universidade de Cambridge quanto a abordagem da sintaxe espacial se inserem num âmbito de estudos cujo foco está na morfologia urbana. Há um conjunto de trabalhos menos ligados à tradição dos arquitetos e urbanistas, mas igualmente relevante para o estudo configuracional urbano. São estudos conduzidos em distintos centros de pesquisa, por pesquisadores não apenas da arquitetura, mas também da geografia, física, matemática e computação, que buscam aplicar métodos dos estudos de redes a estudos urbanos<sup>36</sup>. Nestes estudos há uma tendência a representações mais desagregadas que as linhas axiais, como a representação nodal, isto é de intersecções viárias, e por trechos de rua. Via de regra, o foco tem sido a representação e análise do sistema viário.

---

<sup>36</sup> Faria (2010) traz uma boa revisão das diversas métricas utilizadas para análise de rede.

As pesquisas conduzidas por Sergio Porta, Paolo Crucitti, Vito Latora, juntamente com outros pesquisadores, ganharam bastante relevância nos estudos urbanos (PORTA; CRUCITTI; LATORA, 2006a, 2006b; CRUCITTI; LATORA; PORTA, 2006). Os autores propõem uma abordagem de análise por múltiplas medidas de centralidade: a) centralidade por perpasso ou intermediação – *betweenness centrality*; b) centralidade por proximidade – *closeness centrality*; c) centralidade por informação – *information centrality*; d) centralidade por linearidade – *straightness centrality*. PORTA et al. (2009) utilizam ainda a medida de centralidade por excentricidade – *excentricity centrality*.

A centralidade por perpasso foi inicialmente sugerida por Freeman (1977, 1979), que a utilizava para aferir centralidade em estudos sobre redes sociais. Essa medida foi incorporada aos estudos urbanos, como uma forma quantitativa de aferir a centralidade dos espaços públicos. A centralidade por proximidade, que também foi utilizada por Freeman (1979), trata-se de uma medida baseada em um conceito simples de acessibilidade, isto é, somatório de distâncias (INGRAM, 1971) – também bastante utilizada em estudos urbanos. Tanto a centralidade por perpasso quanto a centralidade por proximidade são utilizadas nos estudos da sintaxe espacial, embora com método de cálculo adaptado e com outras nomenclaturas.

Além das medidas de centralidade citadas anteriormente, o grau do vértice – *node degree* – também é comumente utilizado em estudos urbanos. Trata-se de uma métrica de conectividade que computa o número de conexões de cada elemento da rede. Kirkley et al. (2018) consideram os resultados dessa medida pouco interessantes para redes planares. Conforme Barthélemy (2004), por ser uma medida local, isto é, só verifica relação com os vizinhos, não caracteriza a importância global do vértice na rede.

O fato desses estudos adotarem uma terminologia que remete aos estudos clássicos de redes não-espaciais (FREEMAN, 1977) permite maior intercâmbio entre pesquisas, o que tem como vantagem a possibilidade de incorporar métodos de análise de redes ao estudo das cidades de forma mais clara.

De modo geral, pesquisas de redes espaciais têm se focado principalmente em dois objetivos:

a) Busca por relações entre métricas de centralidade e aspectos comportamentais e socioeconômicos, a partir de medidas de correlação. Por exemplo, alguns estudos empíricos (PORTA et al., 2009; PORTA et al., 2012) encontraram correlação entre a centralidade por perpasso e a localização de atividades comerciais<sup>37</sup>. Porta et al. (2009) atribuem os resultados encontrados ao fato de a centralidade por perpasso capturar o movimento de passagem, do qual as atividades comerciais tiram proveito, mas essa hipótese sobre movimento também é controversa e requer mais confirmações empíricas. Lima (2015) sugere que a correlação entre

<sup>37</sup> Para Bologna 'r' acima de 0,700 (PORTA et al., 2009) e para Barcelona r=0,550 (PORTA et al., 2012).



atividades comerciais e medidas de centralidade pode ser considerada relativamente baixa, porém o grau de correlação não depende apenas da métrica utilizada, mas também o tipo de processamento (euclidiano ou topológico) e o raio. Conforme o autor, a correlação tende a ser maior quando se usa o processamento euclidiano, a representação por trechos de rua e raios entre 800 e 1.100 metros.

b) Busca por padrões universais das cidades e de seu crescimento, a partir do comparativo das medidas de centralidade aplicadas a muitas cidades. Por exemplo, Strano et al. (2013) compararam medidas de centralidade e acessibilidade em dez cidades e verificam grande semelhança nos padrões de distribuição das medidas de centralidade e em aspectos geométricos, o que sugere a existência de um comportamento universal. Nilsson e Gil (2017) utilizam o grau do vértice para diferenciar cidades planejadas das auto-organizadas, verificando que em padrões de ruas irregulares (auto-organizados), o grau do vértice tende a seguir uma distribuição em lei de potência, ao passo que em padrões mais regulares isso não ocorre. Outros autores analisam o comportamento evolutivo de cidades ou regiões para verificar como se comportam as métricas de rede ao longo do tempo, como é o caso dos trabalhos de Strano et al. (2012) e Kirkley et al. (2018). Ambos os trabalhos verificam alta estabilidade dos 10% de valores mais altos da medida de centralidade por perpasso, ao analisar um período de cerca de 200 anos na história da região de Groane (STRANO et al., 2012) e do centro de Paris (Kirkley et al., 2018).

Mais recentemente, uma nova safra de trabalhos tem explorado essas medidas dos estudos de redes espaciais ou mesmo medidas da sintaxe espacial, com conjuntos de dados maiores, algoritmos mais robustos e técnicas de análise estatística mais sofisticadas (STRANO et al., 2012; STRANO et al., 2013; SPHUZA, 2014; KIRKLEY et al., 2018). Muitos destes possuem como enfoque a caracterização do sistema urbano sob o ponto de vista do seu processo evolutivo.

### 3.1.4 Estudos que combinam morfologia urbana e redes espaciais

O foco das pesquisas desenvolvidas tanto pelo grupo de Hillier, na UCL, quanto nos estudos de redes espaciais, incluindo seus desdobramentos mais recentes, tem sido a rede de ruas. É difícil explicar as razões pelas quais as formas construídas e conteúdos socioeconômicos tenham ficado de fora, ou utilizadas apenas para fazer correlações com as propriedades da rede viária, mesmo isso já tendo sido sugerido por Krüger nos anos 1970. O fato é que há relativamente poucos estudos que incorporem as formas construídas ou outros elementos urbanos no cômputo das métricas. A seguir são revisadas pesquisas que procuram fazer justamente isso, unindo a abordagem morfológica dos estudos de Cambridge com as métricas

dos estudos de redes espaciais, incluindo também o desenvolvimento de novas métricas que incorporam a forma construída. Boa parte dos trabalhos com tal enfoque vem sendo desenvolvida pelo grupo de Sistemas Configuracionais Urbanos da UFRGS, com algumas iniciativas também em outros centros de pesquisa.

Krafta (1994, 2014) retoma algumas das ideias de Krüger, propondo um método descritivo para o sistema urbano em que o conteúdo das formas edificadas seja levado em conta, por meio de valores atribuídos a elementos do grafo. Além de testar diferentes maneiras de representar os espaços públicos e as formas construídas, propõe uma adaptação da medida de centralidade por perpasso de Freeman (1979). A centralidade proposta por Krafta, que chamaremos aqui de *centralidade Freeman-Krafta*, se baseia não apenas na posição relativa dos elementos, mas também nas distâncias entre os elementos e no seu conteúdo. Formas construídas podem ser vistas como uma abstração de edificações ou de seus atributos, conforme definição de Krüger. São porções discretas do espaço urbano, denominadas *built form units* (BFU). A medida de centralidade proposta por Krafta (1994) assume: a) que toda unidade de forma construída é alcançável de qualquer outra a partir dos espaços públicos; b) que cada par de unidades gera uma tensão, que é distribuída ao longo do caminho. As unidades de forma construída podem conter atributos, assim a medida é computada através de um grafo ponderado, isto é, com atributos nos vértices.

Krafta (1996, 2014) propõe ainda outro conjunto de medidas operadas a partir de grafos ponderados, isto é, com atributos numéricos: *oportunidade espacial*, *convergência* e *polaridade*. Enquanto as medidas de centralidade por perpasso e centralidade Freeman-Krafta computam os resultados levando em conta todos os possíveis pares de nós de uma rede, essas três medidas consideram apenas pares de nós carregados com atividades complementares, que podemos pensar como demanda-oferta ou origem-destino.

- *Oportunidade espacial* descreve o privilégio locacional de locais de demanda em relação ao conjunto de demandas disponíveis. Mostra quais localizações estão mais próximas dos locais de oferta (de serviços, equipamentos, empregos, por exemplo).
- *Convergência* mostra os locais de oferta que estão melhor localizados frente à distribuição de seus potenciais usuários ou concorrentes.
- *Polaridade* é uma medida de centralidade cuja base de cálculo é semelhante à Freeman-Krafta, com a diferença de que considera apenas pares de vértices carregados com usos complementares, como, por exemplo, residencial e comércio/serviços.

Alguns estudos empíricos mostram que essas medidas melhoram a correlação com aspectos como: a) localização das atividades – Lima (2015) encontrou correlações maiores entre

atividades comerciais e a centralidade Freeman-Krafta do que com a centralidade por perpassa de Freeman; b) movimento de pessoas – Zechlinski (2013) encontrou correlações maiores entre fluxo de pessoas e a medida de polaridade do que com outras medidas de centralidade.

## 3.2 Representação do sistema espacial urbano

O que há de comum entre todos os estudos descritos na seção 3.1 é a representação da estrutura espacial urbana sob a forma de grafos. Os grafos possibilitam descrever e quantificar relações entre componentes de um sistema, por isso são fundamentais à análise configuracional. Esta seção discute em maior profundidade as distintas possibilidades de representação por meio de grafos.

Os vértices de um grafo podem representar qualquer tipo de entidade, como pessoas, ruas ou cidades. As arestas representam relações, que podem ser de variados tipos. Em um contexto de modelagem urbana é natural que os elementos mais fundamentais da morfologia urbana, tais como ruas, edificações, quadras ou lotes, sejam os vértices do grafo, enquanto as arestas representem relações entre estes.

Ainda assim, uma série de definições precisa ser feita até que se chegue a uma representação do tecido urbano sob a forma de um grafo. O espaço aberto público, por exemplo, é contínuo, demandando algum critério para individualizar porções de espaço aberto sob a forma de unidades discretas e adjacentes (KRAFTA, 2014, p.139). E existem diferentes formas de fazer isso.

Marshall et al. (2018) enfatizam que nos estudos que trabalham com esse tipo de abordagem existe sempre uma fase de *modelagem de rede*. Nessa fase são tomadas decisões de modelagem, como, por exemplo, de que forma o sistema será descrito, quais elementos farão parte do estudo e que tipos de relações serão evidenciadas. Tais escolhas, embora nem sempre sejam explicitadas pelos pesquisadores nos estudos de redes espaciais, constituem uma fase importante do estudo, uma vez que interferem profundamente nos resultados (MARSHALL et al., 2018; FARIA, 2010). Assim, a escolha por determinado tipo de modelo deve ser feita de forma consciente pelo pesquisador conforme os objetivos da análise/pesquisa. De modo equivalente, pode-se dizer que a mesma observação é válida para um contexto projetual, onde o projetista precisa definir o tipo de representação mais adequado à escala e caráter do projeto. Cabe salientar também que a escolha por um método de representação ou por outro vai depender dos objetivos da modelagem, não sendo possível afirmar que um é melhor que outro (O’SULLIVAN, 2000; MARSHALL et al., 2018).

Os sistemas de representação comumente utilizados nos estudos configuracionais dão ênfase aos espaços públicos, mais especificamente à rede de ruas, mas não se pode descartar a possibilidade de inclusão de outros elementos da morfologia urbana igualmente importantes para o desenho urbano, como, por exemplo, as edificações. A seguir é feita uma síntese dos principais sistemas descritivos que têm sido utilizados para representação dos elementos que compõem a estrutura espacial urbana, incluindo alguns trabalhos menos conhecidos.

### 3.2.1 Representação do sistema viário

Marshall et al. (2018) apresentam uma síntese abrangente e atualizada revisão dos principais métodos para descrição da rede de ruas, levando em conta estudos de diferentes tradições disciplinares, como, por exemplo, planejamento de transportes, planejamento urbano, arquitetura, geografia, psicologia ambiental e física. Conforme os autores, especialmente na área de transportes, a rede viária tende a ser vista apenas como uma rede de circulação. Entretanto, nos estudos urbanos, a rua é reconhecida por seus múltiplos papéis – além de servir como canal de circulação, abriga interações sociais e econômicas, expressões sociais, culturais e políticas, isto é, possui natureza multifacetada (Marshall et al, 2018).

Tendo em vista a pluralidade de pontos de vista sob os quais se pode abordar o sistema viário, existem também distintas formas de representação, as quais priorizam algum aspecto em detrimento de outros. A figura 9 mostra as diferentes formas de decompor a rede de ruas e os modelos mais comumente utilizados nos estudos configuracionais, sendo que a diferença básica entre cada um está na definição dos elementos representados no grafo e suas relações. Os três métodos mais usuais para construir um grafo da rede de ruas têm sido: a) intersecções viárias; b) trechos de via; c) linha axiais. Chamaremos estes de representação nodal, representação por trechos e representação axial, respectivamente<sup>38</sup>. Cada sistema descritivo possui um grafo correspondente ao mapa que o representa, conforme destacado na figura 9.

---

<sup>38</sup> Existem outros tipos de representação, ver Marshall et al. (2018).

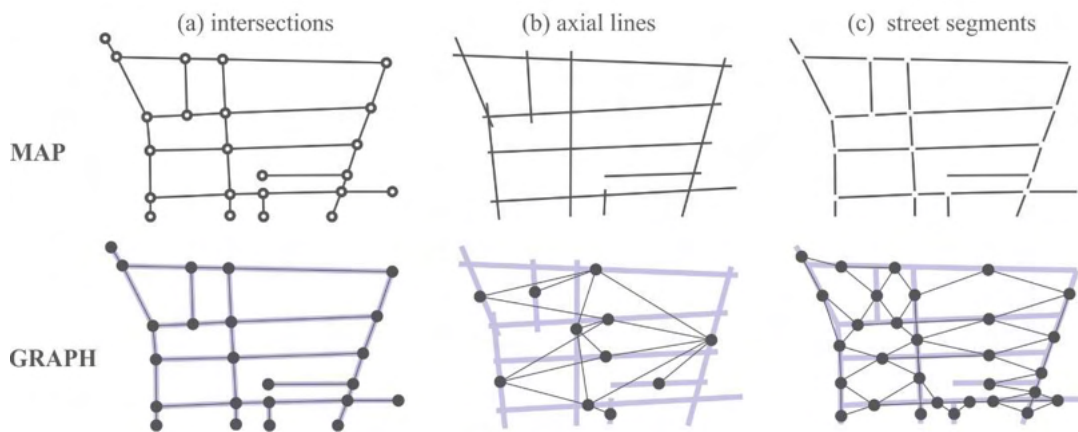


Figura 9 - Sistemas descritivos e grafos correspondentes. Fonte: Rauber e Krafta (2018).

Como se pode notar, algumas representações são mais desagregadas do que outras, resultando em grafos mais simples, com menor número de vértices (como no caso das linhas de continuidade) ou grafos mais detalhados, com maior número de vértices (como no caso do grafo das intersecções). Faria (2010) classifica os modelos conforme o critério utilizado para descrever o espaço: a) manutenção da natureza geográfica do sistema urbano; b) descrição por unidades morfológicas máximas; c) descrição por unidades morfológicas mínimas.

O Quadro 1 sintetiza os principais sistemas descritivos encontrados na literatura. A *representação nodal*, isto é, aquela que mantém a natureza geográfica do sistema urbano, trata-se de um grafo planar ou semiplanar. Um grafo planar corresponde a um grafo bidirecional em que as arestas não se cruzam e semiplanar é quando elementos como viadutos, pontes, ou túneis são incorporados ao grafo (FARIA, 2010, p.62). Esse tipo de representação é particularmente interessante quando distâncias Euclidianas são importantes, pois o grafo é igual ao mapa, preservando assim as distâncias métricas com menor distorção. Conforme Marshall et al. (2018), a representação nodal tem sido o modelo de descrição dominante nos estudos de redes espaciais, particularmente na área de planejamento de transportes.

Todos os sistemas que descrevem o espaço por elementos lineares – linhas axiais, trechos – se referem a uma abordagem não-planar, onde o grafo correspondente é diferente do mapa que o representa e as arestas frequentemente se cruzam, como se pode ver nos exemplos da Figura 9.

<b>Critério</b>	<b>Representação</b>	<b>Vértices</b>	<b>Arestas</b>	<b>Grafo</b>	<b>Medidas</b>
<b>Manutenção da natureza geográfica do sistema urbano</b>	Representação nodal	Intersecções viárias	Trechos de rua	Planar ou semiplanar	- Geodésicas - Topológicas
<b>Descrição por unidades morfológicas mínimas.</b>	Representação por trechos de via	Trechos de rua	Intersecções viárias	Não planar	- Geodésicas - Topológicas
<b>Descrição por unidades morfológicas máximas</b>	Representação por linhas axiais	Linha axiais	Intersecções entre linhas	Não planar	- Topológicas

Quadro 1 - Síntese dos principais sistemas descritivos encontrados na literatura. Adaptado de Faria (2010) e Marshall et al. (2018).

A *representação por trechos de via* trata-se de uma descrição por unidades morfológicas mínimas, e, assim como a representação nodal, é útil quando se quer uma forma detalhada de representação, isto é, com os elementos desagregados. As distâncias métricas podem ser utilizadas nesse caso também, mas acabam ficando um pouco deformadas, principalmente se os comprimentos dos trechos forem irregulares.

O método de *representação por linhas axiais*, proposto por Hillier e Hanson (1984), é uma descrição por unidades morfológicas máximas (FARIA, 2010), sendo na verdade um agregado de unidades mais elementares, que é feito dessa forma por ser uma abordagem mais cognitiva, isto é, leva em conta a maneira como as pessoas percebem e leem visualmente o espaço urbano. Ao mesmo tempo, pode ser considerada uma abordagem menos geográfica, pois a posição do vértice não representa fielmente a posição do elemento representado (FARIA, 2010, p.63). Outros estudos que seguem a tradição da sintaxe espacial desenvolveram diferentes maneiras de representar o sistema viário, com distintos critérios de agregação, como, por exemplo, nome da rua (JIANG e CLARAMUNT, 2004) e linhas de continuidade (FIGUEIREDO; AMORIN, 2005), entre outras.

Uma característica marcante nos estudos configuracionais e de redes espaciais é o enfoque quase que exclusivo no sistema viário, que são os elementos mais facilmente interpretados como redes. No entanto, outros componentes da morfologia urbana, como as formas construídas e seus atributos (tipologias, densidades, usos e atividades, atributos socioeconômicos), são ainda relativamente pouco explorados em estudos de redes, se compararmos com a vasta produção sobre rede de ruas. Geralmente, dados sobre usos, atividades, tipologias edilícias, densidade populacional e dados socioeconômicos são usados apenas para fazer alguma correlação com propriedades de rede obtidas na análise do sistema viário. Poucos, entretanto, exploram a forma construída e seu conteúdo como elemento do

grafo, ou seja, influenciando no cômputo das propriedades de rede. A seção 3.2.2 aborda estudos que seguem nessa direção.

### 3.2.2 Representação das formas construídas e outros elementos

A representação das formas construídas é menos óbvia que do sistema viário. Existem duas maneiras de incluir a forma construída no grafo: a) atribuindo conteúdos como, por exemplo, atividades, população ou densidades, aos elementos que representam o sistema de espaços públicos, formando um grafo ponderado; ou b) considerando edificações ou lotes como vértices do grafo. Essas alternativas têm recebido pouca, ou praticamente nenhuma atenção, na literatura de sistemas configuracionais, especialmente a segunda.

As medidas que levam em conta atributos da forma edificada (centralidade Freeman-Krafta, polaridade, oportunidade espacial, convergência), citadas em 3.1.4, se prestam mais a representações mais desagregadas, como a representação nodal ou por trechos de rua. Um conjunto de trabalhos com procedimentos semelhantes para ponderar os nós de uma rede espacial (GHENO, 2009; ZECHLINSKI, 2008, 2013; RAUBER, 2011, entre outros) exploram descrições onde os elementos do grafo são os espaços públicos, e os atributos socioeconômicos ou da forma construída são atribuídos aos vértices, formando um grafo ponderado. Para Saboya (2001, p.76) a representação por trechos é a mais indicada para agregar informações sobre a forma edificada, sob o ponto de vista do grau de detalhamento e do compartilhamento de dados – opção essa adotada por Gheno (2009) e por Zechlinski (2013). A representação nodal também pode ser utilizada como unidade espacial para agregar atributos de uso do solo, incorporando a vantagem de utilização de distâncias métricas com menos distorção (como em RAUBER, 2011), já que mantém a natureza geográfica do grafo.

No entanto, as possibilidades de representação por grafos não se restringem à representação dos espaços públicos carregados com atributos, existem outras maneiras de explorar relações entre elementos (O’SULLIVAN, 2000; CONSTANTINOU, 2007; SEVTSUK, 2018; GIL, 2014). Enquanto na rede de espaços públicos as relações entre elementos se dão basicamente por adjacência, em uma rede que inclui formas construídas existem múltiplas possibilidades, como, por exemplo, adjacência das edificações aos espaços públicos (GIL, 2014), adjacência entre lotes por vizinhança (CONSTANTINOU, 2007), e até mesmo conexões remotas, como quando existe algum tipo de interação entre elementos que não são adjacentes – local de trabalho e local de moradia, por exemplo, (ZECHLINSKI, 2013).

O sistema descritivo proposto por Zechlinski (2013) utiliza a estratégia de carregar os trechos de rua com atributos relacionados às atividades, mas insere também outro tipo de espaço público – parques e praças. Os espaços públicos são discretizados por trechos de rua, sendo

que cada um é apresentado por um nó do grafo. As praças e parques, por sua vez, também são representadas como nós, assim como os lotes. A figura 10 mostra esses elementos e suas conexões. Apesar da figura mostrar cada lote como um elemento no grafo, a opção final foi por agregar as informações nos espaços públicos. Zechlinski explora ainda a inclusão de conexões remotas entre certos elementos com algum sentido de complementariedade funcional.

Constantinou (2007) propõe um método para estudar transformações intraurbanas, mais especificamente as mudanças tipológicas ocorridas dentro dos lotes. Semelhante ao modelo proposto por O'Sullivan (2000), a autora utiliza um modelo de celular autômato baseado em grafos. Ao invés de o espaço ser subdividido em *pixels* de tamanhos iguais, propõe que as unidades espaciais estudadas – no caso, os lotes – sejam representadas por vértices e suas relações por arestas. Assim, propõe uma abstração na qual os lotes, carregados com informações sobre a tipologia edilícia, são os nós do grafo, enquanto as arestas representam relações de vizinhança entre eles, conforme mostra a figura 11. Esse trabalho é um exemplo de que outros elementos, distintos do sistema viário, podem ser o foco de um estudo baseado em grafos.

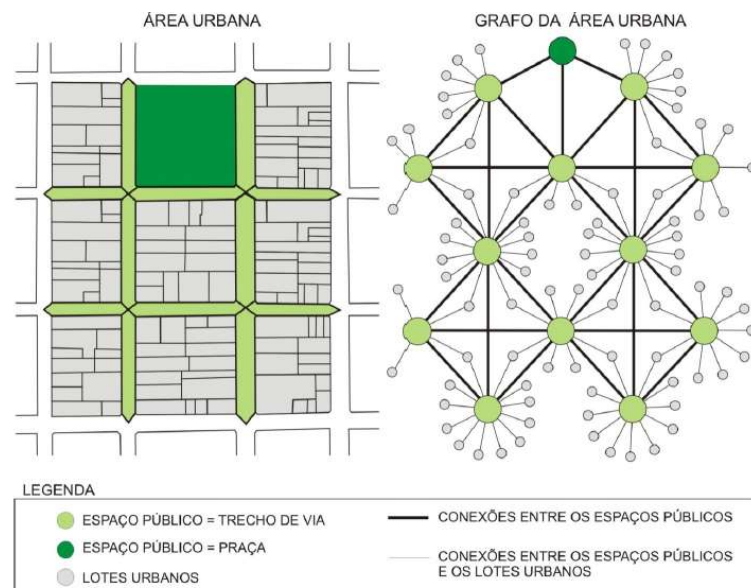


Figura 10 - Representação da estrutura espacial urbana. Fonte: Zechlinski (2013).



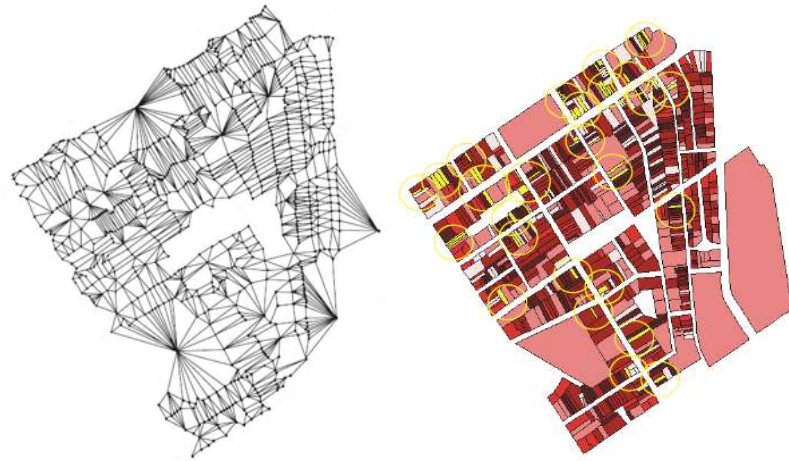


Figura 11 - Grafo representando relações de vizinhança entre lotes. Fonte: Constantinou (2007).

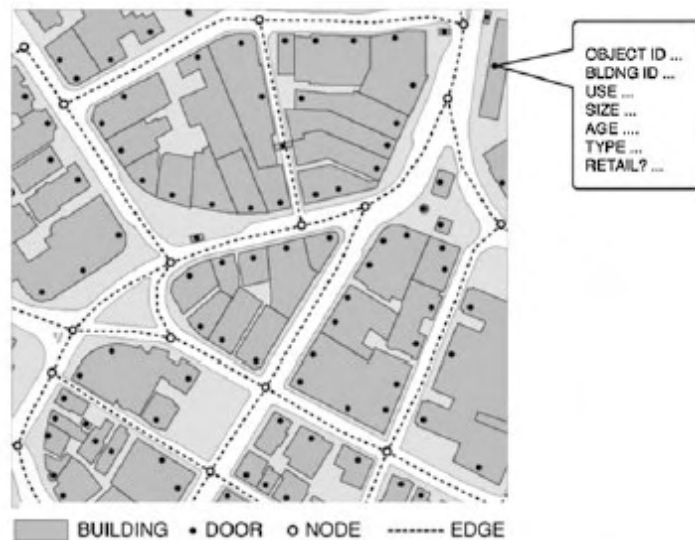


Figura 12 – Modelo que integra espaços públicos com formas construídas. Fonte: Sevtsuk (2018)

Sevtsuk (2018) também explora as formas construídas. Em seu método descritivo, as arestas representam trechos de rua e os nós representam intersecções viárias, constituindo um grafo dos espaços públicos, conforme mostra a figura 12. As formas construídas são computadas no modelo de alcançabilidade (*Reach*) a partir dos seus pontos de acesso, que podem ser acesso a edificações ou a lotes, conforme sua proximidade aos espaços públicos. O índice de alcançabilidade descreve o número total de destinos que podem ser alçáveis dentro de determinado raio a partir de qualquer edificação ou intersecção viária.

Mais recentemente, Krafta (2013) tem sugerido esquemas descritivos com maior nível de detalhe, como, por exemplo, o da figura 13. O autor propõe uma nova medida de desempenho espacial, baseada no potencial de interação social em cada parte da cidade. Neste modelo, sugere que o átomo urbano é composto de dois tipos de partículas de massa, isto é, unidades espaciais: a) formas construídas – *built forms* (BF) e espaços públicos – *public spaces* (PS). Essas partículas interagem através de partículas de força, que são mecanismos de interação

– *interaction engines* (IE), que são a forma como as pessoas interagem. Interação social é função da quantidade de pessoas presentes em cada unidade espacial. Esse tipo de exploração e analogia com átomos remete ao que seria a unidade mínima de representação do espaço urbano e até que ponto seria possível desagregar e subdividir o espaço.

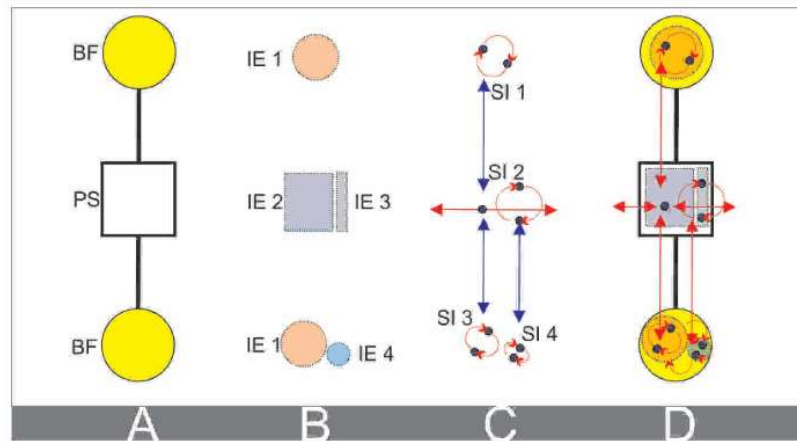


Figura 13 - Representação das menores partículas que formam o espaço urbano. Fonte: Krafta (2013).

### 3.2.3 Representação da cognição espacial

Outro tipo de elemento que pode ser representado por meio de grafos diz respeito às informações ambientais cognitivamente estruturadas na mente humana. O ponto de partida para a representação da dimensão cognitiva é o fato de que as pessoas leem o espaço urbano e criam suas próprias representações mentais, a partir das quais interagem com o ambiente (LYNCH, 1960; GOLLEDGE; SPECTOR, 1978). Os mapas mentais de Kevin Lynch, por exemplo, buscam descrever como o observador estrutura o ambiente urbano. Representações mentais constituem o conhecimento esquemático que o indivíduo tem do ambiente. São formuladas a partir da organização da informação que o indivíduo coleta diretamente no ambiente, especialmente durante os deslocamentos, ou que conhece apenas indiretamente (RAPOPPORT, 1977 *apud* FARIA, 2002, p.56). A representação mental é formulada não apenas com base na experiência individual, mas também com base no conhecimento socialmente compartilhado (PORTUGALI, 1996).

Representar esse tipo de informação por meio de grafos não é algo trivial e as referências sobre isso se restringem a poucos autores (FARIA; KRAFTA, 2003; FARIA, 2002, 2010; ZECHLINSKI, 2008; MEILINGER, 2008) fora dos estudos da sintaxe espacial<sup>39</sup>.

<sup>39</sup> A linha axial é ancorada em um entendimento cognitivo do ambiente, uma vez que a construção da linha axial se baseia na noção de alcance visual. Assim, na sintaxe espacial, aspectos cognitivos



### 3.2.3.1 *Cognição ambiental urbana e representações mentais do ambiente*

Informação ambiental se refere a toda informação disponível no ambiente. Cognição ambiental, ou mapeamento cognitivo, se refere ao processo pelo qual as pessoas adquirem, estocam, organizam e memorizam as informações sobre o ambiente (GIFFORD, 1997, p.29 *apud* ZECHLINSKI, 2008, p.24). Trata-se de um processo de estruturação das informações disponíveis, a partir do qual os indivíduos elaboram um modelo espacial do ambiente. A nomenclatura desses modelos espaciais varia conforme o autor ou o enfoque específico – *representação mental, representação espacial, mapa cognitivo, mapa mental, esquema, imagem* – porém, a noção de que existe algum tipo de representação mental é comum a todas as abordagens da cognição ambiental urbana (ITTELSON, 1978, p.196 *apud* FARIA, 2002, p.108).

Não há consenso sobre *como* ocorre o complexo processo de cognição ambiental, havendo diversas teorias (APPLEYARD, 1969; LYNCH, 1960; RAPOPORT, 1977, entre outros<sup>41</sup>) que procuram explicar como ordenamos e estruturamos a informação do ambiente. Entender como se dá esse processo é, na verdade, uma tarefa muito difícil, ainda mais considerando que formas e tamanhos são distorcidos, relações são alteradas e distâncias são diferentes da realidade (STEA, 1974, p.159). O que se sabe é que as representações mentais são “estruturadas a partir de uma série de elementos que são importantes para o indivíduo devido à sua função na orientação e compreensão direta (localização, tipo de lugar, etc) e indireta (significados e valores associados) do ambiente” (FARIA, 2002, p.122).

Embora não haja consenso sobre como a informação é estruturada, destacam-se aqui alguns aspectos encontrados na literatura sobre cognição espacial e mapas cognitivos, que oferecem uma boa aproximação do que seriam as estratégias utilizadas, inconscientemente, pelos indivíduos para estruturar as informações e formar uma representação mental. Nem todos os aspectos apontados são livres de controvérsias, mas fornecem suficiente conjunto de pistas sobre a cognição ambiental, que serão adotados como fundamentos para as representações exploradas no presente trabalho:

- a) **O processo da cognição espacial envolve determinados procedimentos.** Com base na literatura sobre o tema, Faria (2010, p.187) sintetiza os procedimentos que compõem o processo de estruturação cognitiva da seguinte forma: a) distinguir padrões; b) categorizar informações por critérios funcionais, formais, socioeconômicos, histórico-culturais ou outros; c) detectar significados socialmente compartilhados; d) inferir sua importância relativa; e) agregar informações; f) destacar

---

<sup>41</sup> Para mais detalhes ver Faria (2010), que faz um bom apanhado da literatura sobre o processo de estruturação cognitiva do ambiente.

informações úteis para interagir com o ambiente. Tais procedimentos são aproximadamente os mesmos em qualquer escala, embora a quantidade de elementos e os elementos em si variem conforme a escala (FARIA, 2010).

- b) **A representação mental simplifica o mundo real.** Procura reduzir a informação por meio de mecanismos de economia e generalização, tornando-a manipulável pela memória (FARIA, 2002, p.56; STEA, 1974, p.158). Existem estratégias utilizadas para realizar tal simplificação: a) agregação dos objetos da forma urbana em unidades de informação; b) seleção de objetos; c) hierarquização. Unidades de informação<sup>42</sup> (UI) se referem a conjuntos de informação estruturada. Tendem a formar estruturas pontuais, lineares ou de área, como, por exemplo, os cinco elementos identificados por Lynch (1960). Esse modo simplificado de representação da realidade é propício ao desenvolvimento da representação mental como um grafo, porém introduz a questão de como fazer a agregação de objetos em unidades de informação e como representá-las por meio de um grafo – tema abordado por Faria (2010).
- c) **Além de objetos, lugares e concepções, a representação mental codifica relações.** As relações podem ser de diversos tipos, causais, temporais, espaciais, funcionais (FARIA, 2002, p.108). A representação mental codifica relações tanto de atributos locais quanto não locais do ambiente (RAPOPPORT, 1977 *apud* FARIA, 2002, p.56).
- d) **A cognição espacial é altamente hierarquizada** (COUCLELIS et al., 1987; HIRTLE; JONIDES, 1985), ou seja, poucos elementos são escolhidos como referência. Cada indivíduo estabelece sua representação mental com base em locais proeminentes da cidade, que se destacam dos demais, o que é feito com base em critérios como, por exemplo, grau de destaque, singularidade e saliência dos elementos (WINTER et al., 2008). Um elemento não se destaca em relação aos outros apenas visualmente, pode ser por outros motivos (históricos, políticos, econômicos, funcionais, etc). Isso introduz certo grau de subjetividade na elaboração da representação mental. Faria (2002, p.136) destaca que algumas características levam a uma maior probabilidade de um objeto ser lembrado, dentre elas: sua aparência física – diferenciação em relação a outros objetos; seu reconhecimento enquanto entidade separável; sua posição relativa na estrutura urbana; e seus significados.

---

<sup>42</sup> Para uma discussão mais ampla sobre o processo de estruturação de objetos em unidades de informações ver Faria (2010).

- e) **A cognição espacial se dá principalmente a partir dos deslocamentos** (TOMKO; WINTER, 2013), isto é, de forma ativa no ambiente. Assim, pode variar bastante conforme o tipo de deslocamento feito pelo indivíduo – a pé ou motorizado.
- f) **A cognição incorpora também o conhecimento sobre o ambiente adquirido indiretamente** (RAPOPPORT, 1977), como, por exemplo, através de mapas, fotografias ou histórias sobre os lugares.

### 3.2.3.2 *Imagem pública, ordem simbólica e representação*

A seção anterior destacou que cada indivíduo elabora uma representação mental individual da cidade, isto é, seu modelo espacial particular. A sobreposição dessas representações individuais constitui o que Lynch (1960) definiu como a *imagem pública*, que é formada pelos elementos lembrados por uma quantidade significativa de indivíduos. A imagem pública é uma representação mental compartilhada por muitas pessoas.

Desde Lynch (1960), diversos autores têm procurado tornar palpável a representação mental do ambiente. Faria (2002, 2010) investiga maneiras de externar a representação mental por meio de grafos, a fim de possibilitar simulações computacionais da estrutura cognitiva do ambiente. O modo como a *imagem pública* é usualmente tratada remete a uma camada semi-independente, contendo uma síntese de “leitura cognitiva” da cidade (FARIA, 2002). Faria trabalha com um conceito ligeiramente diferente, o de *ordem simbólica* (KRAFTA; PORTUGALI; LEMOS, 1998; FARIA; KRAFTA, 2003), que reforça a ideia de interdependência e convergência entre mente e ambiente. Tal noção se baseia na abordagem *inter-representation networks* (IRN) de Portugali (1996), autor que, conforme Faria (2010, p.7) “traça um novo enfoque teórico-metodológico que integra aspectos internos e externos da cognição ambiental”. A contribuição da autora é justamente no sentido de buscar uma forma de representar ambos de forma unificada.

Faria (2010, p.135-137) propõe um método para representar as unidades de informação sob a forma de grafos. Segundo a autora, a maior dificuldade reside em como estabelecer relações entre essas unidades de informação com os espaços públicos e destes com a mente, uma vez que na área da cognição não há consenso quanto aos mecanismos que levam à estruturação dos estímulos em unidades de informação. Assim, com base em diferentes correntes na literatura sobre cognição espacial, Faria (2010) elabora cinco hipóteses de representação das unidades de informação e da estrutura geral da ordem simbólica. As hipóteses consideradas pela pesquisadora são variações de duas estratégias principais que buscam dotar de maior unidade o conjunto de elementos que formam cada unidade de informação: a) prover maior número possível de conexões entre os elementos, isto é, cada

vértice que compõem a unidade informação conectados a todos os outros; b) representar a unidade como um único vértice. Nos experimentos realizados por Faria (2010) e, levando em consideração os critérios adotados pela autora, a segunda opção foi a que se saiu melhor.

### 3.3 Grafos multicamadas

Nas seções anteriores foram apresentados estudos em que sistemas urbanos são descritos por meio de grafos simples, em que os nós representam algum tipo de entidade e as ligações entre pares de nós representam algum tipo de relação entre estes, em geral representando o sistema viário. Tradicionalmente, os estudos de redes espaciais urbanas têm utilizado esse tipo de abstração, porém, mais recentemente, tem havido crescente interesse por uma perspectiva de grafos com múltiplas camadas (KIVELA et al., 2014; NICOSIA et al., 2013).

Wasserman e Faust (2009, p.145-148), ao revisar teoria de grafos, já citavam os *multigrafos*, que são a representação adequada quando há mais de um tipo de relação a ser modelada para o mesmo conjunto de entidades; e os *hipergrafos*, que são úteis para representar conexões entre subconjuntos de elementos. Na teoria dos grafos, um hipergrafo consiste em um conjunto de entidades e subconjuntos dessas entidades, de modo que cada entidade faça parte de pelo menos um subconjunto. Tais conceitos, embora não sejam necessariamente novos, vêm despertando atenção, tendo ainda muito potencial a ser explorado (KIVELA et al., 2014; NICOSIA et al., 2013).

Kivela et al. (2014) apontam que o rápido crescimento de investigações sobre redes com múltiplas camadas levou os pesquisadores a adotarem diferentes terminologias <sup>43</sup> para conceitos semelhantes. Com base na literatura recente, os autores identificam os termos utilizados em diferentes pesquisas, sistematizando distintas noções de sistemas que consistem em múltiplas redes ou que incluem múltiplas interações entre entidades. O que se pode notar é que não há apenas uma, mas sim várias abordagens possíveis dentro da ideia de redes com múltiplas camadas.

Em termos de representação, tais abordagens são úteis ao permitir diferenciar tipos de elementos e conexões, como no exemplo da figura 15.

---

<sup>43</sup> *Multilayer network, multiplex network, hypernetwork*, entre outros (KIVELA et al, 2014)

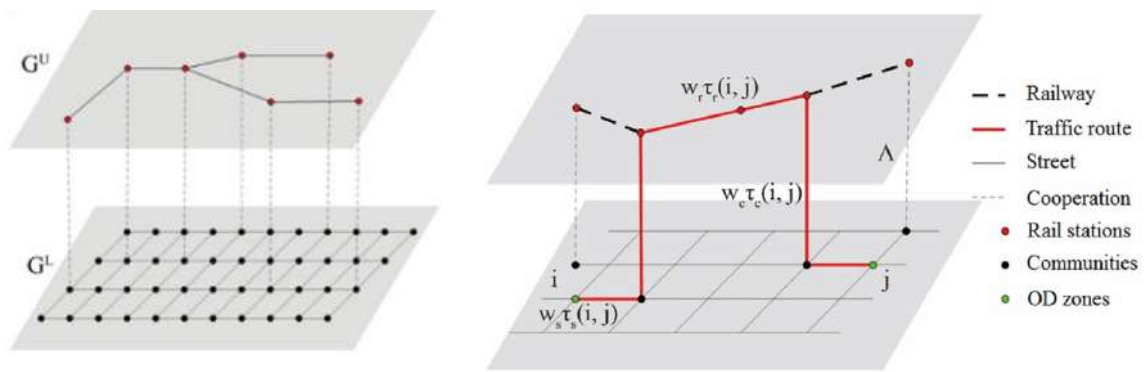


Figura 15 – Exemplo de grafo com duas camadas, em que uma representa uma rede de estações de trem e outra a rede de ruas. Fonte: Ding et al. (2017).

Conforme Nicosia et al. (2013), raramente uma rede complexa é isolada, sendo que muitas vezes alguns de seus nós poderiam ser parte de vários grafos ao mesmo tempo. Exemplo disso são as redes de transportes, os mercados econômicos, as redes de infraestrutura e o próprio cérebro humano. Nestes casos, cada rede é parte de um sistema maior, no qual um conjunto de redes interdependentes, com diferentes estruturas e funções, coexistem, interagem e evoluem. Até o momento, cientistas têm investigado esses sistemas olhando para um tipo de relação de cada vez, porém, as propriedades estruturais de cada rede e sua evolução podem depender, de modo não-trivial, de outra rede à qual esteja conectada. Consequentemente, estes sistemas são melhor representados por grafos compostos por diferentes camadas.

Para Kivelä et al. (2014), é essencial avançarmos na investigação da modelagem de redes mais realistas, que considerem múltiplos tipos de conexões, superando os grafos simples. Dentre as aplicações empíricas já realizadas, pode-se citar estudos voltados para a análise de sistemas e relações sociais, relações comerciais entre países (CASCHILI; MEDDA; WILSON, 2015), transporte aéreo (CARDILLO et al., 2013) e transporte urbano (DING et al., 2017).

Fora os estudos sobre transportes, existem poucas explorações desse tipo de abordagem no contexto dos estudos urbanos. Johnson (2012) apresenta um esquema geral inicial para se pensar uma abordagem multicamadas para o planejamento urbano. Propõe pensar a cidade como uma rede com múltiplos níveis, isto é, um sistema composto por subsistemas que, por sua vez, também são compostos por subsistemas, conforme sistematizado na figura 16. Tal ideia seria facilmente representada por um esquema de grafos multicamadas.



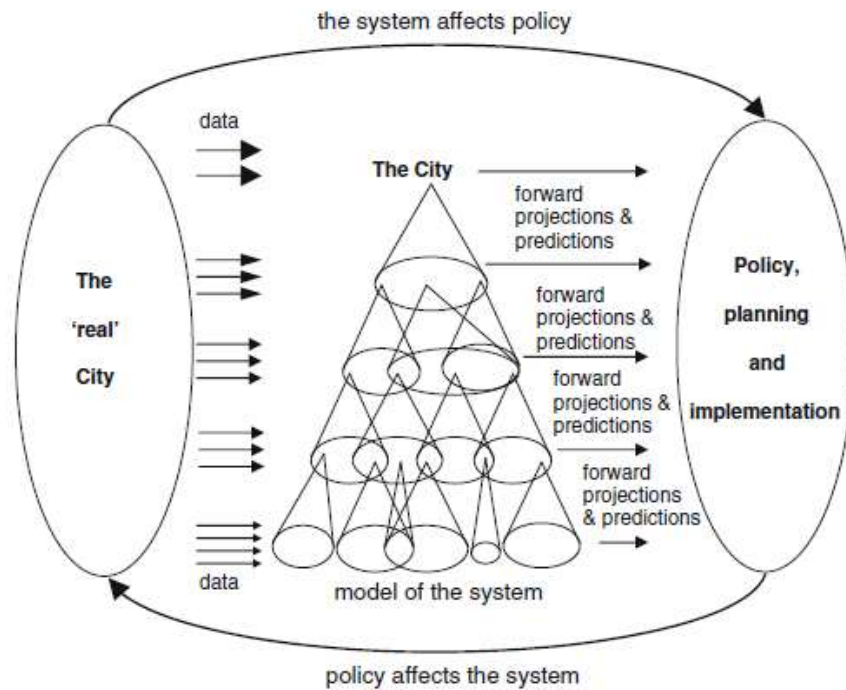


Figura 16 – Esquema *hypernetworks* para modelagem de dados em planejamento urbano. Fonte: Johnson (2012, p. 166).

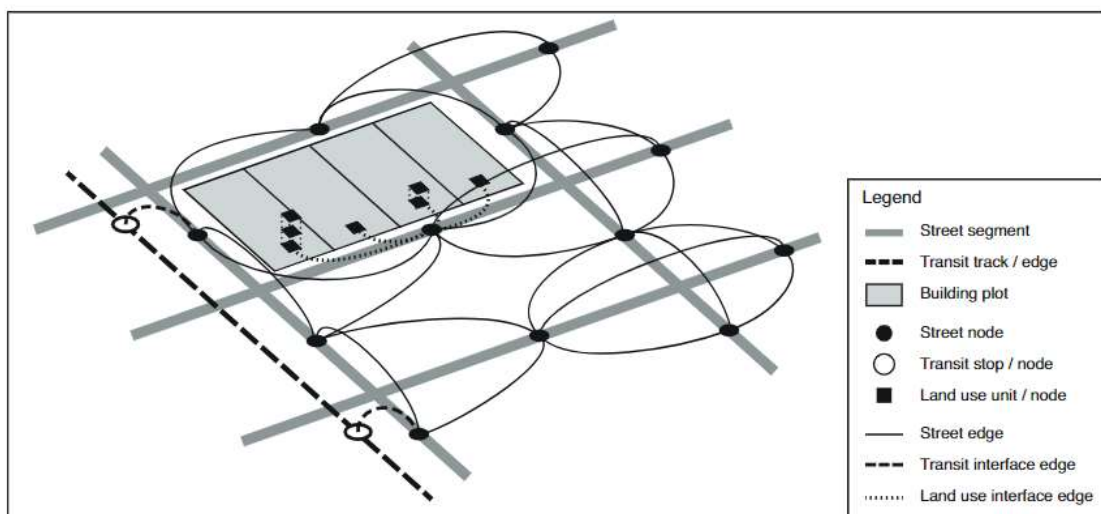


Figura 17 – Modelo de rede urbana multimodal. Fonte: Gil (2014).

O modelo de rede urbana multimodal (MMUN - *Multi-Modal Urban Network*), proposto por Gil (2014), se propõe justamente a representar diferentes aspectos do sistema espacial urbano. Em seu modelo, Gil (2014) trabalha com as interfaces entre transporte público, transporte privado e uso do solo, buscando uma descrição que unifique todos esses elementos que fazem parte da rede que compõe a mobilidade urbana. Conforme se vê na figura 17, propõe um grafo, onde cada trecho de rua é representado por um vértice, que se conecta aos demais por adjacência física, representando a rede por onde circulam todos os tipos de transporte privado. Já para o caso do transporte público, os pontos de parada são representados por

vértices que se conectam ao espaço público correspondente. O uso do solo é descrito através das edificações, que também são vértices do grafo (posicionados no centroide ou no perímetro da edificação), que se conectam com o sistema viário. O autor sugere que os vértices correspondentes às edificações podem ser associados a atributos como de uso do solo e área construída.

Outros estudos que também trabalham com representações que remetem aos grafos multicamadas são as teses de Faria (2010) e Zechlinski (2013), já citadas anteriormente na seção 3.2. A abordagem IRN (PORTUGALI, 1996) pode ser operacionalizada sob a forma de um grafo multicamadas e é aproximadamente isso que Faria (2010) explora em sua tese ao propor um modelo descritivo para a ordem simbólica. Enquanto uma das camadas se refere a uma estrutura de base a outra se refere à estrutura cognitiva. A estrutura de base é constituída pelos elementos físicos e cognitivos e as relações entre eles. Já a estrutura cognitiva – ou supra estrutura cognitiva, como Faria denomina – é composta apenas pela informação mentalmente estruturada, isto é, as entidades cognitivas e as conexões mantidas entre elas. Ambas as camadas são interconectadas, representando a conexão entre mente e ambiente, presente na abordagem IRN. Zechlinski (2013) por sua vez explora conexões remotas para representar as redes das práticas, que operam de forma justaposta à rede configuracional de uma cidade, estabelecendo conexões diretas ente espaços públicos que se encontram fisicamente distantes. Ambos os trabalhos, embora não estejam voltados à representação de todas as dimensões do sistema espacial urbano, contém importantes contribuições para a representação de elementos menos explorados nesse tipo de estudo (cognição, formas construídas e conexões remotas).

### **3.4 Conclusões do capítulo**

Este capítulo buscou na literatura de sistemas configuracionais as diferentes maneiras de descrever a cidade como uma rede de elementos conectados e as distintas maneiras de hierarquizar esses elementos através de medidas de diferenciação espacial. Resumindo o que foi revisado em relação aos modelos configuracionais urbanos, no que tange à representação, podemos observar que há:

- i. Distintas formas de representar a estrutura espacial urbana sob a forma de grafos, sendo essencial a escolha dos elementos a serem representados e dos tipos de relações a serem evidenciados;
- ii. Excesso de foco na representação exclusiva dos espaços públicos, em especial a rede de ruas, com vasta literatura sobre o tema, tanto teórica quanto empírica;

- iii. Alguns estudos que incorporam as formas construídas, geralmente como atributos de elementos da rede de ruas, como, por exemplo, em Gheno (2009), Rauber (2011), Karimi et al. (2013), Acharya et al. (2017) e Zechlinski (2013);
- iv. Poucos estudos que mostram a forma construída como elemento do grafo, como, por exemplo, em O’Sullivan (2000), Constantinou (2007) e Gil (2014);
- v. Considerando que as arestas de um grafo não necessariamente precisam ser definidas por adjacência física, abrem-se diversas possibilidades de se representar relações de diferentes tipos, como as conexões remotas (funcionais ou cognitivas);
- vi. Praticamente nenhum estudo sobre a representação de aspectos cognitivos na forma de grafos, sendo que o trabalho de Faria (2010) é uma exceção;
- vii. Alguns estudos abordam simultaneamente aspectos configuracionais e funcionais (GIL, 2014; SEVTSUK, 2018; ZECHLINSKI, 2013) ou configuracionais e cognitivos (FARIA, 2010), demonstrando que é possível abordar, de modo integrado, mais de um aspecto pertinente à morfologia urbana, não necessariamente espacial;
- viii. Pouca informação sobre o real ganho em poder analítico de modelos mais detalhados, incluindo elementos que vão além do sistema viário, pois ainda são poucas as aplicações existentes, porém esse tipo de abordagem demonstra ter potencial que ainda é subexplorado.

Em relação às métricas de diferenciação espacial, pode-se dizer que:

- ix. Oferecem distintas maneiras de hierarquizar o sistema urbano, podendo – ou não – incorporar ponderações;
- x. Ainda faltam estudos empíricos mais conclusivos para que as métricas possam ser utilizadas como indicadores de fenômenos reais ou de comportamentos socioeconômicos;
- xi. Embora ainda careçam de maior comprovação empírica, a hierarquia capturada pelas métricas de diferenciação espacial revela ao menos um potencial latente de fenômenos como, por exemplo, movimento e uso do solo. Estes indicativos, provisoriamente, podem ser utilizados como suporte à decisão em desenho urbano.

Os itens destacados acima sintetizam o estado da arte sobre as possibilidades de uso dos modelos configuracionais urbanos como suporte ao desenho urbano. Embora exista uma ampla gama de estudos representando diferentes dimensões da estrutura urbana, não há

ainda um quadro unificado de representação, que envolva tanto os elementos físicos e funcionais quanto os cognitivos.

Embora existam alguns gargalos a serem superados, estes não inviabilizam que se comece a pensar em formas de utilização do ferramental existente como suporte ao desenho e planejamento urbano. Assim, conclui-se que o campo de SCU fornece uma série de teorias e metodologias com potencial de reforçar a capacidade de um desenho urbano cada vez mais informado, mais baseado em evidências.

É preciso destacar também que a ideia de redes multicamadas remete à noção de subsistemas que se sobrepõem, sugerida por Alexander (2015[1965]) em *A city is not a tree*. Possivelmente a formalização de um esquema de representação com múltiplas camadas permitiria uma aproximação maior com a noção de *inteireza* de Alexander e sua teoria dos centros. Uma abordagem de grafos multicamadas parece ser uma forma de operacionalizar a representação dos distintos sistemas que compõem o sistema urbano, pois possibilita incluir componentes de distinta natureza dentro de uma mesma linguagem.

O próximo capítulo propõe uma aproximação entre as abordagens configuracionais e as teorias de Alexander, a fim de desenvolver um *framework* voltado ao desenho urbano. Para isso é preciso considerar que as tradicionais abordagens no campo SCU, que analisam apenas o sistema viário, são insuficientes para dar conta do caráter holístico dos *insights* de Alexander e do caráter multidimensional do desenho urbano. Por outro lado, representações mais ricas em detalhes, como os grafos com múltiplas camadas, parecem um caminho consistente para responder às questões investigadas nessa tese.

## 4. MODELO HARMONY-SEEKING DE DESENHO URBANO

A questão central investigada nessa tese está na discussão e delineamento das bases teórico-metodológicas para a formalização de um modelo *harmony-seeking* de desenho urbano, isto é um modelo inspirado na teoria dos centros e no processo *harmony-seeking* esboçado por Alexander (2002). A hipótese levantada inicialmente é a de que os modelos configuracionais urbanos, dado seu enfoque sistêmico, poderiam constituir um caminho para avançar no desenvolvimento de um novo modelo de desenho urbano.

Assim, o presente capítulo expõe, de forma exploratória e argumentativa, aspectos fundamentais para a formalização de um modelo *harmony-seeking*. Propõe-se o delineamento de uma estratégia de desenho urbano centrada no uso da morfologia urbana como instrumento projetual – mais especificamente a morfologia abordada sob o ponto de vista configuracional. Considerando a cidade como estrutura viva – nos moldes da teoria dos centros – cujo *grau de vida* é passível de mensurações, aqui se discutem possibilidades de exploração dessa ideia, buscando a objetivação de um modelo de desenho urbano.

A figura 18 esclarece, de forma esquemática, os pontos chave da fundamentação teórica para a elaboração do modelo *harmony-seeking* de desenho urbano, explicitando as relações entre os temas tratados até o momento. O modelo proposto aqui se baseia no conhecimento de três campos distintos, mas inter-relacionados. Assim, o modelo *harmony-seeking* se apoia: (i) nas contribuições de Alexander, o teórico que consegue estabelecer uma ponte entre as teorias da complexidade e as teorias de desenho; (ii) na ideia do desenho urbano baseado em evidências, isto é, o desenho apoiado pelo ferramental analítico construído no âmbito da modelagem urbana; e (iii) na abordagem configuracional, que é um tipo específico de modelagem urbana que se baseia na visão sistêmica de cidade, eventualmente se aproximando da ideia de cidade como sistema complexo. A intenção está em aproximar e costurar o âmbito analítico do âmbito projetual (propositivo), ambos considerados sob o paradigma da complexidade, bem como aproximar os *insights* de Alexander de um contexto de desenho urbano. A partir do que já foi visto até aqui, constata-se que existem dificuldades na utilização direta dos abstratos conceitos do autor, bem como existem aspectos relativos aos modelos configuracionais urbanos que carecem de maior atenção para que sejam efetivamente utilizados como apoio ao projeto.

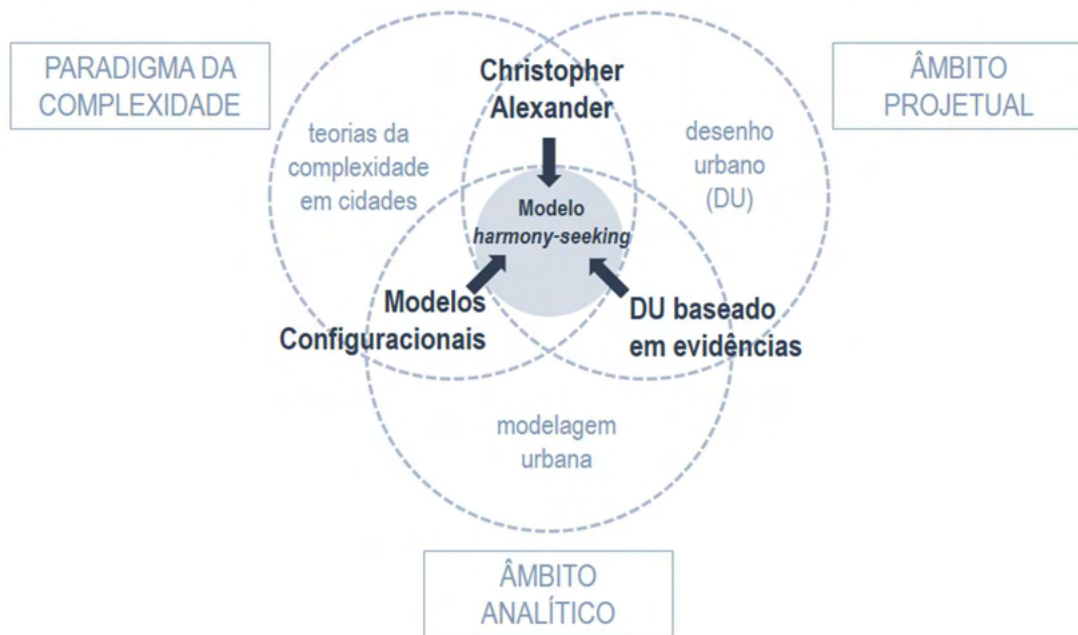


Figura 18 - Síntese teórica do modelo *harmony-seeking*. Fonte: da autora.

Este capítulo procura costurar esses temas e apontar alternativas para as questões levantadas nos Capítulos 2 e 3, fazendo uma síntese teórica que procura endereçar questões particulares. O que seriam os elementos mínimos do sistema espacial urbano, isto é, os *centros*? Como descrever esses elementos e suas conexões? Como descrever os padrões hierárquicos que emergem desse conjunto de elementos interconectados? Como ajustar esse tipo de abordagem analítica aos propósitos e especificidades do desenho urbano? Como vincular a visão de Alexander aos propósitos e especificidades do desenho urbano? Buscando elucidar essas questões, o restante deste capítulo é estruturado como segue.

Em primeiro lugar, é preciso aprofundar a discussão sobre o caráter holístico de *inteireza*, a natureza multidimensional do desenho urbano e a natureza sistêmica e complexa das cidades, a fim de pautar aspectos teóricos que devem fazer parte da concepção do modelo *harmony-seeking*. A seção 4.1 procura esclarecer essas **questões preliminares**, que servem de fundamento para as definições elaboradas nas seções subsequentes, mais voltadas à operacionalização do modelo, isto é, questões metodológicas.

Quanto à operacionalização do modelo, em primeiro lugar, é preciso pensar no **sistema descritivo** das entidades que compõem o sistema espacial urbano, que equivalem aproximadamente aos *centros* de Alexander. Conforme visto no Capítulo 3, os estudos configuracionais, com raras exceções, têm se ocupado quase que exclusivamente da representação da rede viária, mas argumenta-se aqui que tal capacidade possa ser expandida e enriquecida. Propõe-se um sistema descritivo apoiado na ideia de grafos com múltiplas

camadas, onde cada camada corresponda à descrição de um tipo de elemento, isto é, de uma determinada variável. A seção 4.2 apresenta um esboço dessa ideia.

Outra questão fundamental e interligada à anterior, diz respeito à seleção de um conjunto de **medidas de diferenciação espacial** que possam ser exploradas como forma de hierarquizar os componentes e seu sistema de relações. Propõe-se utilizar métricas já desenvolvidas no campo dos sistemas configuracionais, baseadas em grafos. A seção 4.3 apresenta um pequeno conjunto de métricas selecionadas para demonstrar a proposição feita neste trabalho. Cabe enfatizar que o esquema aqui proposto pode abarcar outras medidas, não se restringindo, de modo algum, àquelas citadas na seção 4.3.

A natureza dos resultados gerados por análises baseadas em grafos constitui um obstáculo importante para o uso deste tipo de ferramenta em situação de projeto, tendo em vista dificuldades não apenas de **visualização dos resultados**, mas também de sua comparação. A seção 4.4 discute essas questões.

Cabe discutir também a vinculação das medidas de diferenciação espacial e sistemas descritivos com **propriedades urbanas**, que efetivamente possam ser associadas a objetivos de projeto. Procura-se, assim, explicitar as possibilidades de vinculação das propriedades configuracionais com aspectos do desenho urbano. Algumas medidas podem assumir interpretações distintas conforme o tipo de representação que é feita e conforme a amplitude espacial (raio) da medida. Alguns fenômenos urbanos são regidos por lógicas mais locais, enquanto outros, por lógicas mais globais. Desse modo, uma mesma métrica de centralidade, por exemplo, pode fornecer indicações de diferentes aspectos quando vista sob um ponto de vista global ou local. Sem uma discussão de tal complexidade, a vinculação de propriedades com aspectos reais de desenho urbano tende a permanecer pobre. Assim sendo, a seção 4.5 discute como pensar um *framework* que combine descrição e forma de medir, de modo a cobrir um conjunto razoável de propriedades que poderia ser utilizado no lugar das quinze propriedades de Alexander.

Por fim, após o esclarecimento destes pontos é possível formalizar, na seção 4.6, o que seria um modelo *harmony-seeking* de desenho urbano.

## 4.1 Definições preliminares

Esta seção discute como lidar, ao mesmo tempo, com o caráter holístico e abrangente da noção de *inteireza*, com a natureza multidimensional do desenho urbano, e com o caráter complexo da cidade, fornecendo uma visão introdutória sobre o tipo de descrição e análise proposto aqui. Alguns aspectos que devem ser levados em conta ao se pensar o modelo

*harmony-seeking*: (i) caráter sistêmico, ii) aspectos espaciais, funcionais e cognitivos e (iii) aspectos temporais.

#### 4.1.1 Caráter sistêmico: interdependência das partes com o todo

*Inteireza* é um tipo particular de ordem, que, conforme visto no Capítulo 2, não é tão intuitiva quanto parece (SEAMON, 2016), permanecendo ainda misteriosa e difícil de capturar (JIANG, 2016), tanto quanto a noção de *estrutura viva*. Não se pretende aqui redefinir inteireza, mas sim buscar uma maneira de objetivar e operacionalizar a ideia de uma descrição do todo voltada para fins de desenho urbano.

Parte-se do pressuposto de que uma visão do todo e sua relação com as partes, e vice-versa, requer necessariamente uma abordagem sistêmica. O presente trabalho assume que ordem tenha um sentido de hierarquia e diferenciação espacial, de modo que a noção de ordem possa ser capturada através da leitura das relações entre as partes e seu papel no todo. As quinze propriedades de Alexander não parecem totalmente capazes de capturar uma visão global da estrutura espacial urbana, devido ao seu caráter predominantemente local (SEAMON, 2016), isto é, não fornecem uma forma consistente de hierarquizar as partes, sendo que parte delas se refere a outro tipo de noção de ordem, mais visual e menos sistêmica, conforme discutido no Capítulo 2.3.

Deste modo, ao invés de adotar as quinze propriedades geométricas de Alexander, propõe-se como alternativa a exploração de propriedades já utilizadas nos estudos configuracionais urbanos como aproximação às noções de *inteireza* e *grau de vida*. Conforme visto no capítulo 3, as técnicas de modelagem desenvolvidas nesse âmbito de pesquisa possibilitam uma leitura objetiva e matemática da configuração, cujo enfoque está justamente nas relações entre os elementos. Além do caráter sistêmico, outra vantagem é que os modelos configuracionais já possuem enfoque para a escala urbana, o que ajuda a trazer os *insights* de Alexander para o âmbito do desenho urbano.

Assim, sem fugir totalmente da agenda de pesquisa proposta por Alexander – de objetivar uma linguagem matemática capaz de prover uma leitura sobre as relações entre as partes e o todo – propõe-se trazer a questão para uma abordagem explicitamente sistêmica. Conforme relatado no Capítulo 2, as pistas fornecidas pelo próprio Alexander são sugestivas de tal abordagem e, na literatura em estudos urbanos já há explorações nesse sentido (JIANG, 2015, 2016). Diferentemente de Jiang, cuja definição de *inteireza* fica restrita a uma única propriedade (medida de centralidade *PageRank*, visualizada com o método *Head/Tail Breaks*), propõe-se aqui a exploração de outras propriedades configuracionais já utilizadas em estudos urbanos, conforme se discute na seção 4.2, 4.3 e 4.4.



Ademais, a ideia de tratar uma cidade sob uma perspectiva de redes, isto é, explorando a conectividade e as relações topológicas entre os elementos, encontra suficiente suporte na literatura, como nos exemplos a seguir, que mostram que distintos autores já vêm explorando tal visão, de forma mais explícita que Alexander.

Salingaros (2014, p.19) propõe o entendimento da cidade como uma rede urbana, onde a “arquitetura costura elementos estruturais e espaços para atingir coesão”<sup>44</sup>. O autor se baseia na teoria dos grafos para definir a rede urbana como sendo composta por três elementos: a) *nós* de atividades humanas de diferentes tipos (moradias, trabalho, comércio, parques etc.); b) conexões entre os nós, especialmente entre nós complementares, como, por exemplo, casa e trabalho; c) *hierarquia* ordenada de conexões de diferentes níveis de escala, que se estabelece mediante um processo auto-organizado de sobreposição de conexões – uma espécie de ordem.

A visão de Salingaros é consistente com a de Krafta (2013, 2014), para quem a cidade pode ser considerada como um conjunto de espaços urbanos interconectados. Os elementos urbanos, ou seja, porções de espaço, podem ser vistos como *células* ou *átomos*, isto é, as mínimas partículas que compõem a cidade. Krafta considera a *estrutura espacial urbana* como um conjunto de relações espaciais de alcançabilidade que vincula cada *célula* a todas as demais. As conexões se dão por adjacência, o que gera diferenciação espacial, já que “algumas células, além de serem origem ou destino de percursos, são também conectores de outras células” (Krafta, 2014, p.129), isto é, estão no caminho entre outras. A diferenciação espacial que emerge desse sistema é justamente a estrutura espacial urbana. Esse tipo de leitura revela padrões que as abordagens analíticas tradicionais, baseadas em proporção ou intensidade de variáveis, não revelam<sup>45</sup>.

Na mesma direção, Bill Hillier, Michael Batty e outros pesquisadores consagrados nos estudos urbanos também vêm explorando o caráter sistêmico das cidades, conforme visto nos Capítulos 2 e 3. Todos propõem maneiras de considerar a globalidade da forma urbana, ou seja, se referem a uma leitura do todo, identificando o papel de cada parte. Não é exatamente a mesma coisa que a visão de inteireza de Alexander, mas argumenta-se aqui ser possível uma aproximação, tendo em vista que as ideias de *nós*, de Salingaros, ou de *células/ átomos*, de Krafta, não são distantes da noção de *centros* de Alexander. Todos, aproximadamente, se referem aos componentes elementares do sistema urbano, interessando seu caráter relacional e topológico. Já a noção de *estrutura espacial urbana* de Krafta associada a certos

---

<sup>44</sup> [...] *architecture ties structural elements and spaces together to achieve cohesion* (SALINGAROS, 2014, p.20)

<sup>45</sup> Ver Netto e Krafta (2009), que apontam limitações de indicadores urbanos não-sistêmicos, como, por exemplo, área verde por habitante.

procedimentos de descrição e hierarquização dos elementos, não estaria totalmente distante da noção de *inteireza*, podendo ser interpretada, talvez, como uma espécie de versão de *inteireza* para a escala urbana.

#### 4.1.2 Aspectos espaciais, funcionais e cognitivos

Os textos de Alexander sugerem que um método voltado para capturar a qualidade do desenho urbano deveria necessariamente remeter a questões que vão além dos aspectos compositivos visuais. Suas explicações sobre *inteireza* abrem margem para se pensar em qualidades subjacentes à estrutura física, isto é, qualidades que nem sempre são visíveis. Exemplo disso é sua discussão sobre a indissolúvel relação entre *ornamento* e *função* e entre *espaço* e *função* (ALEXANDER, 2002a)

Seu principal argumento é que na natureza não há nada que seja puramente ornamental e sem função. Para Alexander, a beleza de qualquer edificação ou artefato construído pelo homem surge de sua total relação com a natureza funcional dos centros. O trecho abaixo demonstra a visão do autor sobre o caráter de inseparabilidade entre ornamento [forma] e função que ilustra sua visão holística.

“Na visão holística que eu tenho procurado descrever aqui, podemos ver que cada centro – como uma porção de geometria no espaço – afeta e altera a vida de outros centros. *Wholeness* é um sistema físico no qual diferentes centros modificam os demais através de efeitos geométricos. Neste cenário, centros podem afetar uns aos outros tanto geometricamente quanto funcionalmente, já que todos os efeitos entre centros ocorrem dentro do mesmo domínio. Ornamento é tão importante quanto função. De fato, não podemos separar um do outro. O que chamamos de ornamento e o que chamamos de função são simplesmente duas versões do mesmo fenômeno.”<sup>46</sup> (Alexander, 2002a, p.415).

Para ilustrar essa questão, Alexander comenta análises de sintaxe espacial feitas por Hillier e Hanson (1984), considerando que a estrutura em *beady-rings* descrita pelos autores é uma configuração global composta de centros locais – os anéis. Agrada-lhe, especialmente a posição dos autores de que espaço e relações sociais [função] formam uma unidade indivisível, como fica claro no seguinte trecho:

---

<sup>46</sup> *In the holistic picture, which I have been describing here, we see that each center – as a bit of geometry in the space – affects and changes the other centers in its life. The wholeness is a physical system in which different centers modify each other through the geometric field effect. In this picture, centers may affect each other both geometrically and functionally, since all the effects among centers take place within the same domain. Ornament is just as important as function. Indeed, we cannot separate the two from one another. What we call ornament and what we call function are simply two versions of one more general phenomenon.* (Alexander, 2002a, p.415, tradução da autora).

“É altamente significativo, a meu ver, que ao longo de sua cuidadosa análise, Hillier e Hanson chegaram a conclusões similares às que estou apresentando neste capítulo sobre a união entre espaço e função. Conforme os autores: ‘Sociedade deve ser descrita em termos de sua intrínseca espacialidade. Espaço deve ser descrito em termos de sua intrínseca sociabilidade’ (HILLIER; HANSON, 1984, p.26). Na minha visão, estão argumentando – como eu mesmo argumento – que não é realmente possível separar espaço e função. Majoritariamente, é necessária uma visão integrada de função e estrutura, na qual o caráter vivo do espaço seja visível como característica do todo integrado.”<sup>47</sup> (Alexander, 2002a, p. 417).

Além das dimensões físico-espacial e funcional-comportamental, alguns autores (DEL RIO, 1990; MONTGOMERY, 1988, LYNCH, 2010) se referem ainda a uma terceira dimensão, igualmente relevante do desenho urbano. Trata-se da experiência perceptual do usuário, isto é, da instância cognitiva. Del Rio (1990) e Montgomery (1988) assumem que essas três dimensões – física, funcional e perceptual – são as responsáveis por dar sentido aos lugares, isto é, são fundamentais e indispensáveis ao desenho urbano.

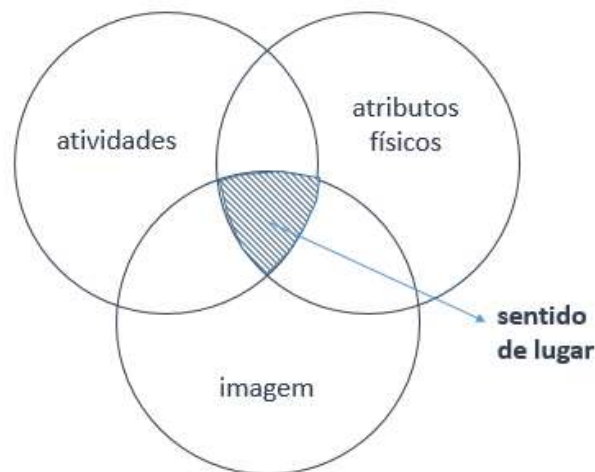


Figura 19 - Esquema da formação de sentido dos lugares, na confluência das dimensões física (forma/ atributos físicos), funcional (atividades/ movimento) e cognitiva (concepções/ imagem). Fonte: Adaptado de Del Rio (1990, p.70).

Diversos autores sustentam que a imagem pública guarda forte relação com a estrutura física e funcional das cidades. O estudo de Faria (2010) sugere, por exemplo, que existe relação entre a ordem simbólica e a configuração espacial. Pode-se dizer que a dimensão perceptual é indissociável das demais dimensões e não deve ficar de fora de um modelo de desenho

<sup>47</sup> *It is highly significant, in my eyes, that throughout their careful analysis, Hillier and Hanson reach conclusions similar to those I am presenting in this chapter about the unity of space and function. As they say: “Society must be described in terms of its intrinsic spatiality. Space must be described in terms of its intrinsic sociality”. In my language, they are saying – as I am also saying – that it is not really possible to keep function and space separate. Rather, what is needed is an integrated view of function and structure, in which the living character of space is visible as a characteristic of the integrated whole.”* (Alexander, 2002, p. 417, tradução da autora).

urbano. Além disso, incluir aspectos perceptuais no modelo é altamente consistente com a visão de Alexander, que coloca ênfase em métodos intuitivos.

Com base nesses argumentos, uma representação baseada em grafos capaz de abarcar aspectos espaciais, funcionais e cognitivos parece adequada para uma leitura do sistema urbano que minimamente se aproxime não apenas do caráter holístico de *wholeness*, mas também da natureza multidimensional do desenho urbano. Tal representação é detalhada mais adiante, na seção 4.2, onde se propõe um sistema descritivo que agregue componentes da estrutura espacial urbana, da estrutura funcional e da estrutura cognitiva. Parte-se do pressuposto de que estão todos interligados e que todos são relevantes ao desenho urbano.

#### 4.1.3 Aspectos temporais: abordagem orientada a processos

Alexander trata ainda do caráter dinâmico de *wholeness*.

“Função, assim como *wholeness*, se baseia em centros. Função é simplesmente o aspecto dinâmico de *wholeness*. Uma estrutura, vista de modo estático, tem a ver com o sistema de centros que aparecem nela. Diferentes centros aparecem e desaparecem, como algo vivo, que atua e que interage com o mundo. Alguns estão se movendo, outros são temporários. O fluxo destes móveis e transitórios centros, e seu aparecer e desaparecer, é o processo que chamamos vida [...]. Quando são harmoniosos e co-adaptados, dizemos que o sistema é funcional.”<sup>48</sup> (Alexander, 2002a, p.405).

Assim, além dos aspectos já mencionados, uma outra dimensão deveria ser incluída na construção do modelo: a dimensão temporal – não apenas pelo trecho supracitado em que Alexander refere-se ao caráter dinâmico das estruturas (*centros que aparecem e desaparecem*), mas porque as noções de *tempo* e *processo* são relevantes e necessárias ao desenho urbano.

Klassen (2003) distingue duas abordagens em relação ao desenho urbano: uma orientada a *padrões* e outra a *processos*. Diferem-se principalmente quanto à visão sobre o objeto do desenho urbano. Enquanto a primeira mantém o foco na estrutura física do sistema urbano, a segunda vê o sistema urbano como um todo, incluindo seus agentes. A abordagem orientada a padrões tem ênfase nas relações espaciais e nos fenômenos visíveis. A abordagem orientada a processos tem ênfase não apenas nas relações espaciais, mas

---

<sup>48</sup> *Function, like wholeness itself, is all based on centers. Function is simply the dynamic aspect of wholeness. A structure, viewed in a static sense, has to do with the system of centers that appear on it. As something lives, acts in the world, interacts with the world, different centers appear and disappear. Some are moving, some are temporary. The flux of these moving, transitory centers, and their appearing and disappearing, is the process we call life [...]. When they are harmonious and co-adapted, we call the system functional.* (Alexander, 2002a, p.405, tradução da autora).

também temporais, abarcando fenômenos visíveis e invisíveis, isto é, dá conta de padrões e processos. A autora aponta limitações nos meios de representação comumente utilizados para fins de desenho urbano, como maquetes, plantas e perspectivas. Trata-se de modelos espaciais que fornecem apenas uma visão estática do sistema físico, distante da realidade dinâmica. Conforme Klaasen (2003, p.61), nestes modelos estão ausentes a dimensão temporal e os processos não-visíveis. Movimento, por exemplo, geralmente não é representado, assim como diferenças que um mesmo ambiente pode ter em diferentes horários do dia ou épocas do ano. Por esses motivos, uma abordagem orientada apenas a padrões oferece pouco potencial para se tornar uma abordagem científica (KLAASEN, 2003, p.95).

Klaasen (2003) introduz a dimensão temporal ao comentar sobre o caráter cíclico e linear dos processos da sociedade que a estrutura física deve acomodar. “A estrutura física do sistema urbano torna, em sentido condicional, os processos e as atividades da sociedade possíveis/impossíveis ou prováveis/improváveis”<sup>49</sup>. Exemplos de processos cíclicos são as viagens cotidianas da casa ao trabalho e as eventuais idas a equipamentos culturais e comerciais. O biorritmo humano traz limitações à capacidade de mobilidade e horários que se usam os espaços que contém atividades, o que impõe exigências sobre a estrutura funcional-espacial do sistema urbano, assim como os ritmos semanais e/ou sazonais impostos por questões culturais. Em contraponto a esses processos de pequena escala temporal, cíclicos, existem os processos lineares, que são as lentas transformações que ocorrem nas cidades ao longo de anos ou décadas.

Ampliando a discussão de Klaasen, outra forma de enxergar a dimensão temporal estaria no caráter estático, dinâmico ou instantâneo da forma urbana e dos processos que moldam as cidades. A rede de ruas e demais elementos estruturadores, como grandes parques e ícones arquitetônicos, pertencem a uma instância mais permanente e duradoura das cidades, ao passo que as edificações comuns e as atividades possuem caráter bem mais dinâmico, ou seja, estão constantemente passando por mudanças. Se edificações e atividades constituem processos dinâmicos, podemos considerar que os deslocamentos cotidianos e as interações sociais constituem uma terceira categoria de processos: instantâneos. A escala temporal de durabilidade dessas três instâncias varia, varia, portanto, de altíssima durabilidade, contabilizada em séculos, até baixíssima durabilidade, contabilizada em minutos.

Os fluxos de deslocamentos cotidianos se adaptam às localizações das atividades urbanas e suas mudanças, assim como a distribuição das atividades e a dinâmica de construção/substituição de edificações se adaptam a alterações na estrutura viária. Assim,

---

<sup>49</sup> *Physical urban systems make, in a conditional sense, societal activities and processes possible/impossible or probable/improbable* (KLAASEN, 2003, p.66, tradução da autora).

percebe-se que há uma relação de interdependência entre escalas, não só espaciais (global e local), mas também temporais, da mais duradoura à mais volátil.

Entender a interdependência desses processos é um ponto fundamental para o entendimento das cidades<sup>50</sup> e conseqüentemente para seu desenho. Hillier (2006), ao apontar as questões fundamentais a serem investigadas para o desenvolvimento de desenho urbano no século 21, destaca, entre outras, a interdependência das partes e do todo (estas já comentadas em 4.1.1); e a interdependência entre movimento e lugar. Um modelo de desenho urbano inovador deve necessariamente pensar na relação entre padrões espaciais e seu potencial de movimento.

## 4.2 Sistema descritivo

A partir do que foi apontado até agora, pode-se afirmar que um sistema descritivo capaz de abarcar os aspectos tratados na seção 4.1 estaria mais alinhado à natureza multidimensional do desenho urbano e, possivelmente, ao caráter holístico e abrangente da noção de inteireza. Métodos de representação comumente utilizados no urbanismo – plantas, perspectivas – não dão conta da descrição de tal complexidade. Plantas, embora ricas em detalhes, não evidenciam conexões entre os elementos. Por outro lado, uma representação mais abstrata, como a baseada em grafos, pode ser capaz de capturar múltiplas dimensões do desenho urbano. Conforme visto no Capítulo 3, modelos configuracionais urbanos possuem potencial para lidar com a morfologia urbana de forma sistêmica, tendo em vista que a abordagem de grafos evidencia relações das partes com o todo. Além disso, a ampla gama de possibilidades de representações permite capturar não apenas aspectos espaciais, mas também funcionais, cognitivos e até mesmo aspectos relacionados a tempo e processo.

A ideia de uma representação baseada em grafos tem relação com a teoria dos centros de Alexander, pois nos remete diretamente à questão da descrição das partes e do todo. Em analogia à teoria de Alexander, podemos pensar a representação da cidade como uma rede de *centros* conectados, descritos por meio de grafos, ou seja, por um conjunto de vértices conectados por arestas. Mas é preciso definir o que são os centros, isto é, os vértices do grafo, e como se conectam.

Tendo em vista a noção de *centros* (Alexander, 2002) como entidades que representam alguma porção no espaço, e a noção de subsistemas que se sobrepõem (Alexander, 2015 [1965]), propõe-se aqui uma esquematização que transfira tais noções para uma linguagem de grafos. Propõe-se uma representação que inclua distintas dimensões e distintos elementos

---

<sup>50</sup> Isso já tem sido perseguido por alguns pesquisadores (ver LOUF; BARTHELEMY, 2013; ZECHLINSKI, 2013).

de interesse do desenho urbano, procurando incluir variáveis que usualmente ficam de fora dos estudos configuracionais, como formas construídas, transporte e conexões cognitivas. Todos esses são passíveis de representações por meio de grafos, onde os vértices podem ser entendidos aproximadamente como os “centros” de Alexander.

Assim, esta seção propõe um sistema descritivo baseado em duas ideias chave: a) os centros de Alexander vistos como os nós de um grafo; b) o sistema espacial urbano como um grafo multicamadas, onde cada camada representa um tipo de elemento. Assim, argumenta-se, em primeiro lugar, pela adoção de uma representação por unidades morfológicas mínimas, onde cada elemento seja representado como um vértice no grafo, para em seguida explorar a representação em múltiplas camadas. O esquema proposto a seguir não contém todas as possibilidades de representação, sendo apenas um *framework* inicial, a partir do qual outros elementos podem ser agregados, para além daqueles previstos neste trabalho.

#### 4.2.1 Os *centros* de Alexander como nós de um grafo

Conforme visto no Capítulo 3, existem distintas formas de descrever o sistema espacial urbano sob a forma de unidades discretas, de modo que possam ser representadas sob a forma de um grafo. Os três métodos mais utilizados na literatura – linhas axiais, intersecções viárias e trechos de rua – não são totalmente adequados ao que se propõe nessa tese, pois são essencialmente voltados à representação do sistema viário.

A representação por linhas axiais, por exemplo, já vem sendo utilizada como apoio ao desenho urbano. Embora seja útil para o projeto, ao fornecer uma visão sobre propriedades estruturais do sistema, tal método apresenta limitações, conforme já comentado no Capítulo 3, especialmente de que o espaço urbano não se restringe às suas propriedades sintáticas e neste tipo de representação há dificuldade em incorporar uso do solo (PAFKA; DOVEY; ASCHWANDEN, 2018; NETTO, 2013). Além disso, a linha axial fornece uma descrição que agrega trechos de rua distintos, ignorando diferenças importantes entre eles. Traz ainda limitações à representação de elementos que não sejam lineares.

Para os objetivos desse trabalho parece ser mais interessante explorar representações mais desagregadas, isto é, por unidades morfológicas mínimas (FARIA, 2010; MARSHALL et al., 2018). Uma das vantagens de utilizar unidades mais desagregadas é que permitem uma representação mais detalhada. Outra vantagem é que possibilitam acrescentar conteúdo, agregando detalhes que propiciam maior aproximação com o âmbito de desenho urbano. Exemplo disso são os estudos que agregam conteúdo sobre as formas construídas, na forma de atributos numéricos, como sugerido por Krafta (1994). Ao especificar atributos para as

entidades, abre-se a possibilidade de utilizar grafos valorados, isto é, ponderados, ampliando o leque das métricas que podem ser utilizadas para além das medidas puramente sintáticas.

Há dois tipos de representação mais desagregada que são bastante utilizados na literatura: por intersecções viárias e por trechos viários. A representação por intersecções viárias, bastante utilizada em estudos sobre redes espaciais e na área de transportes (MARSHALL et al., 2018), constitui um grafo planar, o que traria algumas limitações ao estudo que se propõe nesse trabalho. Como normalmente o foco de interesse está nas arestas e as métricas de rede se aplicam aos vértices, é necessário algum procedimento para atribuir os valores às arestas. Além de trabalhoso, tal procedimento é questionável, conforme observa Faria (2010, p.64). Já a representação por trechos viários traz limitações para a representação de elementos não lineares, além de dificultar a representação de conexões que não sejam por adjacência física, como por exemplo: conexão remota entre elementos polarizadores e conexão direta entre pontos de embarque e desembarque do transporte público, por exemplo.

Por esses motivos, propõe-se a utilização de uma alternativa de representação que, embora já tenha sido descrita na literatura dos estudos urbanos (por exemplo, em Zechlinski, 2013)<sup>51</sup>, é menos usual. Trata-se de usar diretamente o grafo que representa um mapa de trechos – grafo que usualmente ficaria interno ao software utilizado, isto é, um esquema descritivo onde o vértice represente diretamente o elemento que se quer descrever, com associação direta entre unidades espaciais e grafo. Por exemplo, cada trecho de rua é representado por um nó, cada praça também é representada por um nó, e assim por diante. Esse tipo de representação permite não apenas inserir novos elementos com mais facilidade como também flexibiliza a inserção de arestas que correspondam a diferentes tipos de relações, sem necessariamente ser por adjacência física.

#### 4.2.2 O sistema espacial urbano como um grafo multicamadas

Esta seção sugere estratégias de representação para distintas variáveis passíveis de representação por grafos, de modo que diferentes tipos de elementos ou de relações sejam concebidos como diferentes camadas no grafo. Grafos com múltiplas camadas tem potencial para fornecer uma descrição mais realista, ainda pouco explorada em aplicações para sistemas urbanos, conforme visto no Capítulo 3. Como o domínio do desenho urbano envolve múltiplas dimensões, a representação em múltiplas camadas parece uma boa forma de aproximar os métodos configuracionais de um âmbito de projeto. Em ferramentas de desenho

---

<sup>51</sup> Ver figura 10, na seção 3.2.2.



do tipo CAD, ou mesmo nos SIG, o projetista já está habituado a organizar as informações por camadas. E um grafo também pode ser modelado aproximadamente dessa forma.

Em termos de representação, a ideia de grafos multicamadas é útil ao permitir diferenciar tipos de elementos e conexões, isto é, permite pensar que o grafo possua vértices de diferentes tipos e arestas de diferentes naturezas. Além disso, remete à noção de subsistemas que se sobrepõem, como em *A city is not a tree* (Alexander, 2015 [1965]). Argumenta-se aqui que a formalização de um esquema de representação com múltiplas camadas permitiria uma aproximação maior com os *insights* de Alexander. O primeiro passo para isso seria esquematizar os componentes reconhecíveis no sistema espacial urbano e passíveis de representação.

A figura 20 mostra um esquema geral do sistema espacial urbano, visto a partir de seus distintos sistemas e subsistemas, sendo estes agrupados em três categorias: estrutura espacial urbana, estrutura funcional e estrutura cognitiva. A estrutura espacial urbana refere-se à dimensão físico-espacial, sendo composta por elementos relativos aos espaços públicos, à forma construída e à infraestrutura de mobilidade, entre outros, cada qual formando seus próprios sistemas e subsistemas. Já a estrutura funcional, caracterizada pelas diversas redes de atores – indivíduos, grupos, instituições, diz respeito à dimensão socioeconômica do sistema espacial urbano. Comporta um sistema de interações, que é fortemente influenciado por elementos espacializáveis, como uso do solo, atividades e densidades. Por fim, a supra estrutura cognitiva, isto é, a representação mental do ambiente, é composta por uma série de elementos utilizados pelos usuários para estruturar a imagem mental em unidades de informações.



Figura 20 - Elementos que compõem a representação do sistema espacial urbano. Fonte: da autora.

Cada uma dessas três instâncias possui elementos que podem ser de naturezas distintas, de modo que representá-los segundo um esquema unificado requer diferentes estratégias para cada uma delas. O quadro 2 propõe um *framework* para as dimensões físico-espacial, funcional e cognitiva, acrescidas da dimensão temporal, onde são sintetizadas as principais estratégias de representação. Parte-se do pressuposto que todas as dimensões estão interligadas e são relevantes ao desenho urbano.

	<b>Elementos</b>	<b>Estratégias de representação</b>
<b>DIMENSÃO ESPACIAL</b> (elementos físico-espaciais)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ruas</li> <li>○ Pontes</li> <li>○ Passarelas</li> <li>○ Praças/ parques</li> <li>○ Ciclovias</li> </ul>	Grafos simples, cujos nós caracterizam uma rede de elementos conectados por adjacência física.
<b>DIMENSÃO FUNCIONAL</b> (interações, atividades)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Uso do solo</li> <li>○ Atividades</li> <li>○ Densidades</li> <li>○ Fluxo de pessoas</li> <li>○ Fluxo de informação, comunicações</li> </ul>	<p>a) Grafos ponderados: inserção de atributos nos nós do grafo, conferindo um efeito de “peso”, isto é, carregamento em determinados elementos; ou ainda uma caracterização de pares de atividades complementares, tipo “oferta e demanda”.</p> <p>b) Inserção de nós ou arestas que caracterizam conexões remotas, criando um efeito “atalho” no grafo. Tal estratégia é particularmente útil para a representação de sistemas de transporte;</p> <p>c) Definição de valores de impedância para as arestas, isto é, atributos, que favoreçam ou desfavoreçam certos caminhos.</p>
<b>DIMENSÃO COGNITIVA</b> (imagem)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Supra estrutura cognitiva</li> <li>○ Unidades de informação</li> </ul>	<p>a) Agregação de elementos que compõem uma unidade informação em uma única entidade;</p> <p>b) Conexões entre todos os elementos que compõem uma unidade de informação;</p> <p>c) Conexões remotas entre elementos que, embora não possuam adjacência física, tenham alguma ligação cognitiva.</p>
<b>DIMENSÃO TEMPORAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Processos cíclicos ou contínuos</li> </ul>	Relações, entidades ou atributos no grafo que mudam ao longo do tempo, de forma cíclica ou evolutiva.

Quadro 2 - *Framework* para a representação do sistema espacial urbano sob a forma de um grafo multidimensional.

Uma das vantagens de tal esquema está justamente em seu caráter multidimensional, aproximando a abordagem de grafos dos elementos de interesse do desenho urbano. Quanto à dimensão espacial, é possível explorar a representação de elementos físicos, como rede de ruas, praças e parques, entre outros. No que se refere à dimensão funcional, é possível a representação da distribuição de atividades, usos do solo, transporte e potenciais de fluxos. E quanto à dimensão cognitiva, há a possibilidade de explorar algum tipo de representação

que se aproxime das estratégias mentais comumente utilizadas pelos usuários. Finalmente, a dimensão temporal é diferente das demais, não se refere propriamente à descrição de elementos e relações, como as demais, mas sim à descrição de processos, que podem ser evolutivos ou sazonais. Vai além da mera representação, envolve também estabelecer procedimentos de análise próprios para capturar aspectos temporais. Dado o grau de complexidade de se fazer isso, tal dimensão ficará fora do escopo dessa tese, embora se reforce aqui a importância de incluir essa dimensão.

Por fim, feitas essas definições, resta ainda especificar em maior detalhe como cada camada se torna parte do grafo, isto é, quais elementos exatamente podem ser representados como vértices e que tipos de conexões devem ser consideradas – que inclui também pensar como diferentes camadas se relacionam entre si. A representação da rede de ruas sob a forma de grafos, por exemplo, já possui vasta literatura. Outros elementos, no entanto, carecem de uma definição maior sobre como descrevê-los por meio de grafos, como parques e praças, ciclovias, linhas de transporte, formas construídas e a estrutura cognitiva. A seguir são discutidas as possibilidades para cada tipo de variável, tendo em vista a ideia de compor cada uma como uma camada de um grafo. Novamente, vale destacar que as sugestões feitas neste trabalho não excluem outras possibilidades.

#### 4.2.2.1 Rede de ruas

A rede viária é modelada neste trabalho como uma rede de trechos de rua que se conectam por adjacência física. Os trechos de rua, também chamadas segmentos de rua, se referem ao espaço compreendido entre cruzamentos ou cada vez que ocorrem mudanças significativas de direção – critério adotado por Zechlinski (2013) e Faria (2010). Conforme já mencionado anteriormente, este trabalho explora uma representação onde cada trecho de rua é representado diretamente como um vértice do grafo. Assim, modelo geográfico de trechos de rua é traduzido para a forma de um grafo, como mostra o esquema da figura 21.

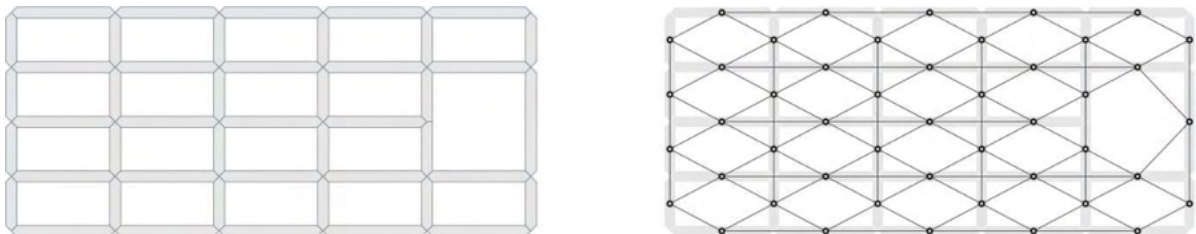


Figura 21 - Esquema da representação da rede de ruas

Essa constitui a camada básica do sistema descritivo proposto, já que essas unidades espaciais podem ser utilizadas para: a) agregar unidades espaciais ainda menores, como as edificações e lotes; b) desagregar atributos de unidades maiores, como os setores censitários;

c) ancorar outros elementos como praças e parques, ciclovias, linhas de ônibus e elementos cognitivos. Todos os grafos testados neste trabalho terão como componente mínimo a camada que descreve a rede de ruas.

#### 4.2.2.2 Praças e parques

Praças e parques são elementos físicos que complementam a rede de espaços públicos formada pelas ruas. Frequentemente esses elementos fazem parte também da imagem mental das cidades. Uma forma simples de representar praças/parques, pensando-os como elementos físicos da estrutura espacial urbana, seria considerar cada um como um nó do grafo, conectado às vias adjacentes, conforme sugerido por Faria (2010) e por Zechlinski (2013). A figura 22 exemplifica esse procedimento, onde cada praça ou parque, usualmente representado por um polígono, passa a ser representado como um ponto, isto é, um nó no grafo. Outros elementos que complementam o sistema de espaços públicos, como passarelas de pedestres e vias peatonais, também podem ser representadas segundo este critério.

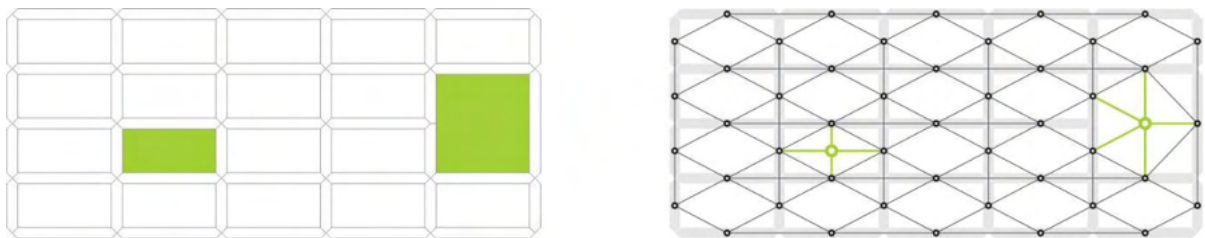


Figura 22 - Esquema da representação de praças e parques.

Parques e praças, em geral, são espaços alcançáveis apenas por meios não-motorizados. Faz sentido mantê-los em uma camada separada, possibilitando realizar análises que estejam interessadas apenas no transporte motorizado.

Além dessa hipótese de representação, outras formas mais detalhadas e mais desagregadas poderiam ser pensadas, como, por exemplo, considerar o desenho dos caminhos existentes dentro de um parque, ao invés de representá-lo abstratamente como um único nó. Essa pode ser uma opção interessante dependendo da escala em que se esteja trabalhando e o foco de investigação.

#### 4.2.2.3 Linhas de transporte público coletivo

As linhas de transporte público coletivo, como ônibus e metrô, podem ser entendidas como um serviço que facilita o deslocamento entre um ponto e outro da cidade, podendo ocorrer em espaços exclusivos ou não. Ao longo do trajeto de uma linha de transporte o contato com a rede de ruas se dá nos locais onde existem estações ou pontos de parada. Por tratar de uma dimensão mais funcional do que propriamente espacial, sua representação deve ser pensada

de forma a mostrar como as linhas de transporte funcionam, isto é, o efeito de atalho que estas produzem ao conectar determinados pontos da cidade, os quais estão em enorme vantagem locacional em relação aos demais.

Distintas formas de representação dos sistemas de transporte podem ser encontradas na literatura sobre redes espaciais urbanas. A figura 23 esquematiza três hipóteses. Nenhuma delas se propõe a representar fisicamente o trajeto que o ônibus faz, mas sim as conexões entre um ponto de parada e outra, isto é, os atalhos que essas linhas geram.

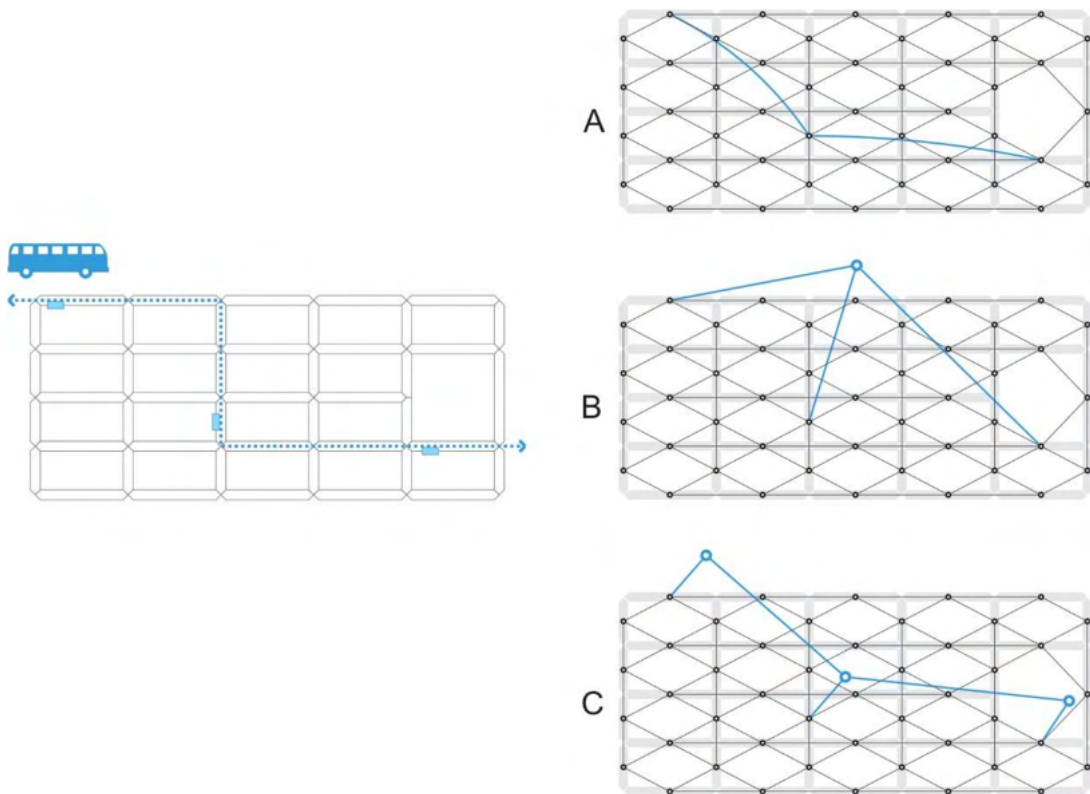


Figura 23 – Três hipóteses para representação do transporte.

Na primeira (figura 23-A), cada ponto de parada se conecta diretamente, formando uma espécie de adjacência virtual entre pontos de parada, conforme sugere Krafta (2013). Nenhum vértice novo é inserido no grafo, apenas são incluídas novas conexões, que ligam diretamente um ponto a outro. Essas conexões geram um encurtamento de distâncias no grafo, como se fosse possível cruzar o espaço diretamente entre uma parada e outra, seguindo a ordem em que elas são percorridas pelo transporte.

Na segunda (figura 23-B), cada linha de transporte coletivo é representada como um novo vértice no grafo, que se conecta aos vértices que correspondam à localização dos pontos de parada – alternativa explorada na dissertação de Paroli (2019). Esse vértice não existe fisicamente, ele representa a ideia abstrata de uma linha de transporte coletivo, assumindo

que ao entrar no transporte coletivo, ele leva as pessoas diretamente a qualquer um dos pontos de parada daquela linha. Essa hipótese gera um efeito de atalho maior ainda que a anterior, pois cria um caminho direto entre duas paradas não importando sua distância ou quantas paradas estejam no caminho.

Por fim, na terceira hipótese (figura 23-C) cada linha de transporte é representada como uma rede separada da rede viária, cujos pontos de conexão são os nós que correspondem aos trechos com pontos de parada, como em Gil (2014). Essa hipótese representa a ideia da multimodalidade do transporte sob a forma de duas camadas, isto é, duas redes distintas: a rede de ruas, por onde circulam pedestres e veículos privados e a rede de linhas de transporte público coletivo, sendo que a conexão entre ambas se dá nos trechos onde existem estações ou pontos de parada.

#### 4.2.2.4 Ciclovias

Ciclovias são elementos físicos que geralmente decorrem da compartimentação do espaço público, isto é, são parte de uma via ou de um parque. Embora raramente se configurem como elementos autônomos, podem e devem fazer parte da representação, pois são frequentemente abordadas em propostas de desenho urbano.

Uma das formas possíveis de se pensar sua representação seria de forma semelhante à hipótese C do transporte coletivo, apresentada anteriormente. Nesse tipo de representação, a rede cicloviária é entendida como uma rede independente, composta por trechos, que se conecta aos espaços públicos correspondentes, como ruas, praças e parques, conforme exemplifica a figura 24.

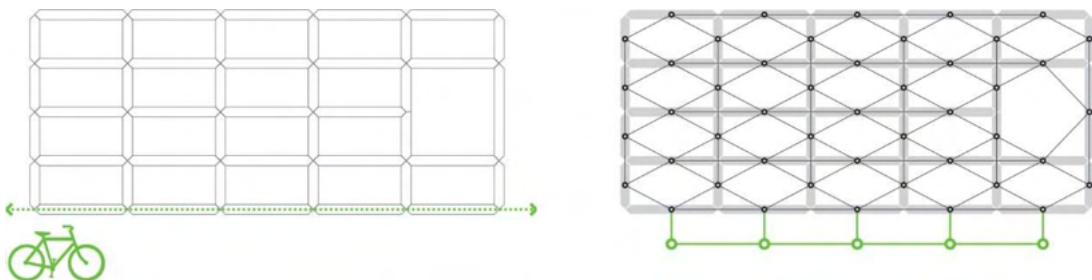


Figura 24 - Esquema da representação da ciclovia.

#### 4.2.2.5 Formas construídas

Conforme visto no Capítulo 3, as formas construídas podem entrar no grafo como vértices, isto é, representadas enquanto objetos, ou como atributos dos espaços públicos, como, por exemplo, uso do solo ou área construída. O primeiro caso consiste no entendimento de que cada edificação é um objeto relevante, ou seja, destaca uma dimensão objectual do tecido urbano. No segundo caso, as edificações são tratadas mais pelo ponto de vista funcional e

não pelo seu valor isolado. Parece suficientemente claro que representar toda e qualquer edificação como um vértice no grafo resultaria em dificuldades operacionais, tanto na montagem do grafo quanto no tempo de processamento das medidas, de modo que esse tipo de representação se torna inviável para grandes extensões de tecido urbano, que contenham grande quantidade de edificações<sup>52</sup>. Assim, ao serem tratadas pelo seu caráter funcional, as edificações não carecem de uma representação individualizada, bastando caracterizar, de alguma forma, seu peso, seu poder de atração etc.

Uma boa maneira de entender melhor essa diferenciação é com base nos estudos de morfologia urbana, onde as formas construídas se distinguem por sua condição de *padrão* ou *exceção* (KRAFTA, 2014). A maior parte das formas construídas possui certa regularidade, ou seja, constituem tecidos homogêneos, enquanto algumas se destacam como elementos excepcionais, isto é, dotadas de algum valor simbólico, histórico etc. Com base nisso, conclui-se que distintas estratégias de representação devam ser pensadas para um caso e outro, conforme se sugere a seguir.

As formas construídas que constituem elementos excepcionais podem ser representadas como um novo vértice no grafo. No entanto, tal entendimento da edificação como objeto tem mais relação com a dimensão cognitiva, por isso será discutida na próxima seção. O restante desta seção enfoca as formas construídas pelo seu caráter funcional. A maneira mais simples de representar isso consiste em incluí-las sob a forma de atributos no grafo – atributos vinculados aos vértices que representam os espaços públicos. Tal estratégia confere agilidade na construção do grafo e economia no tempo de processamento.

Assim sendo, neste trabalho as formas construídas que compõe o tecido homogêneo da cidade são consideradas abstratamente apenas como um atributo numérico, que pode ser obtido de diversas maneiras. A figura 25 mostra duas estratégias possíveis para tal modelagem, sendo que a primeira envolve um processo de agregação da informação, enquanto a segunda envolve um processo de desagregação. No exemplo A, a cada vértice é atribuído um valor numérico que corresponde à quantidade de edificações que se encontram em sua área de influência. É possível usar essa estratégia para casos em que se tem o mapeamento pontual da localização das edificações, atividades ou lotes. No exemplo B, os atributos de uma área com contagens agregadas<sup>53</sup>, são homogeneamente distribuídos para os vértices que incidem sobre essa região.

Em ambas as situações o efeito é semelhante, as formas construídas adicionam uma nova variável de diferenciação espacial, distinta da pura configuração espacial. Isso confere um

---

<sup>52</sup> Isso não é uma regra, para determinados estudos pode ser interessante representar cada edificação.

<sup>53</sup> Bases do IBGE e estatísticas produzidas por outros órgãos muitas vezes são agregadas em unidades espaciais do tipo polígono, como setores censitários e bairros.

efeito de “carregamento” no sistema, deformando-o em direção às áreas com maior concentração de formas construídas, usos ou atividades. Os atributos das formas construídas não precisam ser apenas quantitativos, podem diferenciar o uso do solo, caracterizando-o como oferta e demanda (ou origem e destino). A partir disso obtém-se pares de atividades complementares que podem ser modeladas sob o ponto de vista de sua interação espacial. A medida de polaridade<sup>54</sup>, por exemplo, opera a partir dessa noção.

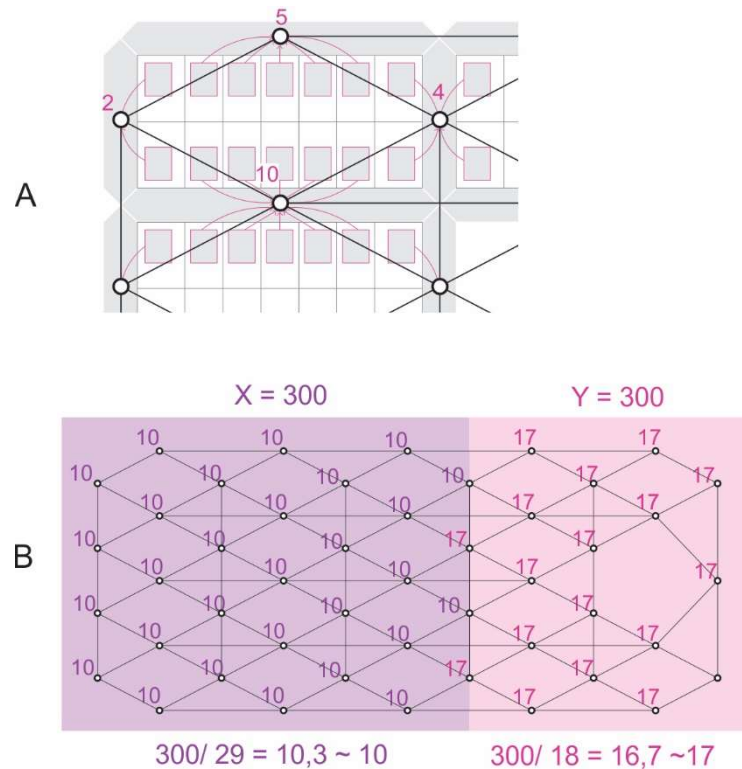


Figura 25 - Atributos numéricos que representam as formas construídas obtidos por agregação (A) ou desagregação (B) de variáveis.

#### 4.2.2.6 Estrutura cognitiva

Por fim, resta pensar uma maneira de descrever, através de grafos, a representação mental do ambiente, incluindo a dimensão cognitiva como uma possível camada no grafo que descreve o sistema espacial urbano. Uma representação dessa natureza é um tanto mais complexa que as demais, tendo em vista que não há um caminho seguro a seguir, sendo tema pouco explorado na literatura de grafos, conforme visto no Capítulo 3. Faria (2002; 2010) e Zechlinski (2008) fornecem algumas pistas, então estas se tornam as principais referências aqui.

Tendo em vista que a cognição espacial é altamente hierarquizada, essa camada introduziria um efeito de “hierarquia cognitiva” no grafo, ao produzir uma deformação que aproxima os

<sup>54</sup> Ver seção 4.3 e Anexo B.



resultados da forma como a cognição humana estrutura o ambiente. É possível dizer também que a introdução dessa camada gera um “atalho cognitivo”, efeito este explorado por Faria (2010). O atalho cognitivo se refere a uma deformação na noção de distâncias.

A ideia é que a introdução de uma camada representando a estrutura cognitiva conectada à camada dos espaços públicos gere uma deformação na hierarquização dos vértices, aproximando a descrição do sistema espacial urbano da dimensão cognitiva, ao refletir: a) a agregação de vértices em unidades cognitivas, como a noção de *unidades de informação* proposta por Faria (2010); b) encurtamento de caminhos – atalho cognitivo.

Admite-se que os mapas mentais sejam estruturados sob a forma de unidades de informação, isto é, as informações selecionadas pelos indivíduos para suas interações com o ambiente. Desde Lynch é possível ter a noção de que as informações tendem a ser agregadas em unidades que tendem a ser pontuais, lineares ou poligonais. Conforme Faria (2010, p.98), unidades poligonais ou lineares, como vias e bairros, tendem a se estruturar sob um processo de agregação de elementos, ao passo que elementos pontuais, como nós e marcos, se estruturam mais por um processo de distinção. Ao traduzir os elementos de Lynch para uma linguagem de grafos, Faria (2010) faz uma reclassificação desses, visando acomodar melhor diferentes geometrias a critérios de representação.

<b>Unidades de informação (UI) por tipo</b>	<b>Correspondência com os elementos de Lynch</b>	<b>Estratégias de representação</b>
ÁREA	Mesma definição de “bairros/distritos” de Lynch: áreas que compõem um tecido homogêneo, com características que o destaquem do entorno.	Inserção de um novo vértice conectado aos trechos de rua adjacentes;
LINHA	Mesma definição de “caminhos” ou “limites” de Lynch, como, por exemplo, vias com alguma característica especial ou particularmente marcante.	Inserção de um novo vértice conectado a todos os vértices que compõem a unidade;
LUGARES	Nessa categoria entram os parques, que para Lynch são “bairros”, e os locais de concentração de atividades, que para Lynch são “nós”.	Inserção de um novo nó no grafo, conectado aos trechos de rua adjacentes.
NÓS	Apenas “nós” relacionados a circulação e transportes, como, por exemplo, cruzamentos viários marcantes.	Inserção de um novo nó no grafo, conectado aos trechos de rua que formam o cruzamento.
MARCOS REFERENCIAIS	Mesma definição de “marcos” de Lynch: elementos referenciais, geralmente marcos arquitetônicos.	Inserção de um novo nó no grafo, conectado aos trechos de rua adjacentes.

Quadro 3 - Unidades de informação e sua representação. Adaptado de Faria (2010).

O quadro 3 retoma essa reclassificação feita por Faria e indica as estratégias de representação adotadas na presente pesquisa, inspiradas em uma das hipóteses de

representação sugeridas por Faria (2010, p.135-146) – hipótese II, que na pesquisa da referida autora obteve melhor desempenho. Outras hipóteses são sugeridas por Faria, porém não foram utilizadas aqui.

O exemplo da figura 26-a mostra as unidades de informação (UI) que compõem um mapa mental, sendo 1 e 4 do tipo “marcos referenciais”, 2 e 3 do tipo “lugares” e 5 do tipo “linha”. Em 26-b a estrutura cognitiva (ou supra estrutura cognitiva) composta pelas UI é representada sob a forma de um grafo, onde os vértices correspondem às distintas unidades de informação do mapa mental e as arestas correspondem às relações cognitivas entre essas unidades. Cabe ressaltar que conexões remotas, isto é, entre elementos que não estão fisicamente próximos, também são válidas, tendo em vista que deformar a realidade faz parte do processo de cognição ambiental. Por fim, 26-c mostra como essa camada correspondente à estrutura cognitiva se conecta à estrutura espacial urbana (no caso, representada pela rede viária). Assume-se, neste trabalho, a ideia de indissociabilidade entre essas duas estruturas, aproximadamente como na abordagem IRN, de Portugali, e no conceito de ordem simbólica, adotado por Faria (2002, 2010).

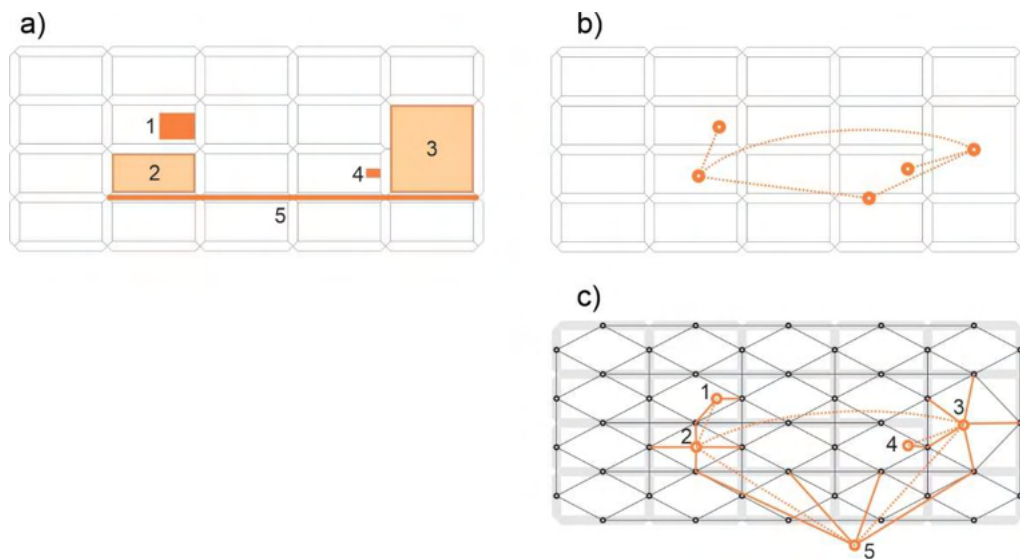


Figura 26 - Representação das unidades de informação (UI): a) identificação das UI; b) representação das UI e suas conexões sob a forma de um grafo; c) grafo incluindo camada da estrutura viária e da estrutura cognitiva.

### 4.3 Medidas de diferenciação espacial

Após delinear um sistema descritivo, elencando estratégias de representação para os distintos elementos que compõem o sistema espacial urbano, é preciso definir métodos de

diferenciação espacial entre as entidades que compõem o grafo. Conforme visto no Capítulo 3, métricas baseadas em grafos fornecem distintas maneiras de estabelecer diferenciação espacial, isto é, possibilitam capturar hierarquia entre os vértices que compõem o grafo com base em suas relações topológicas. Crucitti, Latora e Porta (2006) argumentam que uma análise baseada em um conjunto de medidas de centralidade amplia a capacidade de caracterização da estrutura da cidade. Para fins de desenho urbano e visando uma compreensão mais holística, parece lógico buscar um conjunto de medidas, que destaquem distintas hierarquizações do sistema urbano, e não apenas uma.

Embora não possuam relação direta com as propriedades apontadas por Alexander, as medidas configuracionais revelam características globais da configuração e permitem hierarquizar as partes do sistema. Assim, um passo fundamental para a montagem teórico-metodológica pretendida está na seleção de um conjunto de métricas que permitam inferência sobre alguma qualidade urbana que seja útil em um contexto de projeto.

O Capítulo 3 revisou algumas das diversas medidas baseadas em grafos já sugeridas e utilizadas na literatura em estudos urbanos, desde as medidas da sintaxe espacial até os estudos mais recentes sobre redes espaciais urbanas. Todas são passíveis de uso para fins de desenho urbano e poderiam ser aplicadas ao sistema descritivo proposto aqui. Para o presente estudo optou-se pela utilização de três medidas – acessibilidade, centralidade Freeman-Krafta e polaridade, cujo método de cálculo é explicado em detalhes no Anexo B. Apesar de o foco do trabalho estar nestas medidas específicas não significa que sejam as únicas possíveis de serem utilizadas para os propósitos de desenho urbano. Futuramente, outras podem ser exploradas. Estas três medidas foram escolhidas para uma exploração inicial do modelo de desenho urbano aqui proposto por constituírem um conjunto que captura diferentes aspectos da morfologia urbana.

O quadro 4 resume as medidas selecionadas e suas principais características. É possível notar que há diferenças quanto ao seu princípio de cálculo, quanto aos pares de vértices considerados no cálculo (todos ou apenas um subconjunto), à possibilidade de inclusão (ou não) de atributos nos vértices, à amplitude espacial (global ou local, isto é, se considera ou não raios limitados), e à distribuição estatística típica dos resultados.

	<b>Princípio de cálculo</b>	<b>Vértices considerados</b>	<b>Atributos nos vértices</b>	<b>Amplitude espacial (raio)</b>	<b>Distribuição estatística resultados</b>
<b>Acessibilidade</b>	Distância	Todos os pares possíveis	Não	Global ou local	Normal

<b>Centralidade F-K</b>	Posição relativa	Todos os pares possíveis	Sim (opcional)	Global ou local	Exponencial ou lei de potência
<b>Polaridade</b>	Posição relativa	Apenas pares de vértices com atividades complementares	Sim (obrigatório)	Global	Exponencial ou lei de potência

Quadro 4 - Métricas de diferenciação espacial utilizadas neste trabalho.

Acessibilidade e centralidade são métricas comumente utilizadas em estudos de redes espaciais urbanas. Possuem princípios de cálculo distintos, sendo que a principal diferença é que uma se baseia em distâncias e a outra se baseia em posição relativa. Outra significativa diferença está na distribuição estatística dos resultados, que tende a ser aproximadamente normal para a primeira e exponencial ou em lei de potência para a segunda (FARIA, 2010). A centralidade tem claramente maior poder diferenciador que a acessibilidade (KRAFTA, 2014).

A medida de centralidade por perpasso (*betweenness*) de Freeman (1977, 1979) é a mais utilizada em estudos sobre redes urbanas, porém no presente trabalho adota-se a centralidade Freeman-Krafta, ou simplesmente centralidade F-K, cujo método de cálculo é semelhante ao da centralidade por perpasso. Uma das vantagens da centralidade F-K está na possibilidade de utilizar grafos valorados, isto é, com atributos numéricos nos vértices, que podem ser utilizados para descrever diferentes concentrações de formas construídas, por exemplo. Outra vantagem da centralidade F-K é que leva em consideração a distância entre os vértices analisados, algo que a *betweenness* não faz, uma vez que foi uma métrica proposta inicialmente para analisar outro tipo de rede. Sendo assim, a centralidade F-K parece a mais interessante para análise de redes urbanas.

A terceira medida adotada é a polaridade (Krafta, 2014), cujo método de cálculo é o mesmo da centralidade F-K, porém opera sobre grafos com pares selecionados, isto é, leva em conta apenas pares que contenham atividades complementares, caracterizadas aqui genericamente como “oferta” e “demanda” (a centralidade F-K analisa sempre todos os pares possíveis). Com essa pequena diferença, o tipo de hierarquização que a polaridade captura tende a se aproximar mais da ideia de desempenho urbano, pois é focada não apenas na forma urbana, mas também nas atividades humanas e possíveis padrões de movimento, ao levar em conta informações de uso do solo.

#### 4.4 Visualização e comparação de resultados

Outra questão pertinente diz respeito à análise e visualização dos resultados das métricas extraídas do grafo, para que efetivamente possam ser operadas por projetistas. As diferentes métricas permitem capturar a estrutura existente, isto é, fazem uma descrição de estado, mas

é preciso estabelecer também uma maneira de capturar efeitos de mudanças na estrutura do tecido urbano, isto é, alguma forma de avaliação. Isso vai ao encontro da proposta de Alexander de tomar as estruturas pelo seu caráter incremental, isto é, um processo que ocorre por meio de desdobramentos da estrutura (*unfolding structure*), tanto no ambiente construído como na natureza. Para Alexander esse entendimento possibilitaria uma maneira de distinguir qualidade/harmonia/inteireza que vai além do seu caráter estético, mas que captura um processo que busca essa qualidade e que busca preservar a estrutura existente.

Portanto, para utilizar métricas de diferenciação espacial baseadas em grafos, com as medidas de centralidade e acessibilidade, como método de apoio ao desenho urbano, é fundamental entender suas características espaciais e estatísticas e buscar maneiras de mapear mudanças. Por “mudanças” entende-se os efeitos gerados nos resultados a partir de alterações no grafo, com adição ou remoção de entidades no grafo, adição ou remoção de novas conexões, alterações nos atributos. Para que resultados dos modelos configuracionais sejam incorporados como parte de um processo de projeto é preciso que sejam facilmente comparáveis, a fim de que possam ser utilizados para testar hipóteses de projeto. Por isso, torna-se importante investigar métodos de visualização dos resultados. Algumas questões precisam ser levadas em conta na busca por uma visualização mais intuitiva: a) medidas precisam ser comparáveis entre si; b) grafos com diferentes tamanhos precisam ser comparáveis; c) importa saber *quanto* mudou e *onde* mudou. Em outras palavras, a avaliação dos resultados requer a possibilidade de visualizá-los comparativamente. Isso se torna um desafio na medida em que a modelagem baseada em grafos resulta em distintas escalas de valores e distintas distribuições estatísticas.

Os valores obtidos após rodar as medidas de diferenciação espacial fornecem uma hierarquização dos elementos do grafo, sendo que o valor absoluto obtido para cada elemento não é tão importante, mas sim sua posição no *ranking* em relação aos demais elementos. Nesse tipo de resultados, as distribuições estatísticas e a amplitude dos valores tendem a variar muito entre uma medida e outra, o que leva também a distribuições espaciais peculiares para cada tipo de medida. Adicionalmente, existe a dificuldade de comparações entre sistemas de ordens distintas, isto é, com diferente quantidade de vértices.

Assim, esse tipo de resultado matemático é abstrato demais e requer que o operador possua um conhecimento minimamente aprofundado de estatística – que geralmente projetistas não possuem. A chave para resolver este problema pode estar na maneira como se visualizam os resultados, de modo a permitir comparações. As diversas publicações, teses e dissertações da área de modelos configuracionais fornecem pistas sobre como comparar resultados dessa natureza, porém não há um método estabelecido.

Conforme Faria (2010), os procedimentos de análise de redes geralmente envolvem análise visual dos padrões de distribuição espacial dos resultados e análise estatística dos padrões de distribuição dos valores, sendo que ambos são importantes para compreensão da estrutura da rede. Apenas mais recentemente o padrão de distribuição estatístico começou a despertar maior interesse (FARIA, 2010, p.66), sendo que, nos últimos anos, novas técnicas de análise mais sofisticadas para aferir características e comportamento de redes urbanas vem sendo agregadas àquelas já existentes (ver, por exemplo, STRANO et al., 2012; SHPUZA, 2014; KIRKLEY et al., 2018, GIL; 2015).

D'Acci (2015) propõe uma abordagem interessante em termos de visualização. Propõe a análise da distribuição de vantagens espaciais pela cidade, cuja leitura é feita a partir de *isolinhas de benefícios*, que fornecem uma representação simples da estrutura da cidade em termos dos benefícios que ela oferece. Essas linhas são como as curvas de nível, utilizadas na cartografia: conectam pontos com os mesmos valores, de modo a configurar uma superfície topográfica, que pode ser visualizada em 3D. As isolinhas de benefícios de D'Acci representam a atratividade das diferentes partes da cidade. Conforme o autor, trata-se de uma superfície líquida, não sólida, uma vez que varia através do tempo e das pessoas. Para D'Acci, tal abordagem humaniza as cidades, uma vez que mede critérios subjetivos, como preferências da população. A metodologia serve como ferramenta para quantificar e visualizar centralidades urbanas. A centralidade descrita por D'Acci não é mesma das medidas clássicas de centralidades, que são baseadas em distâncias ou posição relativa, mas sim uma centralidade baseada nos lugares mais agradáveis da cidade. Entretanto, nada impede que outras medidas de centralidade sejam visualizadas com o método que ele propõe.

O trabalho de D'Acci interessa a esse trabalho justamente pelo aspecto da visualização das métricas, que é feita através de uma superfície tridimensional das isolinhas de benefício, formando uma espécie de relevo que descreve a distribuição de benefícios pela cidade. Para construir a superfície tridimensional, o território analisado é transformado em um grid com células, que recebem valores mais altos ou mais baixos conforme seu nível de benefícios. Esse grid pode ser visualizado tridimensionalmente, gerando um volume, que por sua vez pode ser utilizado para comparações, tanto visualmente quanto matematicamente. Conforme o próprio autor, isso pode ser útil para comparar a mesma cidade antes e depois de alguma transformação urbana ou para comparar diferentes cidades entre si.

No restante desta seção são expostas considerações sobre a visualização e comparação dos resultados por meio de: a) padrões distribuição estatística; b) padrões de distribuição espacial (análise visual); c) mapas de diferenças e outros métodos

#### 4.4.1 Padrões de distribuição estatística

Alguns métodos simples de estatística descritiva podem ser utilizados para uma comparação de padrões de distribuição estatística: a) medidas-resumo, como média, amplitude, desvio padrão ou coeficiente de variação; b) gráficos que mostrem a distribuição de frequência dos resultados, como histogramas de frequência e *box-plots*.

A figura 27 mostra os principais tipos de padrões distributivos de frequência de valores: gaussiano, exponencial e em lei de potência. Medidas de acessibilidade, isto é, baseadas em distâncias, tipicamente possuem padrão de distribuição que se aproxima da distribuição gaussiana. Medidas de centralidade, por sua vez, baseadas em posição relativa tem distribuição exponencial ou em lei de potência. Estar ciente destas diferenças é importante para a escolha do método de classificação dos intervalos de valores utilizado para a visualização da distribuição espacial dos resultados.

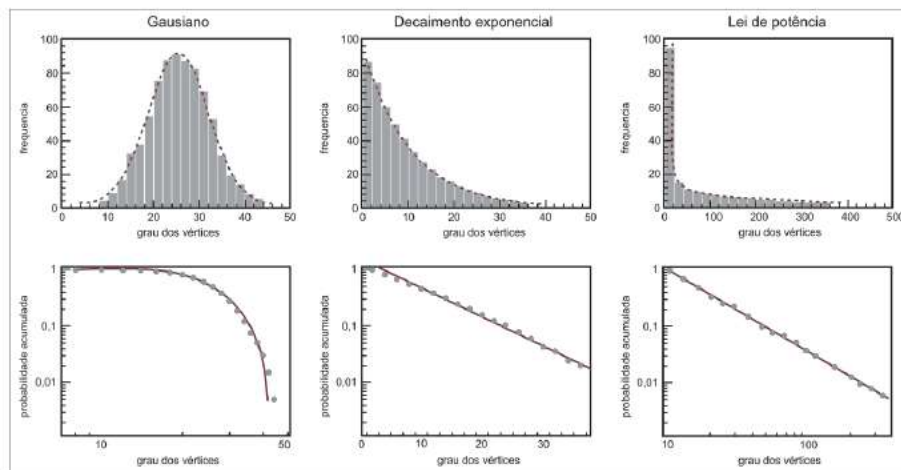


Figura 27 - Histogramas de frequência e os correspondentes gráficos de distribuição das probabilidades acumuladas de três padrões distributivos de valores: a) gaussiana; b) decaimento exponencial; c) lei de potência. Fonte: Faria (2010, p.38).

#### 4.4.2 Padrões de distribuição espacial

Para Kirkley et al. (2018) a distribuição espacial é um discriminador mais preciso do que a distribuição estatística para analisar padrões, pelo menos no caso da medida de centralidade, que apresenta um padrão de agrupamento espacial não-trivial. Além disso, tendo em vista a finalidade do trabalho, de se pensar em ferramentas úteis para desenho urbano, a distribuição espacial torna-se mais relevante que as distribuições estatísticas, portanto, dar-se-á maior ênfase a este tipo de análise.

A análise de padrões de distribuição espacial requer alguma forma de visualização dos resultados plotados em uma base espacial. Esse tipo de representação é amplamente estudado no campo de análise espacial, amparado por métodos da cartografia e da

estatística. A seguir são feitas algumas observações visando a aplicação deste tipo de conhecimento à questão da visualização e comparação de resultados obtidos em medidas baseadas em grafos.

Em primeiro lugar, convém destacar que análises baseadas em grafos, produzem resultados cuja visualização e comparação visual não é nada trivial, pelo contrário, é cercada de dificuldades. A principal delas se refere ao caráter relacional dos resultados, isto é, as métricas utilizadas aqui tem como resultado um *ranking* de valores, que caracteriza alguma forma de hierarquia entre os elementos. A visualização desse tipo de resultado pode ser feita tanto através da plotagem dos resultados sobre unidades discretas (no próprio grafo ou no mapa de trechos), quanto através de superfícies contínuas geradas a partir do grafo. Dada a quantidade de opções existentes para visualização de resultados quantitativos, constata-se que se trata apenas de escolher o método que mostre com maior clareza aquilo que se quer mostrar. A complicação maior incorre quando se tenta comparar visualmente os padrões espaciais obtidos em diferentes grafos – grafos de diferentes tamanhos e com diferentes *inputs* – ou seja, quando se quer verificar, por exemplo, onde houve aumento/diminuição nos valores ou concentração/dispersão. Ao longo do trabalho procuram-se formas de contornar tal dificuldade, sendo que nesta seção são feitas algumas considerações quanto a isso.

Para operacionalizar uma comparação visual é importante uniformizar as classes de intervalo utilizadas – também conhecidas como classes coropléticas. Conforme Longley et al. (2013, p.313), os quatro principais esquemas de classificação de intervalos são: a) quantis; b) intervalos iguais; c) desvio padrão; d) quebras naturais. Esses esquemas são usados para facilitar a interpretação de mapas, sendo que não existem regras para sua utilização. Sua escolha em geral se deve à experiência acumulada do operador e à conveniência em relação à natureza das variáveis que se quer visualizar.

Na classificação por *quantis* ou por *percentis*, cada classe contém igual número de observações. Longley et al. (2013) alertam que o resultado pode ser enganador, tendo em vista que o tamanho de cada classe é rígido. Esse tipo de classificação é um método interessante para destacar os valores extremos de um *ranking*, como, por exemplo, os 1%, 5% ou 10% de valores mais altos.

A classificação por *intervalos iguais*, por sua vez, é útil especialmente quando os intervalos são familiares aos usuários (LONGLEY et al., 2013). Esse esquema de classificação é capaz de capturar a diferença de dispersão dos dados, auxiliando na visualização de distribuições mais homogêneas, com padrão de distribuição gaussiano, como é o caso da medida de



acessibilidade<sup>55</sup>. É preciso ter cuidado, pois nesse esquema de classificação *outliers* podem mascarar diferenças<sup>56</sup>. É possível ainda que algumas classes fiquem vazias.

A classificação por *desvios padrão* mostra a distância dos valores em relação à média. Esse tipo de classificação é interessante quando se quer destacar os valores que estão acima e abaixo da média.

Por fim, na classificação por *quebras naturais (Jenks)*, as “classes são definidas de acordo com grupos aparentemente naturais de valores de dados” (LONGLEY et al., 2013, p.313), isto é, as quebras dos intervalos são encontradas com base em rupturas no padrão de distribuição dos valores. Esse tipo de classificação é mais sensível à heterogeneidade na distribuição dos valores, portanto é o mais adequado para visualizar distribuições do tipo exponencial ou em lei de potência, como em geral é o caso das medidas de centralidade por perpasso, centralidade Freeman-Krafta e polaridade<sup>57</sup>.

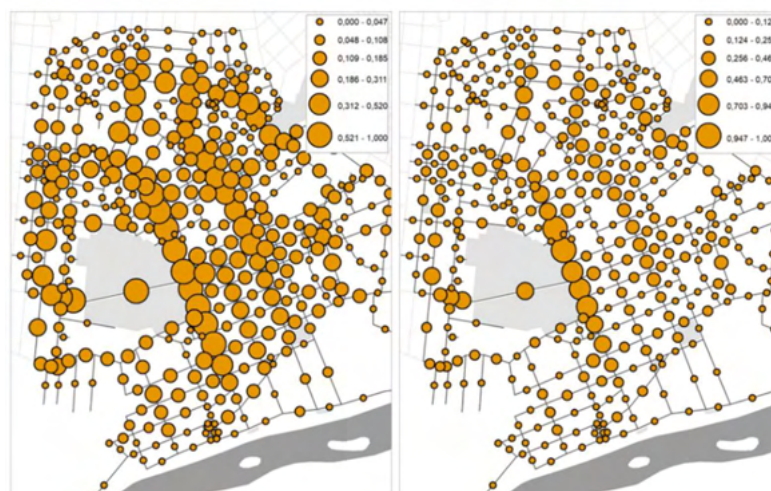


Figura 28 – Visualização da medida centralidade por perpasso com diferentes esquemas de classificação: a) Natural Breaks; b) Head/Tail Breaks.

Além desses quatro esquemas de visualização clássicos, há também o esquema *Head/Tail Breaks* proposto por Jiang e Yin (2014), já comentado na seção 2.3.4, que é ligeiramente diferente do método por quebras naturais. Esse método é particularmente interessante para distribuições extremamente heterogêneas, como é o caso das distribuições que se aproximam de leis de potência, pois tende a destacar o topo do ranking. A figura 28 mostra um exemplo comparando o método de quebras naturais com o *Head/Tail Breaks*. Percebe-se que o segundo mostra com mais ênfase os valores mais altos. Embora interessante, sua operacionalização não se mostrou viável para ser utilizada no presente trabalho, pois a quebra

<sup>55</sup> Fonte: material didático professora Ana Paula Faria, PROGUAU/ UFPel.

<sup>56</sup> Fonte: material didático professor Marcos Wellausen Dias de Freitas, PPGSR/ UFRGS

<sup>57</sup> Material didático professora Ana Paula Faria, PROGUAU/ UFPel.

dos valores é feita de forma mais ou menos manual, já que não está implementada em nenhum SIG.

Com base nesses esquemas de classificação de intervalos, é possível pensar em quais são os mais adequados para cada tipo de medida. Resumindo:

- a) Intervalos iguais: interessante para visualizar métricas de acessibilidade, cuja distribuição de frequência tende a assumir um padrão gaussiano;
- b) Quebras naturais ou Head/Tail Breaks: métodos interessantes para visualizar métricas de centralidade (dentre as quais se incluem a polaridade), que possuem padrão exponencial ou em lei de potência;
- c) Quantis: método interessante para destacar valores extremos, como 1%, 5% ou 10% dos valores mais altos.

#### 4.4.3 Outros métodos para análise dos padrões de distribuição espacial

Os métodos citados na seção anterior se referem basicamente à análise visual dos padrões espaciais. No entanto, outras técnicas podem ser utilizadas para obter comparações mais precisas. Exemplo disso é o método utilizado por Gil (2015), que emprega regressão linear simples para comparar mapas de segmentos de rua – sendo que o autor utiliza mapas com igual número de segmentos. O coeficiente  $R^2$ , no referido estudo, é utilizado para verificar o quanto os resultados são diferentes entre si. Se dois cenários são idênticos  $R^2$  é igual a 1. Quanto menor  $R^2$ , maior a diferença entre os dois cenários analisados. O autor utiliza ainda o mapa de resíduos para verificar onde estão as entidades que mais se afastaram da reta de regressão. Esse método torna-se um pouco trabalhoso porque nem sempre a correlação de *Pearson* será adequada – como, por exemplo, quando se comparam medidas de centralidade, que não possuem variação linear, sendo que nesses casos seria mais adequado a correlação de *Spearman*.

Outra opção de método para aferir o impacto de alterações no grafo, mais simples e intuitiva, porém não muito utilizado, é por meio de mapas de diferenças percentuais, obtido através de álgebra de mapas. Para fazer esse tipo de operação é preciso trabalhar com formato *raster*, isto é, com superfícies contínuas. Cada mapa deve possuir igual quantidade de pixels que são comparados um a um, possibilitando verificar onde houve aumento ou diminuição de valores e, também, identificar onde essas diferenças são maiores. Essa parece uma boa opção para o caso da presente pesquisa.

## 4.5 Propriedades estruturais da forma urbana

Nas seções anteriores esquematizou-se uma série de variáveis que podem ser representadas por meio de grafos, além de um conjunto de métricas de centralidade que permitem hierarquizar os elementos e maneiras de visualizar os resultados. Procura-se aqui explicitar as possibilidades de vinculação desse tipo de análise com aspectos da forma urbana, de modo que constituam informação útil ao projeto. Por exemplo, uma métrica de centralidade por si só não possui aplicabilidade direta ao desenho urbano. No entanto, se os vértices com maior centralidade forem interpretados como aqueles com maior intensidade de vida urbana, essa medida se torna útil em âmbito de projeto, pois permite caracterizar uma certa qualidade da forma urbana.

A correlação entre medidas baseadas em grafos e fenômenos ou qualidades urbanas ainda consiste em tópico que não é totalmente consolidado, muito embora os estudos configuracionais tenham se originado justamente de uma teoria que procura correlacionar propriedades espaciais com aspectos comportamentais – a *lógica social* do espaço (HILLIER; HANSON, 1984). Mesmo carecendo de comprovações mais consistentes, a literatura sobre o tema já oferece uma quantidade razoável de indicações que sugerem que métricas baseadas em grafos podem servir como *proxy* para inferir alguma qualidade urbana. Parte-se do pressuposto de que as indicações já disponíveis na literatura sejam válidas, não sendo objetivo deste trabalho buscar comprovações empíricas.

Cabe também discutir uma questão de escalas, tanto de representação (nível de desagregação) quanto de amplitude geográfica de certas propriedades. Alguns fenômenos urbanos são regidos por lógicas mais locais, enquanto outros, por lógicas mais globais. Desse modo, uma mesma métrica de centralidade, por exemplo, pode fornecer indicações de diferentes aspectos quando vista sob um ponto de vista global ou local. Sem uma discussão de tal complexidade, a vinculação de propriedades com aspectos reais tende a permanecer pobre.

Há duas noções de escala envolvidas. Uma delas diz respeito ao raio abrangido no cômputo das medidas, que pode ser global – análise abrange todos os nós do grafo, ou local – análise abrange apenas um conjunto de nós delimitado por um raio. Na literatura dos sistemas configuracionais estes distintos âmbitos de análise são tratados enquanto *escala global* e *escala local*. A outra noção de escala é geográfica, ou seja, diz respeito ao recorte espacial, que pode abranger, por exemplo, uma região inteira, uma cidade, apenas um bairro ou até mesmo um pequeno setor da cidade, envolvendo diferentes graus de detalhamento e desagregação.

Em resumo, pode-se dizer que a combinação entre métricas, raios de processamento, representações e recorte espacial é capaz de fornecer diferentes leituras do sistema espacial urbano, que por sua vez, podem estar associados a qualidades fundamentais do desenho urbano. Conforme o tipo de representação aplicado e raio estabelecido, o modelo fornece uma leitura diferente, e, a partir disso, é possível contar com um conjunto razoável de propriedades que podem servir como apoio ao projeto. A figura 29 mostra como diferentes métricas – acessibilidade (ACE), centralidade (CEN) e polaridade (POL) – combinadas à diferentes maneiras de representar o sistema espacial urbano, fornecem distintas possibilidades de caracterização da forma urbana.

O quadro 5 detalha algumas possibilidades de caracterização de certas qualidades do desenho urbano possíveis de se obter a partir de diferentes combinações de medidas, variáveis representadas e raio de processamento, sem contar o recorte espacial utilizado (cidade inteira, bairro etc.). Outras métricas e outras combinações, além das que são exemplificadas aqui, poderiam ser exploradas. Todavia, com pequeno conjunto já é possível verificar o potencial de se trabalhar, sob a forma de grafos multicamadas, com a descrição de diferentes variáveis do sistema espacial urbano, multiplicando a capacidade de leitura oferecida por uma reduzida quantidade de medidas.

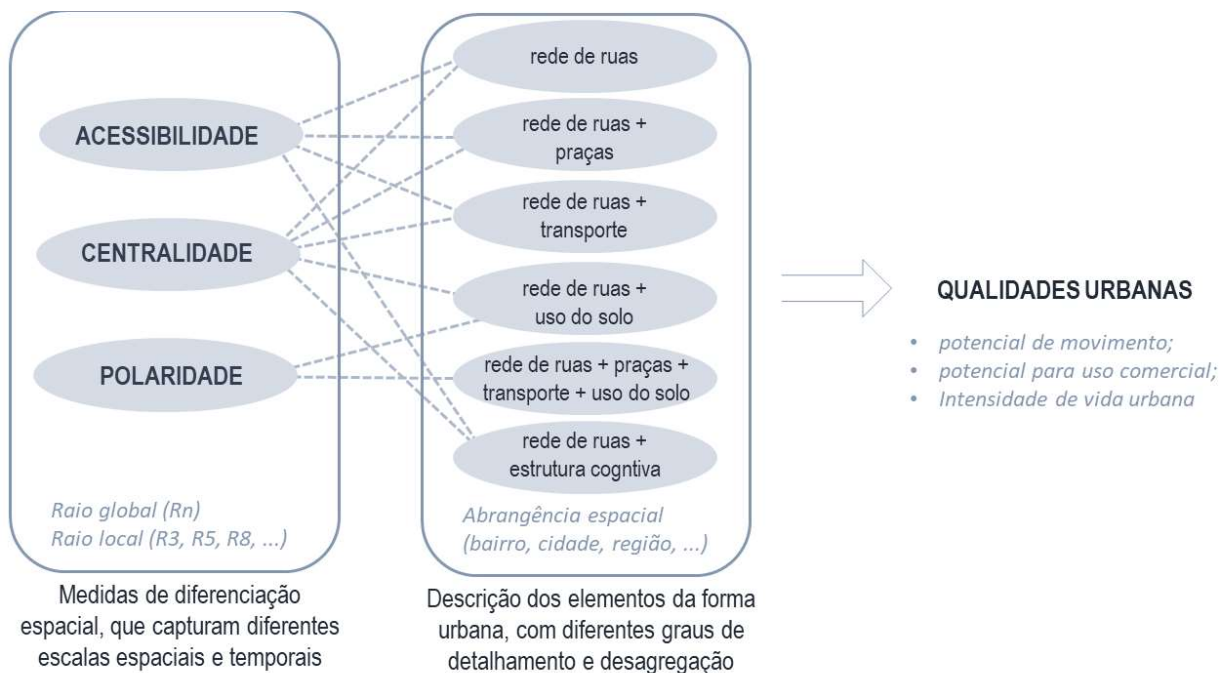


Figura 29 - Combinação entre diferentes medidas de diferenciação e representações para obter um conjunto de características da forma urbana.

<i>Medida</i>	<i>Representação</i>	<i>Raio</i>	<i>Qualidades da forma urbana</i>
ACE	Rede de ruas	Raio Global (Rn)	Destaca elementos mais acessíveis, isto é, mais próximos de todos os outros, mostrando <b>facilidade de acesso</b> sob um ponto de vista global
	Rede de ruas	Raio local (R3)	Destaca elementos mais acessíveis, isto é, mais próximos daqueles que estão dentro de um certo raio, mostrando <b>facilidade de acesso</b> sob um ponto de vista local
CEN	Rede de ruas	Raio Global (Rn)	Destaca vias mais importantes, talvez com alto potencial de fluxo de passagem (Kirkley et al., 2018), mostrando <b>potencial latente a ser desenvolvido</b> . 10% de maiores valores indicam a estrutura que tende a permanecer estável ao longo do tempo, ou seja, que fica no topo do ranking mesmo após o sistema passar por mudanças (Strano et al., 2012; Kirkley et al., 2018), então a medida pode mostrar também as <b>partes com maior estabilidade no sistema</b>
	Rede de ruas	Raio Local (R8)	<b>Potencial para atividade comercial</b> (Lima, 2015)
	Rede de ruas + uso do solo	Raio Global (Rn)	<b>Intensidade de vida urbana</b> (Krafta, 1994)
POL	Rede de ruas + uso do solo	Raio Global (Rn)	<b>Potencial de movimento</b> <sup>58</sup> (ZECHLINSKI, 2013) ou uma captura mais precisa da <b>intensidade de vida urbana</b> .

Quadro 5 - Exemplos de combinações possíveis para obter uma caracterização de certas qualidades do desenho urbano.

Então, em resumo, propõe-se que, ao associar medidas baseadas em grafos à qualidades que possam ser valoradas por projetistas e/ou usuários, estas cumpram, ao menos parcialmente, o papel das quinze propriedades Alexander. Todas as medidas descrevem alguma forma de hierarquia existente entre as partes que compõem o todo. Talvez essa possa ser uma maneira de descrever e identificar os *centros robustos* de Alexander, aqui tratados de forma menos abstrata e mais próxima dos propósitos do desenho urbano, uma vez que são passíveis de interpretações mais concretas a respeito de qualidades da forma urbana.

## 4.6 Formalização do modelo *harmony-seeking*

Finalmente, é possível passar à formalização do modelo de desenho urbano, amarrando os itens tratados até o momento. Investiga-se o desenvolvimento de um modelo que explora a busca da harmonia – *harmony-seeking*, reinterpretada aqui como a busca pelo atendimento de uma intenção de projeto. Cada agente busca produzir harmonia, agindo intencionalmente, mas o significado de harmonia, isto é, os *valores*, variam conforme o contexto. Convém enfatizar que, nesse ponto, o modelo diverge da visão de Alexander sobre harmonia, já que o autor sugere que harmonia é uma qualidade universal e não uma questão de ponto de vista

<sup>58</sup> Alguns autores, como Kirkley e colegas (2018), sugerem que a centralidade por perpasso pode ser utilizada como *proxy* para fluxo de tráfego veicular, mas o estudo empírico de Zechlinski (2013) mostra que a medida de polaridade explica melhor os fluxos.

peçoal. Adota-se aqui uma perspectiva mais próxima da de March, para quem qualidade é relativa a valores e princípios de cada agente, incluindo o projetista, isto é, o operador do modelo. Assim, a ideia é que o modelo seja calibrável, mediante inserção de diferentes camadas de representação no grafo e atributos, permitindo ao operador atribuir valor relativo a qualquer um de seus elementos, de forma que o conceito de harmonia se adeque a valores e princípios do operador.

Para Alexander, uma importante ideia associada ao conceito de inteireza e ao processo que busca harmonia é a de preservação da estrutura latente. Nesse sentido o modelo *harmony-seeking* aqui proposto, ao buscar reconhecer estrutura vai ao encontro das ideias de Alexander. As técnicas de modelagem baseadas em grafo permitem reconhecer estrutura de uma forma que não seria possível à olho nu, isto é, apenas olhando para um desenho com a representação arquitetônica tradicional, icônica. Estrutura é vista aqui como resultado de relações entre elementos. Dessa forma, sucessivos passos no processo de projeto podem se valer dessa ferramenta que auxilia a verificar mudanças na estrutura das configurações. O operador pode basear suas decisões conforme tais resultados se aproximem ou não dos objetivos de projeto previamente estabelecidos, buscando assim se aproximar daquilo que ele entende por harmonia.

Ao evocar aqui a figura do projetista ou do operador do modelo, não significa que se esteja pressupondo um processo de projeto do tipo autoral, sem participação de outros atores. Pelo contrário, todo o esforço empregado vai no sentido de buscar uma visualização intuitiva, de fácil compreensão por parte de arquitetos, usuários ou quaisquer outros possíveis atores a participar de um processo de projeto. Além disso, permitir o teste de diferentes hipóteses de projeto e sua comparação pode auxiliar em processos de decisão onde há visões divergentes. A leitura de diferentes propriedades da estrutura espacial urbana, como aquelas citadas neste capítulo, tem alto potencial para suportar decisões em projeto, tendo em vista que permitem justamente testar hipóteses e simular resultados.

Além disso, as propriedades do sistema espacial urbano permitem uma leitura de estado inicial, o que também pode ser considerado uma forma de objetivar a teoria de Alexander. O processo *hamony-seeking* descrito pelo autor se baseia na preservação da estrutura latente, de modo que reconhecer a estrutura existente é um passo importante do processo de projeto.

O modelo *harmony-seeking* proposto concebe o desenho urbano como um processo cíclico – assim como o modelo PDI (MARCH, 1984), o modelo do *geodesign* (GOODCHILD, 2010; MILLER, 2012; STEINITZ, 2012) e o modelo auto-reflexivo (ÇALIŞKAN, 2012), vistos no Capítulo 2. Todos esses possuem esquemas básicos semelhantes, envolvendo fases de

análise, síntese e decisão/avaliação<sup>59</sup>. O modelo proposto aqui se difere dos demais por deixar mais explícitos os procedimentos analíticos adotados, que envolvem a utilização de grafos.

Assim, no modelo *harmony-seeking* proposto, a cada nova hipótese de configuração inicia-se um novo ciclo de representação/processamento dos respectivos grafos, que permite uma avaliação para verificar se o projeto vai em direção aos objetivos inicialmente traçados. Após o término de um ciclo, o processo de projeto pode dar-se por encerrado ou então é iniciado um novo ciclo, com novas adições/alterações, isto é, novos gestos projetuais ou até mesmo revisão dos objetivos. Objetivos, aqui, seriam justamente aqueles valores capazes de gerar harmonia. Como o processo é cíclico, a fase de conjecturas não precisa implicar em soluções completas para o problema que se quer resolver. Entra aqui a ideia de Alexander, de projeto como processo incremental, em que cada parte vai se adaptando a uma situação pré-configurada (existente ou projetada), em busca de harmonia.

De forma resumida, conforme se vê no esquema da figura 30, o processo de desenho inicia com a definição de uma suposição inicial de projeto, uma ideia ainda abstrata do que se quer e dos objetivos que se quer atingir (CONJECTURA). A seguir vem uma fase de análise exploratória (ANÁLISE) do contexto existente, em outras palavras, uma leitura da estrutura latente. Essa fase implica em uma cuidadosa e criteriosa modelagem da rede, como enfatiza Marshall (2018), isto é, definição do sistema descritivo a ser utilizado e o que será representado (REPRESENTAÇÃO), bem como o recorte da área de estudo. O ideal é tomar essas decisões já com uma prévia concepção do caráter e da extensão que se deseja propor, embora não haja necessidade de uma ideia completa do projeto. Ainda na fase de análise são aplicadas as medidas de diferenciação espacial (PROCESSAMENTO) com o auxílio de algum software, e em seguida visualizadas (VISUALIZAÇÃO) mediante algum recurso gráfico. Finalmente, esses resultados podem passar por avaliação (AVALIAÇÃO), a partir da qual são traçadas alternativas de intervenção mais específicas, expressas já como hipóteses de projeto (SÍNTESE). Em seguida sucede-se uma nova fase de análise, desta vez com o objetivo de analisar e testar/avaliar a(s) solução(ões) escolhida(s). O processo de desenho pode ser formalizado da seguinte forma:

---

<sup>59</sup> Ver figuras 2, 3 e 4 no Capítulo 2.

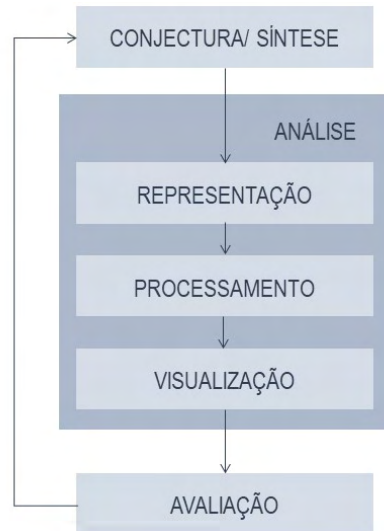


Figura 30 – Esquema básico do modelo proposto.

Nesse modelo a fase analítica é composta de uma sequência de representação-processamento-visualização. Diferente de outros modelos, aqui a fase analítica é mais explícita, envolvendo uma sequência de procedimentos. Um dos pontos cruciais para o desenvolvimento de tal modelo de desenho está na etapa de representação. As formas de representação usualmente utilizadas em arquitetura e urbanismo – maquetes, perspectivas, plantas, mapas, diagramas – muitas vezes ignoram ou são impróprias para descrever relações entre elementos. Nesse sentido, a presente proposta, baseada em grafos, preenche uma lacuna existente na prática do urbanismo, de instrumentos dedicados a reconhecer e avaliar padrões baseados nas relações entre os elementos. No entanto, requer um certo esforço na tradução da configuração projetada e expressa pelos desenhos tradicionais para um formato de grafo.

Assim, o processo de projeto *harmony-seeking* envolve um vai-e-vem entre hipóteses de configuração e representação/processamento de grafos. O grafo, nesse caso, além de nós e arestas, contém uma geografia, isto é, localização geográfica dos componentes, ao menos de forma aproximada. A manutenção da geografia do grafo é essencial para uso em desenho urbano, uma vez que permite fazer uma ponte entre a análise de grafos e a síntese de uma nova forma.

Nos próximos capítulos são apresentados estudos exploratórios realizados com base em um caso empírico que, longe de pretender esgotar todas as possibilidades de encaminhamento possíveis a partir da ideia aqui esboçada, visam aprofundar e complementar alguns aspectos metodológicos que parecem particularmente pertinentes, como a representação sob a forma de grafos multicamadas e a visualização dos resultados. Os estudos exploratórios realizados não têm o propósito de validar o modelo proposto, todavia servem para discutir o potencial e



as dificuldades na operacionalização do processo de projeto com os procedimentos previstos aqui, bem como complementar e detalhar sua definição. Não se pretende, tampouco, esgotar todas as possíveis situações empíricas onde tais instrumentos poderiam ser aplicados, tendo em vista que estas podem ser potencialmente muito diferenciadas, dependendo do tipo de projeto. Nos estudos exploratórios realizados aqui, utilizou-se um caso de requalificação de área já urbanizada – no caso, o Centro de Lajeado/RS. No entanto, o modelo proposto se aplica também a outros tipos de projeto, como nova urbanização, por exemplo.

Para fins de organização, esses estudos exploratórios são divididos em duas partes. Na primeira parte, apresentada no Capítulo 5, o foco está em aprofundar questões de representação e visualização, enquanto na segunda parte, apresentada no Capítulo 6, demonstra-se a aplicação do modelo *harmony-seeking* como um todo, isto é, testando hipóteses de projeto, possibilitando uma discussão sobre limites e potencialidades do modelo proposto.

## 5. ESTUDOS EXPLORATÓRIOS: PARTE I

Uma das características essenciais do modelo proposto está na representação do sistema espacial urbano por meio de grafos. Tradicionalmente, os chamados modelos configuracionais urbanos são focados na descrição e análise da rede de ruas/ espaços públicos. Porém, conforme visto ao longo da tese, há ainda potencial subexplorado em relação à representação de outros elementos fundamentais ao desenho urbano, como, por exemplo, espaços abertos, formas construídas e infraestrutura urbana.

Os estudos exploratórios apresentados neste capítulo, visam delinear uma possível descrição do sistema urbano sob a forma de grafos multicamadas, aprofundando, ao mesmo tempo, questões de representação e visualização. Já que não há, na literatura, uma maneira propriamente estabelecida de se fazer isso, esses estudos objetivam justamente explorar possibilidades de representação, verificando efeitos da inserção de novas camadas no grafo. Concomitantemente, busca-se também estabelecer um método para visualizar tudo isso de maneira mais intuitiva.

Tais explorações são feitas através de um caso empírico, a região central do município de Lajeado/RS. A escolha se deve à disponibilidade de dados e mapeamentos sobre o município e ao conhecimento da autora sobre a área. Além disso, a área conta com propostas de intervenção já desenvolvidas em âmbito acadêmico<sup>60</sup>, que podem ser utilizadas como hipóteses de projeto a serem testadas.

Em linhas gerais, os testes realizados consistem nos seguintes passos: a) prover descrições por meio de grafos multicamadas; b) processar medidas de diferenciação espacial; c) comparar, através de técnicas avançadas de visualização, a inserção de diferentes camadas de representação, uma a uma, com a representação simples – apenas do sistema viário, observando como cada camada deforma os resultados.

O capítulo se organiza da seguinte maneira: a seção 5.1 apresenta o caso empírico de Lajeado/RS; a seção 5.2 explica os estudos exploratórios levados a cabo e seus detalhes operacionais; a seção 5.3 apresenta e discute os resultados; e, por fim, a seção 5.4 traz as conclusões do capítulo.

---

<sup>60</sup> No âmbito da Universidade do Vale do Taquari, onde a autora atuou como docente.

## 5.1 Apresentação do estudo empírico

Um recorte da área central de Lajeado, no Rio Grande do Sul, destacado na figura 31, foi selecionado como foco para a realização dos estudos exploratórios. Nessa seção é feita uma breve caracterização da área urbana como um todo e, em seguida, do recorte de estudo.

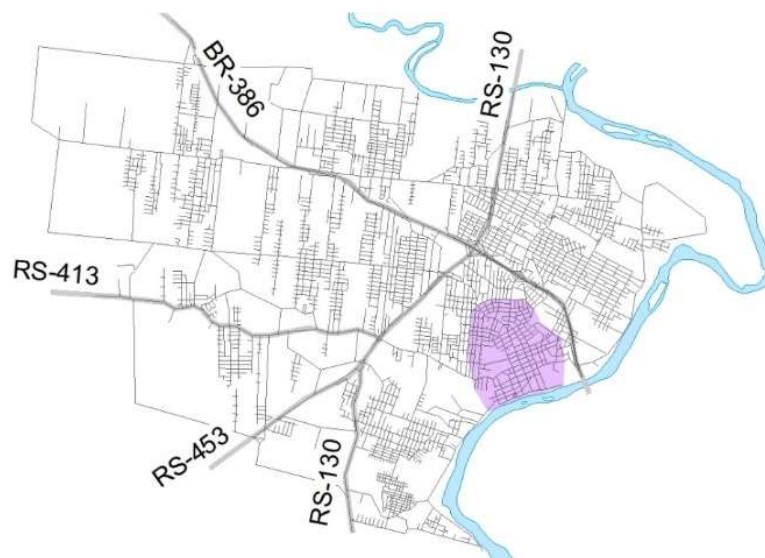


Figura 31 - Localização da área de estudo, dentro da área urbana do município de Lajeado/ RS

Lajeado localiza-se na região do Vale do Taquari, no Rio Grande do Sul. Mantém intensas relações com os demais municípios da região, mas encontra-se fisicamente separada por rios e arroios, de modo que as rodovias cumpram o papel de importantes conexões intermunicipais. Apesar desse caráter de conexão com outros núcleos urbanos, as rodovias também provocam rupturas no tecido intraurbano, funcionando como barreiras.

O Censo Demográfico 2010 contabilizou 71.180 habitantes na área urbana de Lajeado<sup>61</sup>. A figura 32a mostra a distribuição da densidade residencial expressa em número de domicílios por hectare, para cada setor censitário. É possível notar o predomínio de baixíssimas densidades – até 20 dom./ha – em praticamente toda a área urbana, com exceção da área mais central, que possui um núcleo com densidades maiores, entre 20 e 50 dom./ha e alguns setores com densidades até maiores. A figura 32b, mostra a distribuição de atividades não residenciais<sup>62</sup>: a) comércio; b) equipamentos de educação, saúde e cultura/lazer; c) praças e parques; d) grandes atratores – universidade, shopping, rodoviária, hospital e grandes indústrias. Nesses mapeamentos, percebe-se que o uso do solo, tanto residencial quanto não

<sup>61</sup> A área urbana corresponde à 99% de toda a população do município. Para esse estudo a área rural foi desconsiderada.

<sup>62</sup> Mapeamento feito por estudantes da Univates, nas disciplinas de Projeto Urbano III, entre 2014-2017, e no Trabalho de Conclusão de Curso (KREIN, 2017).

residencial é mais intenso à leste da RS-130, especialmente nos bairros mais centrais, mas também à norte da BR-386.

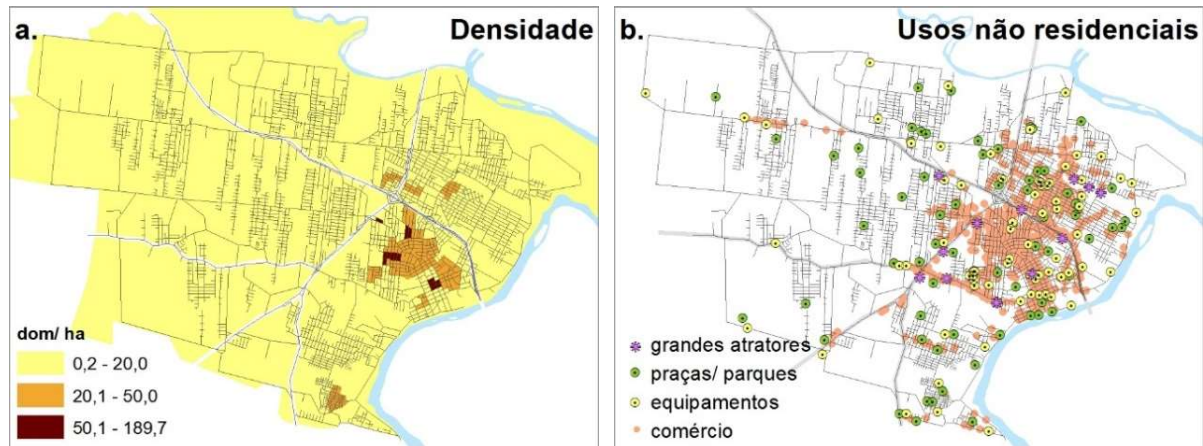


Figura 32 - Distribuição do uso do solo: a) uso residencial; b) usos não residenciais.

Embora a escala da cidade como um todo não seja foco desse trabalho, algumas medidas configuracionais – acessibilidade, centralidade e polaridade – foram rodadas para fins de contextualização da área de estudo. Para essa escala foi utilizada a representação por trechos de rua, complementada pelos viadutos e passarelas<sup>63</sup>. Nas medidas que levam em conta o uso do solo, as formas construídas foram descritas no modelo por meio de atributos nos trechos de via correspondente, gerando um grafo ponderado. As medidas de acessibilidade e centralidade Freeman-Krafta foram rodadas no grafo simples, representando a rede ruas; a medida de centralidade FK foi rodada no grafo ponderado pelo uso do solo; e a medida de polaridade foi rodada no grafo ponderado e direcionado. A figura 33 destaca o topo do *ranking* de cada resultado. Como o objetivo aqui é fazer apenas uma rápida caracterização do município, foram destacados apenas os 5% de valores mais altos obtidos para cada medida.

Na figura 33a, nota-se que o núcleo mais acessível se concentra próximo ao cruzamento das duas principais rodovias. Corresponde aproximadamente ao centro geográfico da cidade, mas não ao CBD. Percebe-se, na figura 33b, que os trechos com mais alta centralidade correspondem às rodovias (destacadas em amarelo) e às vias de caráter mais contínuo. Nas medidas que levam em conta uso do solo, como se vê nas figuras 33c e d<sup>64</sup>, o topo do ranking se desloca para o Centro da cidade, que efetivamente concentra densidades, comércio, serviços e todos os tipos de atividades. É possível notar que as rodovias que cortam a cidade

<sup>63</sup> Grafo com total de 4.700 entidades representando segmentos de rua e 10 entidades representando viadutos ou passarelas.

<sup>64</sup> Nas medidas de centralidade e polaridade foram utilizados os mesmos pesos especificados no Quadro 6, da seção 5.2.1.5.

têm papel importante na estruturação urbana, pois tendem a fazer parte do topo do ranking em todas as medidas.

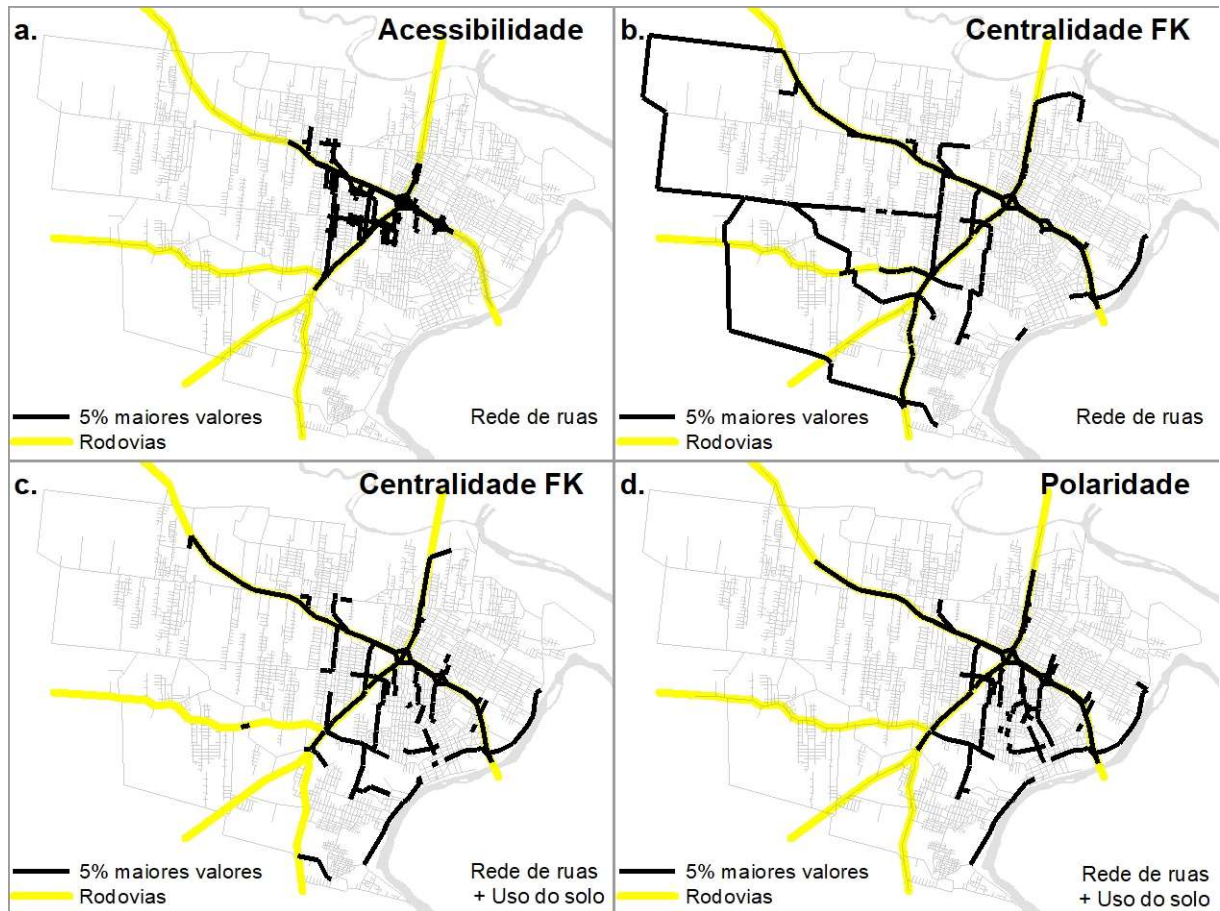


Figura 33 - Medida de acessibilidade e centralidade com representação apenas da rede de ruas (a e b); medida de centralidade e polaridade com representação da rede de ruas e uso do solo (c e d).

Em resumo, estas análises mostram que, do ponto de vista estritamente espacial, a área de estudo, encontra-se deslocada da estrutura viária principal, isto é, do topo do ranking das medidas de acessibilidade e centralidade. Mas não sob o ponto de vista funcional, isto é, ao levar em conta atributos de uso do solo, percebe-se que o topo do ranking tende a fazer parte, ao menos parcialmente, da área de estudo, que corresponde aproximadamente ao Centro de Lajeado.

Feita esta breve contextualização na escala municipal, passa-se à descrição em maiores detalhes da área de estudo propriamente dita. O recorte escolhido para o estudo empírico corresponde aproximadamente ao bairro Centro de Lajeado e seus arredores, constituindo uma amostra de 408 trechos de rua. Optou-se por extrapolar um pouco os limites da definição administrativa do bairro, incluindo um *buffer* de aproximadamente dois ou três quarteirões em todo seu entorno, conforme mostra a figura 34, para que elementos importantes, como praças e equipamentos fossem abrangidos. Essa delimitação corresponde à área que efetivamente concentra o uso do solo residencial a as atividades não-residenciais.



Deste modo, o recorte corresponde a uma área com quantidade significativa de elementos de interesse para serem representados, mas pequena o suficiente para operacionalizar diversos testes com a representação mais detalhada. Para efeitos desse trabalho toda essa área será chamada de *Centro* da cidade, mesmo que não corresponda exatamente ao limite administrativo deste bairro.

Além das vias, parques e praças, outros elementos foram utilizados no experimento: linhas de ônibus, ciclovias, uso do solo e um mapa mental. Trata-se de dados empíricos, que foram complementados por dados hipotéticos a fim de ampliar o leque de situações testadas. Cada um desses elementos foi computado como uma nova camada no grafo, conforme se explica na seção 5.2.1.

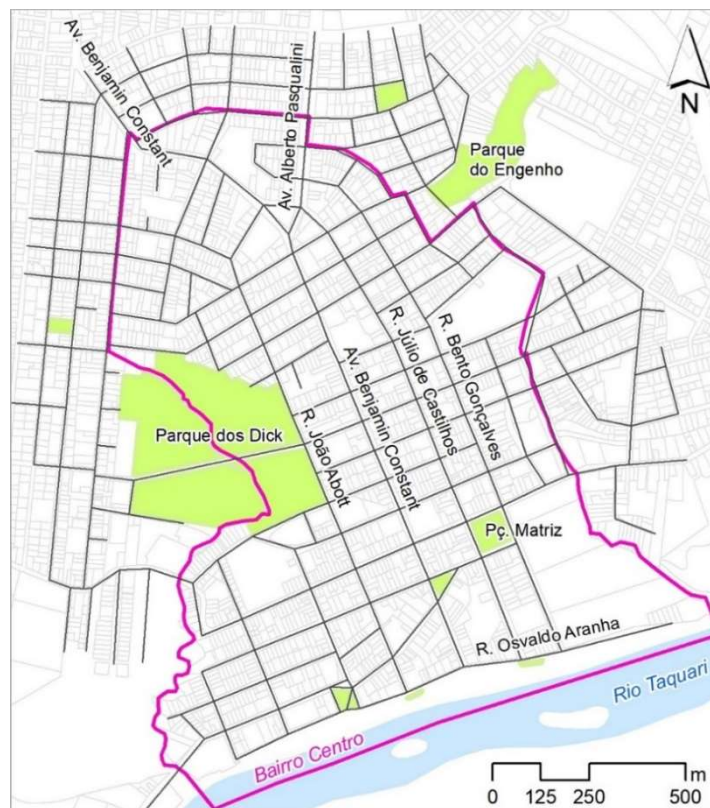


Figura 34 - Área de estudo x limite do bairro Centro

## 5.2 Aspectos metodológicos

Cada camada de representação adicionada ao grafo produz efeitos no grafo, impactando os resultados. A principal pergunta que se faz aqui é como visualizar tais deformações nos resultados. Adicionalmente, que tipo de impactos são constatados? As diferentes medidas são impactadas da mesma forma?

Visando responder essas questões, o estudo compreende uma comparação da inserção de diferentes camadas ao grafo simples, que representa apenas a rede de ruas. Considera-se

aqui que as demais camadas são ancoradas sempre à rede de ruas, que funciona como uma espécie de malha de suporte – indispensável – aos demais elementos. Então, a partir desta, são verificados os efeitos da inserção de diferentes camadas no grafo: i) parques e praças; ii) linhas de ônibus; iii) ciclovias; iv) formas construídas/ uso do solo; v) estrutura cognitiva. Por efeito entende-se alterações nos resultados das diferentes medidas de diferenciação espacial, de modo que os elementos ganham ou percam relevância no ranking.

Resumidamente, o conjunto de estudos exploratórios apresentados neste capítulo envolveu os seguintes passos:

- Passo 1: montagem dos grafos conforme critérios ou estratégias de representação estabelecidos para cada camada. Para realizar esses estudos exploratórios foi preciso, em primeiro lugar, definir uma maneira de descrever cada um dos elementos sob a forma de uma camada no grafo. Para isso foram selecionados alguns dos esquemas sugeridos na seção 4.2 e adaptados ao caso empírico.
- Passo 2: processamento das medidas de diferenciação espacial em software específico. Cada uma das camadas representadas impacta os resultados de acessibilidade e centralidade de um modo particular, por isso a inserção de cada camada é testada uma de cada vez. O processamento das medidas foi realizado no QGIS com a ajuda do plugin GAUS.
- Passo 3: visualização e comparação dos resultados obtidos em cada grafo multicamadas com o grafo simples, da rede de ruas. Conforme já explicitado, as medidas de acessibilidade e centralidade constituem medidas baseadas em grafos, cujos resultados se expressam sob a forma de um *ranking* de valores para cada nó do grafo. Tendo em vista essa particularidade, foi preciso definir uma forma de visualização dos resultados, a fim de possibilitar comparações. Dois tipos de imagens, ambos no formato *raster*, foram gerados para tais finalidades: a) mapa com valores absolutos padronizados entre 0 e 1; b) mapa de diferença percentual. A obtenção de ambos os mapas envolveu uma série de passos de geoprocessamento.

As próximas seções, 5.2.1, 5.2.2 e 5.2.3, detalham aspectos operacionais de cada uma dessas etapas, contendo uma série de procedimentos metodológicos que são interessantes principalmente aos pesquisadores que trabalham com modelagem, embora esses detalhes sejam secundários aos objetivos centrais dessa tese. A seção 5.2.4 resume os experimentos realizados.

## 5.2.1 Sobre a representação com grafos multicamadas

A seguir é explicado como foram montadas as camadas do grafo, utilizando algumas das estratégias de representação descritas em 4.2 aplicadas ao caso de Lajeado.

### 5.2.1.1 Rede de ruas

O sistema viário, nesse trabalho, é desagregado por trechos de rua. Adota-se aqui uma representação onde cada trecho é representado diretamente por um vértice no grafo. Assim, o modelo geográfico de trechos de rua é traduzido para a forma de um grafo. A figura 35a mostra o grafo construído a partir da rede de ruas do Centro de Lajeado, com total de 408 vértices.

### 5.2.1.2 Praças e parques

Praças e parques complementam o sistema de espaços públicos, sendo cada um representado por um vértice no grafo, conectado aos nós que correspondem às ruas adjacentes, conforme sugerido em Faria (2010) e Zechlinski (2013). Considerando este critério, foram inseridos 11 vértices, representando as praças e parques existentes na área analisada. No caso do Parque dos Dicks, que é cortado por uma via, este foi representado com dois nós, como se fossem dois parques, como se vê na figura 35b.

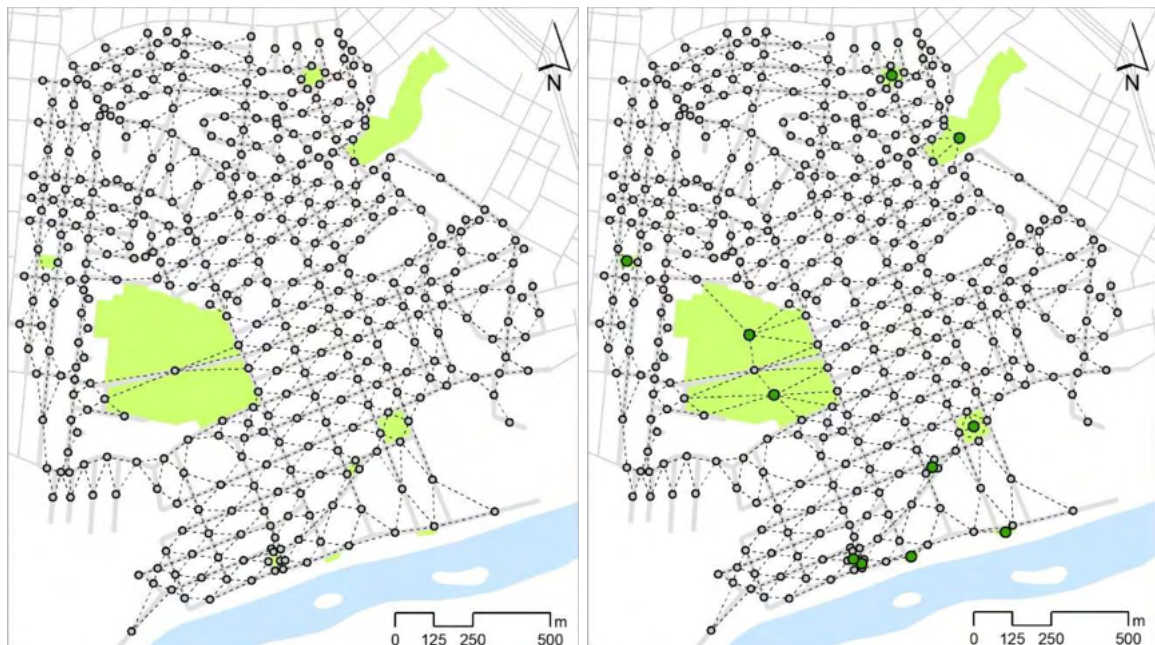


Figura 35 – Grafo: a) da rede de ruas e b) da rede de ruas e praças/parques



### 5.2.1.3 Linhas de transporte coletivo

O Centro de Lajeado é bem servido por linhas de ônibus. Porém, como há muita sobreposição, apenas três linhas<sup>65</sup> foram consideradas para o estudo, identificadas aqui como linhas 1, 2 e 3, como se vê na figura 36. Considerando que todas passam aproximadamente pela mesma região do grafo acrescentou-se também uma linha hipotética – linha 4 – passando pela borda do grafo, para testar uma situação distinta.

Nenhuma das três hipóteses de representação sugeridas no Capítulo 4 estaria, em princípio, certa ou errada, apenas partem de diferentes pressupostos, isto é, existem diferenças conceituais associadas a cada uma delas. Na falta de maiores estudos sobre esse tipo de representação e o impacto de cada uma delas nos resultados, adota-se aqui a hipótese B, que reconhece a linha ônibus como uma entidade abstrata a ser representada. Cada linha do transporte público coletivo é representada como um nó no grafo, capaz de conectar quase que diretamente um ponto de parada a outro. Por meio dessa conexão remota, dentre as três hipóteses, é a que melhor representa a ideia de efeito “atalho” que o transporte gera no sistema. A figura 37 mostra os três grafos testados neste estudo: a) a representação apenas da Linha 1, que atravessa o centro geográfico do grafo; b) a representação apenas da Linha 4, que passa pela borda do grafo; c) uma camada representando as Linhas 1, 2 e 3, para verificar o efeito acumulado das três linhas existentes.



Figura 36 – Trajetos das linhas de ônibus existentes (1, 2 e 3) e da linha hipotética (4)

<sup>65</sup> Mapeamento feito por estudantes da Univates, na disciplina de Projeto Urbano III, entre 2014-2017.

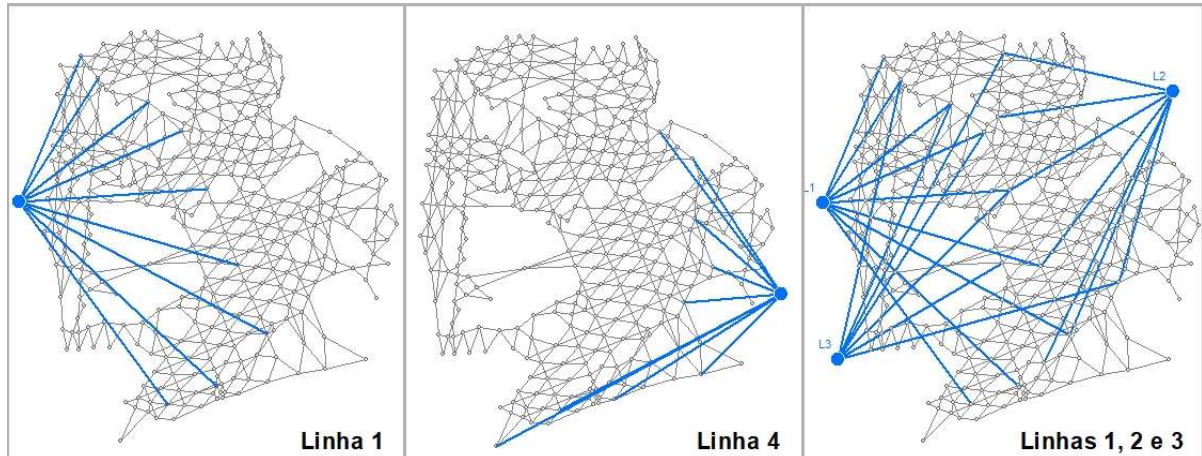


Figura 37 - Grafos com a representação das linhas de transporte coletivo

#### 5.2.1.4 Ciclovias

A estratégia de representação utilizada é a de representar cada trecho da ciclovia como um vértice no grafo, conectado ao seu respectivo trecho de rua. Na área de estudo há uma ciclovia existente, a Ciclovia 1, que passa pela orla do Rio Taquari e vai até o Parque do Engenho. Em termos de localização, essa ciclovia passa pela borda do grafo, abrangendo vértices pouco acessíveis e pouco centrais. Por isso, a fim de testar os efeitos desse tipo de representação em diferentes situações, utilizou-se também uma ciclovia hipotética, a Ciclovia 2, passando por pontos mais centrais.

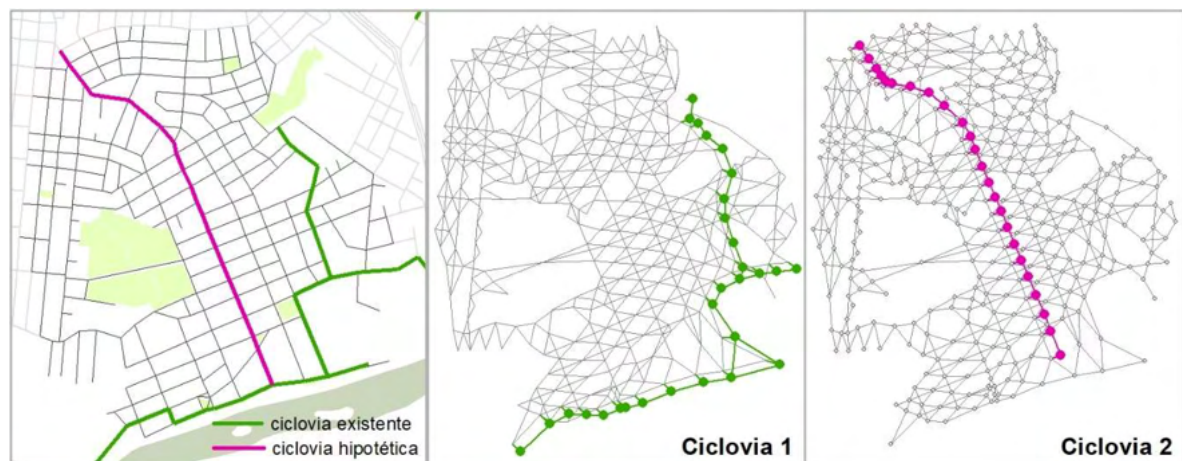


Figura 38 – Ciclovias existente (1) e hipotética (2); e sua respectiva representação em grafos

#### 5.2.1.5 Formas construídas/ uso do solo

Para os objetivos deste trabalho os atributos numéricos são utilizados como uma representação abstrata das atividades que as edificações abrigam, isto é, uso do solo. Para efeitos de modelagem procurou-se não só quantificar as atividades, mas também classificá-las conforme sua natureza: demanda ou oferta. Tal diferenciação se faz interessante para

medidas que levem em conta pares de atividades complementares – como, por exemplo, residência e comércio – como é o caso da medida de polaridade.

A figura 39a mostra a distribuição da densidade residencial<sup>66</sup> no Centro de Lajeado, onde se percebe que a área próxima ao rio é a que possui menor densidade. Na figura 39b, que mostra a distribuição do comércio e demais usos não residenciais<sup>67</sup>, percebe-se que as atividades se concentram nas ruas Júlio de Castilhos, Bento Gonçalves, Alberto Pasqualini e na avenida Benjamin Constant.

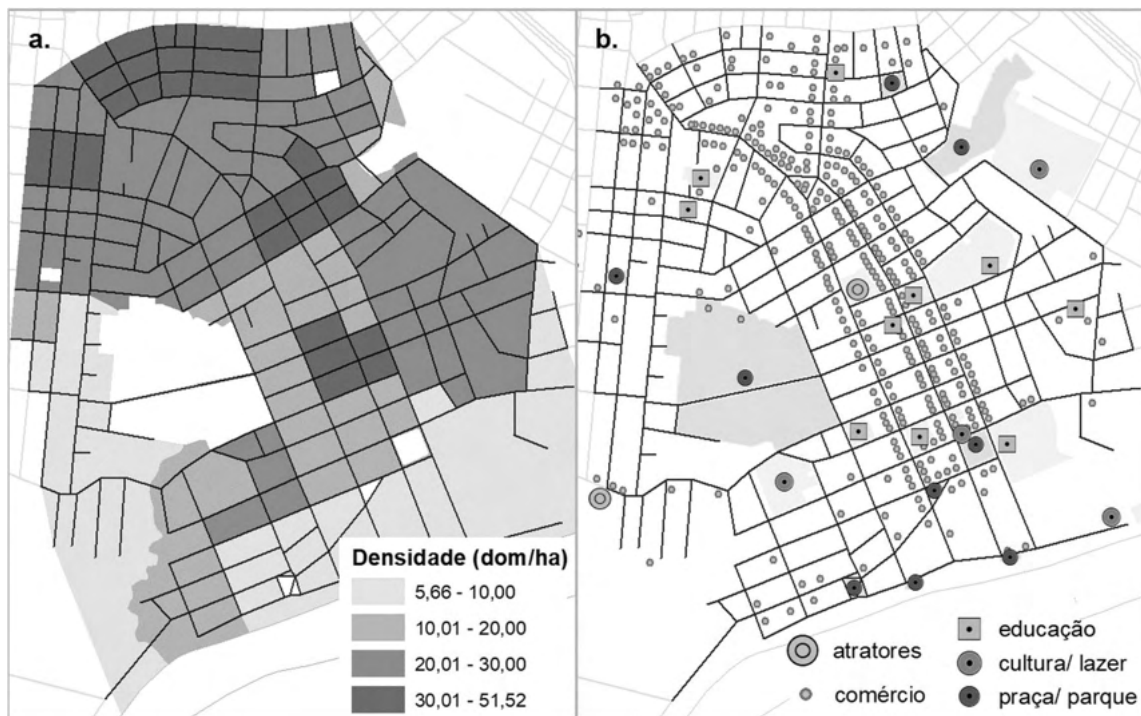


Figura 39 – Distribuição: a) da densidade habitacional; e b) do comércio e equipamentos

Para *input* para a medida de polaridade, o uso residencial é considerado como *demanda* (ver figura 40a), quantificado a partir do número de domicílios, enquanto os usos não residenciais entram como *oferta* (ver figura 40b), sendo quantificados a partir de mapeamento do comércio, equipamentos de educação e saúde, equipamentos de cultura e lazer e grandes atratores, isto é, aqueles que atraem grande quantidade de fluxo diariamente (universidade, hospital, shopping, rodoviária, grandes indústrias). Como uma informação está mapeada por áreas (setores censitários) e a outra por pontos, foi utilizada tanto a estratégia de desagregação, no caso do uso residencial, como de agregação, no caso dos usos não-residenciais. Para a medida de centralidade Freeman-Krafta importa o somatório de atributos, não importando se são demanda ou oferta (figura 40c).

<sup>66</sup> Densidade de domicílios por hectare, calculada a partir da variável V001 da planilha Básico do Censo Demográfico 2010 do IBGE.

<sup>67</sup> Mapeamento feito por estudantes da Univates, na disciplina de Projeto Urbano III, entre 2014-2017.

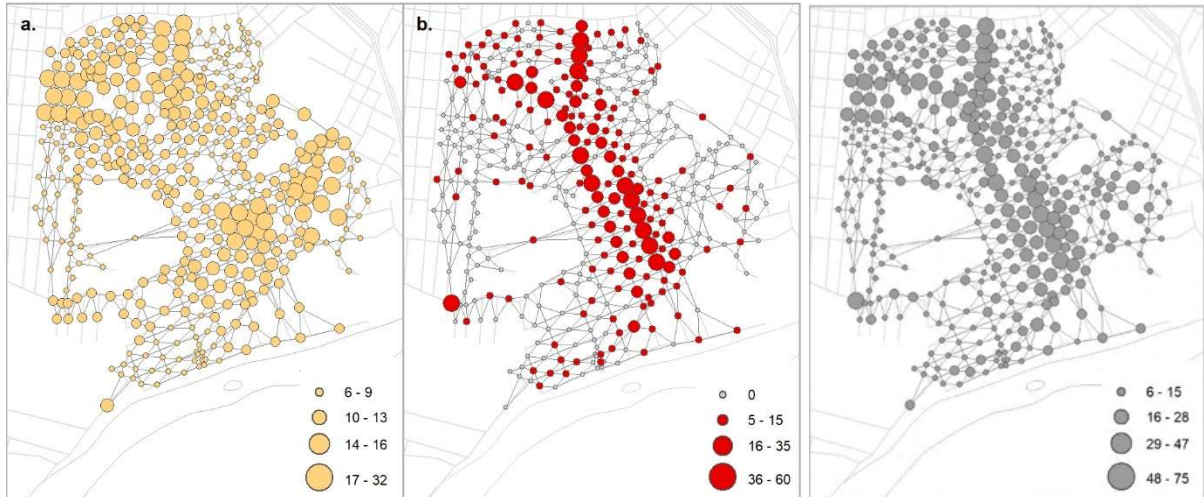


Figura 40 - Grafo com atributos da forma construída do tipo: a) demanda; b) oferta; c) somatório dos atributos de demanda e oferta

Para transformar esses mapeamentos em atributos dos vértices, as atividades residenciais, isto é, de demanda, são descritas a partir do número de domicílios obtido através da distribuição homogênea do número total de cada setor censitário, enquanto as atividades de oferta são descritas a partir da quantidade de outras atividades. Na medida de polaridade os atributos são considerados como atividades complementares. Em termos de atratividade ou intensidade de animação urbana, um estabelecimento comercial não possui o mesmo peso que um domicílio, que por sua vez não possui o mesmo peso que uma escola. Por isso, foram estipulados pesos diferenciados para cada tipo de atividade. Esses pesos foram definidos de forma arbitrária, com base em outros estudos semelhantes que usam as medidas de centralidade Freeman-Krafta e a polaridade. Zechlinski (2013), por exemplo, sugere utilizar peso 5 nas atividades de comércio e serviços para obter uma razoável diferenciação entre os usos. Maffini (2019) utiliza pesos diferentes para cada tipo de atividade, variando entre 1 e 25, sendo essa a estratégia adotada aqui. O quadro 6 mostra as variáveis, os atributos e os respectivos pesos que foram utilizados para caracterizar cada tipo de uso do solo.

USO	VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	TIPO	PESOS
<b>Residencial</b>	Domicílios	Nº de domicílios	demanda	1
	Comércio	Nº unidades comerciais	oferta	5
<b>Não-residencial</b>	Equipamentos culturais	Equip.de cultura e lazer	oferta	5
	Equipamentos de educação e saúde	Equip.de educação e saúde	oferta	10
	Grandes atratores	Hospital e indústria de grande porte	oferta	25

Quadro 6 – Variáveis utilizadas para descrever o uso do solo e seus respectivos pesos.



A medida de acessibilidade, por não levar em conta atributos nos vértices não será analisada nesse caso. Como a inserção de atributos nos vértices não influencia a medida de acessibilidade, analisa-se o impacto apenas nas medidas de centralidade e polaridade. Na medida de centralidade F-K não existe diferenciação entre demanda e oferta, então nesse caso os atributos de demanda e oferta são somados.

### 5.2.1.6 Estrutura cognitiva

Para o caso de Lajeado, a figura 41 mostra um esquema que resume aproximadamente a imagem pública<sup>68</sup> que se tem do Centro da cidade e sua respectiva estrutura cognitiva representada sob a forma de um grafo<sup>69</sup>, onde cada vértice representa uma unidade de informação (UI). As arestas seguem critérios subjetivos e representam algum tipo de relação entre os elementos – não necessariamente de adjacência, sendo que as justificativas para as definir encontram-se descritas a seguir.

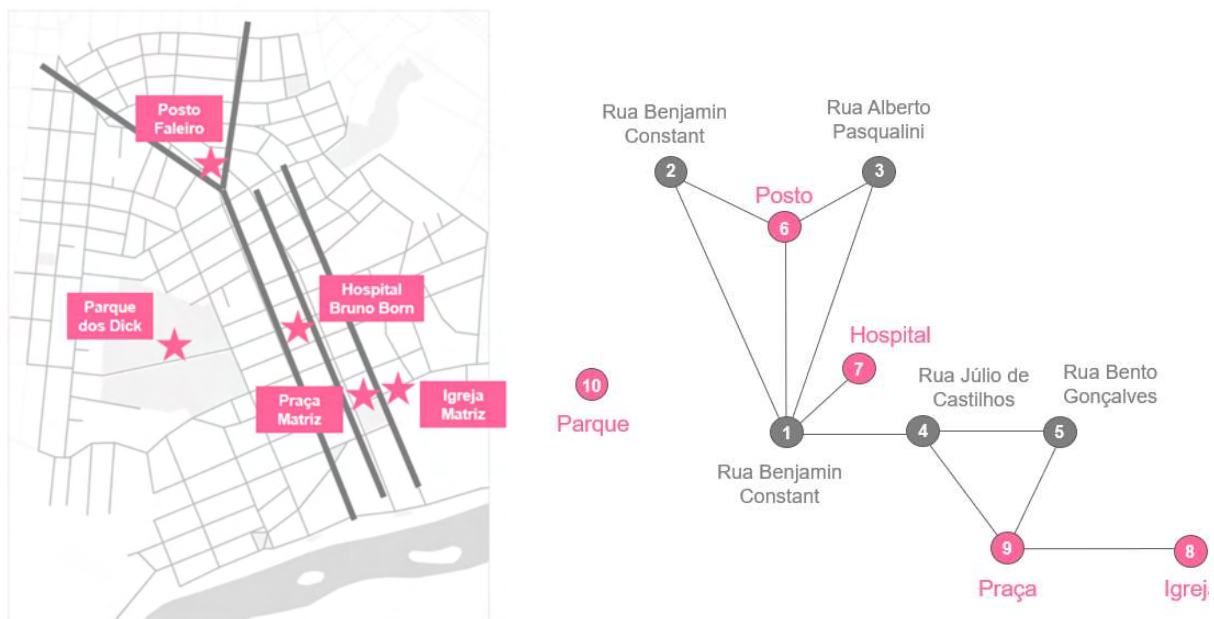


Figura 41 – Mapa com as unidades de informação e sua representação na forma de um grafo.

As três vias paralelas (Benjamin Constant, Júlio de Castilhos e Bento Gonçalves tendem a ser percebidas como interdependentes e, tendo em vista que possuem, de fato, inúmeras conexões entre si, pode-se dizer que possuem relações diretas, por isso aparecem

<sup>68</sup> Esse esquema foi definido pela pesquisadora, com base em mapas mentais elaborados por alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Taquari, entre 2012-2017, sintetizando os elementos mais comumente citados. O foco do presente trabalho está na representação do mapa mental ou imagem pública sob a forma de um grafo e não na elaboração dos mapas em si, portanto, não houve preocupação com o rigor metodológico para a definição da imagem pública.

<sup>69</sup> Da mesma forma, a construção do grafo foi definida com base na interpretação da autora sobre os mapas mentais. Outros critérios para construção do grafo, especialmente a definição das conexões entre elementos, poderiam ser utilizados.

conectadas no grafo. A Benjamin Constant se bifurca em duas vias, a Alberto Pasqualini e outra parte da própria Benjamin, de modo que o grafo da figura 42 destaca isso. O posto de gasolina Faleiro é uma forte referência para os moradores da cidade, justamente porque marca esse nó de bifurcação, estando na confluência dessas três vias, por isso são representadas conexões deste posto com as três vias. Já o Hospital Bruno Born é um marco de referência, possui relação direta com a Benjamin Constant, que é onde fica seu acesso principal. A Praça Matriz, por sua vez, aparece conectada às ruas Júlio de Castilhos e Bento Gonçalves, por ter relações de adjacência com estas. A Igreja Matriz é adjacente à Bento Gonçalves, mas a sua relação com a praça é bem mais marcante, por isso foi destacada no grafo. O Parque dos Dick é um elemento desconexo na estrutura cognitiva, pois nenhum dos mapas mentais elaborados pelos alunos indicou claramente de que forma ele se conecta com o restante do Centro. Embora o parque seja frequentemente lembrado, aparentemente não há um caminho marcante que leve até ele. A existência de elementos que não se conectam claramente aos outros acontece devido à própria natureza da cognição ambiental, conforme discute Faria (2010). Assim, optou-se por representá-lo, propositalmente, de forma desconexa dos demais elementos.

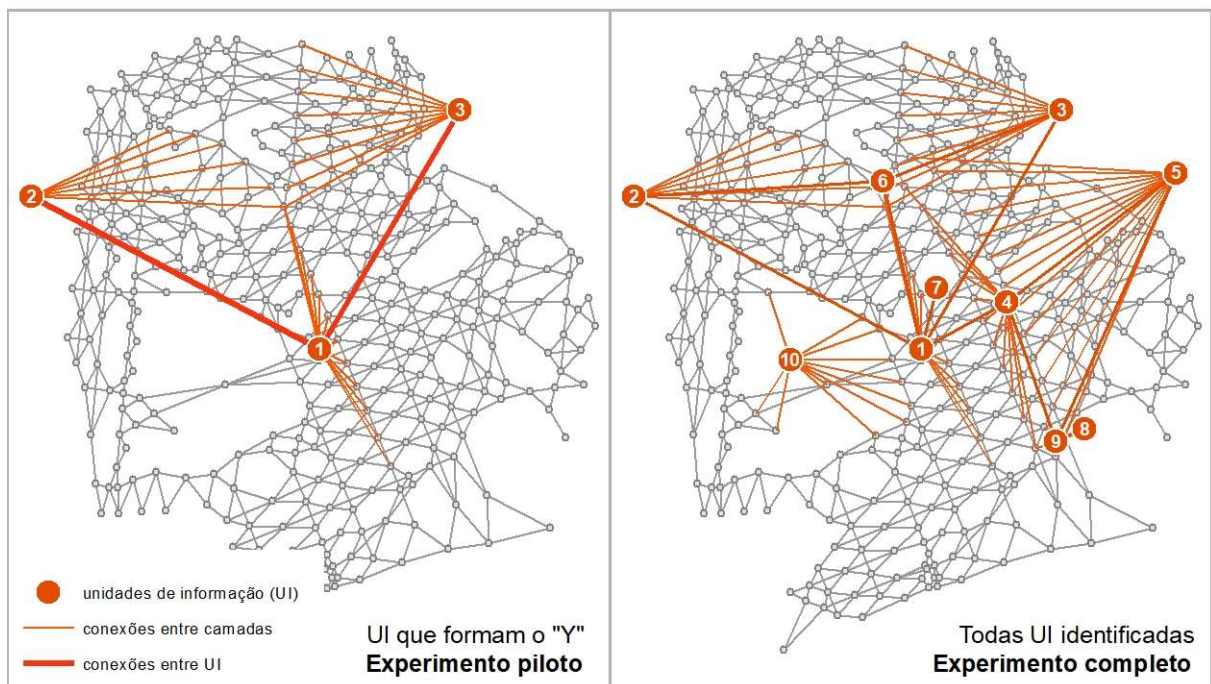


Figura 42 - Grafos com a representação da camada cognitiva

Como se pode ver na figura 42, as unidades de informação foram representadas por vértices, que compõem a camada da estrutura cognitiva. As arestas representam conexões cognitivas entre as unidades de informação; e conexões destas com os elementos do tecido urbano que as compõem ou que possuem adjacência física. Inicialmente foi feito um experimento piloto, onde se testou apenas um pequeno conjunto de três unidades de informação correspondentes

à rua Benjamin Constant e sua bifurcação. Estas compõem a estrutura viária mais marcante do Centro de Lajeado, formando um desenho em forma de “Y” no mapa. Em seguida se realizou um experimento completo, com todas as unidades de informação que compõem a estrutura cognitiva.

### 5.2.2 Sobre o processamento das medidas de diferenciação espacial

Três medidas, já mencionadas no Capítulo 4, foram utilizadas no presente estudo: acessibilidade, centralidade Freeman-Krafft e polaridade<sup>70</sup>. Acessibilidade e centralidade FK foram utilizadas em todas as representações testadas, com exceção dos grafos com atributos nos vértices, como é o caso dos grafos que contém informação de uso do solo. Nestes, a acessibilidade não foi utilizada, apenas a centralidade FK, que leva em conta os atributos, e a polaridade, que é uma variação da medida de centralidade, que leva em conta pares ordenados de vértices.

Todas as medidas analisam pares de entidades conectadas por um caminho mínimo, sendo que neste trabalho as distâncias foram mensuradas em número de passos topológicos. Significa que todas as arestas representam uma conexão com distância igual a ‘um’ (1), independentemente do seu comprimento métrico. Alternativamente poderiam ser utilizadas distâncias medidas em unidades métricas ao invés de passos topológicas, mas para efeitos da exploração pretendida aqui não haveria real vantagem em se fazer isso. A ideia é explorar como os elementos se conectam entre si e constituem a estrutura espacial urbana, admitindo-se, como já foi visto, a possibilidade de incluir a representação de conexões remotas e conexões entre entidades que não são espaciais, ou seja, relações em que as distâncias métricas não fazem sentido. Além disso, o tipo de grafo adotado, não-planar, não favorece o uso de distâncias métricas.

As medidas foram processadas no GAUS, plugin do QGIS desenvolvido no âmbito do grupo de pesquisa em Sistemas Configuracionais Urbanos da UFRGS (DALCIN; KRAFTA, 2021). Como input para o processar as medidas foram utilizados os grafos acima mencionados, montados em ambiente SIG, sendo um *shapefile* para os vértices e outro para as conexões. Como output o plugin gera os resultados das medidas para cada vértices, apresentados em novas colunas na tabela de atributos. Esses resultados são expressos em valores absolutos, de modo que foi necessário relativizá-los pelo tamanho do sistema de acordo com as indicações contidas no trabalho de Faria (2010).

---

<sup>70</sup> Ver Anexo B.

### 5.2.3 Sobre a visualização dos resultados

Conforme visto anteriormente, os resultados das medidas de diferenciação espacial são computados para os vértices do grafo, de modo que o tipo de visualização mais óbvio seria aquele por unidades discretas, em que é possível diferenciar as entidades por cores/ tamanhos/ espessuras. Outra possibilidade de visualização dos resultados consiste em transformá-los em superfície contínua, em formato *raster*, que consiste em um conjunto de pixels obtidos através da interpolação dos valores. Uma das vantagens deste método em relação à visualização por unidades discretas, está na possibilidade de comparar padrões espaciais obtidos a partir de grafos de diferentes tamanhos. Foi, portanto, o método adotado nessa pesquisa.

A transformação de unidades discretas para superfície contínua envolve geralmente alguma interpolação espacial, que é uma técnica que busca estimar valores de um campo contínuo em locais onde não há medições disponíveis (LONGLEY et al., 2013, p.373-378). Existem distintos métodos para isso, sendo que no presente trabalho optou-se pela interpolação obtida pela ponderação do inverso da distância (*inverse distance weighting – IDW*), que, conforme Longley et al. (2013, p.375) é o mais comumente empregado pelos analistas de SIG. Medidas desconhecidas são estimadas por meio de médias ponderadas das medidas conhecidas de pontos próximos, com maior peso para os pontos mais próximos. Com isso, passa-se de uma visão de objetos discretos – os nós de um grafo – para uma visão de campo contínuo. Em outras palavras, o resultado de uma interpolação é uma superfície contínua, que permite mostrar onde estão os valores mais altos e mais baixos. Isso pode ser visualizado tanto em 2D como em 3D. Neste trabalho foi adotada a visualização em 2D, embora a 3D também seja uma opção interessante, uma vez que os picos de valores são mostrados como se fossem uma topografia do terreno analisado.

Em resumo, dois tipos de imagem foram produzidos: a) mapa mostrando resultados absolutos, padronizados em uma escala entre 0 e 1, para cada grafo; b) mapas de diferenças percentuais, comparando grafos. Cada uma é explicada a seguir.

#### 5.2.3.1 Mapas com resultados absolutos padronizados entre 0 e 1

Tendo em vista que as distintas medidas de diferenciação espacial fornecem resultados com diferentes amplitudes, uma questão importante é a sua padronização para uma mesma escala de valores – no caso deste trabalho foi adotada uma escala entre 0 e 1.

O procedimento para obtenção das imagens *raster* envolveu uma sequência de passos de geoprocessamento, que se encontram resumidos na figura 43. O input inicial para toda a sequência foi um *shapefile* de pontos com os resultados absolutos já relativizados pelo



tamanho do sistema (ver anexo B). O primeiro passo foi converter esse *shapefile* para o formato *raster* com valores interpolados pelo método IDW<sup>71</sup>. O segundo passo foi padronizar esses valores entre 0 e 1 por meio de uma função linear<sup>72</sup>. Por fim, foi feito o ajuste na visualização das células conforme o esquema de cores e quebras de intervalo descrito anteriormente. Todos esses passos foram realizados com o software ArcMap 10.2.2 e automatizados por meio da ferramenta *Model Builder*.

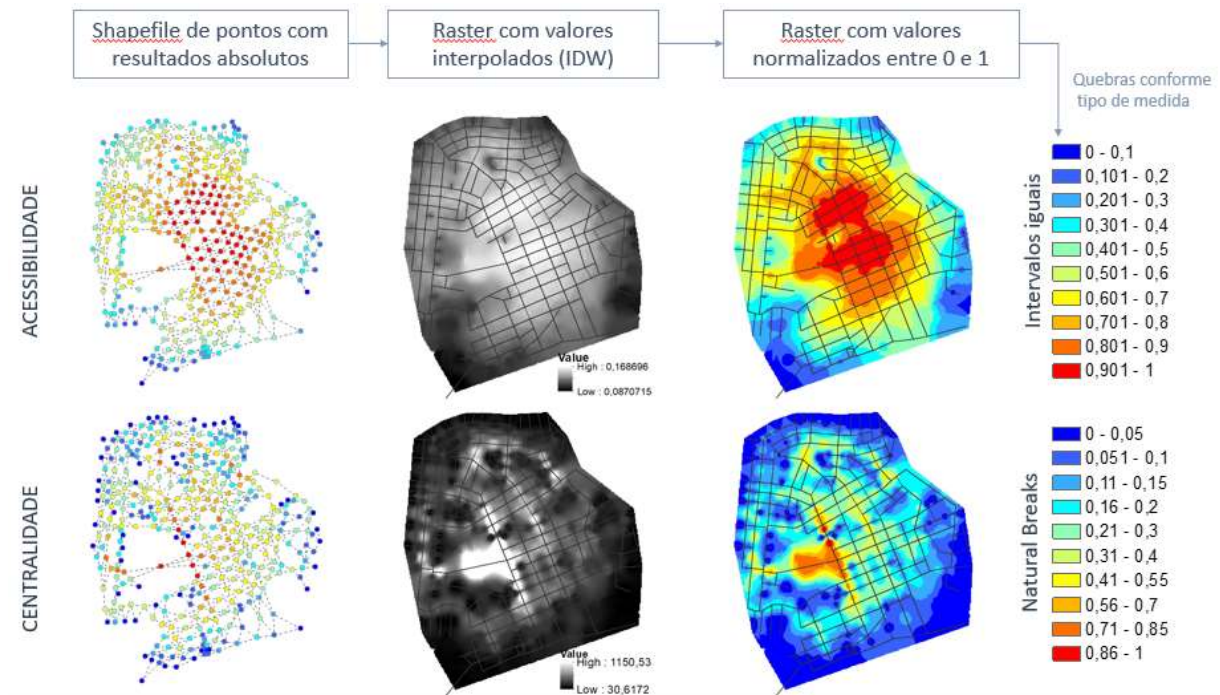


Figura 43 – Processo de geoprocessamento para obtenção de mapa com resultados absolutos padronizados entre 0 e 1.

Além da padronização em valores entre 0 e 1, para possibilitar a comparação visual desses mapas foi necessário adotar uma legenda com as mesmas classes de intervalo para todos. Como os resultados obtidos nas medidas de acessibilidade e centralidade possuem padrões de frequência de distribuição totalmente diferentes – acessibilidade tende ao padrão gaussiano, enquanto centralidade e polaridade tendem ao padrão em cauda longa – foram definidos esquemas de classificação de intervalos distintos para cada medida, conforme destaca a figura 44<sup>73</sup>. Para a medida de acessibilidade foram utilizadas 10 classes de intervalos iguais. Já para as medidas de centralidade F-K e polaridade, foram utilizadas 10 classes de intervalos definidas pelo método de quebras naturais, porém com valores

<sup>71</sup> Comando IDW do Spatial Analyst no ArcMap, sendo que os parâmetros utilizados foram: *Cell size* 6; *Power* 3; *Search radius fixed distance* 200m.

<sup>72</sup> Comando Rescale by function do Spatial Analyst no ArcMap, sendo adotada uma função linear entre os valores mínimo e máximo.

<sup>73</sup> Os histogramas da figura 44 mostram no eixo x os resultados das medidas, já padronizados entre 0 e 1, e no eixo y a frequência.

arredondados<sup>74</sup>. Estes esquemas são os que melhor capturam os respectivos padrões de distribuição de cada medida. A paleta de cores utilizada é intuitiva: cores mais frias para os valores mais baixos e cores mais quentes para os valores mais altos. Para ambas as medidas foram utilizadas as mesmas cores, porém o valor que cada cor representa é diferente para acessibilidade e centralidade/ polaridade.

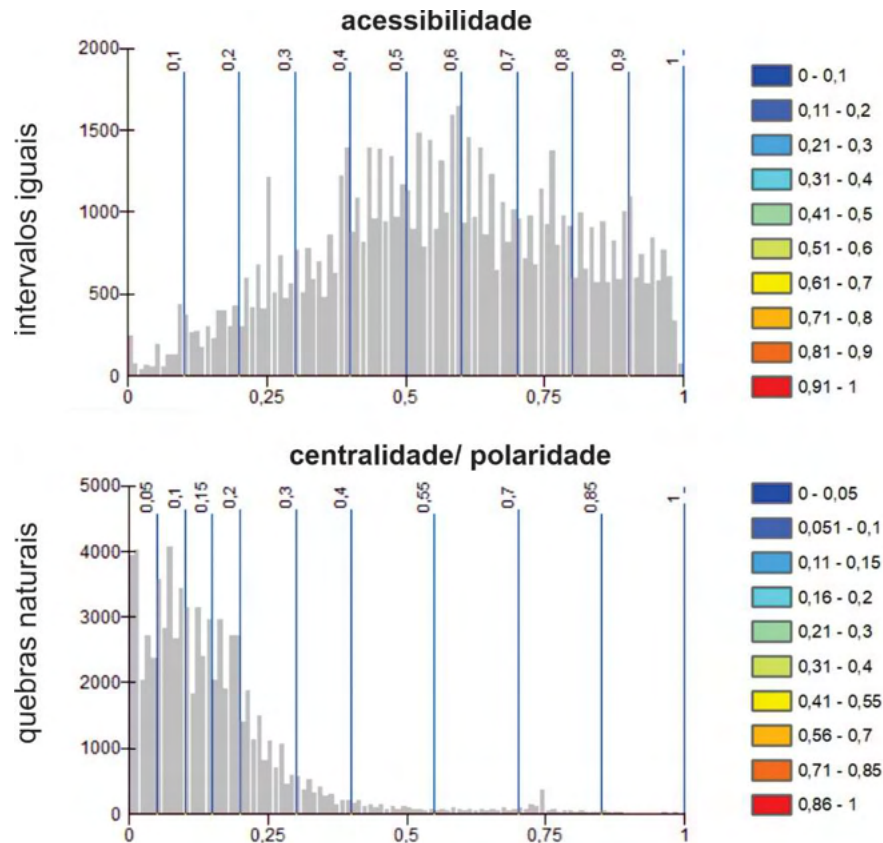


Figura 44 - Legendas para os resultados normalizados entre 0 e 1, com seus respectivos histogramas e esquemas de quebra de intervalos: intervalos iguais para acessibilidade e quebras naturais (valores já arredondados) para centralidade e polaridade.

### 5.2.3.2 Mapas de diferença percentual

Além da visualização dos resultados normalizados entre 0 e 1 e com legenda padronizada, foram produzidos mapas mostrando a diferença percentual entre um e outro, obtidos através de álgebra de mapas no formato *raster*. A escolha por esse tipo de mapa se justifica por ser um método simples para aferir com precisão o impacto de alterações no grafo. Ao introduzir alterações em um sistema, é esperado que ocorra aumento dos valores em algumas partes e diminuição em outras. Com os mapas de diferença é possível aferir *onde* ocorreram os

<sup>74</sup> No método de quebras naturais os intervalos variam conforme a distribuição de cada resultado, por isso as classes de intervalo foram uniformizadas a partir de um arredondamento dos valores obtidos para o grafo simples, apenas da rede ruas. Desse modo, os mesmos intervalos foram aplicados a todos os mapas que mostram resultados de centralidade ou polaridade, mesmo que o esquema de quebras naturais apresentasse suaves diferenças entre cada um.

maiores impactos e *o quanto* cada parte foi impactada. No exemplo da figura 45, em tons de vermelho e azul encontram-se as regiões que tiveram, respectivamente, aumento e diminuição nos valores.

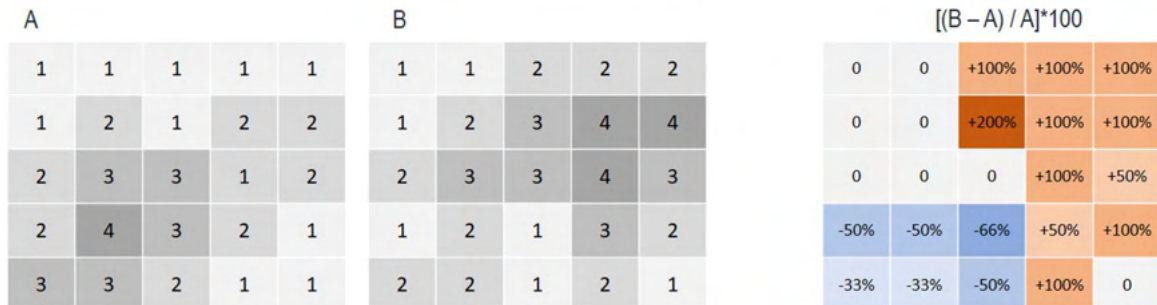


Figura 45 - Mapa de diferenças relativas de B em relação a A.

Uma vantagem desse método é que torna a comparação mais acurada do que apenas a comparação visual dos resultados absolutos. Para fazer isso foi preciso calcular a diferença relativa entre cada célula, isto é, a variação percentual de um grafo em relação ao outro. Assim, para cada célula:

$$DR = \frac{C_{t1} - C_{t0}}{C_{t1}} * 100$$

Onde, DR é a Diferença Relativa entre  $t_0$  e  $t_1$ ;  $C_{t0}$  é o resultado da medida de centralidade (poderia ser outra medida) obtido no grafo que representa  $t_0$ ;  $C_{t1}$  é o resultado da medida de centralidade obtido no grafo que representa  $t_1$ .

Esse método de cálculo vale tanto para medidas de centralidade como acessibilidade e polaridade e foi operacionalizado com ArcMap 102.2 e com a ferramenta *Model Builder* para automatizar o processo. Esses mapas tiveram como *input* inicial *shapefiles* com os resultados já relativizados por fração (%) do total<sup>75</sup> – isso porque a normalização entre 0 e 1 achata os valores, impedindo de mapear as diferenças. Esses shapefiles foram convertidos para o formato raster pelo método IDW<sup>76</sup> e, em seguida, foi feita a álgebra de mapas para obtenção dos mapas de diferenças. O esquema da figura 46 resume o processo de geoprocessamento necessário para elaboração dos mapas de diferenças. Nesse exemplo, o mapa final mostra a diferença entre os resultados obtidos no grafo contendo apenas a rede de ruas e o grafo contendo a rede ruas e as praças e parques – ambos para a medida de centralidade FK.

<sup>75</sup> Ver Medida Relativa 3, no Anexo B.

<sup>76</sup> Parâmetros utilizados: *Cell size* 6; *Power* 3; *Search radius fixed distance* 200m.

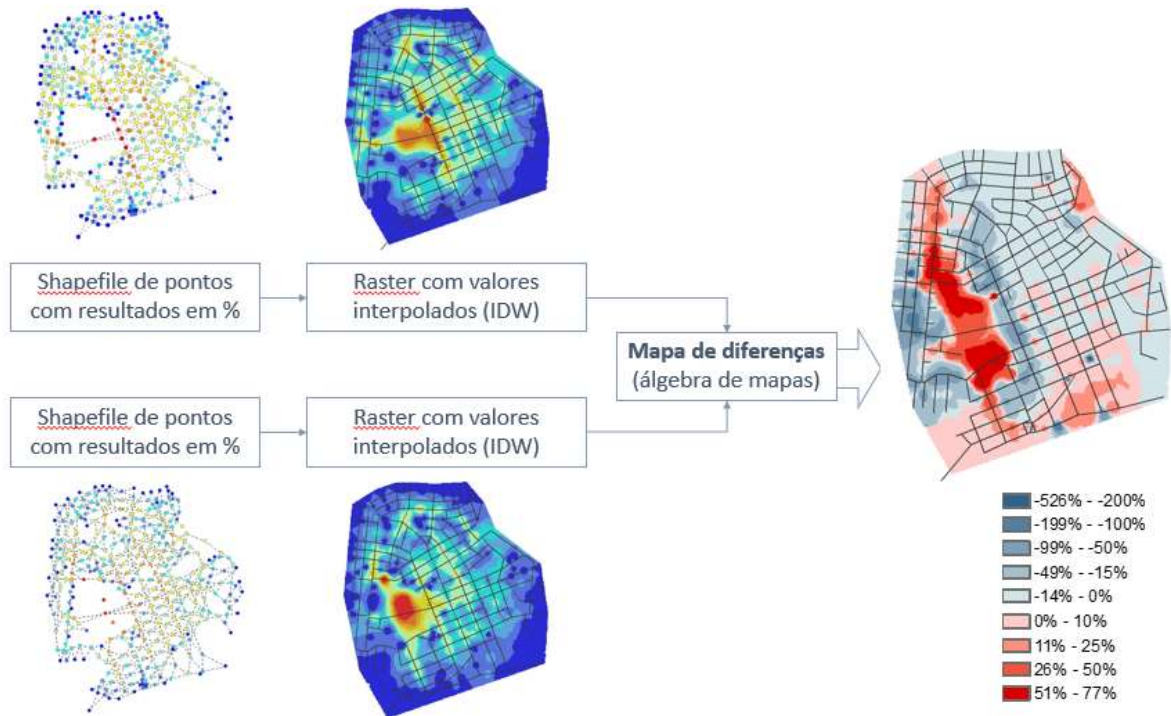


Figura 46 - Processo de geoprocessamento para obtenção de mapas de diferenças.

Novamente, para facilitar a visualização, adotou-se legenda fixa para todos os mapas de diferença, apenas com esquemas de quebras de intervalo distintos para cada tipo de medida. Uma gradação de tons de vermelho e azul foi adotada para mostrar onde houve maior ou menor diferença percentual de um mapa para outro, sendo que tons de vermelho indicam onde houve aumento de valores e tons de azul indicam onde houve diminuição. Dois esquemas de quebras de intervalos foram adotados, um para a medida de acessibilidade e outro para a medida de centralidade, levando em conta a variância de valores de todo o conjunto de mapas e de modo a mostrar os resultados da melhor maneira possível.

A figura 47 mostra os esquemas de legenda adotados para todos os mapas dos estudos exploratórios, tanto do Capítulo 5 quanto do Capítulo 6.

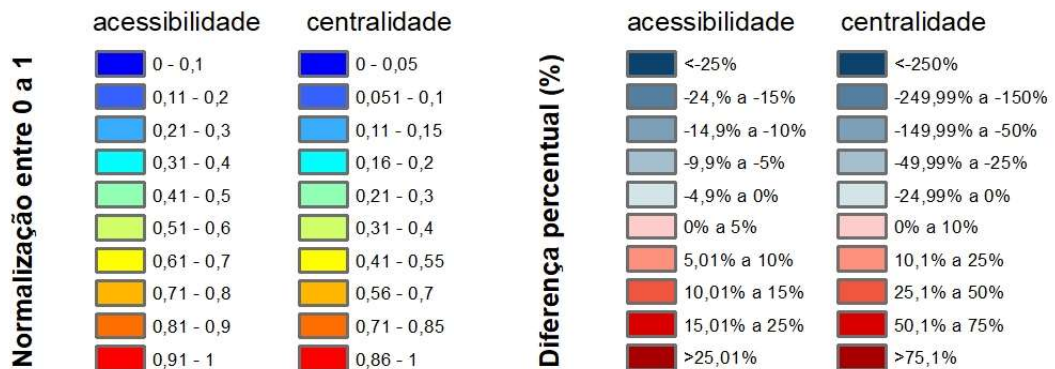


Figura 47 - Legendas dos mapas com normalização entre 0 e 1 e dos mapas de diferença percentual

## 5.2.4 Resumo dos experimentos

O quadro 7 enumera os estudos realizados neste capítulo, que consistem em diferentes combinações de camadas no grafo e aplicação das medidas de diferenciação espacial, seguidas de uma comparação mediante mapa de diferença. O grafo 1 corresponde ao grafo simples, contendo apenas a representando a rede de ruas, enquanto os demais constituem grafos multicamadas, isto é, são compostos pela camada básica, da rede de ruas, acrescida de outra camada. A fim de analisar os efeitos que cada camada provoca, as camadas foram testadas uma a uma e comparadas aos resultados obtidos no grafo inicial, apenas com a rede de ruas

Camadas		Elementos representados	Medidas	Comparações entre grafos (mapas de diferenças)
1.1	Rede de ruas	Trechos de rua	acessibilidade	
1.2			centralidade	
2.1	Rede de ruas +	Parques e praças	acessibilidade	entre 2.1 e 1.1
2.2	Praças/parques		centralidade	entre 2.2 e 1.2
3.1		Linha de ônibus 1	acessibilidade	entre 3.1 e 1.1
3.2			centralidade	entre 3.2 e 1.2
3.3	Rede de ruas +	Linha de ônibus 4	acessibilidade	entre 3.3 e 1.1
3.4	Transporte		centralidade	entre 3.4 e 1.2
3.5		Linhas de ônibus 1, 2 e 3	acessibilidade	entre 3.5 e 1.1
3.6			centralidade	entre 3.6 e 1.2
4.1	Rede de ruas +	Ciclovía 1	acessibilidade	entre 4.1 e 1.1
4.2			centralidade	entre 4.2 e 1.2
4.3	Ciclovía	Ciclovía 2	acessibilidade	entre 4.3 e 1.1
4.4			centralidade	entre 4.4 e 1.2
5.1	Rede de ruas +	Uso do solo	centralidade	entre 5.1 e 1.2
5.2	Formas construídas		polaridade	entre 5.2 e 1.2
6.1	Rede de ruas +	Apenas "Y"	acessibilidade	entre 6.1 e 1.1
6.2			centralidade	entre 6.2 e 1.2
6.3	Elementos cognitivos	Completo	acessibilidade	entre 6.3 e 1.1
6.4			centralidade	entre 6.4 e 1.2

Quadro 7 – Resumo dos experimentos realizados.

Conforme se vê no quadro 7, para cada grafo foram aplicadas as medidas de acessibilidade e centralidade F-K, com exceção do grafo contendo formas construídas, ou seja, que contém atributos referentes a uso do solo. Nestes foram aplicadas as medidas de centralidade e

polaridade – testes 5.1 e 5.2, respectivamente – que são as medidas sensíveis à inserção de atributos nos vértices.

Por fim, cabe uma observação sobre os métodos aqui adotados. Optou-se por observar os resultados apenas por meio de análise visual de mapas, tanto o mapa com resultados absolutos quanto o mapa de diferenças. O mapa com valores padronizados entre 0 e 1 permite uma comparação visual, já que estão em uma mesma escala de valores. Já o mapa de diferenças, permite analisar onde houve aumento percentual de valores (cores quentes) e onde houve diminuição (cores frias), ou seja, já é o resultado de uma comparação. Assim, na presente pesquisa optou-se por priorizar métodos focados na distribuição espacial dos resultados em detrimento de outros tipos de análise que poderiam ter sido explorados, tais como: a) medidas globais do grafo (como grau do vértice, distância média, raio do grafo, arboricidade, índice de conectividade, número de ciclos, entre outros); b) medidas-resumo (como média, desvio padrão, coeficiente de variação, entre outros); c) histogramas ou outros gráficos para análise de distribuição dos valores; d) regressão linear para verificar quantitativamente o impacto causado por cada camada, como em GIL (2015). Considerou-se que tais métodos estatísticos tomariam um tempo considerável da pesquisa sem significativa relevância para o cerne das perguntas que a tese busca responder. Tratam-se, ainda assim, de alternativas interessantes que podem ser pesquisadas futuramente, visando desenvolver o método aqui proposto.

### **5.3 Resultados e discussão**

Primeiramente cabe retomar o objetivo do presente capítulo, que está em explorar a representação dos *centros* sob a forma de grafos multicamadas, objetivando visualizar certas propriedades do sistema urbano. Assim, o que se busca aqui é mostrar como cada camada inserida ao grafo simples o deforma. O ponto inicial é o grafo simples, contendo apenas a representação do sistema viário, a partir do qual foram processadas as medidas de acessibilidade e centralidade. Em seguida, as mesmas medidas foram processadas para grafos multicamadas contendo outras camadas de informação. Finalmente, foram gerados os mapas de superfície contínua com os resultados relativizados em uma escala entre 0 e 1, e os mapas de diferença percentual.

Os mapas com resultados absolutos normalizados entre 0 e 1, bem como os mapas de diferença percentual são apresentados de forma completa no Anexo C, dispostos lado a lado, para facilitar uma comparação visual. Conforme já esperado, as medidas utilizadas apresentam resultados bem diferentes entre si, tanto no seu padrão estatístico quanto no



padrão de distribuição espacial. Por isso, a discussão de resultados será feita separadamente para cada tipo de medida e ao final uma discussão mais geral.

### 5.3.1 Acessibilidade

Acessibilidade, por ser uma medida baseada em distâncias, costuma concentrar valores mais altos na região mais central do grafo, decaindo em direção às bordas. Em vista disso, a representação apenas da rede de ruas não oferece grande potencial analítico, especialmente se a malha for do tipo grelha, como é, aproximadamente, o caso da área de estudo em questão. A inserção de outras camadas, no entanto, oferece novas perspectivas para o uso dessa medida. Algumas camadas alteram os resultados de forma suave, como é o caso das praças e parques e das ciclovias (figuras 48 e 49), enquanto outras produzem alterações mais significativas, como é o caso do transporte público e da estrutura cognitiva (figura 50 e 51).

Como se vê na figura 48, a camada de praças e parques tem uma influência sutil nos resultados, com aumentos ou diminuições de até 10%, em praticamente todo o grafo, conforme mostra o mapa de diferença percentual. A representação de praças e parques faz a mancha das regiões mais acessíveis se deslocar levemente em direção ao Parque dos Dick, como se vê na comparação visual dos nos mapas com valores entre 0 e 1. O mapa de diferença percentual mostra que esse parque e seu entorno concentram o ganho de acessibilidade gerado pela adição dessa camada, com picos de até 20% de aumento. Isso se deve, provavelmente ao tamanho do parque, cuja representação acabou gerando várias novas conexões no grafo, já que ele possui elevado número de vias adjacentes, gerando um ponto com alta conectividade. Uma praça típica, que ocupe apenas um quarteirão, se conecta com cerca de quatro vias adjacentes, o que não chega a produzir diferenças significativas nos resultados. Assim, constata-se que uma praça pequena não apresentar força suficiente para mudar o efeito produzido por um parque, como o Parque dos Dick, que deslocou os valores mais altos da acessibilidade em sua direção. Conseqüentemente, outras regiões do sistema – anteriormente mais acessíveis – reduziram o seu valor.

Para o caso das ciclovias, as diferenças são imperceptíveis ao comparar visualmente os mapas com valores absolutos. Já o mapa de diferença percentual mostra um pequeno aumento, de até 5%, na Ciclovia 1, que passa pela orla, isto é, na borda do grafo, como se vê na figura 49. No caso da Ciclovia 2<sup>77</sup>, que passa pelo centro geográfico do grafo, não há aumento de acessibilidade. Esse tipo de representação parece não refletir efetivamente o efeito que uma ciclovia deveria causar na acessibilidade. Isso tem a ver com o modo de

---

<sup>77</sup> Ver figura no Anexo C.

representação empregado, que apenas replica o sistema viário, sugerindo que outras formas de representação devem ser estudadas.

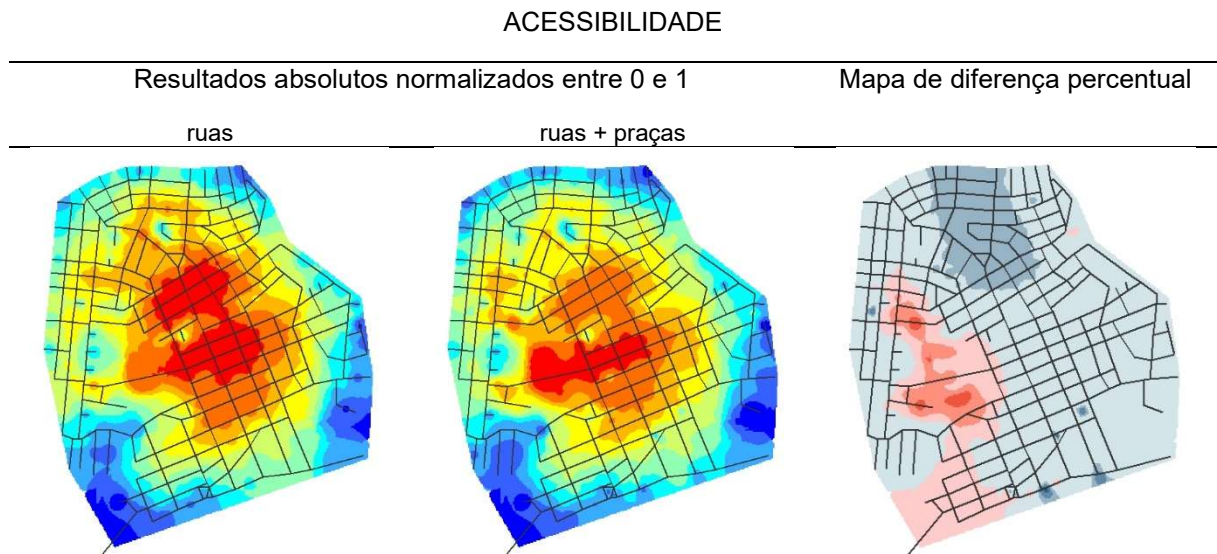


Figura 48 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada de praças e parques, para a medida de acessibilidade

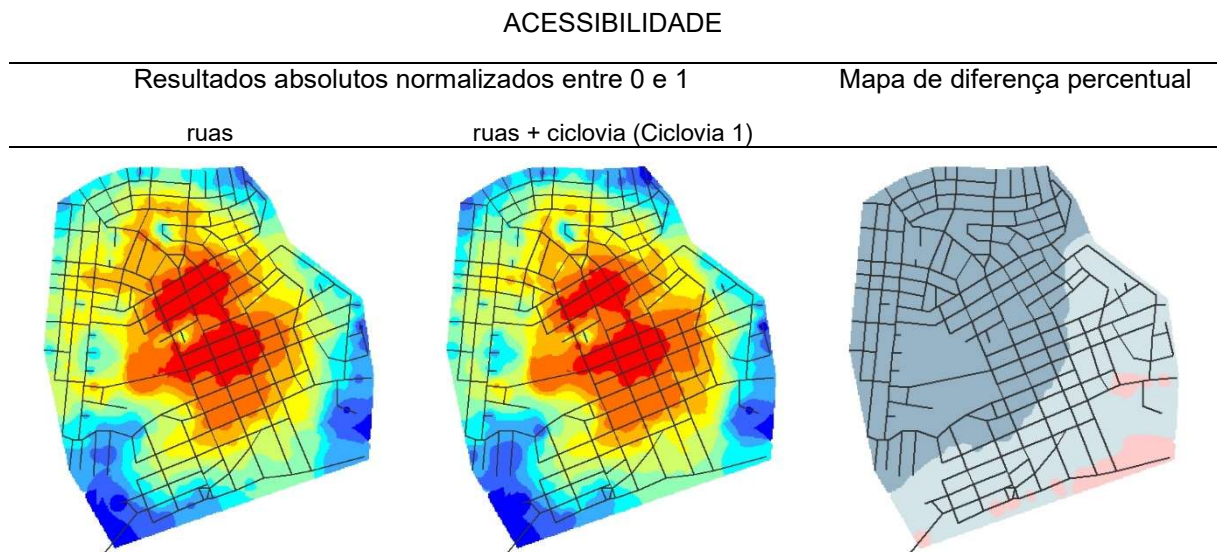


Figura 49 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada de ciclovias (Ciclovia 1), para a medida de acessibilidade

A inserção da camada de transportes, por sua vez, mostra resultados bastante intuitivos, com a acessibilidade se concentrando no entorno das paradas de ônibus, e não mais no centro geográfico do grafo. Isso ocorreu nos três testes realizados, independentemente da localização das paradas – na borda ou no centro. Os resultados com a representação apenas da Linha 1 (figura 50) e com as Linhas 1, 2 e 3 (ver figura no Anexo C) apresentaram um padrão espacial parecido porque as três linhas aproximadamente se sobrepõem, concentrando-se no centro geográfico da área de estudo, com pequenas variações. A



representação da Linha 4 (ver figura no Anexo C), mesmo estando na borda da área de estudo, aumentou a acessibilidade em até 25% na região por onde ela passa. Esses resultados mostram que esse critério de representação realmente gera o efeito de atalho desejado, descrevendo a alta acessibilidade no entorno das paradas de ônibus.

A camada cognitiva (figura 51) teve, na acessibilidade, resultados semelhantes à camada de transportes, no que se refere à magnitude dos resultados, isto é, diferenças percentuais altas, com mais de 25% de aumento ou mais de -15% de diminuição. Isso se deve, provavelmente, por utilizarem estratégia de representação semelhante. A representação utilizada produziu o efeito de encurtamento de distâncias, supostamente presente na cognição humana.

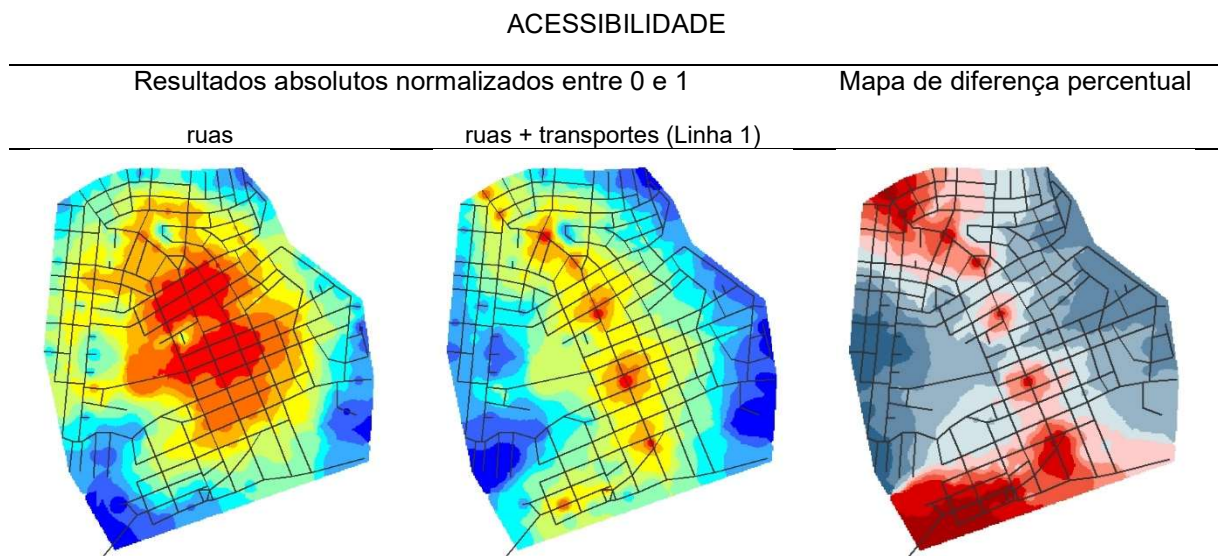


Figura 50 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada de transportes, representando a Linha 1 de ônibus, para a medida de acessibilidade

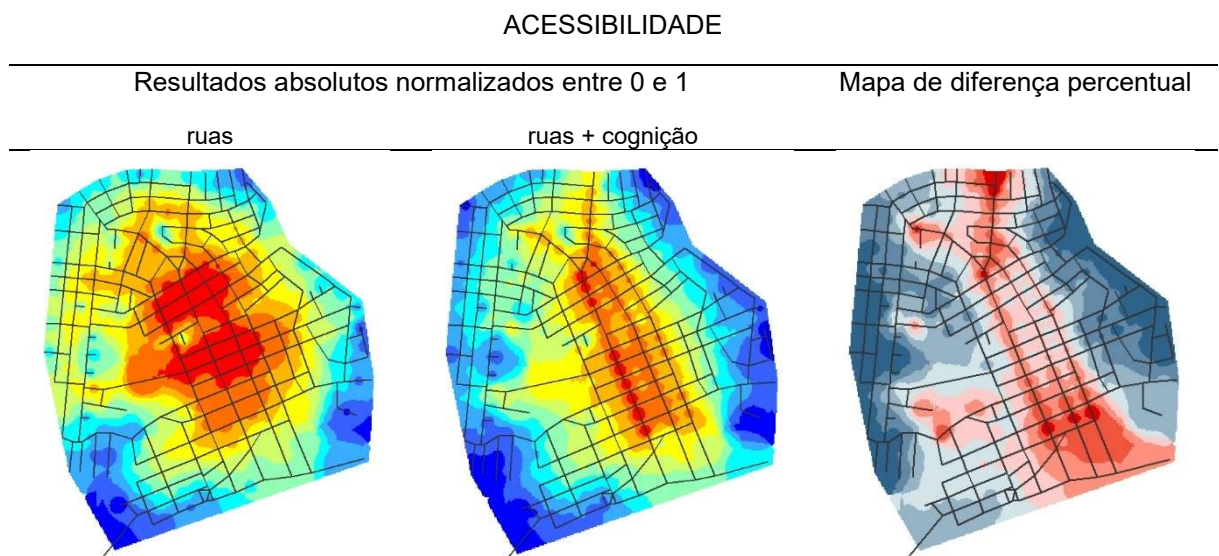


Figura 51 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada cognitiva, representando a estrutura cognitiva completa, para a medida de acessibilidade.

### 5.3.2 Centralidade e polaridade

As medidas de centralidade e polaridade, conforme já esperado, apresentam resultados com padrão estatístico exponencial, distinto da acessibilidade, e com padrões espaciais bastante distintos também. De modo geral, pode-se dizer que produz diferenças mais altas do a acessibilidade.

A camada de praças e parques deslocou os valores mais altos completamente em direção ao parque dos Dick, conforme se vê na figura 52. No mapa de valores absolutos, fica bastante clara a região que concentra os valores mais altos e o mapa de diferenças mostra aumento de centralidade acentuado justamente nessa região. Ao mesmo tempo, outras regiões, que anteriormente concentravam a centralidade, acabam apresentando diminuição. Interessante notar que o aumento acentuado de centralidade em uma região do grafo vem acompanhado de uma diminuição acentuada em seu entorno imediato. Esse é um resultado recorrente em praticamente todas as camadas e todas as medidas. As diferenças percentuais no caso da centralidade são bem mais acentuadas do que na medida de acessibilidade, considerando essa mesma camada. Ao passo que a acessibilidade produz diferenças de cerca de 15% a 20% para mais ou para menos com a inserção de praças e parques, a centralidade produz aumentos de até 77% e diminuições de até 526%.

Para a representação das ciclovias – Ciclovia 1 (figura 53), o mapa com valores absolutos apresenta alterações quase imperceptíveis, embora o mapa de diferenças, mostre com clareza as regiões onde houve aumento de centralidade. Trata-se de aumentos de até 37% e praticamente nenhuma diminuição. Ainda assim, pode ser considerada uma diferença suave em relação ao grafo simples, se comparado a outras camadas. Para o caso da Ciclovia 2 (ver figura no Anexo C), o efeito é parecido, porém o aumento na centralidade é mais suave, provavelmente porque essa ciclovia (hipotética) já passa por uma via com centralidade relativamente alta.

No caso da representação do transporte – Linha 1 (figura 54), a distribuição estatística dos resultados fica mais próxima de uma lei de potência, com alguns poucos vértices com valores muito mais altos. Assim, os resultados da centralidade são um pouco menos intuitivos que os da acessibilidade. Como se pode ver nos mapas com resultados absolutos<sup>78</sup>, os valores mais altos não necessariamente se concentram no entorno das paradas de ônibus. Já os mapas de diferenças percentuais da medida de centralidade são espacialmente semelhantes aos mapas de diferença da acessibilidade, com o aumento de centralidade, em geral, se concentrando próximo às paradas de ônibus.

---

<sup>78</sup> Ver resultados completos no Anexo C.

Ao incluir no grafo a representação da camada cognitiva (figura 55), os resultados para a medida de centralidade se tornam pouco intuitivos. Os picos de maior centralidade, no mapa de resultados absolutos, não coincidem exatamente com a localização das unidades de informação (UI). O mapa de diferenças mostra com mais clareza onde houve aumento e diminuição das hierarquias – e de forma um pouco mais condizente com a localização das UI.

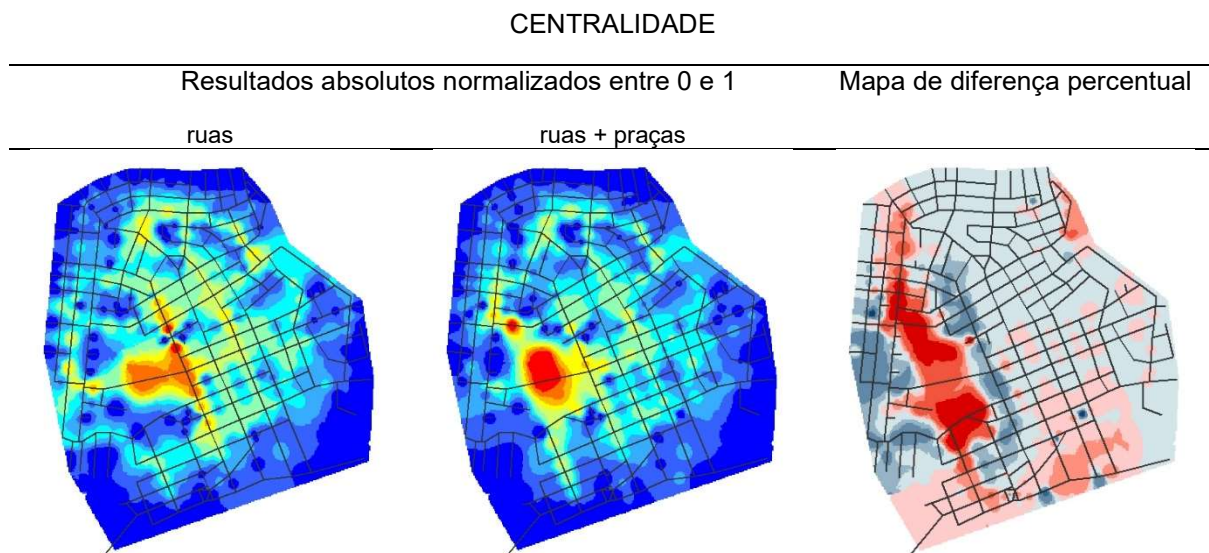


Figura 52 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada de praças e parques, para a medida de centralidade

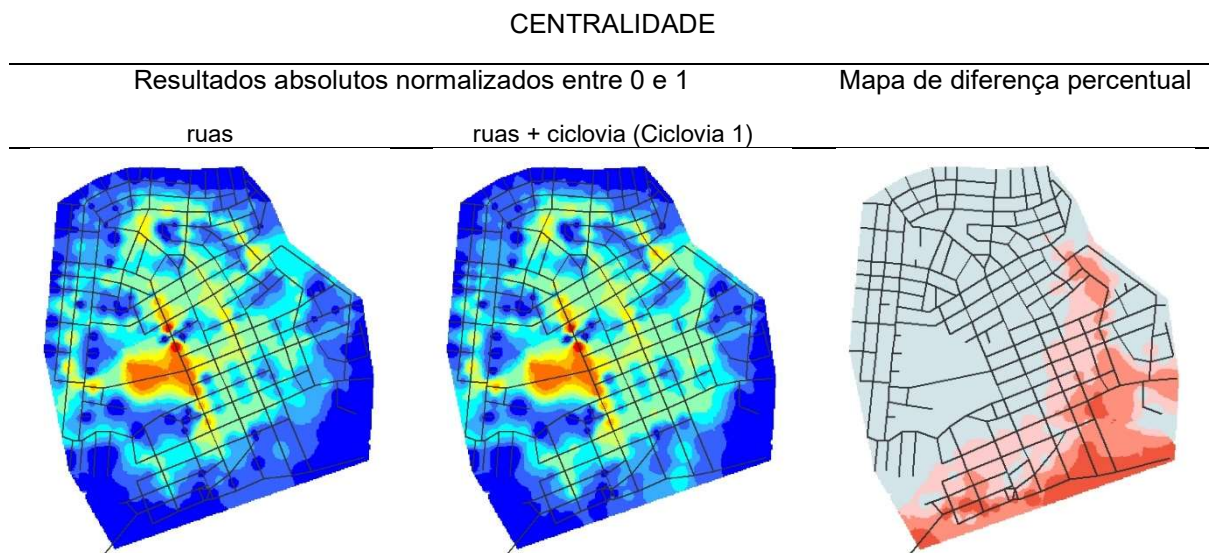


Figura 53 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada e grafo com a camada de ciclovias (Ciclovia 1), para a medida de centralidade



## CENTRALIDADE

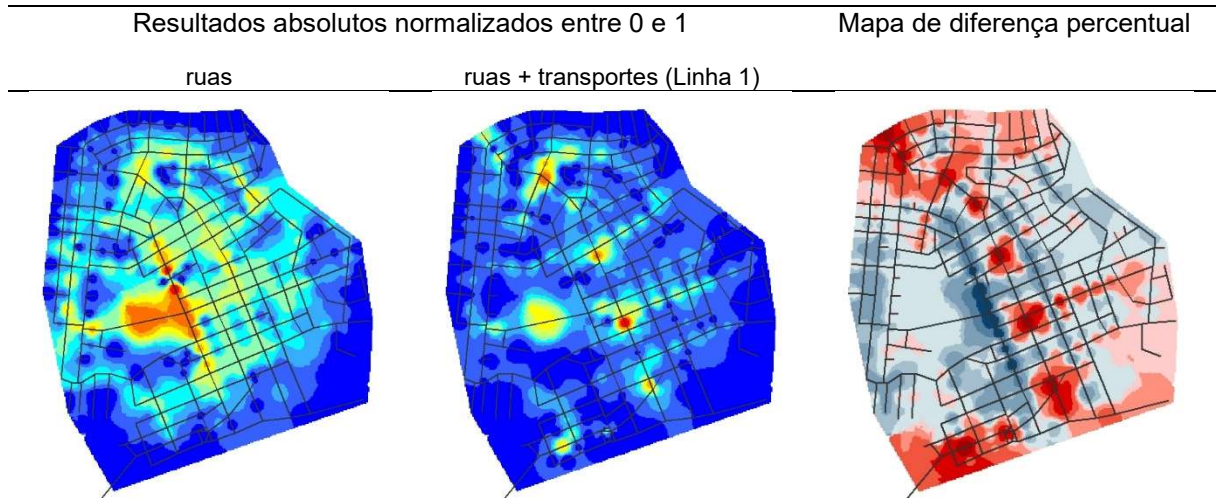


Figura 54 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada de transportes, representando a Linha 1 de ônibus, para a medida de centralidade

## CENTRALIDADE

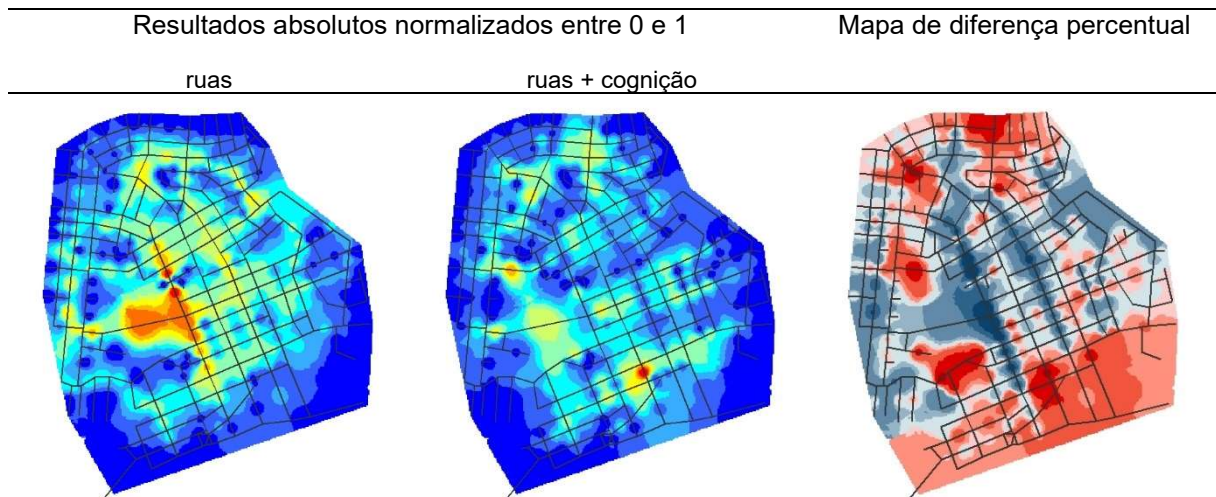


Figura 55 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com a camada de transportes, representando a estrutura cognitiva completa, para a medida de centralidade

Por fim, para a representação do uso do solo (figuras 56 e 57) não houve inclusão de uma nova camada, mas sim inserção de atributos e pesos nos vértices no grafo simples. Nesse caso, foram utilizadas as medidas de centralidade e polaridade – ambas levando em conta os atributos dos vértices. Os resultados de ambas as medidas são semelhantes. Nos mapas de resultados absolutos percebe-se uma concentração dos valores mais altos nas vias com maior concentração de uso comercial: Júlio de Castilhos, Benjamin Constant e João Abbott. Os mapas de diferenças confirmam essa concentração, ao mostrar um aumento importante justamente nessas vias. A medida de polaridade mostra uma concentração um pouco mais acentuada na Júlio de Castilhos, que, de fato, é a rua mais tradicional do comércio de Lajeado – sendo essa a única diferença em relação à medida de centralidade.

## CENTRALIDADE

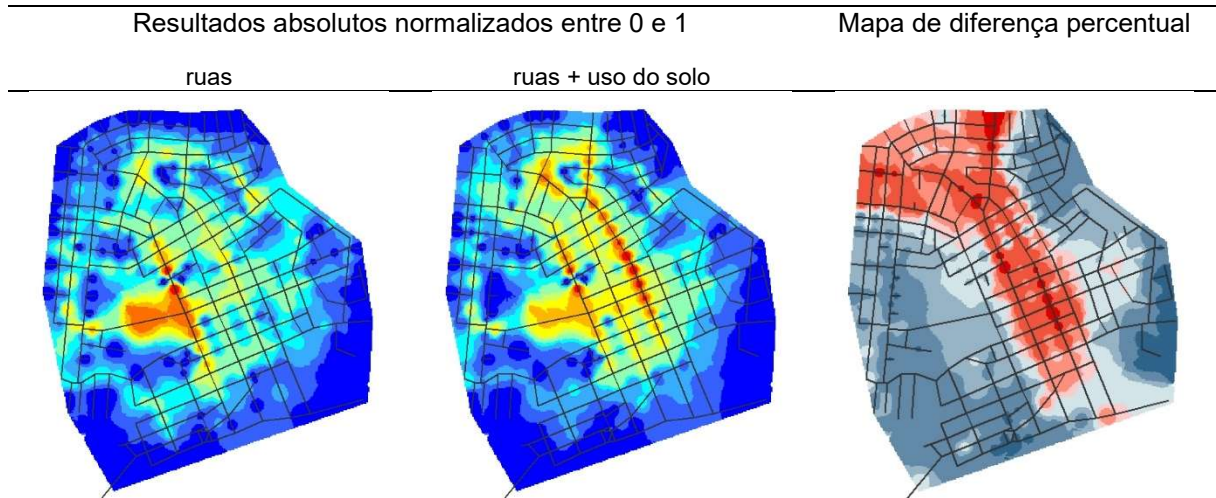


Figura 56 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com atributos de uso do solo, para a medida de centralidade.

## POLARIDADE

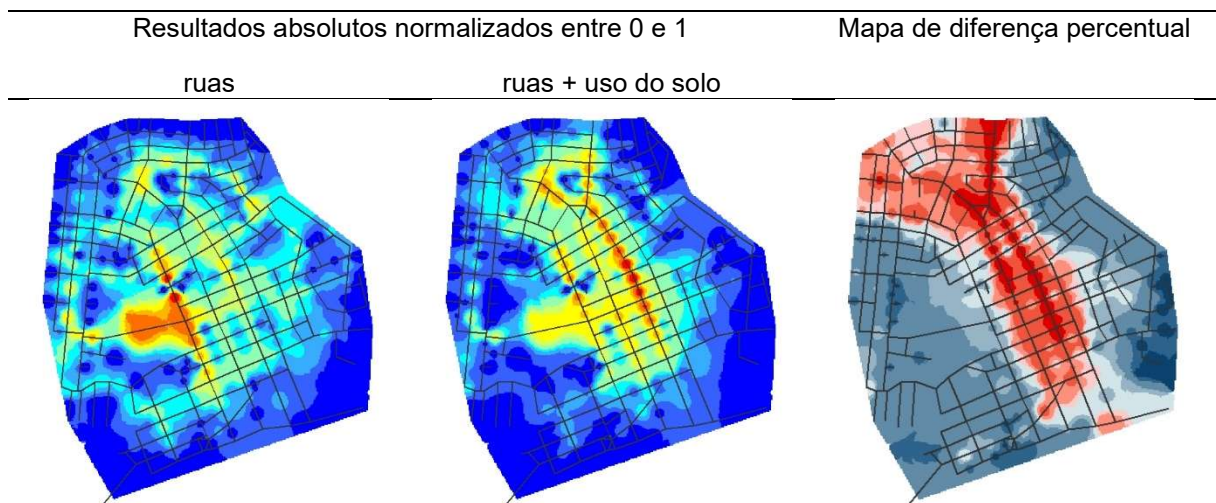


Figura 57 - Diferença entre grafo simples, apenas com a rede de ruas, e grafo com atributos de uso do solo, para a medida de polaridade.

### 5.3.3 Discussão

Em resumo, os estudos exploratórios levados a cabo neste capítulo permitiram constatar que:

- i. É possível descrever por meio de grafos outros elementos do sistema espacial urbano, além do sistema viário. Grafos multicamadas ajudam a pensar em vértices e ligações de distintas naturezas.
- ii. As medidas de centralidade e polaridade são mais sensíveis à inserção de novas camadas de representação do que acessibilidade. Isso pode ser constatado nos mapas de diferenças, pela grandeza dos aumentos/diminuições mapeados no

caso da centralidade em relação à acessibilidade – o que inclusive levou à elaboração de legendas com intervalos diferentes para cada medida. Enquanto a acessibilidade variou de -25% a +35%, a centralidade variou de -530% a +90%, aproximadamente.

- iii. As estratégias de representação que, de alguma forma, geram um efeito “atalho” no grafo são as que produzem impacto mais significativo nos resultados, como é o caso do critério utilizado aqui para representação do transporte público e da representação cognitiva. Esse também é o caso da inserção de pesos e atributos nos nós do grafo, que gera um efeito de “carregamento”, deformando a centralidade em direção aos espaços com maior intensidade de uso, por exemplo.
- iv. Algumas estratégias de representação produzem resultados com pouca diferença em relação ao grafo simples, como é o caso da representação adotada para ciclovias. Isso se deve ao fato de que a estratégia aqui testada apenas duplica uma via, sem gerar um efeito “atalho”. Novas formas de representar o sistema ciclovitário deveriam ser pensadas, tendo em vista que os resultados apresentados neste trabalho não refletem o efeito esperado.
- v. No caso das praças e parques, que envolveu uma estratégia de simplesmente inserir um novo nó para cada elemento representado, o impacto nos resultados depende muito da localização e do número de conexões que o nó inserido gera.
- vi. A representação da estrutura cognitiva é particularmente desafiadora, tendo em vista o alto grau de incerteza quanto a esse tema e o reduzido número de trabalhos que tratam de sua representação sob a forma de grafos.

Por fim, convém lembrar que as medidas utilizadas sempre sofrem o chamado “efeito de borda”, especialmente a medida de acessibilidade (GIL, 2015). Assim, mesmo não sendo o foco da pesquisa, mas para não deixar esse tópico de fora, no caso das ciclovias, testou-se uma ciclovie hipotética passando pelo centro geográfico do grafo, já que a existente fica bem na periferia. Já para o caso das linhas de ônibus, fez-se o contrário, isto é, testou-se uma linha hipotética passando pela periferia do grafo. Conforme se vê nos resultados apresentados no Anexo C, tanto a linha de ônibus ou ciclovie passando pelo centro geográfico do grafo, quanto a linha ou ciclovie passando mais pela periferia produziram diferenças nos resultados, de magnitude semelhante apenas variando a localização. Mas é um tópico que merece ser mais explorado futuramente, talvez com técnicas de análise mais robustas do que as utilizadas aqui.

## 5.4 Conclusões do capítulo

Este capítulo explorou a representação dos elementos que compõem o sistema espacial urbano sob a forma de grafos multicamadas, utilizando vértices e conexões de diferentes naturezas. Os estudos exploratórios auxiliaram não apenas na discussão mais aprofundada das estratégias de representação, provendo exemplos a partir de dados empíricos, mas também na testagem de métodos para uma visualização mais intuitiva dos resultados.

Com o conjunto de experimentos realizados foi possível ter uma noção dos efeitos que cada camada provoca ao ser adicionada no grafo, tendo em vista que cada uma afeta os resultados de modo particular. Com isso, o método proposto mostrou-se capaz de aferir atributos da forma urbana, possibilitando, ao incluir diferentes elementos do sistema espacial urbano, uma leitura mais rica do que o grafo simples, com potencial para suportar o processo de projeto em escala urbana. A segunda parte dos estudos exploratórios, apresentada no capítulo a seguir, explora o modelo proposto em uma situação de projeto.

## 6. ESTUDOS EXPLORATÓRIOS: PARTE II

Este capítulo dá continuidade aos estudos exploratórios, buscando ilustrar possibilidades de uso do modelo de desenho urbano proposto. O Capítulo 5 teve como enfoque puramente a representação e visualização de diferentes propriedades na área de estudo, mostrando como a inserção de distintas camadas alteram os resultados em relação ao grafo simples da rede de ruas. No presente capítulo é simulada uma situação de projeto, em que propostas de alteração na área de estudo são comparadas ao seu estado inicial. Chamaremos aqui o sistema espacial urbano inicial de  $t_0$  e o sistema alterado de  $t_1$ . O procedimento é parecido com o do capítulo anterior, consistindo em: a) representar as intervenções espaciais propostas por meio de grafos; b) processar medidas de diferenciação espacial; c) comparar, através de mapas de diferença, com o estado inicial; d) avaliar as alterações propostas com base em critérios objetivos.

O capítulo se organiza da seguinte maneira: a seção 6.1 apresenta as hipóteses de projeto para o caso do Centro de Lajeado/RS; a seção 6.2 explica detalhes metodológicos; a seção 6.3 apresenta e discute resultados; e, por fim, a seção 6.4 exhibe as conclusões do capítulo.

### 6.1 Apresentação das hipóteses de projeto

Para fins de demonstração do modelo, foram utilizadas três propostas de intervenção para o Centro de Lajeado, apresentadas aqui como se fossem três eixos de intervenção de um plano único para a área. São elas: 1) Revitalização da Orla; 2) Parque linear Arroio do Engenho; 3) Eixo comercial rua Santos Filho. A figura 58 mostra a localização de cada uma delas e a figura 59 detalha as intervenções previstas. Estas propostas são baseadas em projetos de Trabalho de Conclusão de Curso e em projetos de concurso, como o URBAN21, desenvolvidos por alunos da Universidade do Vale do Taquari (SCHÖNALS, 2017, 2018; KREIN, 2017; GUERINI et al, 2016; VARGAS et al, 2017; GORGEN et al, 2018; BORSCHEID et al, 2018). As propostas foram adaptadas para se encaixar aos objetivos desta pesquisa.





Figura 58 – Localização das propostas de intervenção: 1) Revitalização da Orla; 2) Parque linear Arroio do Engenho; 3) Eixo comercial rua Santos Filho.



Figura 59 - Propostas de intervenção

### 6.1.1 Revitalização da orla do Rio Taquari

A ocupação da cidade teve início junto à orla do rio Taquari, porém, com o passar do tempo, o centro comercial se deslocou para longe desta, concentrando-se principalmente nas ruas Júlio de Castilhos e Avenida Benjamin Constant. A área próxima ao rio, em especial a rua Osvaldo Aranha, foi se desvalorizando e, hoje, é subutilizada, apesar do seu potencial cênico (rio) e histórico (resquícios de edificações antigas), que poderia ser mais bem aproveitado para lazer e turismo. A população tende a ter uma imagem negativa da área, considerando-a insegura. Assim, a premissa de projeto adotada é a de qualificar a área da beira do rio, promovendo sua valorização. O projeto prevê:

- Inserção de novos polos atratores na rua Osvaldo Aranha e nas ruas próximas
- Incentivos ao aproveitamento comercial da orla
- Subdivisão de alguns dos quarteirões, gerando novos acessos e conexões viárias ou novas vias peatonais
- Expansão da rede cicloviária
- Pedestrianização de um trecho viário
- Alterações nas linhas de transporte, para melhorar a acessibilidade na área

### 6.1.2 Parque Linear do Arroio do Engenho

O Arroio do Engenho passa pelo Centro de Lajeado, mas praticamente não é notado porque boa parte de sua extensão é canalizada e subterrânea. Porém, nos dias de chuva forte essa área sofre com alagamentos e interrupções de circulação em algumas vias. O foco do projeto está na renaturalização do arroio e seu entorno, criando um parque linear nessa área. Em resumo, o projeto prevê:

- Criação de um parque linear, com parcial renaturalização do Arroio do Engenho
- Alterações viárias para acomodar o parque
- Pedestrianização de algumas vias
- Inserção de novos elementos atratores
- Inserção de novos pontos de ônibus para aumentar a acessibilidade ao parque

### 6.1.3 Eixo comercial rua Santos Filho

Tradicionalmente, a rua com maior presença de comércio sempre foi a Júlio de Castilhos. A proposta visa transformar a rua Santos Filho em um novo eixo comercial, que conecta o Parque dos Dick com o Parque linear do Arroio do Engenho, passando pelo Júlio de Castilhos. A ideia é que esse eixo, além do papel de comércio/ lazer/ socialização, se torne mais uma referência importante na imagem que se tem do Centro de Lajeado. O projeto prevê:

- Aumento do uso de comércio e serviços nesse eixo, mediante incentivos de naturezas diversas

- Inserção de novas paradas de ônibus
- Inserção de novos elementos atratores, nas extremidades do eixo, que seriam dois arranha-céus com escritórios

## 6.2 Aspectos metodológicos

De forma resumida, o procedimento metodológico envolveu representar por meio de grafos a hipótese de projeto proposta ( $t_1$ ); verificar como alteram os resultados obtidos em  $t_0$ , de modo a visualizar efeitos das ações projetuais; e avaliar sua adequação a objetivos mensuráveis previamente traçados. O quadro 8 apresenta alguns objetivos passíveis de serem mensurados com as medidas disponíveis e as respectivas combinações de camadas utilizadas.

Objetivos	Medida	Camadas representadas
1 <b>Aumentar acessibilidade à orla e ao novo parque do Arroio do Engenho</b>	acessibilidade	ruas
		ruas + praças
		ruas + transporte
		ruas + praças + transporte
2 <b>Aumentar intensidade de uso nas ruas Osvaldo Aranha (orla) e Santos Filho</b>	centralidade	ruas
		ruas + praças
	polaridade	ruas + transporte
		ruas + uso do solo
3 <b>Gerar novos locais de referência (imagem)</b>	acessibilidade	ruas + cognição
	centralidade	

Quadro 8 – Objetivos de projeto, medidas de diferenciação espacial e camadas representadas

A representação seguiu os mesmos critérios estabelecidos no Capítulo 5. Os grafos correspondentes a  $t_1$  foram construídos conforme as propostas de intervenção apresentadas na seção 6.1. Diferentes tipos de alterações nos grafos iniciais foram feitos, a fim de representar as propostas: a) adição de novos vértices, representando elementos físicos ou não; b); remoção de vértices; c) adição de novas arestas; d) remoção de arestas; e) alterações nos atributos dos vértices. A seguir são comentados alguns exemplos de critérios adotados:

A abertura de novo trecho de via, por exemplo, é representada pela inserção de um novo vértice na camada de ruas, conforme exemplo da figura 60a. Os vértices correspondentes aos trechos de via adjacentes não foram alterados<sup>79</sup>. A figura 60b mostra um exemplo de

<sup>79</sup> Outra alternativa de representação, não utilizada neste trabalho, seria subdividir em dois os trechos adjacentes ao trecho criado.

transformação de trecho de via existente em trecho peatonal e de inserção de novos trechos peatonais. As vias peatonais foram representadas na camada de praças e parques, uma vez que só podem ser acessadas por pedestres. Assim, a transformação de um trecho de via existente em peatonal implicou em trocar o vértice de camada. Para as vias com alteração de uso do solo, como é o caso da Santos Filho e da Osvaldo Aranha, foram alterados os atributos dos vértices.



Figura 60 – Exemplos de representação de hipóteses de projeto

## 6.3 Resultados e discussão

A seguir são apresentados e comentados os resultados obtidos para cada um dos três objetivos.

### 6.3.1 Objetivo 1

O primeiro objetivo de projeto se refere a aumentar a acessibilidade à orla e ao novo Parque Linear do Arroio do Engenho. A figura 61 mostra os resultados para avaliar esse objetivo.

Conforme se vê na figura 61, as alterações viárias parecem não alterar significativamente a acessibilidade. Visualmente, os mapas com valores padronizados entre 0 e 1 parecem praticamente iguais, ao passo que o mapa de diferença percentual aponta aumentos ou diminuições pequenos – cerca de -12 a +3%. Já a inserção de novas praças e parques, curiosamente, gera mais diminuição da acessibilidade do que aumento.

A inserção de novos pontos de ônibus, por sua vez, gera aumento acentuado de acessibilidade em seu entorno. Tal aumento contempla tanto a orla quanto o eixo da rua Santos Filho, mas não o Parque Linear do Arroio do Engenho.



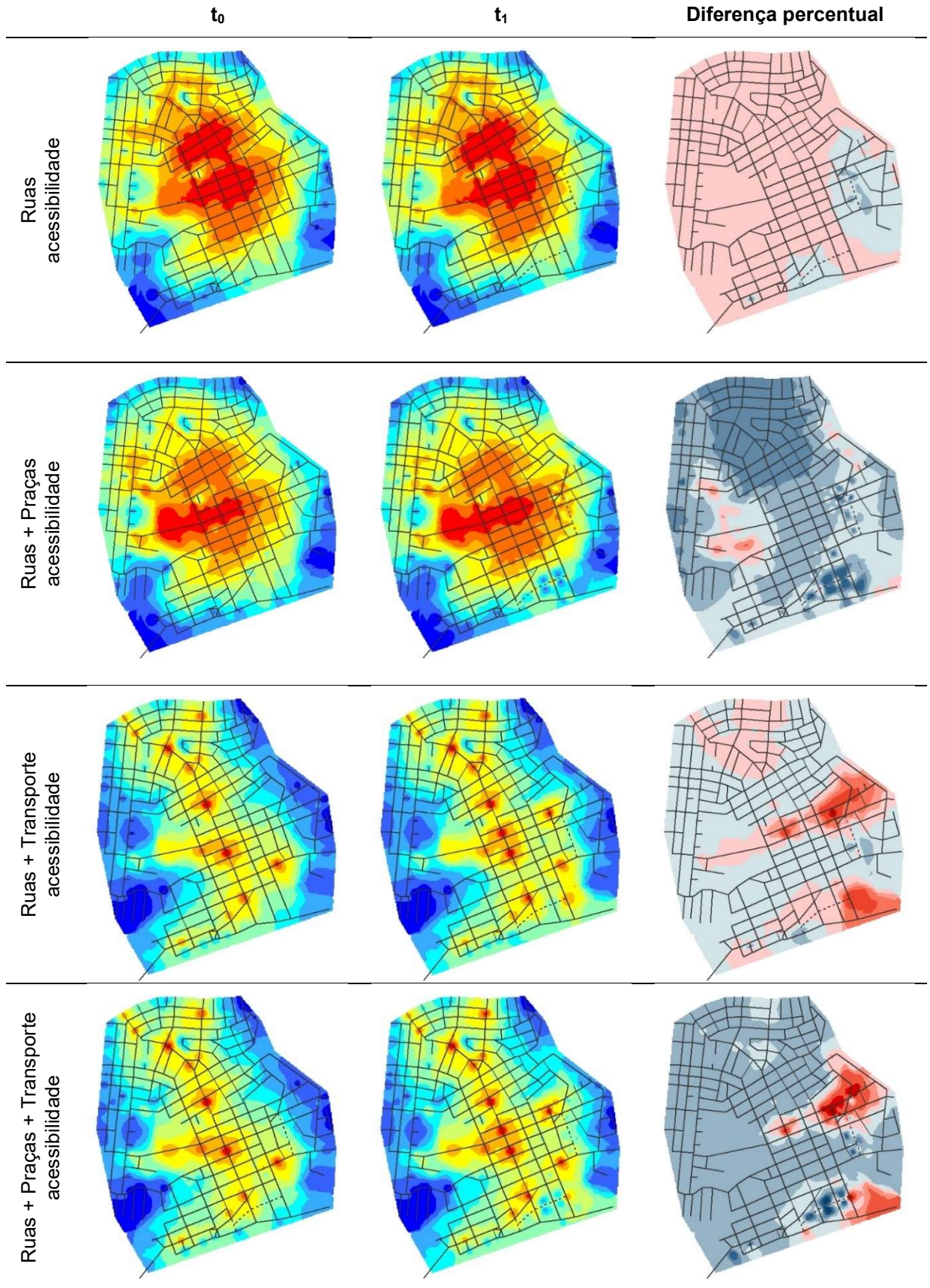
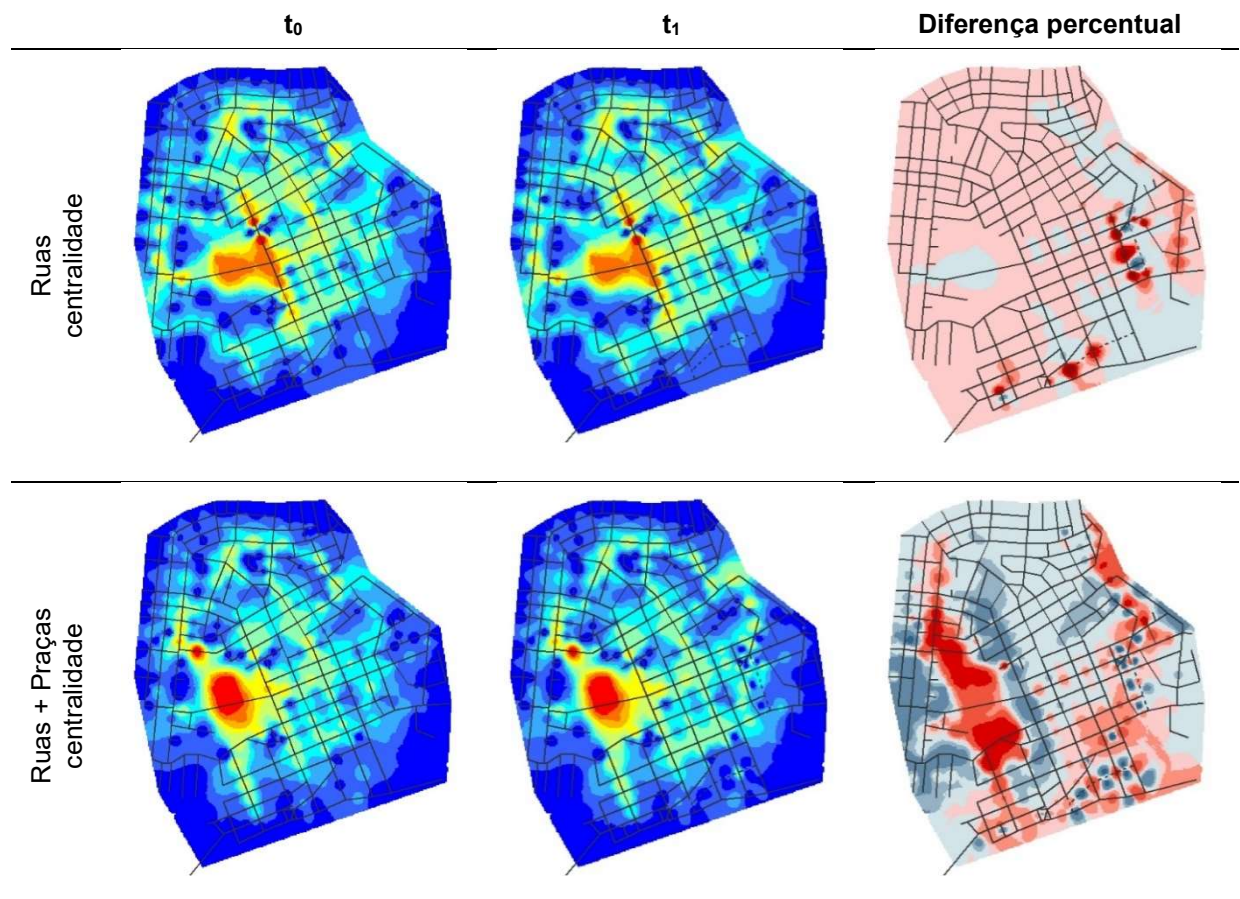


Figura 61 - Resultados para avaliar o objetivo 1

Segundo essas análises, o objetivo de aumento da acessibilidade estaria apenas parcialmente contemplado. Porém, cabe uma observação sobre o método utilizado. Conforme já explicado anteriormente, a acessibilidade é uma medida cujos valores mais altos tendem a estar no centro geográfico da área analisada. É preciso vértices com altíssima conectividade para alterar essa ordem, como é o caso do efeito de atalho proporcionado pela representação das linhas de ônibus. É possível que limitando o raio da medida de acessibilidade, isto é, calculando-se a acessibilidade local e não a global, os resultados convergissem mais para o objetivo traçado ou que, talvez, fossem mais úteis para avaliar hipóteses de projeto.

### 6.3.2 Objetivo 2

O segundo objetivo de projeto se refere a aumentar a intensidade de uso, isto é, a vitalidade, nas ruas Osvaldo Aranha, na orla, e Santos Filho, novo eixo comercial. A figura 62 mostra os resultados para avaliar esse objetivo.





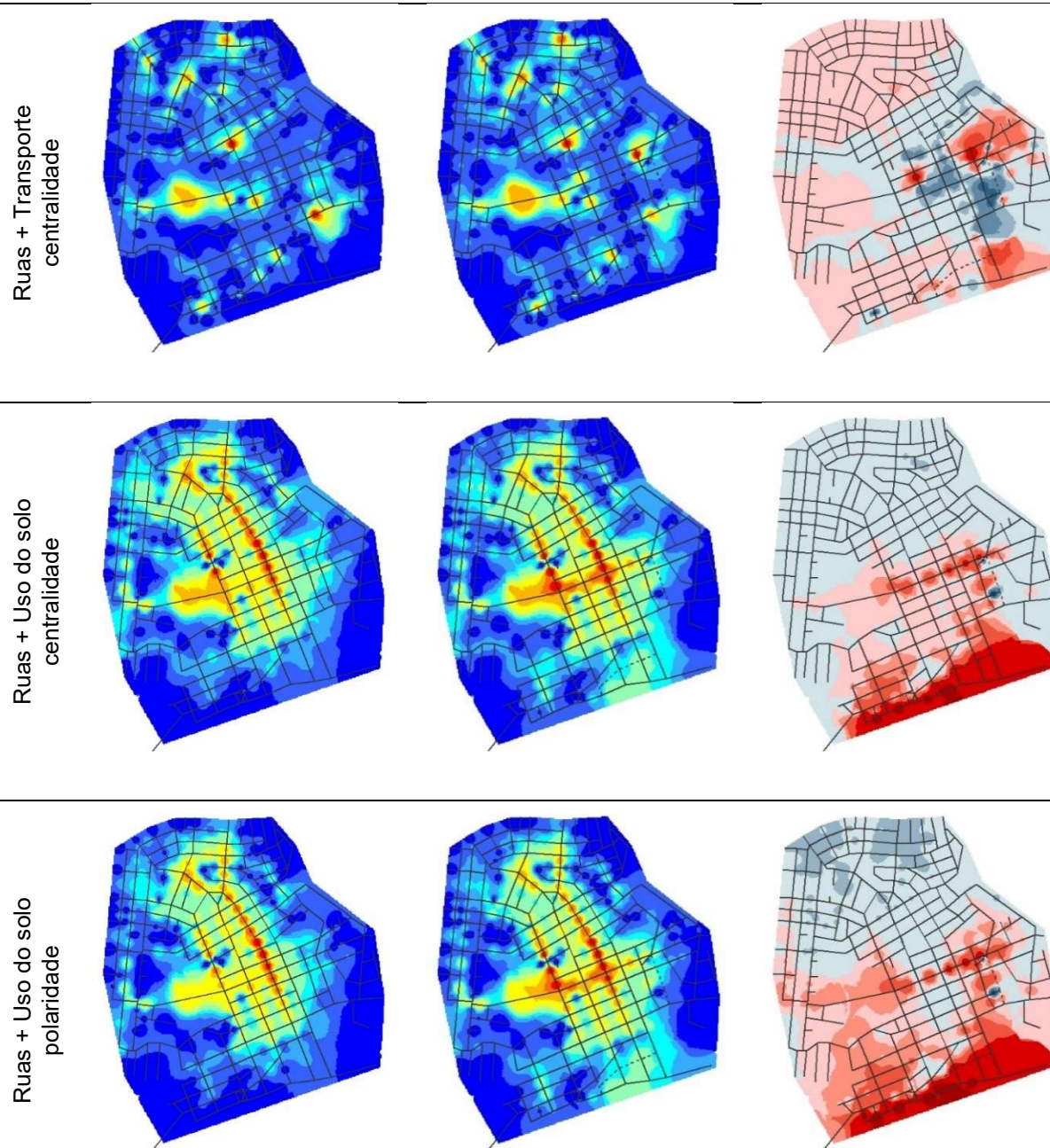


Figura 62 - Resultados para avaliar o objetivo 2

As modificações nas vias produzem alterações muito sutis na centralidade, na maior parte do grafo, com exceção de alguns pontos específicos, que tem significativo aumento de centralidade, como se pode ver no mapa de diferenças. Com relação aos valores absolutos o cenário praticamente não se altera, com a centralidade se concentrando na rua João Abott, próximo ao Parque dos Dick. O mesmo pode ser dito sobre as alterações na camada de praças e parques, com aumento mais acentuado na região do Parque dos Dick, reforçando a situação existente e, portanto, pouco contribuindo para aumentar a vitalidade nas ruas Santos Filho e Osvaldo Aranha.

Para avaliar a camada de transportes há que se levar em conta o forte efeito de atalho produzido pelo tipo de representação adotado, que eleva bastante a centralidade nos vértices que contém ponto de ônibus. No mapa de diferenças se percebe claramente esse forte aumento nos três nos pontos de ônibus incluídos no grafo. Como encontram-se próximos aos eixos em que se quer reforçar vitalidade, pode-se dizer que a proposta vai ao encontro do objetivo pretendido.

Com relação ao uso do solo, foram alterados os atributos de comércio e serviços em  $t_1$ , aumentando seus valores nas ruas Santos Filho e Osvaldo Aranha. Ao analisar os mapas com valores absolutos, percebe-se que o eixo da Rua João Abott, adjacente ao Parque dos Dick, passa a concorrer com a Júlio de Castilhos pelo topo do ranking (tons de vermelho), seguidos pela rua Santos Filho (tons de laranja). A Osvaldo Aranha, apesar de encontrar-se na borda do grafo aumenta bastante sua centralidade e polaridade. Ao ver o mapa de diferenças percebe-se que o maior aumento foi justamente nas ruas Santos Filho e Osvaldo Aranha, para ambas as medidas, sendo que outras regiões também apresentaram aumento. Pode-se dizer que o quesito uso do solo é o que se encontra mais ajustado à intenção de projeto, de levar mais movimento à essas vias.

### 6.3.3 Objetivo 3

Por fim, o terceiro objetivo de projeto se refere a alterar a ordem simbólica do Centro, gerando novos locais de referência. A figura 63 mostra os resultados para avaliar esse objetivo.

Em  $t_1$  foram consideradas duas novas unidades de informação, representadas no grafo: as ruas Santos Filho e Osvaldo Aranha. Ambas foram representadas segundo a mesma estratégia adotada em  $t_0$ , conforme explicado na seção 5.2.1.6. Como se pode ver na figura 59, não há alterações significativas com relação à acessibilidade. O mapa de diferença percentual aponta alguns aumentos e diminuições bem pontuais. Já em relação à centralidade, percebe-se aumento principalmente nas extremidades das duas novas unidades de informação representadas. No mapa de resultados absolutos aparece um novo ponto forte de centralidade na rua Santos Filho. Dessa forma, os resultados parecem convergir para o objetivo traçado.



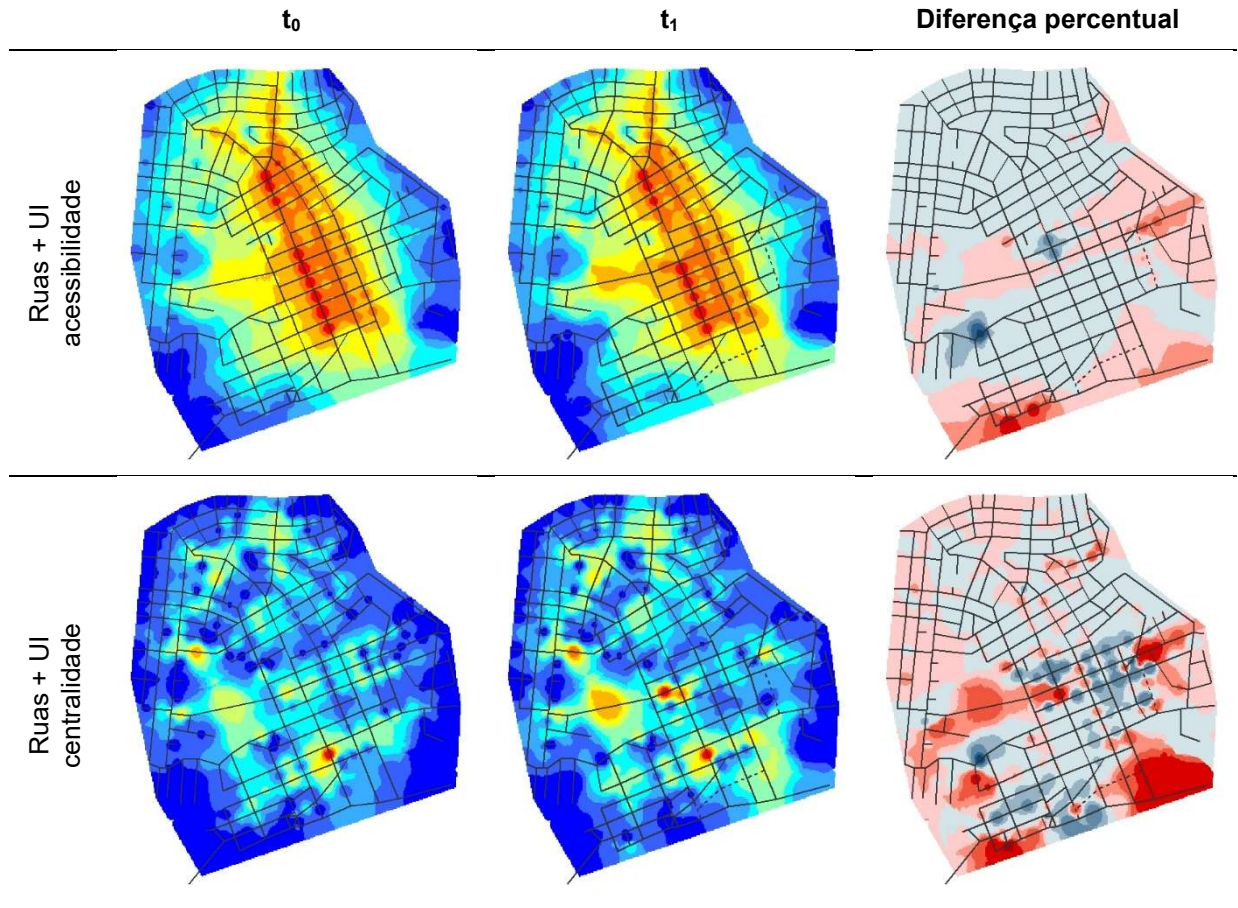


Figura 63 - Resultados para avaliar o objetivo 3

## 6.4 Conclusões do capítulo

O presente capítulo fez uma demonstração de aplicação do modelo *harmony-seeking* de desenho urbano proposto no Capítulo 4 – lembrando que a busca da harmonia é vista aqui como a busca pelo atendimento de uma intenção de projeto. A sequência *conjectura/síntese – representação – processamento – visualização – avaliação* foi ilustrada, de forma simplificada, através do caso de Lajeado. Uma das vantagens do método proposto parece estar na possibilidade de ligar e desligar camadas, facilitando o teste de hipóteses de projeto, conforme os temas de interesse.

Quanto à representação, pode-se dizer que as alterações nos grafos iniciais foram feitas de forma propositalmente locacional e relacional, procurando representar uma ideia de projeto a ser avaliada. Ao longo do desenvolvimento do trabalho, ficou clara a necessidade de se pensar em novas regras de representação para caracterizar as mudanças no sistema. Claramente, isso ainda requer mais estudos e testes com diferentes hipóteses de representação.

A avaliação corresponde a uma etapa particularmente desafiadora, no sentido de que deve subsidiar as subsequentes decisões de projeto, isto é, auxiliar na busca por harmonia – ou no

atendimento a um objetivo de projeto. Aqui entra não apenas a questão das diferentes formas de visualização, mas a própria interpretação dos resultados. Um ponto chave para isso parece estar na definição de objetivos de projeto possíveis de serem mensurados com as medidas de diferenciação espacial disponíveis. Equivale à ideia de transformar as medidas em indicadores, no caso aqui de harmonia em relação aos objetivos de projeto, ou seja, os efeitos desejáveis que se pretende com determinada proposta. Por exemplo, um projeto de revitalização de uma área consolidada pode ter como objetivo levar mais animação e movimento à uma determinada rua. As medidas de polaridade e centralidade capturam aproximadamente tais noções. Desse modo, o procedimento proposto pode auxiliar a verificar se determinada hipótese de projeto apresenta potencial, ou não, de atingir seus objetivos. Isso, obviamente, é muito particular a cada situação de projeto, e nem tudo pode ser mensurado por medidas baseadas em grafos. Ainda assim, conforme argumentou-se ao longo deste capítulo, diversos aspectos referentes à forma urbana – e conseqüentemente, do desenho urbano – podem ser abarcados por esse tipo de abordagem.

Há que se ressaltar ainda que o presente trabalho não esgota as possibilidades nem de medidas de diferenciação espacial nem de métodos de representação, havendo ainda muito a ser explorado.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tese se propôs a avançar em direção a um modelo de desenho urbano, tomando como ponto de partida as teorias recentes de Christopher Alexander, cuja discussão foi pautada pelo viés das teorias de complexidade em cidades e pelas especificidades do desenho urbano. Ao longo da pesquisa foram delineadas as bases teórico-metodológicas para a proposição de um modelo *harmony-seeking* de desenho urbano.

Ao final do trabalho, é possível retomar e redefinir as noções de centro, inteireza e processo que *busca harmonia*. Busca por harmonia é reinterpretada aqui como a busca pelo atendimento de uma intenção de projeto. Assim, a noção de *inteireza* deve mais ou menos coincidir com alguma noção de qualidade de projeto ou qualidade espacial, sendo que o significado de inteireza, isto é, os valores adotados em cada projeto variam conforme o contexto, conforme a intencionalidade de cada agente. Ao assumir que hipóteses de projeto contém valores que nem sempre são universais e absolutos, refuta-se a visão de qualidade intrínseca à forma de Alexander.

No modelo de desenho proposto, a harmonia, ou inteireza, buscada em um projeto é dada por um conjunto de medidas de diferenciação espacial, combinadas, por sua vez, com um conjunto de camadas de representação, funcionando como *proxy* de certas características das cidades. A noção de centro, de Alexander, é explorada por meio de grafos multicamadas, sendo os centros representados por vértices do grafo. As medidas de diferenciação espacial, baseadas em distância e posição relativa, utilizadas neste trabalho, permitem capturar padrões hierárquicos presentes nas configurações, que mostram, de certa forma, como as entidades do grafo – os *centros* – se relacionam, fornecendo uma visão da estrutura global do sistema espacial urbano. Não é possível fazer uma analogia direta com as quinze propriedades de inteireza de Alexander, porém, as medidas revelam-se capazes de representar, de certa forma, as noções de *centros fortes*, *níveis de escala* e gradientes, pois são propriedades que remetem a alguma forma de hierarquização.

A partir dos resultados obtidos nos grafos podem ser produzidas imagens com cores que mostram com clareza esses padrões espaciais hierárquicos. Pode-se dizer que mostram onde estão os centros fortes, isto é, os picos de valores mais altos. Mostram também como ocorre e como se distribui o decaimento desses valores até os pontos mais baixos – uma espécie de gradiente de valores que forma o *ranking* dos resultados. Além disso, cada medida tem seus níveis de escala, isto é, vai apresentar padrões de decaimento mais suaves ou mais abruptos.

Com tais imagens fica fácil entender o papel de cada vértice, isto é, cada centro, na estrutura global, ou seja, sua posição hierárquica.

Esse conjunto de imagens com distintos padrões espaciais gerados por diferentes combinações de medidas e grafos permite ao operador tomar decisões quanto a cada elemento que compõe o desenho urbano, buscando se aproximar de seus objetivos de projeto, isto é, sua almejada harmonia. Com isso, propõe-se um processo iterativo entre desenho e análise, em que se possam verificar efeitos de propostas de intervenções urbanas

## 7.1 Contribuições do trabalho

A pesquisa traz contribuições de dois tipos. Em termos teóricos, o trabalho avança na discussão sobre as teorias recentes de Christopher Alexander e sua aplicabilidade ao desenho urbano. Em termos metodológicos, propõe um modelo de desenho urbano, voltado para a leitura de características urbanas, contribuindo diretamente para o campo de desenho urbano e de sistemas configuracionais urbanos.

### 7.1.1 Contribuições teóricas

Enquanto conhecimento teórico, o trabalho contribuiu para o debate sobre as ideias de Christopher Alexander, em especial os conceitos que o autor esboça em conjunto de obras recentes: a teoria dos centros, a noção de inteireza (*wholeness*) e o processo que busca a harmonia. O recorte adotado é original, ao debater suas teorias sob um ponto de vista das especificidades do processo de projeto na escala do desenho urbano. Além disso, tal recorte dialoga com as atuais tendências de métodos formais em desenho urbano: o projeto baseado em evidências.

É natural que em teorias ambiciosas, como a de Alexander, existam contradições. Isso não diminui sua relevância nem sua contribuição ao conhecimento. Porém, o avanço das ideias se dá mediante a crítica e o mapeamento preciso das limitações e contradições de trabalhos anteriores. É justamente o que essa tese procurou fazer. Apesar de suas ideias estarem fortemente apoiadas em uma visão de mundo sistêmica e complexa, alguns pontos se mostraram frágeis para que pudessem ser transpostos diretamente ao desenho urbano. Ao confrontá-las com as especificidades do desenho urbano foi possível apontar, com mais clareza, perspectivas de desenvolvimento de aplicações para essa escala de projeto. O principal mérito está em mostrar limitações da teoria dos centros para uma aplicação específica para desenho urbano, bem como mostrar alternativas para lidar com tais limitações. Primeiramente, levantou-se a questão da natureza complexa das cidades, cujos agentes

operam conforme suas intenções, diferentemente da auto-organização observada na natureza. Assim, questionou-se a noção de qualidade intrínseca à forma defendida por Alexander, em contraponto à noção de qualidade relativa a valores – estes relacionados justamente à intencionalidade dos atores envolvidos no desenho urbano.

A partir dessas questões, questionou-se a pertinência das quinze propriedades para a escala urbana, tendo em vista uma visão sistêmica. Dentro da ideia de um processo *harmony-seeking*, isto é, que preserva a estrutura latente, um passo importante está em reconhecer essa estrutura. As quinze propriedades de Alexander permanecem abstratas demais para fornecer uma leitura aplicada à estrutura espacial urbana, ainda que não seja difícil reconhecer certas propriedades geométricas, como bordas, centros fortes e espaço positivo, entre outras, em uma cidade. Especialmente no caso de projetos na escala do desenho e planejamento urbano, que lidam com problemas mal definidos – *wicked problems* (Rittel e Weber, 1973), não parece haver muita relação entre as propriedades de forma de Alexander e algum sentido de qualidade. O principal problema é que boa parte das quinze propriedades são de caráter essencialmente local, conforme aponta Seamon (2016), ou seja, não parecem capazes de fornecer uma visão global da estrutura urbana, talvez com exceção de algumas poucas, como centros fortes, níveis de escala e gradientes. Assim, as quinze propriedades não se mostraram úteis para explorar o desenho urbano sob um viés sistêmico, e por isso, no lugar destas, propôs-se a leitura de propriedades baseadas em grafos.

No contexto atual, de revolução digital, não há como conceber a operacionalização de teorias de Alexander fora de uma abordagem apoiada em tecnologias computacionais. Em que pese eventuais limitações, é justamente o que essa pesquisa buscou explorar: um possível caminho para a operacionalização da teoria dos centros de Alexander, com base em métodos já utilizados em estudos urbanos. A abordagem proposta, apoiada na matemática de grafos, pode não ser o caminho único, mas mostra-se como uma alternativa viável a ser explorada. Além disso, encontra-se alinhada com os avanços das teorias de complexidade em cidades.

### 7.1.2 Contribuições para o campo de desenho urbano

A formalização do modelo, apesar de não apresentar grande inovação em relação a outros modelos de desenho urbano ou de projeto já propostos na literatura (ÇALIŞKAN, 2012; MILLER, 2012; MARCH, 1984, entre outros), avança no detalhamento de procedimentos analíticos envolvendo grafos – e isso é explicitado no modelo. Grafos constituem instrumentos úteis para capturar certas propriedades estruturais do sistema espacial urbano, que não seriam visíveis de outra forma. Conforme visto, o uso de grafos envolve necessariamente certos procedimentos, tais como: definição de um sistema descritivo, definição de medidas de

diferenciação espacial a serem processadas, alguma forma de visualização e, finalmente, vinculação da hierarquia resultante a propriedades úteis para fins de projeto. Todos esses elementos constituem estratégias de suporte ao projeto, formalizadas no modelo aqui proposto.

A principal contribuição, ao formalizar um modelo de desenho urbano com tais características, está em explicitar um processo de desenho urbano que incorpora conhecimento científico, isto é, métodos analíticos existentes. A vantagem de um processo pensado dessa forma está no seu caráter menos personalíssimo, isto é, menos baseado na intuição pessoal do projetista, embora ela não seja totalmente eliminada. O modelo proposto torna possível externalizar parâmetros objetivos de projeto, que eventualmente podem ser discutidos e até questionados – e novas hipóteses de projeto testadas e avaliadas. O trabalho mostrou que é possível pensar um sistema descritivo calibrável que permite operar diferentes métricas, apenas ligando/deligando camadas e atributos, combinando os elementos representados de diversas formas. Outra contribuição feita foi na questão da visualização de resultados – feita aqui no formato *raster*, o que permite comparações e leituras intuitivas.

### 7.1.3 Contribuições para o campo de sistemas configuracionais

Para o campo de sistemas configuracionais urbanos, o trabalho avançou na descrição mais detalhada do sistema espacial urbano. A pesquisa mostrou que um sistema descritivo com alto grau de desagregação, sendo cada nó elemento representado como um nó do grafo, é mais propício para representar entidades e relações de naturezas distintas; e que a representação de tal multiplicidade pode ser pensada sob a forma de múltiplas camadas. A principal contribuição está em mostrar que as possibilidades de representação por meio de grafos vão além da rede de ruas. A incorporação de outros elementos, como praças e parques, transporte público e até mesmo elementos cognitivos, aproxima o campo de sistemas configuracionais – essencialmente analítico – do desenho urbano – projetual.

As métricas extraídas a partir de descrições baseados em grafos possuem caráter bastante abstrato, isto é, matemático, e isso ainda constitui uma barreira para que essa abordagem seja mais difundida como ferramenta de apoio ao desenho urbano. Assim, visando superar o alto grau de abstração desse tipo de modelagem e facilitar aplicações mais diretas como apoio ao desenho urbano, procurou-se avançar tanto na questão da visualização mais intuitiva dos resultados quanto em sua vinculação com fenômenos reais ou propriedades estruturais da forma urbana.

## 7.2 Potencialidades e limitações do delineamento proposto

A ideia de abordar as questões levantadas por Alexander sob um ponto de vista sistêmico e configuracional apresenta potencial, principalmente por aprofundar a capacidade de compreensão do todo e do papel das partes. Sua teoria dos centros remete essencialmente aos componentes da forma, e a abordagem de grafos também é focada nos componentes e suas relações. Tal abordagem permite revelar padrões espaciais sobre diferentes aspectos da cidade, especialmente ao se ampliar o escopo de representação.

A representação por meio de grafos multicamadas permitiu avaliar hipóteses projetuais, tendo em vista objetivos mensuráveis previamente traçados. Tal instrumento demonstra ter potencial como ferramenta de suporte ao desenho urbano, uma vez que auxilia na captura de propriedades urbanas úteis ao desenho urbano, com alto grau de desagregação dos resultados, possibilitando avaliar hipóteses de projeto. Tendo em vista a quantidade de alternativas possíveis de combinações de medidas de diferenciação espacial e elementos a serem representados, pode-se dizer que há muito potencial a ser explorado além do que foi visto nessa tese. Mas para isso é preciso extrapolar a abordagem puramente configuracional, que envolve apenas a representação dos espaços públicos, e buscar a representação de outros elementos do sistema espacial urbano, conforme explorado de forma inicial nesta pesquisa.

Um dos principais desafios para a utilização de um modelo com as características propostas está em traduzir requisitos que são importantes ao desenho urbano para as possibilidades de resultados das análises baseadas em grafos. Em outras palavras, é preciso avançar no estudo da correlação entre medidas baseadas em grafos e fenômenos reais.

Uma limitação da abordagem proposta, baseada em dados e modelagem, é o próprio caráter dinâmico da cidade, o que significa que a simulação de uma transformação urbana, isto é, uma hipótese de projeto, sempre será defasada ao que a cidade é naquele momento. No exato momento que uma proposta de projeto está sendo desenvolvida e discutida, diversos aspectos da realidade já se encontram em mutação, dado que o processo de mudanças é contínuo.

Outra limitação da abordagem proposta, que não se refere exclusivamente à análise baseada em grafos, mas a qualquer tipo de análise espacial, é sua inerente dificuldade de integração com o ato de projetar. Análise permanece como um apoio ao projetista, uma questão que talvez só venha a avançar com o desenvolvimento de modelos urbanos procedurais, onde a forma urbana seja gerada a partir de um conjunto de parâmetros, o chamado *desenho paramétrico*. De qualquer forma, isso não chegou a ser um ponto de discussão nesse trabalho.

A principal contribuição está mais no sentido de aproximar técnicas de análise existentes do processo de projeto, apresentando novas perspectivas de utilização.

Sobre os estudos exploratórios, uma limitação diz respeito ao tempo demandado para a operacionalização das análises, que tende a ser incompatível com uma situação real de projeto, em que o tempo para tomada de decisão de cada passo costuma ser muito dinâmico. Desse modo, uma aplicação prática real talvez demandasse formas mais automatizadas de gerar os grafos e as análises.

### 7.3 Perspectivas para desenvolvimentos futuros

Quanto ao modelo de desenho urbano delineado nesta tese há muito o que se explorar ainda. Graças ao método de representação utilizado foi possível uma aproximação maior com as agendas do desenho urbano, isto é, com algumas das variáveis que interessam a essa escala de projeto. Assim, os grafos com múltiplas camadas oferecem possibilidades interessantes para explorações futuras, já que outras variáveis, além daquelas exploradas neste trabalho, podem ser incluídas como camadas no grafo, assim como outras medidas de diferenciação espacial podem ser utilizadas. Há muitas possibilidades de combinações de variáveis de representação com medidas, o que permite cobrir uma ampla gama de propriedades urbanas úteis ao desenho urbano. A medida de acessibilidade combinada com presença de infraestrutura urbana, poderia funcionar como um indicador de potencial imobiliário, apenas para citar um exemplo.

Importante destacar que um ponto chave para a abordagem proposta parece ser a escolha do sistema de representação mais adequado, isto é, se os critérios escolhidos são adequados ao que se pretende entender do sistema urbano. Isso vai ao encontro das constatações feitas por Marshal et al. (2018), acerca da importância da fase de *modelagem de rede* nesse tipo de estudo, ou seja, a definição dos elementos a serem representados e as relações a serem evidenciadas. Tais escolhas, porém, requerem maturidade, ou, mais especificamente, uma ampla gama de testes para verificar o sistema de representação que faz mais sentido. Nessa perspectiva, os estudos exploratórios apresentados neste trabalho são apenas iniciais e estão bem longe de fornecer certezas sobre o melhor método de representação a ser adotado para cada componente urbano. Assim, uma das frentes de investigação que requer aprofundamento é a própria questão dos critérios e estratégias de representação dos componentes urbanos.

A representação de aspectos cognitivos por meio de grafos se mostrou particularmente desafiadora, dado o reduzido número de estudos sobre esse tema, sendo, portanto, também um bom tópico para desenvolvimento futuro. Como representar as conexões remotas e a



agregação de elementos em unidades de informação ou outras hipóteses de representação? Como explorar isso para fins de desenho urbano? A representação de aspectos temporais, por sua vez, mal chegou a ser explorada neste trabalho, deixando uma série de questões em aberto, como, por exemplo: a) como representar cada escala temporal e os processos cíclicos e contínuos presentes nas cidades; b) como lidar com a interdependência entre escalas temporais e espaciais.

Em relação à representação, outro tópico importante a ser investigado com mais cuidado futuramente seria o efeito de borda. Alterações nos vértices localizados mais próximos da periferia de um grafo produzem os mesmos efeitos que no centro geográfico do grafo? E alterações nos vértices com maior centralidade, isto é, considerando o topo do *ranking* das medidas de centralidade, produzem os mesmos efeitos que alterações em vértices de menor centralidade?

É possível também avançar em instrumentos de análise envolvendo técnicas mais robustas de estatística. Aqui o interesse se concentrou na análise visual, intuitiva, útil para projetistas não especialistas em estatística espacial. No entanto, explorar técnicas como alometria e análise espacial avançada pode render resultados interessantes para melhor compreensão das possibilidades de descrição do sistema urbano oferecidas pelos grafos multicamadas.

Em relação ao debate sobre as ideias de Alexander, há certamente muito ainda a ser explorado. Sua rica teoria oferece inúmeras possibilidades, tanto na direção aqui proposta quanto em outras frentes. Uma possibilidade dentro do *framework* proposto nessa tese, por exemplo, estaria em explorar outro grupo de propriedades. Além da leitura de padrões hierárquicos revelados pela análise de grafos, seria possível, quem sabe, capturar outras propriedades através de análise de padrões de aglomeração (*clusters*) – algo perfeitamente possível através dos resultados *raster* gerados. Com isso, outras propriedades, como a de *bordas* ou *contraste*, possivelmente, também estariam contempladas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHARYA, Abhimanyu et al. City planning using integrated urban modelling. *In: International Space Syntax Symposium*, 11, 2017, Lisbon. **Proceedings** [...], Lisbon: Instituto Superior Técnico, 2017. p. 37.1-21.
- ASCHER, François. **Os novos princípios do urbanismo**. São Paulo: Romano Guerra, 2010
- ALBERTI, Marina. **Advances in urban ecology**: Integrating humans and ecological processes in urban ecosystems. New York: Springer, 2008.
- ALEXANDER, Christopher. **Notes on the synthesis of form**. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press, 1973. [Original 1964].
- ALEXANDER, Christopher. Sistemas que geram sistemas. *In: ALEXANDER, Christopher. Tres aspectos de matemática y diseño y la estructura del medio ambiente*. Barcelona: Tusquets Editores, 1980. p. 57-72. [Original 1971].
- ALEXANDER, Christopher. **A city is not a tree**. *In: MEHAFFY, Michael (Ed.). A City is not a Tree: 50th anniversary edition*. Portland: Sustasis Press, 2015. Edição do Kindle. [Original 1965].
- ALEXANDER, Christopher. **The timeless way of building**. New York: Oxford University Press, 1979.
- ALEXANDER, Christopher. **The nature of order**: An essay on the art of building and the nature of the universe. Vol. 1: The Phenomenon of Life. Berkeley: Center for Environmental Structure, 2002a.
- ALEXANDER, Christopher. **The nature of order**: An essay on the art of building and the nature of the universe. Vol. 2: The Process of Creating Life. Berkeley, CA, USA: Center for Environmental Structure, 2002b.
- ALEXANDER, Christopher. **The nature of order**: An essay on the art of building and the nature of the universe. Vol. 4: The luminous ground. Berkeley, CA, USA: Center for Environmental Structure, 2004.
- ALEXANDER, Christopher. **The nature of order**: An essay on the art of building and the nature of the universe. Vol. 3: A Vision of a Living World. Berkeley, CA, USA: Center for Environmental Structure, 2005.
- ALEXANDER, Christopher. **New concepts in complexity theory**: arising from studies in the field of architecture. 2003. Disponível em <<http://www.natureoforder.com/library/scientific-introduction.pdf>>, 2003. Acesso em: 20 de janeiro de 2016.
- ALEXANDER, Christopher. Harmony-Seeking Computations: a science of non-classical dynamics based on the progressive evolution of the larger whole. **International Journal for Unconventional Computing**, v. 5, 2009.
- ALEXANDER, C.; ISHIKAWA, S.; SILVERSTEIN, M.; JACOBSON, M.; FIKSDAHL-KING, I.; ANGEL, S. **A Pattern Language**. New York: Oxford University Press, 1977.
- ALEXANDER, Christopher; NEIS, Hajo; ANNIMOU, Artemis; KING, Ingrid. **A new theory of urban design**. New York: Oxford University Press, 1987.
- ALEXANDER, Christopher; POYNER, Barry. The atoms of environmental structure. *In: CROSS, Nigel (Ed.). Developments in design methodology*. Chichester: Wiley, 1984. Cap. 2.2, p. 123-133. [Original ALEXANDER, C., POYNER, B. The atoms of environmental structure. *In: MOORE, G.T. (Ed.). Emerging Methods in Environmental Design and Planning*. MIT Press, 1973.
- ALLEN, Peter; SANGLIER, M. Urban evolution, self-organization and decision making. **Environment and Planning A**, v. 13, n. 2, p. 169-183, Feb.1981.
- ALLEN, Peter. **Cities and Regions as Self-Organising Systems: Models of Complexity**. London: Taylor and Francis, 1997.

- ANDRADE, Leandro. **Construção e abertura**: diálogos Christopher Alexander – Jean Piaget. 2011. 402f. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2011.
- APPLEYARD, Donald. Why buildings are known. **Environmental and Behavior**, v. 1, n. 2, p.131-156, 1969.
- ASCHER, François. **Os novos princípios do urbanismo**. São Paulo: Romano Guerra, 2010.
- BARTHELEMY, Marc. Betweenness centrality in large complex networks. **The European Physical Journal B**, v. 38, n. 2, p. 163–168, 2004.
- BATTY, Michael. A new theory of space syntax. **CASA working papers Series**, v. 75, p. 1-36, London, 2004a. Disponível em: <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/casa/>. Acesso em 4 fev. 2019.
- BATTY, Michael. Distance in space syntax. **CASA Working Paper Series**, v. 80, p. 1-32, London 2004b. Disponível em: <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/casa/>. Acesso em 4 fev. 2019.
- BATTY, Michael. **Cities and Complexity**: understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals. London: MIT Press Books, 2005.
- BATTY, Michael. Complexity in city systems: Understanding, evolution and design. **CASA Working Papers Series**, London, v. 117, p. 1–35, Mar. 2007. Disponível em: <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/casa/>. Acesso em: 4 fev. 2019
- BATTY, Michael. The size, scale, and shape of cities. **Science**, v. 319, n. 5864, p. 769–771, 2008a.
- BATTY, Michael. **The New Science of Cities**. Cambridge: MIT Press, 2013a.
- BATTY, Michael. Defining geodesign (= GIS + design ?). **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 40, p. 1–2, 2013b.
- BATTY, Michael. Alexander's challenge: beyond hierarchy in city systems and systems of cities. *In*: MEHAFFY, Michael (Ed.). **A City is not a Tree**: 50th anniversary edition. Portland: Sustasis Press, 2015. Edição do Kindle.
- BATTY, Michael. Evolving a Plan: Design and Planning with Complexity. *In*: PORTUGALI, Juval; STOLK, Egbert (Eds.). **Complexity Cognition, Urban Planning and Design**: post-proceedings of the 2nd Delft International Conference. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2016. Cap.2, p. 21– 42.
- BATTY, Michael; LONGLEY, Paul. **Fractal cities**: a geometry of form and function. San Diego: Academic Press, 1994.
- BERTALANFFY, Ludwig von. **General System Theory**: Foundations, Development, Applications. New York: George Brazillier, 1968.
- BETTENCOURT, Luis. The Origin of Scaling in Cities. **Science** v. 340, p.1438-1441. 2013.
- BETTENCOURT, Luis. The Complexity of Cities and the Problem of Urban Design. *In*: MEHAFFY, Michael (Ed.). **A City is not a Tree**: 50th anniversary edition. Portland: Sustasis Press, 2015. Edição do Kindle.
- BETTENCOURT, Luis; WEST, Geoffrey. A unified theory of urban living. **Nature**, v. 467, n. 913, p. 9–10, 2010.
- BOEING, Geoff. Measuring the complexity of urban form and design. **Urban Design International**, v. 23, n. 4, p. 281–292, 2018.
- ÇALIŞKAN, Olgu. Design thinking in urbanism: learning from the designers. **Urban Design International**, v.17, n.4, p. 272–296, 2012
- ÇALIŞKAN, Olgu; MARSHALL, Sthepen. Urban morphology and design: introduction. **Built Environment**, v. 37, n. 4, p.381-392, 2011.
- CAPRA, Fritjof. **A teia da vida**: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo: Editora Cultrix, 2006.

- CARDILLO, A. et al. Emergence of network features from multiplexity. **Scientific Reports**, v. 3, 1344, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep01344>.
- CARMONA, Matthew; TIESDELL, Steve (Eds.). **Urban design reader**. London: Architectural Press, 2007. p. 108–113.
- CASCHILI, Simone; MEDDA, Francesca; WILSON, Alan. An Interdependent Multi-Layer Model: Resilience of International Networks. **Netw Spat Econ**, v. 15, p. 313–335, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11067-014-9274-2>.
- COLUSSO, Izabele. **Forças regionais, formas urbanas e estrutura interna da cidade: um estudo de relações**. 2015. 193f. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2015.
- CONSTANTINO, Eliane. **Dinâmica intra-urbana: aleatoriedade e emergência de padrões espaço-temporais**. 2007. 247f. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2007.
- COUCLELIS, Helen. A theoretical framework for alternative models of spatial decision and behavior. **Annals of the American Geographers**, v. 76, n. 1, p. 95-113, 1986.
- COUCLELIS, Helen *et al.* Exploring the anchor-point hypothesis of spatial cognition. **Journal of Environmental Psychology**, v. 7, p. 99–122, 1987.
- CROSS, Nigel (Ed.). **Developments in design methodology**. Chichester, UK: Wiley, 1984.
- CROSS, Nigel. **Engineering Design Methods: Strategies for Product Design**. 2nd ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 1994.
- CROSS, Nigel. **Designerly ways of knowing**. London: Springer-Verlag, 2006.
- CRUCITTI, Paolo; LATORA, Vito; PORTA, Sergio. Centrality Measures in Spatial Networks of Urban Streets. **Physical Review E**, v. 73, n. 3, p. 1-4, 2006.
- CULLEN, Gordon. **Paisagem urbana**. São Paulo: Martins Fontes, 1983 [Original 1961].
- CUTHBERT, Alexander. Urban Design: requiem for an era – review and critique of the last 50 years. **Urban Design International**, v. 12, n. 4, p. 177-223, 2007.
- D'ACCI, Luca. Mathematize urbes by humanizing them: cities as isobenefit landscapes. **Physics and Society** arXiv:1307.3923v3. 2015.
- DALCIN, G.; KRAFTA, R. **GAUS: Graph Analysis of Urban Systems**. Versão 1.0. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021. Disponível em: <https://github.com/gkdalcin/GAUS>. Acesso em: 9 jun. 2021.
- DEL RIO, Vicente. **Introdução ao desenho urbano no processo de planejamento**. São Paulo: Pini, 1990.
- DING, Rui *et al.* Heuristic urban transportation network design method, a multilayer coevolution approach. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 40, n. 6, p. 71–83, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.02.051>
- DOVEY, Kim; PAFKA, Elek. The Science of urban design? **Urban Design International**, v. 21, n. 1. p. 1-10, 2016.
- ECHENIQUE, M.; OWERS, J. Research into practice: the work of the Martin Centre in urban and regional modelling. **Environment and Planning B: Planning & Design**, v. 21, n. 5, p. 513-514, 1994.
- EKINOGLU, Harun; KUBAT, Ayse Sema. Measuring and visualization of spatial change using information entropy. *In: International Space Syntax Symposium*, 11, 2017, Lisbon. **Proceedings [...]**, Lisbon: Instituto Superior Técnico, 2017. p. 58.1-15.
- EKINOGLU, Harun; KUBAT, Ayse Sema; PLUNZ, Richard. Modeling spatial wholeness in cities using information entropy theory. **A/Z ITU Journal of Faculty of Architecture**, v. 14, n. 3, p. 67-81, 2017.

- EI-KHOULY, Tamer. **Creative Discovery in Architectural Design Processes**. 2015. 317p. Thesis (PhD). University College London, Bartlett Faculty of the Built Environment, London, 2015.
- FARIA, Ana Paula. **Forma urbana e estruturação cognitiva do ambiente**. 2002. 337f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2002.
- FARIA, Ana Paula. **Análise configuracional da forma urbana e sua estrutura cognitiva**. 2010. 300f. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2010.
- FARIA, Ana Paula; KRAFTA, Romulo. Representing urban cognitive structure through spatial differentiation. *In: International Space Syntax Symposium, 4, 2003, London. Proceedings [...]*, London: UCL, 2003. p. 53:1-18.
- FIGUEIREDO, Lucas. **Linhas de continuidade no sistema axial**. 2004. 104f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano, Recife, 2004.
- FIGUEIREDO, Lucas; AMORIM, Luiz. Continuity lines in the axial system. *In: International Space Syntax Symposium, 5, 2005, Delft. Proceedings [...]*, Delft: TU Delft, 2005. p. 161-174.
- FONSECA, Luciana. **Projeto urbano: ação e conhecimento situados**, Porto Alegre, século XXI. 2017. 472f. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2017.
- FREEMAN, Linton C. A set of measures of centrality based on betweenness. **Sociometry**, v. 40, p. 35-41, 1977.
- FREEMAN, Linton C. Centrality in social networks: conceptual clarification. **Social Networks**, v. 1, p. 215-239, 1979.
- GEHL, Jan. **Life between buildings: using public space**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.
- GHENO, Patrícia. **Indicador de desempenho urbano: metodologia e perspectiva de integração**. 2009. 187f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2009.
- GIFFORD, Robert. *Environmental psychology: principles and practice*. 2a ed. Boston: Allyn and Bacon, 1977.
- GIL, Jorge. Analyzing the configuration of multimodal urban networks. **Geographical Analysis**, v. 46, n. 4, p. 368-391, 2014.
- GIL, Jorge. Examining edge effects: Sensitivity of spatial network centrality analysis to boundary conditions. *In: International Space Syntax Symposium, 10, 2015. Proceedings [...]*. London: UCL, 2015. p. 147:1-16.
- GOLLEDGE, Reginald, SPECTOR, Aron. Comprehending the urban environment: Theory and practice. **Geographical Analysis**, v. 10, n. 4, p. 403-426, 1978.
- GOODCHILD, Michael F. Towards Geodesign: Repurposing Cartography And Gis? **Cartographic Perspectives**, v. 66, p. 55-69, 2010.
- GURR, Jens Martin; WALLOTH, Christian. Introduction: towards a transdisciplinary understanding of complex urban systems. *In: WALLOTH, Christian; GURR, Jens Martin; SCHMIDT, Alexander (Eds.). Understanding complex urban systems: multidisciplinary approaches to modeling*. New York: Springer, 2014. p. 1-12.
- HAGGETT, P.; CHORLEY, R. J. **Network Analysis in Geography**. London: Edward Arnold, 1969.
- HAKEN, Hermann. Complexity and complexity theory: do these concepts make sense? *In: PORTUGALI, Juval et al. (Eds.). Complexity theories of cities have come of age: An Overview with Implications to Urban Planning and Design*. Heidelberg: Springer, 2012. p. 7-20.

HILLIER, Bill. The golden age of cities? How we design cities is how we understand them. **Urban Design**, v. 100, p. 16-19, 2006.

HILLIER Bill; HANSON, Julienne. **The Social Logic of Space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

HILLIER, Bill; MUSGROVE, John; O'SULLIVAN, Pat. Knowledge and design. *In*: CROSS, N. (Ed.). **Developments in design methodology**. Chichester: Wiley, 1984. Cap. 4.1, p. 245–264. [Original HILLIER, Bill; MUSGROVE, John; O'SULLIVAN, Pat. Knowledge and design. *In*: Mitchell, W. (Ed.) **Environmental design: research and practice**. Los Angeles, USA: University of California, 1972.]

HILLIER B.; PENN, A.; HANSON, J.; GRAJEWSKI, T; XU, T. Natural movement: configuration and attraction in urban pedestrian movement, **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 20, p. 26-66, 1993.

HIRTLE, S. C., JONIDES, J. Evidence of hierarchies in cognitive maps. **Memory and Cognition**, 13, p. 208–217, 1985.

HOLANDA, Frederico (Ed.). **Ordem & desordem: arquitetura & vida social**. Brasília: FRBH, 2012.

HOLLING, C. S.; GOLDBERG, M. A. Ecology and Planning. **Journal of the American Planning Association**, v. 37, n. 4, p. 221–230, 1971.

HOVERD, T.; STEPNEY, S. Formalising harmony seeking rules of morphogenesis. *In*: XII Artificial Life Conference, 2010. **Proceedings** [...], Odense: 2010. p. 386–393.

INGRAM, D. R. The concept of accessibility. **Regional Studies**, v.5, p.101-107, 1971. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09595237100185131>. Acesso em: 5 set. 2019.

ITTELSON, W.H. Environmental perception and urban experience. **Environment and Behavior**, v. 10, n. 2, p. 193-213, 1978.

JACOBS, Jane. **Morte e vida de grandes cidades**. 4 ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007 [1961].

JIANG, Bin; CLARAMUNT, Christophe. Topological analysis of urban street networks. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 31, n. 1, p. 151–162, 2004.

JIANG, B.; YIN, J. Ht-index for quantifying the fractal or scaling structure of geographic features. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 104, n. 3, p. 530–541, 2014.

JIANG Bin. Wholeness as a hierarchical graph to capture the nature of space. **International Journal of Geographical Information Science**. v. 29. n .9, p. 1632-1648, 2105.

JIANG Bin. A Complex-Network Perspective on Alexander's Wholeness. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**. v. 463, p. 475-484, 2016.

JOHNSON, Jeffrey. Cities: Systems of Systems of Systems. *In*: PORTUGALI, Juval *et al.* (Eds.). **Complexity theories of cities have come of age: An Overview with Implications to Urban Planning and Design**. Heidelberg: Springer, 2012. p. 153- 172.

JONES, Christopher. A method of systematic design. *In*: JONES, J.C.; THORNLEY, D.G. (Eds.). **Conference on Design Methods**. Oxford: Pergamon Press, 1963.

KARIMI, Kayvan. Editorial: Special issue - Evidenced-informed and analytical methods in urban design. **Urban Design International**, v.17, n.4, p. 253-256, 2012a.

KARIMI, Kayvan. A configurational approach to analytical urban design: Space syntax methodology. **Urban Design International**, v.17, n.4, p. 297-318, 2012b.

KARIMI, Kayvan *et al.* Origin-destination weighted choice model as a new tool for assessing the impact of new urban developments. *In*: International Space Syntax Symposium, 8, 2013, Santiago, Chile. **Proceedings** [...]. Disponível em: <http://sss8.cl/proceedings.html>. Acesso em: 5 set. 2019.

KELSO, Scott; STOLK, Egbert; PORTUGALI, Juval. Self-organization and design as a complementary pair. *In*: PORTUGALI, Juval; STOLK, Egbert (Eds.). **Complexity Cognition, Urban Planning and**

**Design:** post-proceedings of the 2nd Delft International Conference. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2016. Cap.3, p. 43–53.

KIRKLEY, Alec; BARBOSA, Hugo; BARTHELEMY, Marc; GHOSHAL, Gourab. From the betweenness centrality in street networks to structural invariants in random planar graphs. **Nature Communications**, v.9, n. 2501, 2018.

KIVELA, M. *et al.* Multilayer networks. **Journal of Complex Networks**, v. 2, n. 3, p. 203–271, 2014. Disponível em: <https://academic.oup.com/comnet/article-lookup/doi/10.1093/comnet/cnu016>. Acesso em: 5 set. 2019.

KLAASEN, Ina. **Knowledge-based design:** developing urban & regional design into a science. 2003. 229p. Thesis (PhD). Technische Universiteit Delft, 2003.

KOENIG, Reinhardt. **Big Data Informed Urban Design.** Keynote at the Global Forum on Urban and Regional Resilience 15 maio 2014. Future Cities Laboratory/ ETH Zurich, 2014.

KRAFTA, Romulo. Modelling intraurban configurational development. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 21, n. 1, p. 67-82, 1994.

KRAFTA, Romulo. Urban convergence: morphology and attraction. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 23, n. 1, p. 37-48, 1996.

KRAFTA, Romulo. **On Scaling functionality in urban form.** arXiv:1311.2462 [physics.soc-ph], 2013.

KRAFTA, Romulo. **Notas de aula de morfologia urbana.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2014.

KRAFTA, Romulo; FATTORI, Rodrigo; GHENO, Patricia; PEREIRA, Mariana. Syntactic Evolution of Cities. *In: International Space Syntax Symposium*, 5, 2005, Delft. **Proceedings** [...], Delft: TU Delft, 2005. p. 473-486.

KRAFTA, R.; PORTUGALI, J.; LEMOS, J. Cognition automata and urban symbolic order. *In: IV International Conference on Design & Decision Support Systems in Arch & Urban Planning*, 1998, Maastrich. **Proceedings** [...], Maastrich, Holand: Eindhoven University of Technology, 1998.

KRÜGER, Mario Julio. An approach to built form connectivity at an urban scale: system description and its representation. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 6, p. 67–88, 1979.

KRÜGER, Mario Julio. An approach to built-form connectivity at an urban scale: relationships between built-form connectivity, adjacency measures, and urban spatial structure. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 7, n. 2, p. 163-194, 1980.

KRÜGER, Mario Julio. An approach to built-form connectivity at an urban scale: modelling the distribution of partitions and built-form arrays. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 8, n. 1, p. 41-56, 1981a.

KRÜGER, Mario Julio. An approach to built-form connectivity at an urban scale: modelling the disaggregation of built forms by types. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 8, n. 1, p. 57-72, 1981b.

KRUGER, Mario Julio. Modelos de formas construídas e desenho da cidade. *In: III Seminário sobre desenho urbano no Brasil*, Brasília, 1988.

KUHN, Thomas. **The structure of scientific revolutions.** Chicago: University of Chicago Press, 1962.

LEITNER, Helmut. **Pattern theory** - Introduction and perspectives on the tracks of Christopher Alexander. [s.l.]: CreateSpace, 2015.

LIMA, Leonardo. **Centralidades em Redes Espaciais Urbanas e Localização de Atividades Econômicas.** 2015. 164f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2015.

LONGLEY, Paul *et al.* **Sistemas e ciência da informação geográfica.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

- LOUF, Remi; BARTHELEMY, Marc. Modeling the polycentric transition of cities. **Physical Review Letters**, v. 111, n. 19, 2013.
- LYNCH, Kevin. **A imagem da cidade**. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2011 [1960].
- LYNCH, Kevin. **A boa forma da cidade**. Lisboa: Edições 70, 2010 [1981].
- LYNCH, Kevin. Reconsidering the image of the city. *In*: CARMONA, Matthew; TIESDELL, Steve (Eds.). **Urban design reader**. London: Architectural Press, 2007 [1981]. p. 108–113.
- MADANIPOUR, Ali. **Design of urban space: an inquiry into a socio-spatial process**. Chichester: J. Wiley, 1996.
- MADANIPOUR, Ali. Ambiguities of urban design. *In*: CARMONA, Matthew; TIESDELL, Steve (Eds.). **Urban design reader**. London: Architectural Press, 2007. p. 12–23.
- MANDELBROT, Benoît. **The Fractal Geometry of Nature**. Nova York, Freeman: 1983.
- MARCH, Lionel. The logic of design. *In*: CROSS, N. (Ed.). **Developments in design methodology**. Chichester: Wiley, 1984. Cap. 4.2, p. 265–276. [Original MARCH, Lionel. The logic of design and the question of value. *In*: March, L. (Ed.). The architecture of form. Cambridge University Press, 1976.]
- MARCH, Lionel; STEADMAN, Philip. **The geometry of environment: An introduction to spatial organization in design**. London: RIBA Publications, 1971.
- MARSHALL, Stephen *et al.* Street network studies: from networks to models and their representations. **Networks and Spatial Economics**, v. 18, n. 3, p. 735–749, 2018.
- MARSHALL, Stephen; ÇALIŞKAN, Olgu. A Joint Framework for Urban Morphology and Design. **Built Environment**, v. 37, n. 4, p. 409-426. 2011.
- MARSHALL, Stephen. Science, pseudo-science and urban design. **Urban Design International**, v. 17, n.4, p. 257-271, 2012.
- MARTIN, Lionel. MARCH, Lionel (Eds.) **Urban Space and Structures**, C Cambridge, England: Cambridge University Press, 1972.
- McHARG, Ian. **Design with nature**. Garden City: The American Museum of Natural History, 1969.
- MEHAFFY, Michael (Ed.). **A City is not a Tree: 50th anniversary edition**. Portland: Sustasis Press, 2015a. Edição do Kindle.
- MEHAFFY, Michael. Notes on the genesis of the wholes: “A City is not a Tree” in the larger context of Alexander’s career. *In*: MEHAFFY, Michael (Ed.). **A City is not a Tree: 50th anniversary edition**. Portland: Sustasis Press, 2015b. Edição do Kindle.
- MEHAFFY, Michael. Assessing Alexander’s Later Contributions to a Science of Cities. **Urban Science**, v. 3, n. 59, p. 1-18, 2019.
- MEILINGER, Tobias. The network of reference theory: A synthesis of graphs and cognitive maps. *In*: Freksa C. *et al.* (Eds.) **Spatial Cognition VI. Learning, Reasoning, and Talking about Space**. Berlin: Springer, 2008. p. 344-360.
- MILLER, Willian. **Introducing geodesign: The concept director of geodesign services**. Redlands: Esri Press, 2012.
- MONTGOMERY, John. Making a city: urbanity, vitality and urban design. **Journal of Urban Design**, v. 3, n. 1, p. 93–116, 1998.
- MOUDON, Anne. Urban morphology as an emerging interdisciplinary field. **Urban Morphology**, v.1, p. 3-10, 1997.
- NEWMAN, Mark; BARABÁSI, Albert-László.; WATTS, Duncan (Eds.). **The Structure and Dynamics of Networks**. New Jersey: Princeton University Press, 2006.
- NEWMAN, Mark. The structure and function of complex networks. **SIAM Review**, v. 45, n. 2, p. 167-256, 2003.



NETTO, Vinicius (Ed.). **Cidade & Sociedade: As tramas da prática e seus espaços**. Porto Alegre: Editora Sulina, 2014.

NETTO, Vinicius. O que a sintaxe espacial não é? **Arquitextos**, São Paulo, v. 14, n. 161.04, Vitruvius, out. 2013 <<https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/14.161/4916>>

NETTO, Vinicius; KRAFTA, Romulo. A forma urbana como problema de desempenho. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 11, n. 2, p. 157–180, 2009.

NICOSIA, V., BIANCONI, G., LATORA, V., BARTHELEMY, M. Growing multiplex networks. **Physical Review Letters**, v. 111, n. 5, 058701, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.111.058701>

NILSSON, Leonard; GIL, Jorge. Finding the secret formula: How can we quantitatively understand cities' growth, based on their street network structure? *In: International Space Syntax Symposium*, 11, 2017, Lisbon. **Proceedings** [...] Lisbon: Instituto Superior Técnico, 2017. p. 1-13.

OLIVEIRA, Clarice; ROVATI, João. Projeto urbano: do que estamos tratando? *In: Encontro Nacional da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura*, 4, 2016, Porto Alegre. **Anais** [...] Porto Alegre: ANPARQ, 2016. CD-ROM.

O'SULLIVAN, David Bernard. **Graph-based Cellular Automaton Models of Urban Spatial Processes**. Thesis (PhD). University College London, Bartlett Faculty of the Built Environment, London, 2000.

PAFKA, Elek; DOVEY, Kim; ASCHWANDEN, Gideon. Limits of space syntax for urban design: Axiality, scale and sinuosity. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, p. 1–15, jul. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/2399808318786512>. Acesso em 3 dez. 2018.

PAROLI, Eliziéle. **A cidade como uma rede de interconexões sociais: uma abordagem configuracional**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2019.

PASSINI, Romedi. Spatial representations, a wayfinding perspective. **Journal of Environment Psychology**, v. 4, p. 153-164, 1984.

PENN, Alan. Space syntax and spatial cognition: or why the axial line? **Environment and Behaviour**, v. 35, p.30-65, 2003.

POPPER, Karl. **Conjectures and refutations**. London: Routledge and Kegan Paul, 1963.

PORTA, Sergio; CRUCITTI, Paolo; LATORA, Vito. The network analysis of urban streets: A primal approach. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 33, n. 5, p. 705–725, 2006a.

PORTA, Sergio; CRUCITTI, Paolo; LATORA, Vito. The network analysis of urban streets: A dual approach. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 369, n. 2, p. 853–866, 2006b.

PORTA, Sergio *et al.* Street centrality and densities of retail and services in Bologna, Italy. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 36, n. 3, p. 450–465, 2009.

PORTA, Sergio *et al.* Street Centrality and the Location of Economic Activities in Barcelona. **Urban Studies**, v. 49, n. 7, p. 1471–1488, 2012.

PORTA, Sergio; ROFÈ, Yodan; VIDOLI, MariaPia. The city and the grid: building beauty at large scale *In: MEHAFFY, Michael (Ed.). A City is not a Tree: 50th anniversary edition*. Portland: Sustasis Press, 2015. Edição do Kindle.

PORTUGALI, Juval. Inter-representation networks and cognitive maps. *In: PORTUGALI, Juval (Ed.) The construction of cognitive maps*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996. p. 11-43

PORTUGALI, Juval. **Self-organization and the city**. Germany: Springer, 1999.

PORTUGALI, Juval. Complexity theory as a link between space and place. **Environment and Planning A**, v. 38, n. 4, p. 647–664, 2006.

- PORTUGALI, Juval. Complexity theories of cities: Achievements, Criticism and Potentials. *In*: PORTUGALI, Juval *et al.* (Eds.). **Complexity Theories of Cities Have Come of Age: An Overview with Implications to Urban Planning and Design**. Heidelberg: Springer, 2012. p. 47-62.
- PORTUGALI, Juval. What Makes Cities Complex? *In*: PORTUGALI, Juval; STOLK, Egbert (Eds.). **Complexity Cognition, Urban Planning and Design**: post-proceedings of the 2nd Delft International Conference. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2016. Cap.1, p. 3-19.
- PORTUGALI, J. *et al.* (Eds.). **Complexity theories of cities have come of age: An Overview with Implications to Urban Planning and Design**. Heidelberg: Springer, 2012.
- PORTUGALI, Juval; STOLK, Egbert (Eds.). **Complexity Cognition, Urban Planning and Design**: post-proceedings of the 2nd Delft International Conference. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
- RAPOPORT, Amos. **Human aspects of urban form**. Oxford: Pergamon Press, 1977.
- RATTI, Carlo. Space syntax: some inconsistencies. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 31, n. 4, p. 487-499, 2004.
- RAUBER, Alice. **Indicadores de dispersão urbana**. 2011. 112f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2011.
- RAUBER, Alice; KRAFTA, Romulo. Alexander's theories applied to urban design. **Urban Science**, Special Issue Formalizing Urban Methodologies, v. 2, n. 3, 2018.
- REYES, Paulo. **Projeto por cenários: o território em foco**. Porto Alegre: Editora Sulina, 2015.
- REYEMEN, Isabelle. **Improving design processes through structured reflection: approach, a domain-independent**. 2001. 166p. Thesis (PhD). Technische Universiteit Eindhoven, Centre for Technological Design, Eindhoven, 2001.
- RITTEL, Horst; WEBBER, Melvin. Dilemmas in a General Theory of Planning. **Policy Sciences**, v. 4, p. 155-169, 1973.
- ROMICE, Ombretta; PORTA, Sergio; FELICIOTTI, Alessandra; BARBOUR, Gordon. Masterplanning for change: Design as a way to create the conditions for time sensitive place-making. *In*: ALWAER, Husam; ILLSELY, Barbara (Eds.) **Placemaking: Rethinking the Masterplanning Process**. London: ICE Publisher, 2017. p. 195–207.
- RAPOPORT, Amos. **Human aspects of urban form**. Oxford: Pergamon Press, 1977.
- SABOYA, Renato. **Centralidade espacial: uma nova operacionalização do modelo baseada em um Sistema de Informações Geográficas**. 2001. 110f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2001.
- SALAT, Serge; BOURDIC, Loeiz. Systemic Resilience of Complex Urban Systems. On Trees and Leaves. **Journal of Land Use, Mobility and Environment**, v. 5, n. 2, p. 55–68, 2012.
- SALAT, Serge; BOURDIC, Loeiz; LABBE, Françoise. Breaking symetries and emerging scaling urban structures. **International Journal of ArchitecturI Research**, v. 8, n. 2, p. 77–93, 2014.
- SALINGAROS, Nikos. Life and complexity in architecture from a thermodynamic analogy. **Physics Essays**, v. 10, p. 165-173, 1997.
- SALINGAROS, Nikos. Urbanism as Computation. *In*: PORTUGALI, Juval *et al.* (Eds.). **Complexity Theories of Cities Have Come of Age**. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. p. 245–268.
- SALINGAROS, Nikos. **Principles of Urban Structure**. Portland: Sustasis Press, 2014 [2005].
- SCHÖN, Donald. **The Reflective Practitioner**. London: Temple-Smith, 1983.

- SEAMON, David. Christopher Alexander and a Phenomenology of Wholeness. *In: Pursuit of a living architecture: Continuing Christopher Alexander's quest for a humane and sustainable building culture.* Pontikis, K.; Rofe, Y. (Eds.) Champaign, IL, USA: Common Ground Publishing, 2016. p. 50-66.
- SEAMON, David. Christopher Alexander's Theory of Wholeness as a Tetrad of Creative Activity: The Examples of A New Theory of Urban Design and The Nature of Order. **Urban Science**, v. 3, n. 46, p. 1-13, 2019.
- SEVTSUK, Andres. Analysis and planning of urban networks. *In: ALHAJJ, R.; ROKNE, J. (Eds.). Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining.* New York: Springer, 2018.
- SHPUZA, Ermal. Allometry in the syntax of street networks: Evolution of Adriatic and Ionian coastal cities 1800-2010. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 41, n. 3, p. 450-471, 2014.
- SIMON, Herbert. **The sciences of the artificial.** Cambridge, MA: MIT Press, 1969.
- STEA, D. Architecture in the Head: Cognitive Mapping. *In: LANG, J. et al (Eds.) Designing for Human Behavior: Architecture and the Behavioural Sciences.* Stroudsburg, Dowden: Hutchinson and Ross, 1974. p. 157-168.
- STEINITZ, Carl. **A Framework for geodesign: changing geography by design.** Redlands: Esri Press, 2012.
- STRANO, Emanuele *et al.* Elementary processes governing the evolution of road networks. **Scientific Reports**, v. 2, n. 1, p. 296, 2012.
- STRANO, Emanuele *et al.* Urban street networks, a comparative analysis of ten European cities. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 40, n. 6, p. 1071-1086, 2013.
- TOMKO, Martin; WINTER, Stephan. Describing the functional spatial structure of urban environments. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 41, p. 177-187, 2013.
- WASSERMAN, Stanley; FAUST, Katherine. **Social Network Analysis: Methods and Applications.** 18th ed. New York: Cambridge University Press, 2009
- WEAVER, Warren. Science and complexity. **Am. Sci.** v. 36, n. 4, p. 536-544, 1948.
- WEST, Geoffrey. Size, scale and the boat race: conceptions, connections and misconceptions. *In: PUMAIN, Denise (Ed.) Hierarchy in Natural and Social Sciences.* Dordrecht: Springer. 2006. Chap. 3, p. 71-80.
- WIENER, Norbert. **Cybernetics: or the control and communication in the animal and the machine.** 2nd ed. Cambridge: The MIT Press, 1965 [1948].
- WINTER, Stephan *et al.* Landmark hierarchies in context. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 35, n. 3, p. 381-398, 2008.
- ZECHLINSKI, Ana Paula. **Mapeamento da ordem simbólica urbana.** 2008. 103f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2008.
- ZECHLINSKI, Ana Paula. **Configuração e práticas no espaço urbano: uma análise da estrutura espacial urbana.** Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2013.
- ZIPF, G. K. **Human Behavior and the Principle of Least Effort.** Cambridge, MA: Addison-Wesley, 1949.

## REFERÊNCIAS DOS PROJETOS DO CAP. 6

BORSCHIED, B. et al. **Tato: Sensações, conexões e empatia nas cidades médias**. In: Anais do 12º Congresso de Ciência e Tecnologia do Vale do Taquari. Lajeado: Univates, 2018, p. 219-228. ISSN: 1983-4497

GORGEN, Gustavo; POSSAMAI, Eduardo; MÜLLER, Marina; BORSCHIED, Bianca; BENDER, Maira; CAPALONGA, Marina; THEISEN, Bruna. Orientação: Marcelo Arioli Heck. Repensar Lajeado. **TATO**. Concurso Urban21 promovido pela Revista Projeto, 2018.

GUERINI, Carlo; JAEGER, Diego; GORGEN, Gustavo; KREIN, Karina; HENDGES, Carlos Eduardo; WEBER, Felipe. Orientação: Marcelo Arioli Heck. **Repensar Lajeado**. Concurso Urban21 promovido pela Revista Projeto, 2016.

KREIN, Karina. **Sistema de espaços abertos para Lajeado**. Trabalho de Conclusão de Curso II. Orientação: Alice Rauber Gonçalves. Lajeado: Univates, 2017.

SCHÖNALS, Laércia. **Plano de revitalização da orla de Lajeado**. Trabalho de Conclusão de Curso I. Orientação: Alice Rauber Gonçalves. Lajeado: Univates, 2017.

SCHÖNALS, Laércia. **Plano de revitalização da orla de Lajeado**. Trabalho de Conclusão de Curso II. Orientação: Alexandre Pereira Santos. Lajeado: Univates, 2018.

VARGAS, Greice; LAUTERT, Jaqueline; BIRDHAUSER, Cláudia; EWALD, Jonatan; SCHEIBLER, Luis Paulo. Orientação: Marcelo Arioli Heck. **Margem urbana: entre rio e cidade**. Concurso Urban21 promovido pela Revista Projeto, 2017.

## ANEXO A

### **As Quinze Propriedades**

As quinze propriedades (2002a, p.143-237) se referem a quinze maneiras como *centros* podem se ajudar uns aos outros a constituir uma inteireza, isto é, um sistema coerente. Para o autor, existe uma limitada quantidade destas propriedades, que ele acredita ser em torno de quinze – aproximadamente aquelas que ele descreve. Mas admite que poderia ser um conjunto de doze, treze ou dezesseis propriedades. O que importa é que não são apenas cinco, tampouco uma centena.

Alexander passou mais de vinte anos observando objetos, edificações e feições da natureza até identificar as características estruturais daqueles que tinham “mais vida”, isto é, mais inteireza.

Apresentá-las de forma resumida e objetiva não é tarefa fácil. Mais de cem páginas, no primeiro volume de *The Nature of Order*, são dedicadas à sua descrição, com grande quantidade de exemplos e ilustrações, e com destaque para os exemplos observáveis na natureza. Tal riqueza de explicações, ilustrações e exemplos não torna sua compreensão mais fácil, pelo contrário. Em muitos momentos elas soam redundantes, ambíguas ou evasivas. Esse anexo procura passar uma noção a respeito de cada uma delas.

#### *PROPRIEDADE 1: Centros robustos (strong centers)*

Alexander (2002a, p.144) coloca os centros robustos como uma das quinze propriedades, mas admite que essa propriedade tem um papel especial. É possível reconhecer muitos centros no mundo físico e notar que diversas estruturas físicas possuem centros marcantes. Muitos processos naturais ou sociotécnicos possuem centros de ação. Uma célula biológica, por exemplo, possui um núcleo que fornece a informação genética para a produção de proteína necessária à célula (LEITNER, 2015, p.37). Alexander apresenta também diversos exemplos arquitetônicos, destacando como pequenos detalhes são capazes de gerar centralidades, isto é, centros que se destacam em relação aos demais.

#### *PROPRIEDADE 2: Níveis de escala (levels of scale)*

Os centros de uma determinada configuração podem ser associados com centros de uma série de tamanhos que ocorrem em níveis de escala bem definidos. Em sistemas coerentes, os saltos de escala entre níveis são surpreendentemente pequenos, ocorrem na razão de 2 para 1, 3 para 1 ou 4 para 1. Se os saltos são muito maiores – por exemplo 10 para 1 ou 100 para 1, sem níveis intermediários, a coerência tende a desmoronar. Isso significa que, em estruturas coerentes, a escada de hierarquia de níveis tem degraus uniformemente espaçados, ou seja, é contínua e suave.

### *PROPRIEDADE 3: Bordas (boundaries)*

Centros fortes geralmente possuem bordas ao seu redor. Bordas são feitas de centros menores, que tem os níveis de relação de escala com os centros maiores. Essas bordas possuem duas funções principais: a) ao cercar, rodear, separar e conectar centros, auxiliam a formar um campo de força que os intensifica; b) formam uma espécie de zona de transição entre interior e exterior, muitas vezes protegendo o núcleo. Como exemplo, podemos citar a mata ciliar de um rio ou a membrana de uma célula.

### *PROPRIEDADE 4: Repetições alternadas (alternating repetition)*

Em sistemas coerentes é comum encontrar padrões que se repetem de forma rítmica. Um centro repetido intensifica o primeiro, provendo uma espécie de contraponto. Nem sempre as repetições são idênticas, usualmente possuem pequenas variações, como, por exemplo, cadeias de montanhas. Na música, por exemplo, tal recurso é bastante utilizado através de batidas repetidas que fornecem ritmo.

### *PROPRIEDADE 5: Espaço positivo (positive space)*

Em sistemas coerentes não há backgrounds, ou fundo-figura, ao invés disso, cada pedaço de espaço é coerente, bem definido; e o espaço entre os centros é também coerente e bem constituído. A positividade do espaço é difícil de definir com precisão, mas é quase como uma espécie de convexidade, ou quase-convexidade. A propriedade espaço positivo evoca a noção de complementariedade. Um bom exemplo são os espaços existentes entre as formas construídas, como as ruas e praças – espaços abertos e edificados se complementam.

### *PROPRIEDADE 6: Boa forma (good shape)*

A boa forma se refere a formas bem adaptadas às forças locais. Geralmente isso serve para otimizar a funcionalidade. A forma triangular de um veleiro, por exemplo, que se adapta ao vento.

### *PROPRIEDADE 7: Simetrias locais (local symmetries)*

Centros fortes frequentemente possuem simetrias. Simetrias perfeitas e exatas, no entanto, não contribuem tanto para aumentar a coerência. Simetrias parciais e variadas simetrias locais possuem maior efeito. Os organismos vivos são cheios de exemplos de simetrias desse tipo. Esta propriedade junta pequenos centros dentro do todo, posteriormente criando coerência.

### *PROPRIEDADE 8: Interação profunda/ ambiguidade (deep interlock/ ambiguity)*

Ocorre quando centros coerentes são “enganchados” no seu entorno, tornando difícil desembaraçar o centro do entorno. É como se fossem áreas separadas, mas com uma profunda conexão, de modo que é difícil saber onde termina uma e começa a outra, criando uma zona de ambiguidade. Ambiguidade acontece quando um subsistema pertence simultaneamente a dois sistemas sobrepostos, ou interpenetrados. É o caso do encontro de um rio com o mar, por exemplo.

### *PROPRIEDADE 9: Contraste (contrast)*

Muitos sistemas naturais obtêm sua organização e energia a partir da interação de opostos: macho e fêmea, dia e noite, claro e escuro, sólido e líquido, etc, que muitas vezes podem ser entendidos como complementares.

### *PROPRIEDADE 10: Gradientes (gradients)*

Centros são gerados e enfraquecidos por gradientes, isto é, variações graduais, de tamanhos, distâncias, intensidades ou características. Assim, qualquer qualidade que varia sistematicamente, produzirá um gradiente, e este gradiente, apontando para um particular centro, ajuda a construir e intensificar sua coerência – muito mais do que mudanças abruptas.

### *PROPRIEDADE 11: Rugosidade (roughness)*

Rugosidade, ou irregularidade, aparece de forma generalizada na natureza. Isso parece ser o resultado da interação entre ordem bem-definida e constrangimentos do espaço tridimensional. As ondas do mar, por exemplos, são todas muito parecidas umas com as outras, mas cada onda é diferente por causa de variações nos ventos, na velocidade e configuração do sistema de ondas próximo. (Alexander, 2002a, p.278).

Assim, centros similares são diferentes de acordo com o contexto, permitindo que cada parte se adapte aos constrangimentos geométricos em volta dela, e, dessa forma, modificando detalhes de uma estrutura repetitiva. Texturas e imperfeições são geradas, e, em parte, criam a possibilidade de verdadeira singularidade e vida. Essa propriedade, portanto, também diz respeito à individualidade, isto é, não há dois objetos idênticos na natureza.

### *PROPRIEDADE 12: Ecos (echoes)*

Essa propriedade diz respeito às similaridades entre centros, isto é, como se fossem ecos. São formas que se parecem umas com as outras. Processos naturais sob condições similares resultam em certa similaridade de ângulos, cores e proporções, embora as formas não sejam idênticas. São formas que costumam ser percebidas como de uma mesma “família”, como, por exemplo, as montanhas ou os pássaros.

### *PROPRIEDADE 13: O vazio (the void)*

Um tipo particular de centro, que, por vezes, é muito profundo, é o vazio, ou seja, um espaço aberto. Essa propriedade é frequentemente associada com calma, paz ausência de estruturas e um senso de liberdade. O vazio é necessário, gera uma calma que confere energia aos centros, isto é, fortalece o que há envolta dele. A nave de uma catedral, por exemplo.

### *PROPRIEDADE 14: Simplicidade/ calma interior (simplicity/ inner calm)*

Essa qualidade surge quando tudo que é desnecessário é removido, diz respeito à simplicidade. As configurações mais simples podem, às vezes, criar o efeito de otimização, o que, por sua vez, pode ser associado a economia de recursos e energia. Alexander também associa essa propriedade com calma ou paz interior.

Simplicidade muitas vezes é uma característica importante em obras de arte e peças de design.

### *PROPRIEDADE 15: Não-separação (not-separateness)*

A última propriedade é a não-separação, ou, em um sentido mais direto, a conectividade. Nenhum centro coerente é separado dos outros centros ao redor dele. Pelo contrário, é profundamente conectado, de modo que vários centros se fundem uns aos outros e se tornam inseparáveis.

Essa propriedade é especial em relação às outras. Não há nada que seja completamente isolado, pois cada centro sempre é parte de uma entidade maior.



## ANEXO B

### Medidas de diferenciação espacial

#### ACESSIBILIDADE

A medida de acessibilidade mede a proximidade de cada vértice a todos os demais. A acessibilidade ( $A_i$ ) de um vértice é calculada pelo somatório dos inversos das distâncias a todos os demais, sendo que a distância entre cada par ( $d_{ij}$ ) é computada em número de passos topológicos pelo menor caminho possível. Existem outras formas de computar distâncias, como, por exemplo, em unidades métricas, mas aqui serão utilizados passo topológicos. No exemplo abaixo, o vértice de número 3 é o mais acessível ( $A_3= 4,00$ ), ou seja, é o que está mais próximo dos demais, seguido do vértice 5 ( $A_5= 3,83$ ) e assim por diante.

$$A_i = \sum_{j=0}^n d_{ij}^{-1}$$

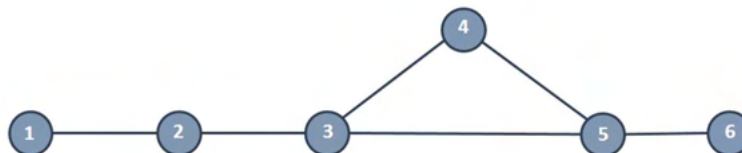


Figura 1 - Exemplo de grafo para o cálculo da medida de acessibilidade.

	1	2	3	4	5	6
1		1	1/2	1/3	1/3	1/4
2	1		1	1/2	1/2	1/3
3	1/2	1		1	1	1/2
4	1/3	1/2	1		1	1/2
5	1/3	1/2	1	1		1
6	1/4	1/3	1/2	1/2	1	
Total	2,42	3,33	4,00	3,33	3,83	2,58
Ranking	6º	3º/4º	1º	3º/4º	2º	5º

Tabela 1 - Exemplo de cálculo da medida de acessibilidade

## CENTRALIDADE F-K

Essa medida é inspirada na centralidade *betweenness* (FREEMAN, 1977, 1979), também chamada de centralidade por perpasso. A ideia básica da centralidade por perpasso é que um nó é considerado central quando for perpassado por uma grande quantidade dos caminhos mínimos que conectam todos os pares de nós possíveis. Em outras palavras, os nós que mais frequentemente fazem parte do caminho mínimo entre outros recebem os valores mais altos.

A centralidade Freeman-Krafta, proposta por Krafta (1994), possui a mesma lógica de cálculo da medida de Freeman, mas leva em conta as distâncias entre os pares de nós e seus atributos. A medida original de Freeman computa o mesmo valor, 'um' (1), para todos os nós que estão no caminho, não importando o tamanho do caminho. A centralidade F-K considera que existe uma tensão entre cada par de nós, e que essa tensão é dissipada ao longo do caminho, de modo que em pares com nós mais distantes a tensão seja diluída ao longo do caminho. Se não forem atribuídos valores aos vértices, o resultado da centralidade F-K é semelhante ao da centralidade por perpasso. Por outro lado, ao operar sobre grafos valorados, os resultados ficam diferentes, representando melhor a noção de centralidade enquanto intensidade de vida urbana.

A medida é operacionalizada da seguinte forma:

1º) Para cada par de vértice é calculada a tensão ( $t_{ij}$ ), dada pela razão entre os atributos de cada nó. Quando não há atributos o *software* computa valor 1. A centralidade de cada entidade é calculada pelo somatório das frações de tensão de cada nó.

$$t_{ij} = a_i a_j$$

2º) Calcula-se a dissipação ( $k$ ), isto é, a fração da tensão distribuída a cada nó que faz parte do caminho mínimo daquele par, incluindo o próprio par. A distância ( $d$ ) aqui é computada em número de passos topológicos pelo menor caminho possível e para efeitos de cálculo é somado sempre o valor 1.

$$k = \frac{t_{ij}}{d + 1}$$

3º) Finalmente, a centralidade F-K de cada nó ( $C_i$ ) é o somatório dessas frações de tensão ( $k$ ).

$$C_i = \sum_{i,j}^n (k)$$

Os exemplos a seguir demonstram o método de cálculo. A tabela xx mostra o cálculo da medida de centralidade sem levar em conta os atributos dos vértices. Nesse caso a tensão sempre é igual a 1. A tabela xx, por outro lado, mostra o mesmo cálculo considerando os atributos, de modo que a tensão varie conforme o par.

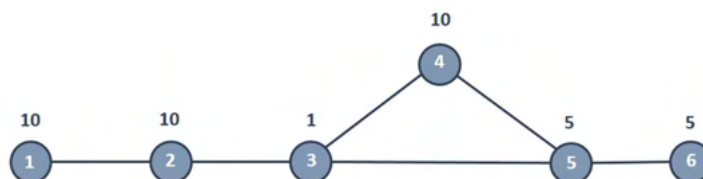


Figura 2 - Exemplo de grafo para o cálculo da medida de centralidade, incluindo atributos para cada

vértice.

par	tensão (t)	caminho mínimo	d + 1	tensão distribuída (k)		vértices						
						1	2	3	4	5	6	
1 - 2	1	1 - 2	2	1/2	0,50	0,50	0,50					
1 - 3	1	1 - 2 - 3	3	1/3	0,33	0,33	0,33	0,33				
1 - 4	1	1 - 2 - 3 - 4	4	1/4	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25			
1 - 5	1	1 - 2 - 3 - 5	4	1/4	0,25	0,25	0,25			0,25		
1 - 6	1	1 - 2 - 3 - 5 - 6	5	1/5	0,20	0,20	0,20			0,20	0,20	
2 - 3	1	2 - 3	2	1/2	0,50		0,50	0,50				
2 - 4	1	2 - 3 - 4	3	1/3	0,33		0,33	0,33	0,33			
2 - 5	1	2 - 3 - 5	3	1/3	0,33		0,33	0,33		0,33		
2 - 6	1	2 - 3 - 5 - 6	4	1/4	0,25		0,25	0,25		0,25	0,25	
3 - 4	1	3 - 4	2	1/2	0,50			0,50	0,50			
3 - 5	1	3 - 5	2	1/2	0,50			0,50		0,50		
3 - 6	1	3 - 5 - 6	3	1/3	0,33			0,33		0,33	0,33	
4 - 5	1	4 - 5	2	1/2	0,50				0,50	0,50		
4 - 6	1	4 - 5 - 6	3	1/3	0,33				0,33	0,33	0,33	
5 - 6	1	5 - 6	2	1/2	0,50					0,50	0,50	
<b>Total</b>						<b>1,53</b>	<b>2,95</b>	<b>3,78</b>	<b>1,92</b>	<b>3,20</b>	<b>1,62</b>	
<b>Ranking</b>						<b>6°</b>	<b>3°</b>	<b>1°</b>	<b>4°</b>	<b>2°</b>	<b>5°</b>	

Tabela 2 - Exemplo de cálculo da medida de centralidade F-K sem levar em conta os atributos dos vértices.

par	tensão (t)		caminho mínimo	d + 1	tensão distribuída (k)		vértices						
							1	2	3	4	5	6	
1 - 2	10*10	100	1 - 2	2	100/2	50,00	50,0	50,0					
1 - 3	10*1	10	1 - 2 - 3	3	10/3	3,33	3,3	3,3	3,3				
1 - 4	10*10	100	1 - 2 - 3 - 4	4	100/4	25,00	25,0	25,0	25,0	25,0			
1 - 5	10*5	50	1 - 2 - 3 - 5	4	50/4	12,50	12,5	12,5	12,5		12,5		
1 - 6	10*5	50	1 - 2 - 3 - 5 - 6	5	50/5	10,00	10,0	10,0	10,0		10,0	10,0	
2 - 3	10*1	10	2 - 3	2	10/2	5,00		5,0	5,0				
2 - 4	10*10	100	2 - 3 - 4	3	100/3	33,33		33,3	33,3	33,3			
2 - 5	10*5	50	2 - 3 - 5	3	50/3	16,67		16,7	16,7		16,7		
2 - 6	10*5	50	2 - 3 - 5 - 6	4	50/4	12,50		12,5	12,5		12,5	12,5	
3 - 4	1*10	10	3 - 4	2	10/2	5,00			5,0	5,0			
3 - 5	1*5	5	3 - 5	2	5/2	2,50			2,5		2,5		
3 - 6	1*5	5	3 - 5 - 6	3	5/3	1,67			1,7		1,7	1,7	
4 - 5	10*5	50	4 - 5	2	50/2	25,00				25,0	25,0		
4 - 6	10*5	50	4 - 5 - 6	3	50/3	16,67				16,7	16,7	16,7	
5 - 6	5*5	25	5 - 6	2	25/2	12,50					12,5	12,5	
<b>Total</b>							<b>100,8</b>	<b>168,3</b>	<b>127,5</b>	<b>105,0</b>	<b>110,0</b>	<b>53,3</b>	
<b>Ranking</b>							<b>5°</b>	<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>	<b>4°</b>	<b>6°</b>	

Tabela 3 - Exemplo de cálculo da medida de centralidade F-K levando em conta os atributos dos vértices.

## POLARIDADE

A medida de polaridade possui o mesmo método de cálculo da centralidade F-K. A diferença é que enquanto a centralidade F-K computa as tensões para todos os pares de vértices possíveis, a polaridade computa apenas pares com atividades complementares – que podemos pensar como *demanda e oferta*. Assim, para a medida funcionar é necessário que os atributos nos vértices sejam especificados como demanda ou como oferta.

Um mesmo vértice pode conter tanto atributos de demanda como de oferta, como é o caso dos vértices 2 e 6 no exemplo a seguir.

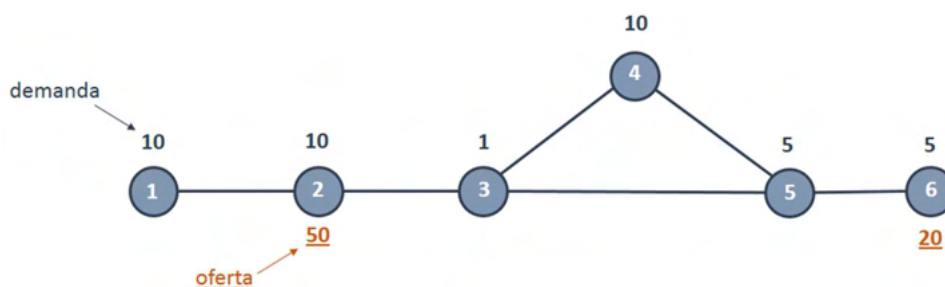


Figura 3 - Exemplo de grafo para o cálculo da medida de polaridade, incluindo atributos de oferta e demanda.

par	tensão (t)		caminho mínimo	d + 1	tensão distribuída t/(d+1)		vértices							
							1	2	3	4	5	6		
1 - 2	10*50	500	1 - 2	2	500/2	250,00	250,0	250,0						
1 - 6	10*20	200	1 - 2 - 3 - 5 - 6	5	200/5	40,00	40,0	40,0	40,0			40,0	40,0	40,0
2 - 6	10*20	200	2 - 3 - 5 - 6	4	200/4	50,00		50,0	50,0			50,0	50,0	50,0
3 - 2	1*50	50	3 - 2	2	50/2	25,00		25,0	25,0					
3 - 6	1*20	20	3 - 5 - 6	3	20/3	6,67			6,7			6,7	6,7	6,7
4 - 2	10*50	500	4 - 3 - 2	3	500/3	166,67		166,7	166,7	166,7				
4 - 6	10*20	200	4 - 5 - 6	3	200/3	66,67				66,7	66,7	66,7	66,7	66,7
5 - 2	5*50	250	5 - 3 - 2	3	250/3	83,33		83,3	83,3			83,3		
5 - 6	5*20	100	5 - 6	2	100/2	50,00						50,0	50,0	50,0
6 - 2	5*50	250	6 - 5 - 3 - 2	4	250/4	62,50		62,5	62,5			62,5	62,5	62,5
<b>Total</b>							290,0	677,5	434,2	233,3	359,2	275,8		
<b>Ranking</b>							<b>4°</b>	<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>6°</b>	<b>3°</b>	<b>5°</b>		

Tabela 4 - Exemplo de cálculo da medida de polaridade

## MEDIDAS RELATIVAS

Tendo em vista as necessidades surgidas ao longo da pesquisa, de comparar sistemas de diferentes tamanhos e de realizar operações algébricas entre os resultados (mapas de diferença percentual), tornou-se necessário, por vezes, relativizar os resultados absolutos obtidos através das medidas de acessibilidade, centralidade e polaridade.

A seguir são apresentadas as fórmulas de cada medida relativa:

- Medida Relativa 1: normaliza pelo tamanho do sistema, sendo N o número de nós
- Medida Relativa 2: coloca os resultados em escala de 0 a 1 – Reescalonamento entre 0 e 1
- Medida Relativa 3: percentual do total

**A = Acessibilidade absoluta calculada pelo algoritmo**

$$AR1 = \text{Acessibilidade Relativa 1: } AR1 = \frac{A_i}{(N-1)}$$

$$AR2 = \text{Acessibilidade Relativa 2: } AR2 = (A_i - A_{\text{mín.}})/(A_{\text{máx.}} - A_{\text{mín.}})$$

$$AR3 = \text{Acessibilidade Relativa 3: } AR3 = A_i * 100 / (\sum A_{ij})$$

**C = Centralidade absoluta calculada pelo algoritmo**

$$CR1 = \text{Centralidade Relativa 1: } CR1 = 2 * \frac{C_i}{(N^2 - 3N + 2)}$$

$$CR2 = \text{Centralidade Relativa 2: } CR2 = (C_i - C_{\text{mín.}})/(C_{\text{máx.}} - C_{\text{mín.}})$$

$$CR3 = \text{Centralidade Relativa 3: } CR3 = C_i * 100 / (\sum C_{ij})$$

**P = Polaridade absoluta calculada pelo algoritmo**

$$PR1 = \text{Polaridade Relativa 1: } PR1 = 2 * \frac{P_i}{(N^2 - 3N + 2)}$$

$$PR2 = \text{Polaridade Relativa 2: } PR2 = (P_i - P_{\text{mín.}})/(P_{\text{máx.}} - P_{\text{mín.}})$$

$$PR3 = \text{Polaridade Relativa 3: } PR3 = P_i * 100 / (\sum P_{ij})$$

OBS. 1: As medidas relativas 1 e 3 foram calculadas manualmente com auxílio do Excel, enquanto a 2 foi feita diretamente com função linear do algoritmo *Rescale* no ArcMap.

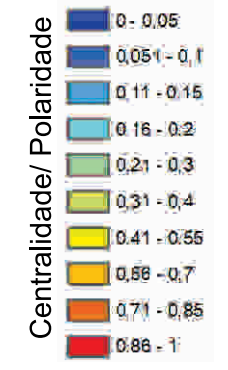
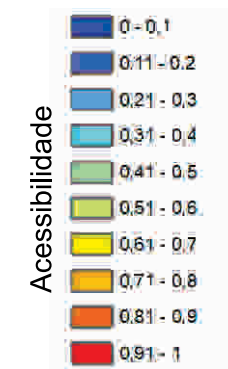
OBS. 2: A medida de polaridade deveria ter sido relativizada levando-se em conta os pesos, isto é, atributos de uso do solo, além do tamanho do sistema. Porém, não há relatos na literatura de como fazer isso, portanto, acabou se utilizando as mesmas fórmulas da centralidade.

## ANEXO C

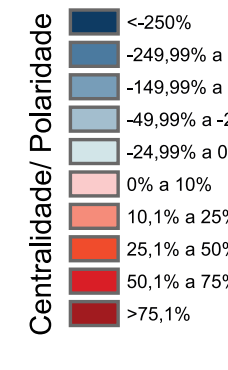
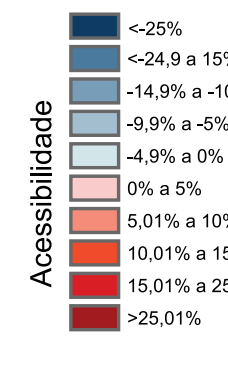
### **Resultados do capítulo 5**



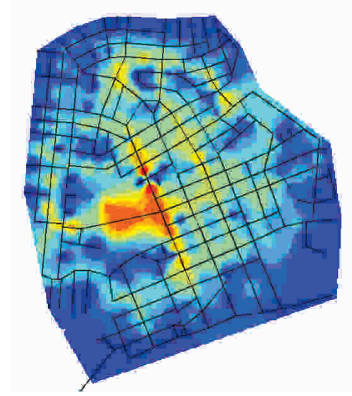
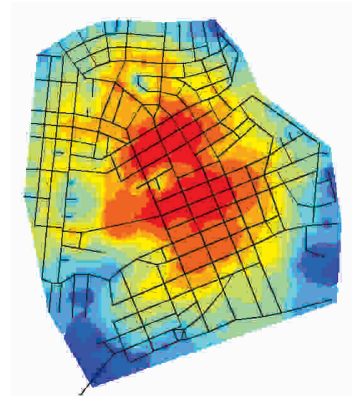
Resultados absolutos normalizados entre 0 e 1



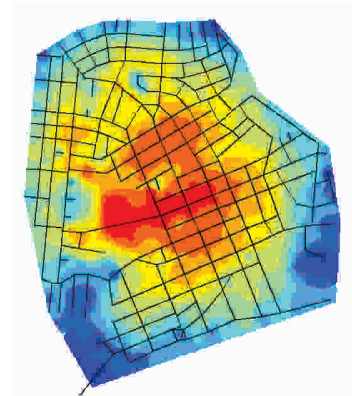
Diferença percentual (%)



RUAS

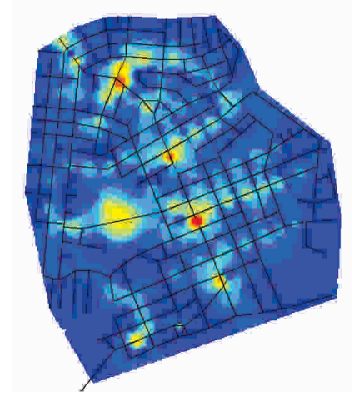
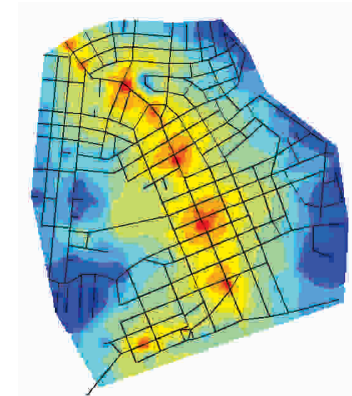


RUAS + PRAÇAS

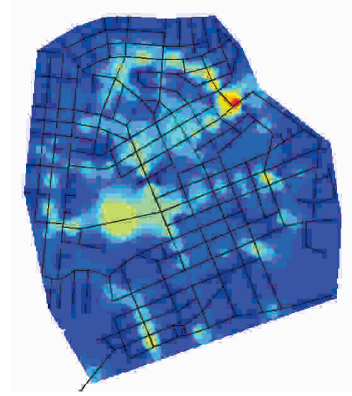
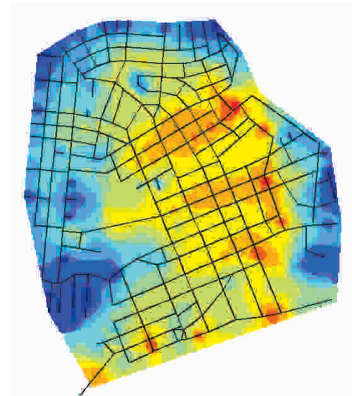


RUAS + TRANSPORTE

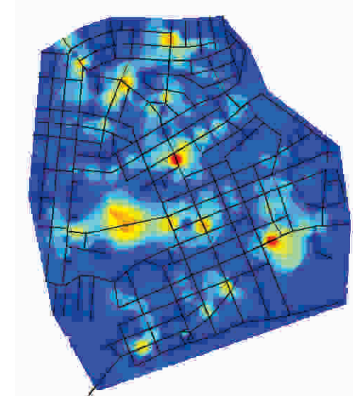
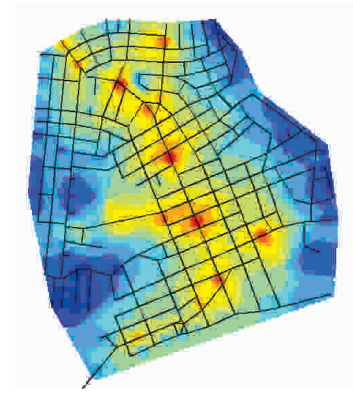
Linha 1



Linha 4

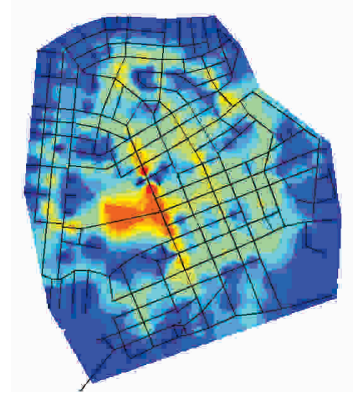
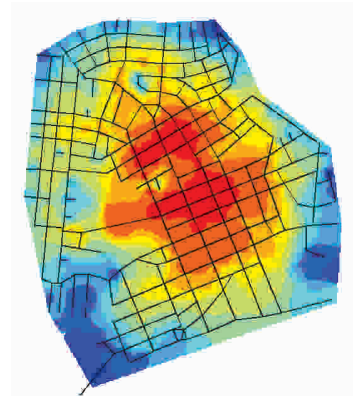


Linhas 1, 2 e 3

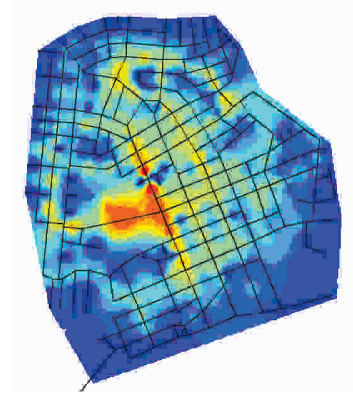
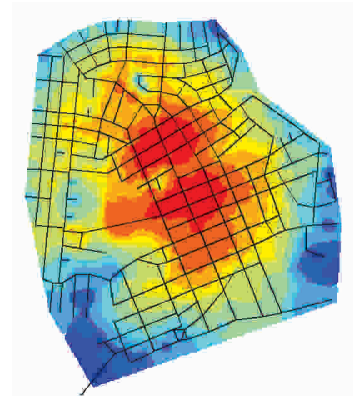


RUAS + CICLOVIAS

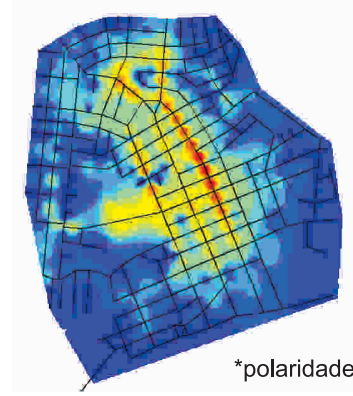
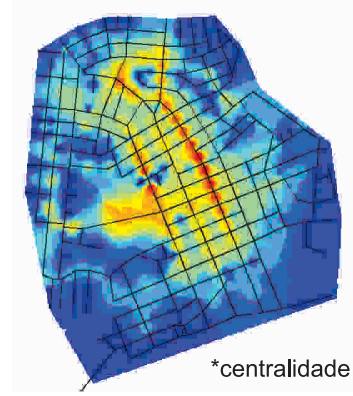
Ciclovía 1



Ciclovía 2

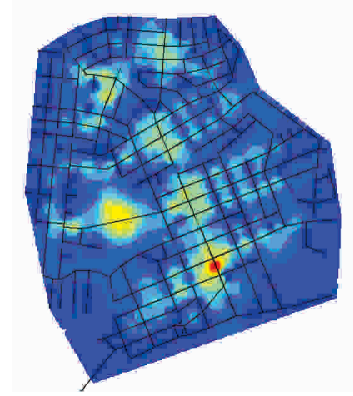
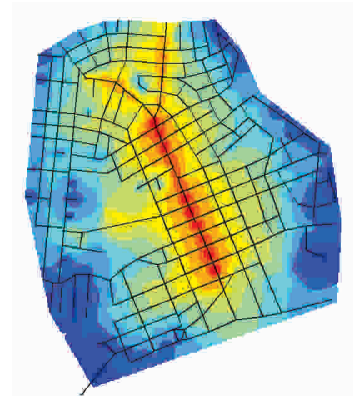


RUAS + USO DO SOLO

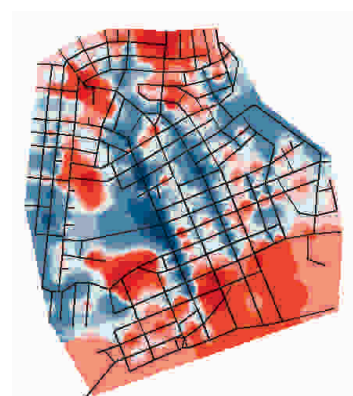
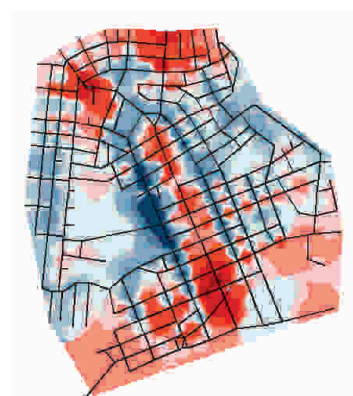
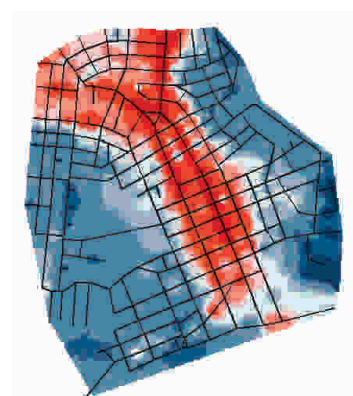
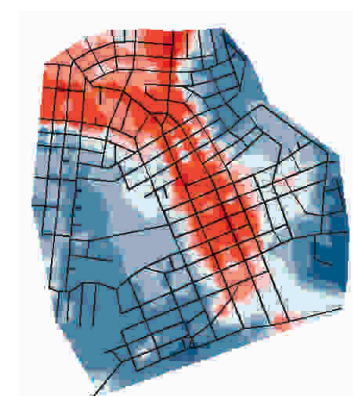
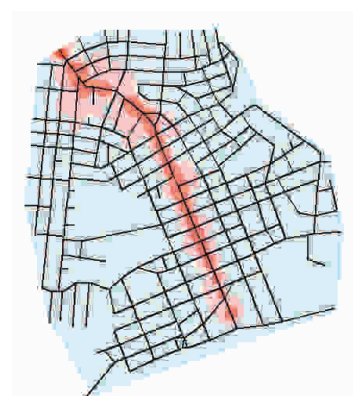
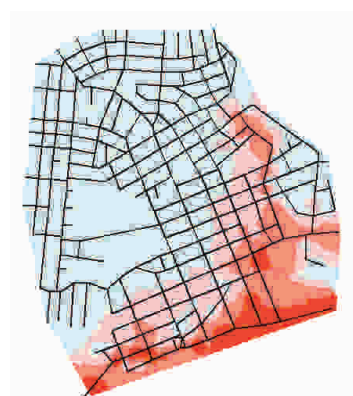
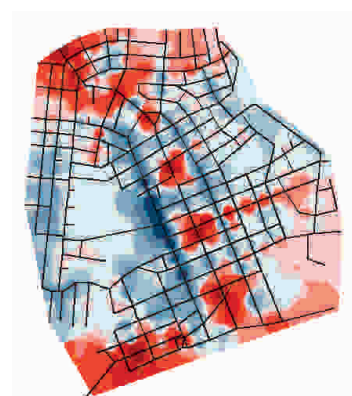
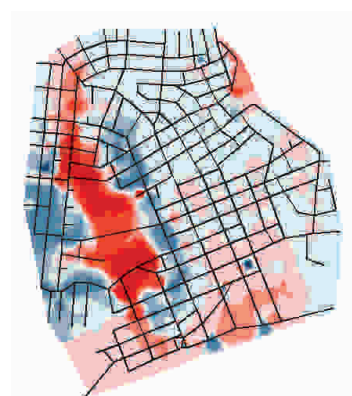
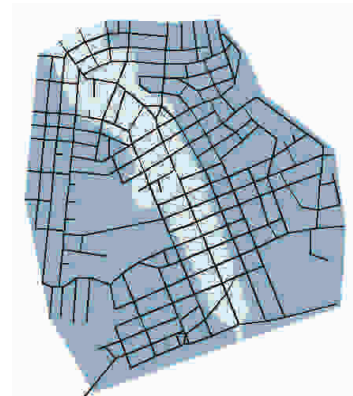
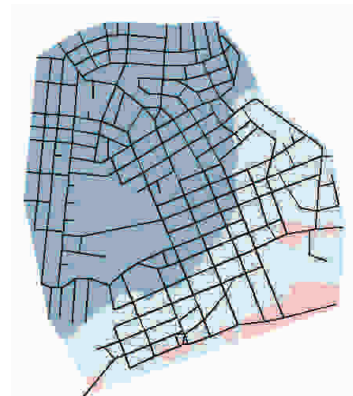
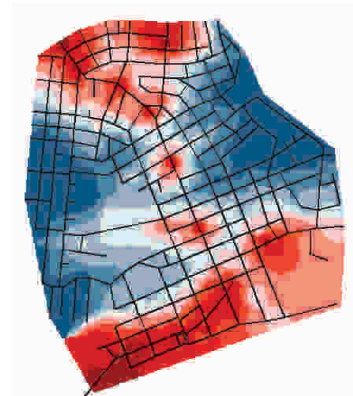
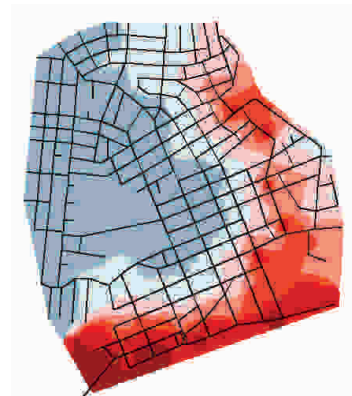
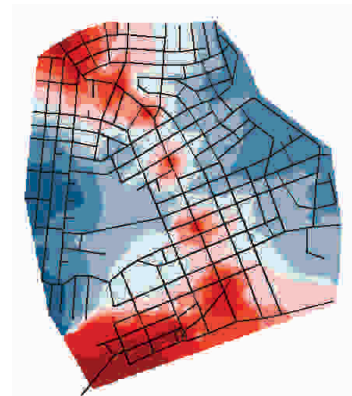
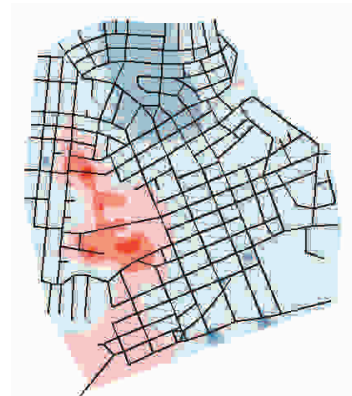
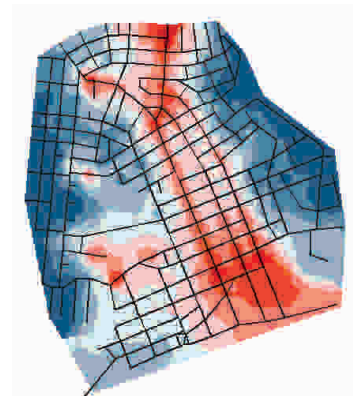
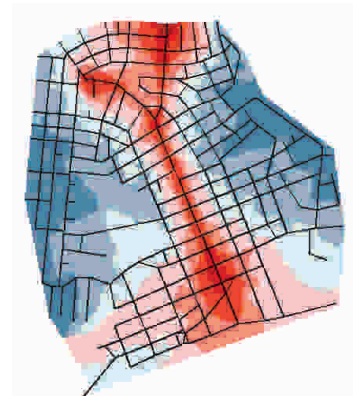
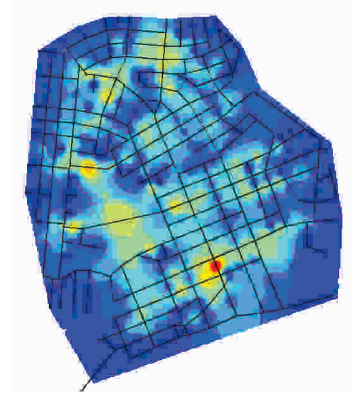
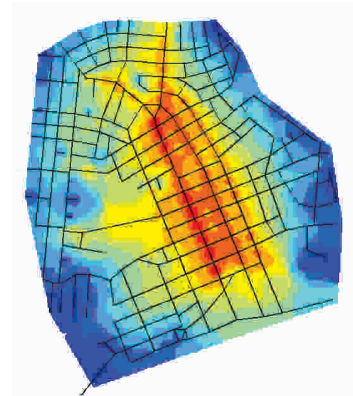


RUAS + COGNIÇÃO

Apenas 'Y'



Mapa mental completo





## ANEXO D

**Artigo publicado em periódico<sup>1</sup> e métricas obtidas na plataforma ResearchGate<sup>2</sup>**

---

<sup>1</sup> RAUBER, Alice; KRAFTA, Romulo. Alexander's theories applied to urban design. **Urban Science**, Special Issue Formalizing Urban Methodologies, v. 2, n. 3, 2018.

<sup>2</sup> <https://www.researchgate.net/> Acesso em 11.09.2022





Article

# Alexander's Theories Applied to Urban Design

Alice Rauber \* and Romulo Krafta

Graduate Program on Urban and Regional Planning, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre 90.050-170, Brazil; krafta@ufrgs.br

\* Correspondence: alicerauber@hotmail.com; Tel.: +55-51-33083145

Received: 6 August 2018; Accepted: 8 September 2018; Published: 12 September 2018



**Abstract:** Christopher Alexander has presented key concepts, such as wholeness, centres, and harmony-seeking computations, related to the coherence reached by a system. Wholeness is the global structural character of a given configuration existing in space. According to Alexander, wholeness is measurable although we do not have a mathematical language to describe it yet. Some authors have proposed a network perspective to address this problem. However, it is still poorly developed. This paper discusses how to improve the network approach already suggested in the literature. The aim is contributing to the debate on how to operationalise Alexander's theories through a network perspective. We check out different descriptive systems and different centrality measures, which can be used to reveal the spatial relationship between urban entities and its hierarchy. The main conclusion is that centrality measures seem to offer an opportunity to get closer to Alexander's concepts. However, a key point to move forward is a deeper investigation on how to describe the urban elements, how to identify spatial differentiation, and how to visualize the results. The relevance of such kind of research is the possibility of using those insights as analytical methods for supporting urban design.

**Keywords:** wholeness; harmony-seeking computations; urban design; centrality measures; urban network analysis; graph-based approach

## 1. Introduction

The relationship between urban design and science has always been highly debatable [1–4]. Using analytical methods in urban design has been a challenging question since they do not easily become part of the process [5,6]. Despite the difficulties, several authors claim that urban design should be more evidence-based [7–10], especially because of the increasing availability of data for cities and analytical tools, which opens up the possibility of a science of cities [11,12].

In such a context, it is worthy to review some of the Christopher Alexander's theories. He is an architectural theorist pioneer in trying to find out better ways to design. Since the 1960's, he has been outlining a theory of built space design that seeks to overcome the architectural/urban production as something conceived purely in arbitrary and subjective terms. Although he is best known by his seminal work *A Pattern Language* [13], the focus here relies on the theories presented in *The Nature of Order* [14], and related work [15,16]. In his recent work [14–16], Alexander has proposed very instigating theories about the harmony and beauty seen in natural and man-made artefacts, although his concepts remain very hard to grasp and difficult to translate to practical applications. Here we try to bring such concepts closer to a science-based urban design development. First, we briefly introduce the main theories.

Wholeness is the central concept in recent Alexander's work [14–16]. It can be defined as a global structural character of a given configuration existing in space, both in natural and man-made things. Alexander also calls it a living structure because it emerges from an incremental process. He argues

that everything has some degree of life. Of course, he refers to non-biological sense. His meaning for life is more related to coherence and harmony.

Wholeness structure is composed of primary entities called centres. Those centres support and intensify each other through the repeated occurrence of fifteen geometric properties: levels of scale, strong centers, boundaries, alternating repetition, positive space, good shape, local symmetries, deep interlock and ambiguity, contrast, gradients, roughness, echoes, the void, simplicity and inner calm, and not-separateness. Such properties describe how the centres interact with each other. Properties help to increase the coherence and the strength of any given centre and to generate new ones. Alexander believes that the fifteen properties play a major role in making the wholeness of a system, because of the recurrence of them in all the coherent systems observed by him through many decades.

Wholeness is, therefore, a recursively defined structure composed of centres, which in turn are composed of other centres. The successive application of transformations, in other words, computations, based on the fifteen properties lead to the formation of living structures. Such a process is harmony-seeking or wholeness-extending oriented [16] since it seeks to preserve the previous structure. However, it only happens when transformations are based on the fifteen properties [16].

As we can note, the idea of wholeness addresses the underlying structure of systems, namely its hidden quality. The existence of sub-structures—the centres and the sub-centres—addresses a scaling hierarchy. Such understanding helps to bring design process closer to a complex sciences approach. According to Alexander [15], scientists who study biology and physical phenomena, for example, are passive in regards to the aspect of creation. The architects, on the other hand, are key proponents, whose project errors interfere in the lives of many people so they should be aware of the design process. Therefore, the creation of complex structures—which is the case of architecture and urbanism—should become an important scientific topic. Alexander suggests that aesthetic plays a key role in the co-evolution of complex systems since the transformations that lead to the emergence of harmony and beauty in nature obey universal rules—the 15 properties. If it is true, such a process should be understood in order to be applied to the design process.

Finally, Alexander [14–16] argues that wholeness, namely the degree of life of a given configuration, is measurable since the properties can be objectively observed and described. However, the author himself admits that we still do not have a mathematical language or a computational method to achieve this. According to Alexander [14] (pp. 364–367), although the measurement of wholeness relies necessarily on the human observer, it is not just a cognition problem, but something objective that exists in space. The author admits that we need a more objective and mathematical way to support the task of measuring wholeness in spite of his deep concern for human intuition, especially when analysing complex artefacts such as cities and building. He proposes a new research agenda to operationalise the harmony-seeking process [16].

Therefore, the main challenge would be to establish some way of describing and modelling the harmony-seeking process, the fifteen properties and the idea of wholeness. A reduced number of authors [17–20] have attempted to embark on the path outlined by Alexander. Salingaros [17] have suggested the first mathematical treatment for the degree of life. His measures are quite simple and present some limitation that indeed was highlighted by Alexander [14] (pp. 469–472). Ekinoglu and Kubat [20] and Jiang [18,19] have proposed interesting methods for measuring wholeness, the former based on entropy measure and the latter based on a complex network approach.

In line with Jiang's research, this paper discusses the possibilities and drawbacks of operationalizing Alexander's concepts from a network analysis perspective. We argue that there are much more possibilities to explore towards a configurational approach than previously exposed by Jiang [18,19]. We emphasize that a network approach is just one of the possible ways to explore Alexander's ideas. Obviously, there is a diversity of possible approaches, although in a reduced number of scientific papers, as we have just referred to above.

The aim of this paper is contributing to the discussion of how to operationalise the harmony-seeking and centering process based on network analysis. This kind of research is important

because it can lead to the development of a tool for assessing wholeness, in other words, a tool for supporting urban design decisions.

Firstly, we attempt to bring Alexander's theories closer to an urban design context. Moreover, we attempt to bring it closer to an urban network perspective since we are concerned about configurational issues of urban design. Then, we highlight the diversity of spatial network analysis available in the field of urban configurational studies. It is illustrated with a case study, where we apply network modelling methods. Finally, we discuss possibilities of increasing the potentialities of a network approach to operationalising Alexander's concepts. The paper concludes with the main drawbacks, challenging issues, and possibilities for future research.

## 2. Bringing Alexander's Concepts to an Urban Design Context

Alexander's theories, as previously exposed, are too abstract and generic to be straightforwardly applicable to urban design processes, or any kind of design process at all. Consequently, some interpretation is required, especially if we are committed to operationalizing measures. In order to make his concepts more concrete, we assume some delimitation.

The first one is to discuss wholeness and the properties within an urban design realm. In fact, urban design is still a broad field to deal with, since it covers a wide range of scales and aspects. Seen in these terms, urban design can embrace small details from streetscape, buildings typology, green areas and activities distribution, networks of infrastructures and even entire cities—to cite just a few examples. Fortunately, the broadness of Alexander's work is not limited to a single scale. However, dealing with such a wide range of scales would be impossible. Thus, the scale addressed in the present study is the whole city scale, in other words, the urban planning scale. Defining a scale makes it easier to define what are the sub-components of the system, namely, the centres. If we are considering a city as the whole system, we can define the streets and built forms as the primary elements. Streets and buildings are precisely the key features in the structuring of urban morphology at this scale.

Several studies have shown that the configuration of the streets is a primary aspect in the structuring and dynamics of the cities and it has been explored extensively through a network approach in the urban configurational studies [21–25]. Thus, the interconnectedness of the streets can be considered one of the most important aspects of the urban design in the scale we are addressing here. Similarly, the built forms can be considered as connected elements. Together with streets, buildings also contribute to give rise and to support the global character of the urban structure. Put it in other words, the built forms are as important as the street network, although studies attempting to include built forms are scarcer in the literature in the urban configurational literature [26–28].

The main aspect we focus on is the configuration of the core elements of the urban structure: street and built forms. We are concerned about how the spatial elements connect to each other, as typically approached in configurational studies. Thus, we assume an urban network approach, in which the streets and built elements play a major role. Graphs are the principal mathematical language to describe properties of connected components [29,30]. Moreover, graph theory has been broadly used in urban studies [6,21,23–28,31–36]. This kind of work can be considered a particular field of urban morphology as it essentially addresses the configuration and the relationship between urban components. The main advantage is that the network properties of urban components can be mathematically manageable. In this sense, we argue here that this well-established research field can be useful to operationalise some of Alexander's abstract concepts.

Besides, Alexander's recent theories are very suggestive of a network approach. According to Alexander, the degree of life of a given centre is defined not by the centre itself but by its position in the entire field of centres [14] (p. 459). The author gives us others clues that make us believe that a network approach seems to capture the fundamental idea of wholeness and degree of life. Alexander suggests that each centre—as a bit of geometry in the space—affects and changes the other centres [14] (p. 415).

Another bridge between Alexander's theories and a network approach is the scale-free property [19]. Some complex networks present far more less-connected elements than well-connected ones so that their degree of connectivity reveal a power law distribution. It is called a scale-free network [37]. Such property also has already been explored in urban studies [25,32,33,35,36]. The underlying structure and scaling hierarchy of artefacts are some of the key points in Alexander's theory, as previously exposed. In this sense, the network approach used in urban systems studies may be helpful to achieve it.

Finally, a network perspective on Alexander's wholeness has already been suggested [18,19]. Jiang defines wholeness as a hierarchical graph, in which centres are described as nodes and their relationships as links. The author suggests a mathematical model for wholeness, in which: (a) PageRank score can measure the degree of life for each centre, and (b) ht-index [38] can characterize the degree of wholeness for the whole system. PageRank (PR) score is an algorithm used to measure the centrality of websites. Jiang [18] applies it to measure the centrality of nodes in order to capture the hierarchy of the components. Ht-index is based on head/tails breaks, which is a clustering algorithm for data with heavy-tail distribution. It can be used for classification and visualization of data, helping to characterize the levels of scale. Values are ranked in decreasing order and broken down by the average. Those above the average constitute the head and those below are the tail. This breaking process continues recursively for the head until the notion of far more small things is no longer present. Thus, ht-index can be defined as "the number of times that the scaling pattern of far more small things than large ones recurs" [38] and can be used for comparing different systems.

The main problem in using PR is that it grasps only one characteristic of urban structure and it is not clear whether it is the best way to capture hierarchy. In fact, it is not clear if there is a better way to capture hierarchy since there are several different methods to measure urban centrality and obtain spatial differentiation. Besides, each centrality measure reveals different distribution patterns [33–35]. Therefore, many measures other than PR could be used to identify hierarchy in a graph.

In this paper, we assume that Jiang's suggestion is true, and that network analysis can bring a suitable mathematical language for dealing with Alexander's insights. In the following sections, we discuss possibilities of improving such approach, considering the diversity of techniques in urban configurational studies unexplored to the task of measuring wholeness.

### 3. Urban Configurational Studies

Typically, urban configurational studies use discrete components to represent the urban system, so that each component correspond to nodes and their connection links in a graph. There are three types of criteria used to define the discrete components [39]: (a) preservation of geographic features, (b) maximum morphological units, and (c) minimum morphological units. In Figure 1, we can see one example of each criterion: (a) intersections, which preserves geographic features—distances between nodes; (b) axial lines, as maximum morphological units; (c) street segments, as minimum morphological units of streets network.

The first one "a" is useful when Euclidean distances are important, because the corresponding graph is equal to the map, as we can see in Figure 1. This kind of representation is also known as a primal approach [33,34]. Both "b" and "c" are known as a dual approach [35] since the graph is different from the map. In this case, Euclidean distances are deformed.

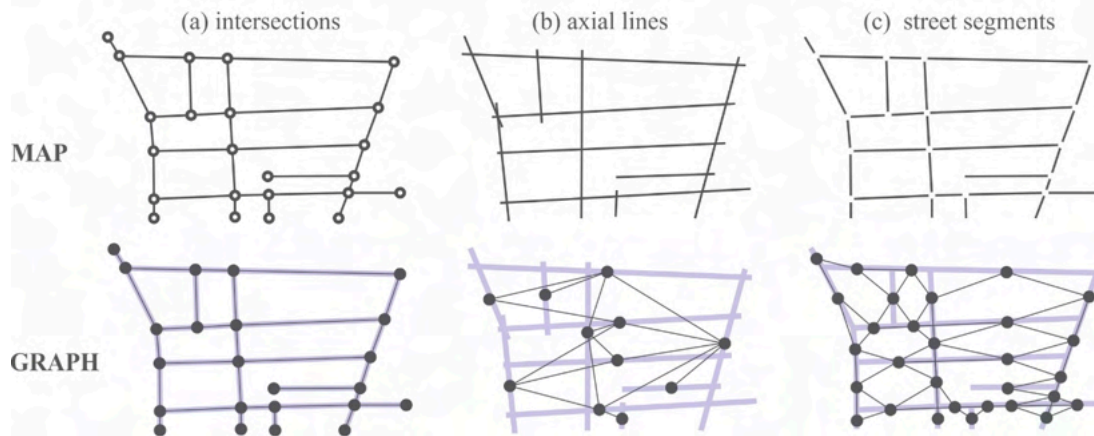
Descriptive systems like "b" and "c" give priority to streets network. The main difference between them is the level of aggregation of components. Maximum morphological units, such as axial lines [21,31] and continuity lines [40], are highly aggregated models because the primary units—the street segments—are merged according to a criterion, which is usually cognitive. Meanwhile, minimum morphological units can be viewed as a disaggregated form of axial representation [39].

Choosing the best descriptive system to model any problem is paramount because it strongly affects the results [33–35,39]. In fact, one of the crucial points to operationalise Alexander's theories is how to represent the parts of a system. The parts, namely the centres, are the components of the



urban graph. The examples in Figure 1 address essentially the street network. However, we know that other features should also be considered as primary entities, at least the built forms since they are key components of the urban design.

One of the core ideas to Alexander is that assembled centres compose wholeness structure. Thus, the recognition of the parts of the system is an important step to operationalise wholeness. The discrete components of graphs, as simplified representations of reality, already do this job. The descriptive system presented in Figure 1, commonly used in urban studies, can be considered as objective ways of recognising centres if we assume that each centre is a node in the graph.



**Figure 1.** Three ways to represent the urban system as maps with nodes and their corresponding graphs: (a) intersections, (b) axial lines, (c) street segments. Source: authors, January 2018.

Besides distinct descriptive systems, urban configurational studies have produced several graph-based distinct descriptive systems, urban properties for cities. We can group them into two types: (a) methods to calculate network properties of cities [33,34,41] and integration [31,32]; and (b) centrality-based models, choice [31,33], wholeness/centrality [33,34,41] [33,34,42] and the [21,31], and (c) urbanity developed by Koefoed, [38]. The first type [21, 31] is known as distance [33,34,42] and the second as relative position by Kaufmann [28]. The first type is a different picture of the urban structure, and the second is a different picture of the urban structure. Each of these combines different measures with the different descriptive systems, and the combination will have a set of distinct methods to grasp spatial difference. In other words, we have a number of different ways of identifying the hierarchical spatial difference between the entities. In other words, we have a number of different ways of identifying the hierarchical relationship between the entities.

**4. Material and Methods**

**4. Material and Methods**

In the present paper, we will not suggest new methods. Rather, we will illustrate how the distinct measures and descriptive systems often used in urban configurational studies can produce different results. Thus, the following case study aims at illustrating some of the models described before. Moreover, this case study helps to discuss the possibilities of using the resulting patterns as analogies for some of the properties. We argue that such understanding is crucial to the development of new methods to grasp Alexander's properties. We model a real urban system, a medium-sized city in Brazil, which was chosen mainly because of its size. It is not too small nor too big. We divide the methodology into two steps. First, we explain the descriptive systems and the centrality measurement applied in this case, corresponding to the different manners to identify a hierarchical relationship in the urban system. Second, we suggest different manners to explore the results of the centrality scores from which we can identify possible connections with the geometric properties outlined by Alexander.

**4.1. Descriptive Systems and Centrality Measures**

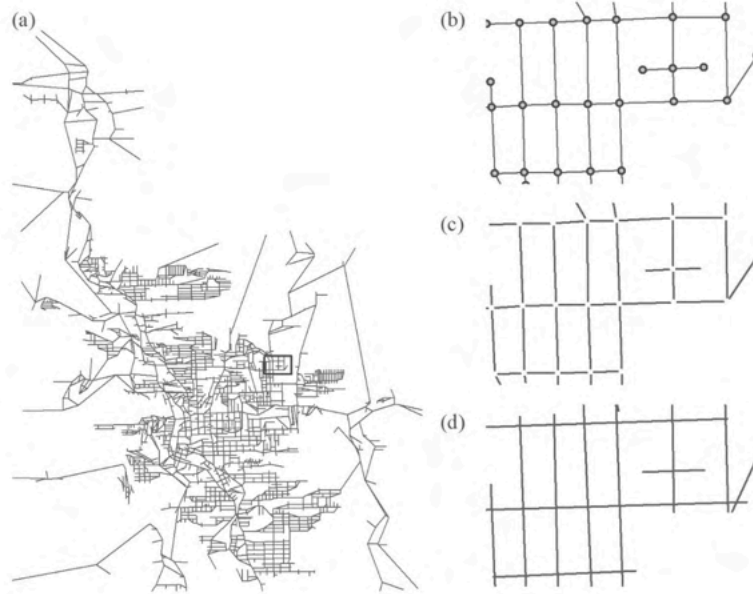
The street network of the studied city is described in three different ways (Figure 2): intersections, street segments, and axial lines. Each one has a corresponding graph, with a different number of units. We can consider each vertex of the graph as a centre. Then, we calculate three different centrality measures for each type of representation: closeness, betweenness and information

### 4.1. Descriptive Systems and Centrality Measures

The street network of the studied city is described in three different ways (Figure 2): intersections, street segments, and axial lines. Each one has a corresponding graph, with a different number of units. We can consider each vertex of the graph as a centre. Then, we calculate three different centrality measures for each type of representation: closeness, betweenness and information centrality. These are classical centrality measures already used in urban studies [33,34]. They were chosen because they are capable of grasping the global properties of a system.

In network analysis, the nodes are classified in a range of values according to the score that is being used. Therefore, with this set of measures, we have three different way of identifying the hierarchical relationship between the nodes, namely the centres. Closeness centrality measures “to which extent a node is near to all the other nodes along the shortest paths” [34]. Betweenness centrality measures to which extent a node lies in the shortest paths connecting other couples of nodes [34]. Information centrality measures the centrality in a network, that is, the network efficiency when removing a node, therefore it can be related to the capability of the network to respond to the deactivation of nodes [34]. Mathematical formulation and deeper explanation of those metrics can be found in the literature [33,34,41,42].

We perform the measures using Morphometrics [43], which is a software for urban network analysis developed by researchers from the Federal University of Rio Grande do Sul and the Federal University of Pelotas.



**Figure 2.** This picture shows (a) the city studied and a detail of the three descriptive systems used to represent the street network: (b) intersections, (c) street segments, and (d) axial lines. Source: Authors, January 2018.

### 4.2. Exploration of the Centrality Measures Results

After performing the centrality measures, we have three different ways to characterize hierarchy among elements in three different descriptive system. Entities are ranked by values obtained through centrality measures. However, the main question remains unaddressed. How can we measure the fifteen properties of Alexander? At least some of them. Jiang [18,19,38] uses the Hf-index to capture the levels of scale of a system. Whether it is a proper way of quantifying wholeness is arguable. However, it is certainly a good way to grasp the property levels of scale. It is at the same time an index and a visualization scheme. And most importantly, it is done from the statistical distribution of the centrality metrics. Consequently, we claim that analysing the distribution of the results, spatially as well as statistically, is an important step of operationalizing the distribution of the results, spatially as well as statistically.

Here we have explored the results of the centrality measures in two ways so that we could see how different measures and different descriptive systems affect them. The first one is the spatial distribution of the results, which enables a visual analysis. The spatial distribution of the centrality

Alexander’s ideas since the statistical distribution and the spatial patterns can enable us to identify some of the fifteen properties, other than levels of scale.

Here we have explored the results of the centrality measures in two ways so that we could see how different measures and different descriptive systems affect them. The first one is the spatial distribution of the results, which enables a visual analysis. The spatial distribution of the centrality measures can be visualized through Geographical Information Systems (GIS). The second one is the statistical distribution of centrality measures, which is analysed by histograms built in RStudio.

5. Results

5.1. Spatial Distribution

We have standardized the visualization in order to make it easier to compare the different descriptive systems. In spite of building the maps with different types of features, like lines or dots, we display all of them as graduated symbols. Hence, the larger features correspond to greater values, while the smaller ones correspond to lower values. Graduated symbols allow revealing the hierarchy of the values better than colour ranges, for most of the cases. The statistical method used to obtain the intervals is Natural Breaks. As we can see in Figures 3–5, each measure has a different spatial pattern of distribution. Except for closeness centrality, the others present distinct patterns of distribution depending on the descriptive system.



Figure 3. Spatial distribution of centralities for intersections (primal representation): (a) Closeness Centrality; (b) Betweenness Centrality; (c) Information Centrality. Source: Authors, July 2018.

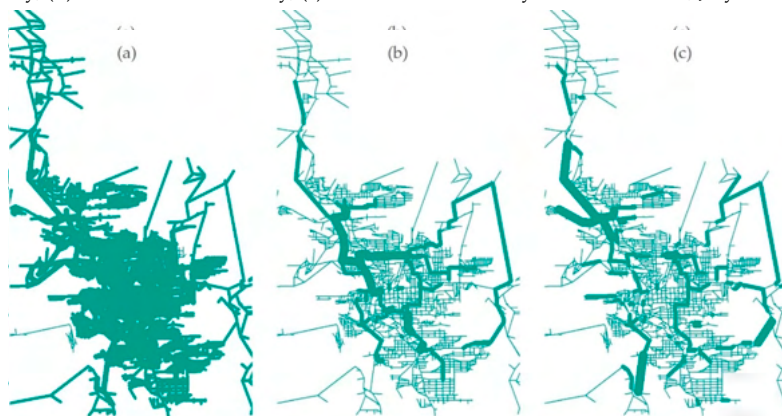


Figure 4. Spatial distribution of centralities for street segments (dual representation): (a) Closeness Centrality; (b) Betweenness Centrality; (c) Information Centrality. Source: Authors, July 2018.



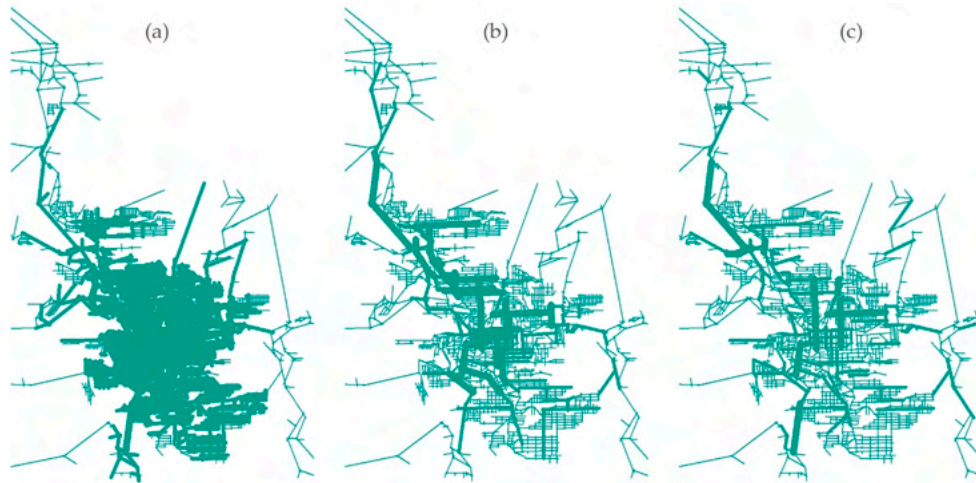


Figure 5. Spatial distribution of centrality measures for axial lines (a) (b) Closeness Centrality; (b) Betweenness Centrality; (c) Information Centrality. Source: Authors, July 2018.

### 5.2.2 Statistical Distribution

The histograms (Figure 6) show the statistical distribution patterns of the centrality measures. Betweenness and information centrality are more likely to have a heavy tail distribution, while closeness centrality is more likely to have a normal distribution, no matter the descriptive system. The characteristic distribution of the values of betweenness and information centrality suggests exponential or power law distribution. However, using simply a histogram to verify power law exponential or power law distribution is a very poor way to verify a scale-free distribution. Of course, it must be confirmed by more powerful statistical packages in future investigation.

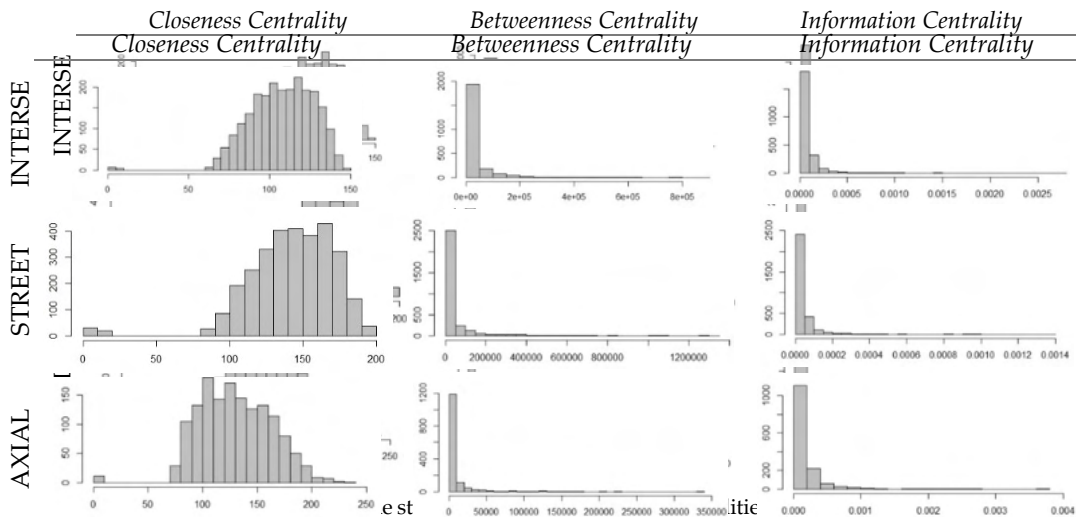


Figure 6. Histograms showing the statistical distribution of the centrality measures. Source: Authors, July 2018.

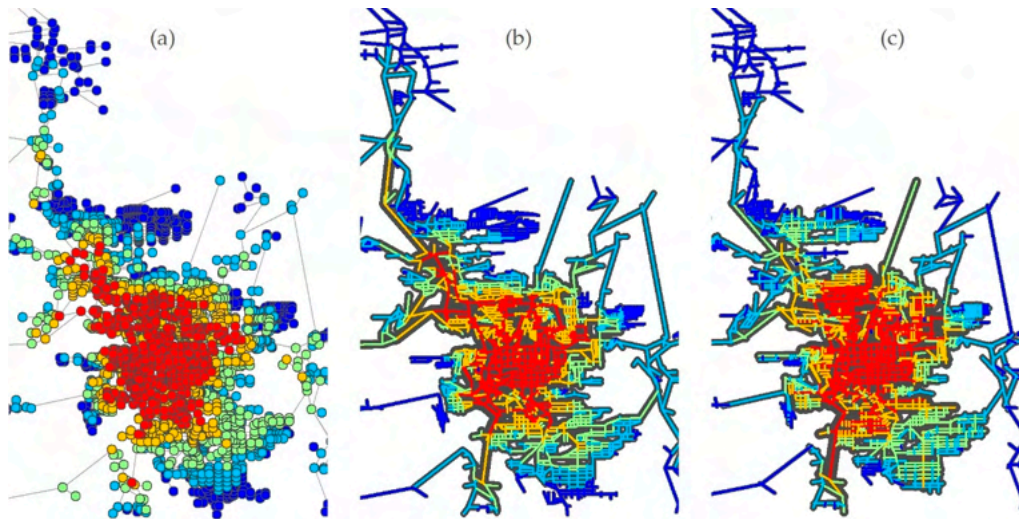
### 5.3 Centrality Patterns and Alexander's Geometric Properties

First, the visualization of the spatial distribution of the results for each centrality allows us to recognize *strong centres*, one of the fifteen properties, although it changes accordingly to the metric which is being used and to the descriptive system. The 10% or 20% of the highest values for each measure could be considered as being the *strong centres*. Second, we can see the *gradient* property since we have different classes of values, represented by features of different sizes. As we can see, closeness centrality is not good to grasp it, since it does not



Second, we can see the *gradient* property since we have different classes of values, represented by features of different sizes. As we can see, closeness centrality is not good to grasp it, since it does not have a strong distinguishing power. By contrast, betweenness and information centrality seem to be promising measures.

As closeness centrality does not have a strong distinguishing power, the better visualization scheme is a colour ramp. In Figure 7, we use a colour ramp in which results are grouped into six classes. This way, we can distinguish *gradients* for this centrality measure. Consequently, we adopt the method rather than Natural Breaks, which is better for normal distribution samples. Regarding the visual pattern of distribution, in this type of measure, the highest values tend to converge for the geographic centre of the system since it is distance-based.



**Figure 7.** Closeness Centrality in three different descriptive system: (a) Intersections; (b) Street Segments; (c) Axial Lines. Source: Authors, July 2018.

Regarding statistical distribution, we can see that distance-based measures, such as closeness centrality, are more likely to have a normal distribution. Measures based on the relative position of vertices, such as betweenness and information centrality, are likely to have a heavy-tailed distribution. It is important to note that the behavior of these measures is not directly related to the hierarchical levels of the network configuration. This figure can be related to the findings of Jiang [18,19].

## 6. Discussion

In this section, we discuss how to improve the network approach already suggested in the literature. Each of the centrality measures combined with different descriptive systems reveals distinct spatial and statistical distributions. In this case, closeness, betweenness, and information centrality have potential to be used as methods for operationalizing Alexander's concepts since they can be related to some of the geometric properties, especially if we look at the spatial and statistical distribution of the results. Of course, it needs to be more developed.

Adopting an approach similar to Jiang [18,19], within a network perspective, instead of using only PR centrality [18], we can use a set of different centrality measures, or to choose the measures that best fits the design objectives being carried out. For example, information centrality [33,34] can show the vulnerability of the system, meanwhile, closeness and betweenness show potential for retail activities [42,33]. Fortunately, there are many pieces of evidence in the literature about the relationship between centrality measures and aspects of real life.

Alexander's theories are too abstract to be applied straightforwardly to urban design. However, the visualization of the resulting patterns obtained through the centrality measures can be connected to some of the fifteen geometric properties. In this sense, a network approach can be seen as a bridge between Alexander's concepts and practical application to urban design. In the future, it can be

explored as a monitoring tool. Such a tool can be thought of as a supporting tool for urban designers, as well as a monitoring tool for city growth. Of course, we still need a lot of research to have a better understanding of the potential of the fifteen properties and wholeness to indicate quality to the built environment.

We are aware that some of Alexander's core ideas remain unaddressed. Thus, we highlight some of them, for future research. The first one relates to the approach used to build the urban graph and the components considered as centres. The three methods used in the current paper deal mainly with the street network. However, it is a poor approach, since urban design deals with many other crucial aspects, such as built forms and activities. Thus, we need to find out how to incorporate them in the urban graph, overcoming the strict street network view, commonly used in urban configurational studies. The next step of this research is to study more detailed descriptive systems, which include the built forms, for example.

There is another worrying issue regarding the urban graph. Some of the descriptive methods tested in this paper are regular networks, which means that they have a uniform degree of connectivity. However, the best way to grasp wholeness and scaling hierarchy is using a complex network perspective, as suggested by Jiang [12,13]. Regarding this issue, axial lines seem to have some advantage. Nevertheless, a small-world network could also be achieved by incorporating built forms as components of the graph.

Finally, another issue that remains unaddressed is the notion of the properties as transformations, namely being part of a harmony-seeking process. We could gain more insights if we consider centrality as a process rather than static measures. It could be done by running the centrality measures at various time snapshots. Such a procedure could be used as a tool for monitoring the design process and urban development of a city.

## 7. Conclusions

This article took a network approach to Alexander's findings. The focus was to bring Alexander's abstract theories into the urban design realm, specifically addressing configurational issues. Since the aim was contributing to the operationalization of Alexander's concepts through a network perspective, we attempt to discuss how to improve the network approach already suggested in the literature.

The approach adopted enhances the idea that we can address the notions of wholeness and centres from a network perspective, as previously suggested [18,19]. Nevertheless, we observe that a more careful selection of descriptive systems and measuring methods should be done considering the variety of methods available. In this paper, we attempt to identify existing network techniques that seem to be suitable for the task established by Alexander, beyond Jiang's suggestion. A key point to move forward is deeper investigation of how to describe the urban elements, how to build the graph, how to identify spatial differentiation, and how to visualize the results.

Therefore, the current paper provided some clues for further studies on the challenging task of operationalizing Alexander's from a network perspective. It could be supported by spatial network analysis techniques, GIS, and statistical packages. This kind of research is important because it can lead to the development of new tools for supporting urban planning and design. However, we depend on more research addressing network properties of urban behaviour to produce a useful tool derived from Alexander's theories.

**Author Contributions:** Conceptualization, A.R. and R.K.; Methodology, A.R.; Formal Analysis, A.R.; Investigation, A.R. and R.K.; Data Curation, A.R.; Writing-Original Draft Preparation, A.R.; Writing-Review & Editing, A.R.; Visualization, A.R.; Supervision, R.K.

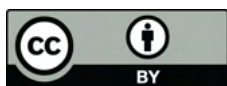
**Funding:** This research received no external funding.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Cuthbert, A.R. Urban design: Requiem for an era—Review and critique of the last 50 years. *Urban Des. Int.* **2007**, *12*, 177–223. [[CrossRef](#)]
2. Marshall, S. Science, pseudo-science and urban design. *Urban Des. Int.* **2012**, *17*, 257–271. [[CrossRef](#)]
3. Dovey, K.; Pafka, E. The science of urban design? *Urban Des. Int.* **2016**, *21*, 1–10. [[CrossRef](#)]
4. Salingaros, N. *Principles of Urban Structure*; Techne Press: Amsterdam, The Netherlands, 2005; ISBN 90-8594-001-X.
5. Çalışkan, O.; Marshall, S. Urban morphology and design: Introduction. *Built Environ.* **2011**, *37*, 381–392. [[CrossRef](#)]
6. Karimi, K. A configurational approach to analytical urban design: Space syntax methodology. *Urban Des. Int.* **2012**, *17*, 297–318. [[CrossRef](#)]
7. Timmermans, H. (Ed.) *Design and Decision Support Systems in Architecture*; Kluwer Academic Publisher: Dordrecht, The Netherlands, 1993; ISBN 0-7923-2444-7.
8. Klaasen, T. Knowledge-Based Design: Developing Urban & Regional Design into a Science. Ph.D. Thesis, Technische Universiteit Delft, Delft, The Netherlands, 2003.
9. Karimi, K. Special Issue: Evidence-informed and analytical methods in urban design. *Urban Des. Int.* **2012**, *17*, 253–256. [[CrossRef](#)]
10. Batty, M. Defining geodesign (= GIS + design?). *Environ. Plan. B Plan. Des.* **2013**, *40*, 1–2. [[CrossRef](#)]
11. Batty, M. *The New Science of Cities*; MIT Press: Cambridge, UK, 2013; ISBN 9780262534567.
12. Bettencourt, L.; West, G. A unified theory of urban living. *Nature* **2010**, *467*, 912–913. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
13. Alexander, C.; Ishikawa, S.; Silverstein, M.; Jacobson, M.; Fiksdahl-King, I.; Angel, S. *A Pattern Language*; Oxford University Press: New York, NY, USA, 1977; p. 1171. ISBN 9780195019193.
14. Alexander, C. *The Nature of Order: An Essay on the Art of Building and the Nature of the Universe, Book 1*; The Center for Environmental Structure: Berkeley, CA, USA, 2002.
15. Alexander, C. New Concepts in complexity theory arising from studies in the field of architecture: A response by Christopher Alexander. *Katarxis* **2003**, *3*, 1–24.
16. Alexander, C. Harmony-Seeking Computations: A science of non-classical dynamics based on the progressive evolution of the larger whole. *Int. J. Unconv. Comput.* **2009**, *5*, 1–78.
17. Salingaros, N. Life and complexity in architecture from a thermodynamic analogy. *Phys. Essays* **1997**, *10*, 165–173. [[CrossRef](#)]
18. Jiang, B. Wholeness as a hierarchical graph to capture the nature of space. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* **2015**, *29*, 1632–1648. [[CrossRef](#)]
19. Jiang, B. A Complex-Network Perspective on Alexander’s Wholeness. *Phys. A* **2016**, *463*, 475–484. [[CrossRef](#)]
20. Ekinoglu, H.; Kubat, A. Measuring and visualization of spatial change using information entropy. In Proceedings of the 11th International Space Syntax Symposium, Lisbon, Portugal, 3–7 July 2017; Heitor, T., Serra, M., Silva, J., Bacharel, M., Silva, L., Eds.; Instituto Superior Técnico: Lisbon, Portugal, 2017; Volume 58, pp. 1–15, ISBN 978-972-98994-4-7.
21. Hillier, B. *Space Is the Machine: A Configurational Theory of Architecture*; Cambridge University: Cambridge, UK; London, UK, 1996; p. 463. ISBN 1511697768.
22. Salat, S.; Bourdic, L.; Labbe, F. Breaking Symmetries and Emerging Scaling Urban Structures: A Morphologic Tale of Three Cities Paris, New York, Barcelona. *Int. J. Archit. Res.* **2014**, *8*, 77–93. [[CrossRef](#)]
23. Strano, E.; Nicosia, V.; Latora, V.; Porta, S.; Barthélemy, M. Elementary processes governing the evolution of road networks. *Sci. Rep.* **2012**, *2*, 296. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Shpuza, E. Allometry in the syntax of street networks: Evolution of Adriatic and Ionian coastal cities 1800–2010. *Environ. Plan. B Plan. Des.* **2014**, *41*, 450–471. [[CrossRef](#)]
25. Nilsson, L.; Gil, J. Finding the Secret Formula: How can we quantitatively understand cities’ growth, based on their street network structure? In Proceedings of the 11th International Space Syntax Symposium, Lisbon, Portugal, 3–7 July 2017; Heitor, T., Serra, M., Silva, J., Bacharel, M., Silva, L., Eds.; Instituto Superior Técnico: Lisbon, Portugal, 2017; Volume 58, pp. 1–15, ISBN 978-972-98994-4-7.
26. Krüger, M. An approach to built form connectivity at an urban scale: System description and its representation. *Environ. Plan. B Plan. Des.* **1979**, *6*, 67–88. [[CrossRef](#)]

27. Krüger, M. An approach to built-form connectivity at an urban scale: Relationships between built-form connectivity, adjacency measures, and urban spatial structure. *Environ. Plan. B Plan. Des.* **1980**, *7*, 163–194. [[CrossRef](#)]
28. Krafta, R. Modelling intraurban configurational development. *Environ. Plan. B Plan. Des.* **1994**, *21*, 67–82. [[CrossRef](#)]
29. Newman, M.; Barabasi, A.; Watts, D. *The Structure and Dynamics of Networks*; Princeton University Press: Princeton, NJ, USA, 2006; ISBN 9780691113562.
30. Barthelemy, M. Spatial networks. *Phys. Rep.* **2011**, *499*, 1–101. [[CrossRef](#)]
31. Hillier, B.; Hanson, J. *The Social Logic of Space*; Cambridge University Press: Cambridge, UK; London, UK, 1984; ISBN 0521367840.
32. Buhl, J.; Gautrais, J.; Reeves, N.; Solé, R.; Valverde, S.; Kuntz, P.; Theraulaz, G. Topological patterns in street networks of self-organized urban settlements. *Eur. Phys. J. B* **2006**, *49*, 513–522. [[CrossRef](#)]
33. Crucitti, P.; Latora, V.; Porta, S. Centrality measures in spatial networks of urban streets. *Phys. Rev. E* **2006**, *73*, 036125. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Porta, S.; Crucitti, P.; Latora, V. The network analysis of urban streets: A primal approach. *Environ. Plan. B: Urban Anal. City Sci.* **2006**, *33*, 705–725. [[CrossRef](#)]
35. Porta, S.; Crucitti, P.; Latora, V. The network analysis of urban streets: A dual approach. *Phys. A Stat. Theor. Phys.* **2006**, *369*, 853–866. [[CrossRef](#)]
36. Jiang, B. Small World Modelling for Complex Geographic Environments. In *Complex Artificial Environments: Simulation, Cognition and VR in the Study and Planning of Cities*; Portugali, J., Ed.; Springer: Heidelberg, Germany, 2006; pp. 259–271.
37. Barabási, A.; Albert, R. Emergence of scaling in random networks. *Science* **1999**, *286*, 509–512. [[PubMed](#)]
38. Jiang, B.; Yin, J. Ht-index for quantifying the fractal or scaling structure of geographic features. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* **2014**, *104*, 530–541. [[CrossRef](#)]
39. Faria, A.P. Análise Configuracional da Forma Urbana e sua Estrutura Cognitiva. Ph.D. Thesis, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil, 2010.
40. Figueiredo, L.; Amorin, L. Continuity lines in the axial system. In Proceedings of the 5th International Space Syntax Symposium, Delft, The Netherlands, 13–17 June 2005; pp. 161–174.
41. Freeman, L. Centrality in Social Networks Conceptual Clarification. *Soc. Netw.* **1979**, *1*, 215–239. [[CrossRef](#)]
42. Freeman, L. A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry* **1977**, *40*, 35–41. [[CrossRef](#)]
43. Faria, A.; Krafta, R.; Polidori, M.; Rodrigues, C.; Granero, J. *Morphometrics [Computer Software]*; UFRGS-UFPel: Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil, 2009.



© 2018 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Home More ▾



Article Full-text available

### Alexander's Theories Applied to Urban Design

September 2018 · *Urban Science* 2(3):86 · Unfollow journal

DOI: [10.3390/urbansci2030086](https://doi.org/10.3390/urbansci2030086)

License · [CC BY](#)

Alice Rauber · Romulo Krafta

Research Interest Score

Citations

Recommendations

Reads

[See details](#)

60.8

3

0 new 4

18 new 5,497

Share More ▾

- Overview
- Stats
- Comments (3)
- Citations (3)
- References (43)
- ...

#### Stats overview

60.8 Research Interest Score	
3 Citations	
4 Recommendations	



5,497

Reads

[Show breakdown](#)



[View your profile stats](#)

### Research Interest Score

Research Interest Score: **60.8**



#### Score breakdown

**2.47%** Citations

**1.64%** Recommendations

**57.24%** Full-text reads

**38.65%** Other reads

[View Details](#)

#### Compared to all research items

This item's Research Interest Score is higher than 97% of research items on ResearchGate. ▼

#### Compared by date of publication

This item's Research Interest Score is higher than 99% of research items published in 2018. ▼

### Researchers who cited this work

#### Geoff Boeing

PhD, City and Regional Planning · ...

#### Institution and department

University of Southern California ·  
Sol Price School of Public Policy ·  
Department of Urban Planning a...

#### Skills



#### Linda Marshall

BSc Honours CS, Masters in IT, P...

#### Institution and department

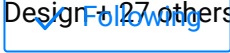
University of Pretoria · Department  
of Computer Science

#### Skills

Accreditation · Certification · Software



Urban Planning · Regional Planning · Urban Design · 27 others



Send message

Engineering + 7 others

Follow

Send message

Researchers who recommended this work

**Naceur Belouadah**

Magister · Professor (Assistant)

*Assistant professor at the Department of Architecture of the University of Guelma, Algeria.*



**Institution and department**

Université 8 mai 1945 - Guelma · Architecture

**Skills**

Urban Design · Space Syntax · Urban Morphology + 1 other

Follow

Send message

**Ahmed ElAmine Bekhelifi**

Arch / Magister / Phd candidate ...

**Institution and department**  
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf · Département...

**Skills**

Architecture · Urban Planning · Theory Architecture + 4 others

Follow

Send message

Researchers who read this work

**Júlio Celso Borello Vargas**

Dr. Transportation Engineering · ...

*Full Professor at UFRGS*



**Institution and department**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul · Departamento de Urbanismo (URB)

**Skills**

Spatial Planning · Urban Mobility · Urban Health + 8 others

✓ Following

Send message

**Abdul Salfarina**

Professor

**Institution**  
University of Technology Sarawak

**Skills**

Housing · Urban Planning · Built En 6 others

Follow

Send message

Stats history

Weekly

- Research Interest Score
- Citations
- Recommendations
- Reads
- Full-text reads

