

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

EDSON LUIZ BORTOLUZZI DA SILVA

**O CRESCIMENTO URBANO E OS PROCESSOS DE DENSIFICAÇÃO
E EXPANSÃO**

Orientador: Romulo Krafta, PhD

Porto Alegre

2018

EDSON LUIZ BORTOLUZZI DA SILVA

O CRESCIMENTO URBANO E OS PROCESSOS DE DENSIFICAÇÃO E EXPANSÃO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR, Faculdade de Arquitetura, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do grau de **Doutor em Planejamento Urbano e Regional**.

Orientador: Prof. PhD Romulo Krafta.

Porto Alegre

2018

CIP - Catalogação na Publicação

Silva, Edson Luiz Bortoluzzi da
O crescimento urbano e os processos de
densificação e expansão / Edson Luiz Bortoluzzi da
Silva. -- 2018.

243 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, 2018.

1. Sistemas complexos. 2. Criticalidade auto-
organizada. 3. Alometria urbana. 4. Estudos
configuracionais urbanos. 5. Densidade e expansão.
I. Krafta, Romulo, orient. II. Título.

EDSON LUIZ BORTOLUZZI DA SILVA

CRESCIMENTO URBANO E OS PROCESSOS DE DENSIFICAÇÃO E EXPANSÃO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR, Faculdade de Arquitetura, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do grau de **Doutor em Planejamento Urbano e Regional**.

Aprovado em 28 de setembro de 2018.

Comissão Examinadora:

Prof. PhD. Carlos André Bulhões Mendes
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Prof. Dr. Decio Bevilacqua
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Prof. Dr. Fabiano Lemes Ribeiro
Universidade Federal de Lavras (UFLA)

Prof.^a Dr.^a Juçara Spinelli
Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Prof. PhD. Romulo Krafta (orientador)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Porto Alegre, RS

2018

DEDICATÓRIA

Esse trabalho é dedicado a Deus, por ter propiciado as condições fundamentais para o meu desenvolvimento junto ao meu pai Neri e a minha mãe Marilene e por ter destinado a Alessandra, a Yasmin e a Júlia para enriquecerem o meu caminho.

AGRADECIMENTOS

A construção do conhecimento torna-se possível quando muitas pessoas dedicam o seu tempo à busca das respostas de seus questionamentos e, assim, tornam-se coadjuvantes desse processo essencial para o desenvolvimento da humanidade.

Agradeço a todos aqueles que me incentivaram e auxiliaram neste percurso:

Ao meu orientador Professor PhD. Romulo Krafta, que vem, desde o mestrado, emprestando sua experiência, e paciência, na minha formação como pesquisador.

Aos colegas, professores e ao corpo administrativo do PROPUR, especialmente aqueles que durante as aulas e os trabalhos acadêmicos me ajudaram nas reflexões necessárias para modelagem de mais um tijolo do meu “palácio do conhecimento”, neste caso, do conhecimento do espaço urbano.

À direção do Centro de Tecnologia da UFSM, especialmente na pessoa do Professor Eduardo Rizzatti, que prestou um auxílio logístico importante para o meu doutoramento.

Ao Curso e ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFSM, especialmente aos colegas que possibilitaram o meu afastamento para a realização deste doutorado.

Ao colega e amigo Decio Bevilacqua, pelo interesse, apoio e troca incansável de ideias na definição e no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas e amigos Luiz Fernando da Silva Mello e Gian Franco Salamoni, pela disponibilização de dados valiosos da Evolução Urbana de Santa Maria.

Aos colegas e amigos José Américo de Mello Filho e Enio Giotto que abriram as portas dos seus laboratórios e me receberam de braços abertos, pelo apoio fundamental no uso das geotecnologias.

Aos colegas Luciane Flores Jacob e Fernando Moreira Júnior da estatística e Denílson Gomes da matemática, pelo apoio nas suas respectivas áreas de conhecimento.

Aos acadêmicos Vitor Hugo de Almeida Júnior e Marcos Antônio de Azevedo de Campos, pelo auxílio na formatação do documento final e no desenvolvimento dos estudos de estatística.

Ao Instituto de Planejamento de Santa Maria, em especial a Geografa Rosana Trevisan e ao Engenheiro Agr. Antão Langendolff, pelo fornecimento das bases cartográficas de Santa Maria.

A Prefeitura Municipal de Santa Maria, na pessoa do Silvio Stein, pela paciência e dedicação na extração, compilação e fornecimento dos dados do Cadastro imobiliário de Santa Maria.

Ao meu pai e a minha mãe que são os responsáveis pela formação do meu caráter e não mediram esforços e orações no auxílio para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu sogro (in memória) e a minha sogra que ajudaram no desempenho das minhas funções de pai.

Aos meus irmãos no auxílio no Excel, na matemática e, até, na logística.

A minha esposa e as minhas filhas que ficaram, em muitos momentos, sem o pai e o marido, e que mesmo assim nunca deixaram de me apoiar, incentivar, encorajar, durante o percurso desta tarefa.

E, acima de tudo, a DEUS.

RESUMO

O CRESCIMENTO URBANO E OS PROCESSOS DE DENSIFICAÇÃO E EXPANSÃO

AUTOR: Edson Luiz Bortoluzzi Da Silva

ORIENTADOR: Romulo Krafta

O crescimento das cidades vem sendo estudado desde muito tempo, com relativo sucesso, mas sempre esbarrando na complexidade desses sistemas. Ultimamente as teorias sobre Sistemas Complexos e Modelos Configuracionais Urbanos, tem propiciado uma consistente fundamentação para a verificação das variáveis e suas interações espaciais na identificação desses processos. Entre os sistemas complexos, são representativos os conceitos sobre a criticalidade auto-organizada, o metabolismo e a alometria urbana, na contribuição da compreensão do fenômeno do crescimento urbano por meio dos processos de densificação da forma construída e expansão do tecido urbano. Tais abordagens conduzem ao desenvolvimento da hipótese de que existiria uma relação entre a evolução da forma construída agregada - medida em quantidades de área construída, e a da área urbanizada. Que esta relação seguiria um padrão qualquer, uma regularidade que parece não ser trivial, visto que as duas variáveis evoluem segundo agregações diferentes - uma varia acrescentando quantidades muito pequenas, continuamente, outra varia agregando quantidades maiores, a intervalos de tempo. Que este padrão poderia ser explicado através da criticalidade auto-organizada, que se estabelece pela existência de um ponto crítico e pela distribuição das quantidades de área urbanizada agregadas, a cada tempo, segundo uma lei de potência. E, ainda, que este padrão é melhor descrito pela medida de centralidade da forma construída, ao agregar a topologia do espaço público à medida de densidade da forma construída. A averiguação e os comportamentos destes processos foram testados em uma situação real, na cidade de Santa Maria – RS. Os dados cadastrais dos edifícios e dos parcelamentos urbanos foram espacializados recorrendo a um Sistema de Informação Geográfica – SIG e suas interações avaliadas com o uso de medidas configuracionais urbanas. Acredita-se, com isso, contribuir para a consolidação do conhecimento da dinâmica do crescimento urbano.

Palavras-chave: Sistemas complexos. Criticalidade auto-organizada. Alometria urbana. Estudos configuracionais urbanos. Densidade e expansão.

ABSTRACT

URBAN GROWTH AND DENSIFICATION AND EXPANSION PROCESSES

AUTHOR: Edson Luiz Bortoluzzi Da Silva

ADVISOR: Romulo Krafta

The growth of cities has been studied for a long time, with relative success, but always bumping into the complexity of these systems. Recently the theories on Complex Systems and Urban Configurational Models have provided a consistent basis for the verification of the variables and their spatial interactions in the identification of these processes. Among the complex systems, the concepts about self-organized criticality, metabolism and urban allometry are representative of the contribution of understanding the phenomenon of urban growth through the processes of densification of the built form and expansion of the urban fabric. Such approaches lead to the development of the hypothesis that there would be a relationship between the evolution of the aggregate constructed form - measured in quantities of constructed area, and that of the urbanized area. That this relation would follow any pattern, a regularity that seems not to be trivial, since the two variables evolve according to different aggregations - one varies by adding very small amounts, continuously, another varies by adding larger quantities, at intervals of time. That this pattern could be explained through self-organized criticality, which is established by the existence of a critical point and by the distribution of quantities of urbanized area aggregated, each time, according to a power law. Yet, this pattern is best described by the measure of centrality of the constructed form, by adding the topology of the public space to the measure of density of the constructed form. The investigation and the behaviors of these processes were tested in a real situation, in the city of Santa Maria - RS. The cadastral data of the buildings and the urban subdivisions were spatialized using a Geographic Information System - GIS and their interactions evaluated with the use of urban configurational measures. It is believed, therefore, to contribute to the consolidation of the knowledge of the dynamics of urban growth.

Keywords: Complex systems. Self-organized criticality. Urban allometry. Urban configurational studies. Density and expansion.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Extrato das medidas TAM_{PARC} e $TEMP_{PARC}$	117
Tabela 2 – Medida Tecido Urbano Total (TU_T).....	118
Tabela 3 – Variável TV e medidas EPr_P , FC_P , e FC_T	119
Tabela 4 – $DENS_{MAX}$ e $DENS_{MED}$ com frequência anual.....	120
Tabela 5 – $CENT_{MAX}$ e $CENT_{MED}$ com frequência anual.....	122
Tabela 6 – Equações de Correlação com TU.....	126
Tabela 7 – PC- $DENS_{MED}$ no ano de 2002.....	128
Tabela 8 – PC- $CENT_{MED}$ no ano de 2002.....	131
Tabela 9 – Modelo estimado para o indicador de PC da Densidade Média.....	137
Tabela 10 – Modelo estimado para o indicador de PC da Centralidade Média.....	141
Tabela 11 – Variáveis TU_T e FC_T e os indicadores $ALOM_{VAR}$	155
Tabela 12 – Dados não gráficos do Shape Logradouro.....	175
Tabela 13 – Dados não gráficos do Shape Lote.....	176
Tabela 14 – Dados não gráficos do Shape Loteamento.....	177
Tabela 15 – Dados não gráficos do Shape Condomínio.....	179
Tabela 16 – Dados não gráficos do Cadastro Imobiliário.....	180
Tabela 17 – Medidas da Matriz Tecido Urbano.....	194
Tabela 18 – Medidas TAM_{PARC} e $TEMP_{PARC}$	230
Tabela 19 – Medidas $DENS_{MED}$ e $CENT_{MED}$, com frequência mensal, e indicadores de PC.....	237

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estrutura do trabalho.....	34
Quadro 2 – Variáveis e séries estatísticas.	86
Quadro 3 – Frequência de agregação e recorte temporal dos indicadores.....	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação e desagregação configuracional do sistema urbano.	68
Figura 2 – Etapas do procedimento metodológico.	81
Figura 3 – Estrutura analítica.	82
Figura 4 – Indicadores, análises, resultados e inferências.	105
Figura 5 – Localização de Santa Maria no Rio Grande do Sul.	108
Figura 6 – Macroforma da cidade de Santa Maria.	110
Figura 7 – Crescimento urbano de Santa Maria.	111
Figura 8 – Tecido Urbano e aspectos da Forma Construída.	112
Figura 9 – Algoritmo de modelagem do banco de dados.	114
Figura 10 – Pontos Críticos da Densidade Média e Parcelamentos ano de 2002.	129
Figura 11 – Pontos Críticos da Densidade Média e Parcelamentos.	130
Figura 12 – Pontos Críticos da Centralidade Média e Parcelamentos no ano de 2002.	132
Figura 13 – Pontos Críticos da Centralidade Média e Parcelamentos.	133
Figura 14 – Pontos Críticos da Densidade Média.	134
Figura 15 – Autocorrelação amostral das densidades médias após diferenciação.	135
Figura 16 – Autocorrelação parcial amostral das densidades médias após diferenciação.	136
Figura 17 – Pontos Críticos da Densidade Média com a linha de tendência.	138
Figura 18 – Pontos Críticos da Centralidade Média.	138
Figura 19 – Autocorrelação amostral das centralidades médias após diferenciação.	139
Figura 20 – Autocorrelação parcial amostral das centralidades médias após diferenciação.	140
Figura 21 – Pontos Críticos da Centralidade Média com a linha de tendência.	142
Figura 22 – Tamanho dos Parcelamentos ocorridos de janeiro de 2002 à dezembro de 2016.	143
Figura 23 – Autocorrelação amostral dos tamanhos dos parcelamentos após diferenciação.	143
Figura 24 – Autocorrelação parcial amostral da medida tamanho dos parcelamentos.	144
Figura 25 – Tempos entre Parcelamentos ocorridos de janeiro de 2002 à dezembro de 2016.	145
Figura 26 – Autocorrelação amostral dos tempos entre os parcelamentos após diferenciação.	145
Figura 27 – Autocorrelação parcial amostral do indicador tempo entre parcelamentos.	146
Figura 28 – Distribuição dos Tamanhos dos Parcelamentos e Lei de Potência.	148
Figura 29 – Distribuição dos Tempos entre Parcelamentos e Lei de Potência.	149
Figura 30 – Comportamento Escalar dos Tamanhos dos Parcelamentos em Santa Maria.	150
Figura 31 – Comportamento Escalar dos Tamanhos das Avalanches em Búfalo.	151
Figura 32 – Comportamento Escalar dos Tempos entre Parcelamentos em Santa Maria.	152
Figura 33 – Comportamento Escalar dos Tempos das Avalanches em Búfalo.	152
Figura 34 – Gráfico de dispersão FCTxTUT.	154
Figura 35 – Shape Perímetro Urbano Sede.	174

Figura 36 – Shape Logradouro	174
Figura 37 – Shape Lote.	175
Figura 38 – Shape Loteamento	177
Figura 39 – Shape Condomínio.	178
Figura 40 – Imagem de Satélite.....	179
Figura 41 – Primeira etapa: agregação de feições.	183
Figura 42 – Shape Parcelamento Formal.	184
Figura 43 – Shape Área Urbanizada Total.....	185
Figura 44 – Shape Parcelamento Informal.	186
Figura 45 – Shape Parcelamento Total.	187
Figura 46 – Shape Parcelamento Total Classificado.	188
Figura 47 – Segunda etapa: desagregação de feições.	189
Figura 48 – Dados do Tecido Urbano em 1997.	191
Figura 49 – Dados do Tecido Urbano em 1999.	192
Figura 50 – Dados do Tecido Urbano em 2013.	193
Figura 51 – Etapas do algoritmo do Banco de Dados das Matrizes Espaço Privado, Espaço Público e Forma Construída.	197
Figura 52 – Tela inicial do Programa C7 CDS.	199
Figura 53 – Tela inicial da rotina Trechos do Programa C7 CDS.	200
Figura 54 – Seleção do logradouro.....	201
Figura 55 – Seleção do trecho.....	201
Figura 56 – Trecho selecionado em destaque.....	202
Figura 57 – Aproximação do trecho selecionado em destaque.	202
Figura 58 – Seleção do lote a ser indexado.....	203
Figura 59 – Somatório dos lotes indexados.....	204
Figura 60 – Seleção do próximo trecho.	204
Figura 61 – Aviso de lote já indexado.....	205
Figura 62 – Lotes indexados e não indexados - 1.	206
Figura 63 – Lotes indexados e não indexados -2.	206
Figura 64 – Lotes não cadastrados – aproximação 1.	207
Figura 65 – Lotes não cadastrados – aproximação 2.	207
Figura 66 – Seleção de lotes para acesso ao Banco de Dados.	208
Figura 67 – Planilha do Banco de Dados.....	208
Figura 68 – Visualização do shape dos lotes.....	209
Figura 69 – Visualização do shape dos lotes e dos logradouros.	210
Figura 70 – Seleção do trecho.....	210
Figura 71 – Seleção do primeiro lote.	211
Figura 72 – Seleção do último lote.	211
Figura 73 – Somatório dos lotes indexados.....	212
Figura 74 – Limpeza dos códigos dos lotes já indexados.....	212
Figura 75 – Lotes já indexados desaparecem da tela.	213
Figura 76 – Lotes indexados e não indexados.	214
Figura 77 – Tela inicial da rotina no Programa C7 CDS.	215
Figura 78 – Seleção do ano a ser indexado.	215
Figura 79 – Banco de dados do “ano16” e o início da tabela.....	216
Figura 80 – Banco de dados “ano16” e os últimos lotes registrados.	216
Figura 81 – Predefinição de 5.000 lotes por processamento.....	217
Figura 82 – Seleção dos demais lotes do ano 2016.	217
Figura 83 – Tela inicial da rotina no Programa C7 CDS.	219
Figura 84 – Aviso do número de trechos processados e registrados.	220

Figura 85 – Banco de Dados “trecho01” e o início da planilha.....	220
Figura 86 – Banco de Dados “trecho01” e os últimos trechos registrados.	221
Figura 87 – Seleção do próximo ano.....	221
Figura 88 – Limpeza dos campos.	222
Figura 89 – Indexação do shape do ano 2015.	223
Figura 90 – Conclusão da indexação do shape do ano 2015.....	223
Figura 91 – Recorte Espacial do Espaço Privado em 1997.	225
Figura 92– Recorte Espacial do Espaço Privado em 2000.	226
Figura 93 – Recorte Espacial do Espaço Público em 1997.....	227
Figura 94 – Recorte Espacial do Espaço Público em 2012.....	228

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Distribuição dos Parcelamentos	69
Equação 2 – Medida de densidade da forma construída	58
Equação 3 – Modelo de Centralidade	60
Equação 4 – Densidade parcial da Forma Construída	89
Equação 5 – Medida de Densidade Média da Forma Construída	90
Equação 6 – Medida de Centralidade Média da Forma Construída	92
Equação 7 – Ponto Crítico da Densidade Média	95
Equação 8 – Densidade Média após o Ponto Crítico	95
Equação 9 – Ponto Crítico da Centralidade Média	96
Equação 10 – Centralidade Média após o Ponto Crítico	96
Equação 11 – Teste Dickey-Fuller Aumentado	97
Equação 12 – Estatística do Teste Dickey-Fuller Aumentado	97
Equação 13 – Teste Ljung-Box	98
Equação 14 – Modelo de Regressão Linear	99
Equação 15 – Distribuição dos Tamanhos dos Parcelamentos	101
Equação 16 – Distribuição dos Tempos entre Parcelamentos	101
Equação 17 – Coeficiente Alométrico	102
Equação 18 – Variação da Alometria	103
Equação 19 – Fator Alométrico	103
Equação 20 – Coeficiente Alométrico ajustado ao estudo de caso	154
Equação 21 – Variação da Alometria ajustada ao estudo de caso	155
Equação 22 – Fator Alométrico ajustado ao estudo de caso	156

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALOM _{COEF}	Coeficiente alométrico
ALOM _{FATOR}	Fator alométrico
AC	Área construída por lote
AL	Área territorial por lote
AP	Área territorial urbanizada por parcelamento
CAO	Criticalidade Auto-organizada
CENT _{MAX}	Centralidade Máxima
CENT _{MED}	Centralidade Média
DCU	Dinâmica do Crescimento Urbano
DENS _{MAX}	Densidade Máxima
DENS _{MED}	Densidade Média
DIST-TAM _{PARC}	Distribuição dos Tamanhos dos Parcelamentos
DIST-TEMP _{PARC}	Distribuição dos Tempos de Parcelamentos
EPr _P	Espaço Privado Parcial
FC _P	Forma Construída Parcial
FC _T	Forma Construída Total
PC-CENT _{MAX}	Pontos Críticos da Centralidade Máxima
PC-CENT _{MED}	Pontos Críticos da Centralidade Média
PC-DENS _{MAX}	Pontos Críticos da Densidade Máxima
PC-DENS _{MED}	Pontos Críticos da Densidade Média
SENS-CENT _{MAX}	Sensibilidade da Centralidade Máxima
SENS-CENT _{MED}	Sensibilidade da Centralidade Média
SENS-DENS _{MAX}	Sensibilidade da Densidade Máxima
SENS-DENS _{MED}	Sensibilidade da Densidade Média
TAM _{PARC}	Tamanhos dos Parcelamentos
TEMP _{PARC}	Tempos entre Parcelamentos
TU _T	Tecido Urbano Total
TV	Trechos das vias

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	31
1.1	HIPÓTESE	32
1.2	OBJETIVOS	33
1.2.1	Objetivo geral	33
1.2.2	Objetivos específicos	33
1.3	JUSTIFICATIVA	33
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	34
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	37
2.1	CIDADE COMO FENÔMENO COMPLEXO	37
2.2	COMPORTAMENTO CRÍTICO AUTO-ORGANIZADO	40
2.3	METABOLISMO URBANO	46
2.4	ALOMETRIA URBANA.....	50
2.5	DENSIDADE DA FORMA CONSTRUÍDA	56
2.6	CENTRALIDADE DA FORMA CONSTRUÍDA	58
3	CRESCIMENTO URBANO	63
3.1	PROCESSOS DO CRESCIMENTO URBANO	63
3.1.1	Densificação da Forma Construída	63
3.1.2	Expansão do Tecido Urbano	64
3.2	DINÂMICA DO CRESCIMENTO URBANO	64
3.3	ABORDAGEM DO FENÔMENO	66
3.3.1.	Abordagem configuracional	66
3.3.2.	Analogia a Pilha de Areia	68
3.3.3.	Associação conceitual e teórica	69
3.4	MEDIDAS E INDICADORES DA DINÂMICA DO CRESCIMENTO URBANO	79
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	81
4.1	DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA.....	84
4.1.1	Seleção da amostra – sistema urbano real	84
4.1.2	Obtenção dos dados	84
4.1.3	Constituição do Banco de Dados	84
4.1.4	Obtenção das variáveis	85
4.1.5	Medidas de variação do estoque edificado	87
4.1.5.1	<i>Forma Construída Parcial (FC_P)</i>	87
4.1.5.2	<i>Forma Construída Total (FC_T)</i>	87
4.1.6	Medidas de variação do estoque de área urbanizada	87
4.1.6.1	<i>Espaço Privado parcial (EPr_P)</i>	88
4.1.6.2	<i>Tamanho dos Parcelamentos ($TAMPARC$)</i>	88
4.1.6.3	<i>Tempo entre Parcelamentos ($TEMP_{PARC}$)</i>	88
4.1.6.4	<i>Tecido Urbano Total (TU_T)</i>	89
4.1.7	Medidas de Densidade da Forma Construída	89
4.1.7.1	<i>Densidade Máxima da Forma Construída ($DENS_{MAX}$)</i>	90
4.1.7.2	<i>Densidade Média da Forma Construída ($DENS_{MED}$)</i>	90
4.1.8	Medidas de Centralidade da Forma Construída	91
4.1.8.1	<i>Centralidade Máxima da Forma Construída ($CENT_{MAX}$)</i>	91
4.1.8.2	<i>Centralidade Média da Forma Construída ($CENT_{MED}$)</i>	92
4.1.9	Indicadores de Sensibilidade das Medidas	92
4.1.9.1	<i>Sensibilidade da Densidade Máxima ($SENS-DENS_{MAX}$)</i>	92

4.1.9.2	Sensibilidade da Densidade Média ($SENS-DENS_{MED}$)	93
4.1.9.3	Sensibilidade da Centralidade Máxima ($SENS-CENT_{MAX}$)	93
4.1.9.4	Sensibilidade da Centralidade Média ($SENS-CENT_{MED}$)	93
4.1.9.5	Análise	93
4.1.9.6	Resultados esperados	94
4.1.10	Indicadores de Ponto Crítico	94
4.1.10.1	Pontos Críticos da Densidade Média	95
4.1.10.2	Pontos Críticos da Centralidade Média	96
4.1.10.3	Análise	96
4.1.10.3.1	Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF)	97
4.1.10.3.2	Teste de Ljung-Box	98
4.1.10.3.3	Modelo de Regressão	98
4.1.10.4	Resultados esperados	99
4.1.11	Indicadores de Distribuição dos Parcelamentos	100
4.1.11.1	Distribuição dos Tamanho dos Parcelamentos (TAM_{PARC})	100
4.1.11.2	Distribuição dos Tempos entre Parcelamentos ($TEMP_{PARC}$)	101
4.1.11.3	Análise	102
4.1.11.4	Resultados esperados	102
4.1.12	Indicadores de alometria	102
4.1.12.1	Coefficiente Alométrico ($ALOM_{COEF}$)	102
4.1.12.2	Fator Alométrico ($ALOM_{FATOR}$)	103
4.1.12.3	Análises	103
4.1.12.4	Resultados	104
4.1.13	Resultados esperados	104
5	SANTA MARIA-RS: UM CASO EM ESTUDO	107
5.1	SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA URBANO SANTA MARIA-RS	107
5.1.1	Atendimento aos critérios de seleção	107
5.1.2	Localização geográfica	108
5.1.3	População e densidade demográfica	108
5.1.4	Desenvolvimento urbano	109
5.1.5	Crescimento por expansão do Tecido Urbano	111
5.1.6	O Tecido Urbano e a Forma Construída	112
5.2	DADOS BRUTOS	112
5.3	BANCO DE DADOS E VARIÁVEIS	113
5.3.1	Informações da matriz Tecido Urbano (TU)	114
5.3.2	Informações das matrizes Espaço Privado (EP_r), Espaço Público (EP_u) e Forma Construída (FC)	115
5.4	MEDIDAS DE VARIAÇÃO DOS ESTOQUES	116
5.4.1.	Medida Tamanho dos Parcelamentos (TAM_{PARC})	116
5.4.2	Medida Tempos entre Parcelamentos ($TEMP_{PARC}$)	116
5.4.3	Medida Tecido Urbano Total (TU_T)	117
5.4.4	Medida Espaço Privado Parcial (EPR_P)	118
5.4.5	Medida Forma Construída Parcial (FC_P)	118
5.4.6	Medida Forma Construída Total (FC_T)	119
5.5	MEDIDAS DE RELAÇÃO ENTRE OS ESTOQUES	119
5.5.1	Medidas de Densidade da Forma Construída	120
5.5.1.1	Medida de Densidade Máxima da Forma Construída ($DENS_{MAX}$)	120
5.5.1.2	Medida de Densidade Média da Forma Construída ($DENS_{MED}$)	120
5.5.2	Medidas de Centralidade da Forma Construída	121

5.5.2.1	<i>Medida Centralidade Máxima da Forma Construída ($CENT_{MAX}$)</i>	121
5.5.2.2	<i>Medida Centralidade Média da Forma Construída ($CENT_{MED}$)</i>	121
5.6	AGREGAÇÃO E RECORTE TEMPORAL DOS INDICADORES	123
5.7	INDICADORES DE SENSIBILIDADE DAS MEDIDAS	125
5.7.1	Sensibilidade da Densidade Máxima ($SENS-DENS_{MAX}$)	125
5.7.2	Sensibilidade da Densidade Média ($SENS-DENS_{MED}$)	125
5.7.3	Sensibilidade da Centralidade Máxima ($SENS-CENT_{MAX}$)	126
5.7.4	Sensibilidade da Centralidade Média ($SENS-CENT_{MED}$)	126
5.7.5	Análise	126
5.7.6	Resultados	127
5.8	INDICADORES DE PONTO CRÍTICO	127
5.8.1	Pontos Críticos da Densidade Média	128
5.8.2	Pontos Críticos da Centralidade Média	131
5.8.3	Análise	134
5.8.3.1	<i>Análise dos Pontos Críticos da Densidade Média</i>	134
5.8.3.1.1	Teste de Dickey-Fuller Aumentado	135
5.8.3.1.2	Teste de Ljung-Box	135
5.8.3.1.3	Estimação do Modelo de Regressão.....	136
5.8.3.2	<i>Análise dos Pontos Críticos da Centralidade Média</i>	138
5.8.3.2.1	Teste de Dickey-Fuller Aumentado	139
5.8.3.2.2	Teste de Ljung-Box	139
5.8.3.2.3	Estimação do Modelo de Regressão.....	141
5.8.3.3	<i>Análise dos Tamanhos dos Parcelamentos</i>	142
5.8.3.3.1	Teste de Ljung-Box	143
5.8.3.4	<i>Análise dos Tempos entre Parcelamentos</i>	144
5.8.3.4.1	Teste de Ljung-Box	145
5.8.4	Resultados	147
5.9	INDICADORES DE DISTRIBUIÇÃO DOS PARCELAMENTOS.....	147
5.9.1	Distribuição dos Tamanho dos Parcelamentos (TAM_{PARC})	147
5.9.2	Distribuição dos intervalos de Tempo entre Parcelamentos ($TEMP_{PARC}$)	148
5.9.3	Análises	149
5.9.4	Resultados	153
5.10	INDICADORES DE ALOMETRIA	153
5.10.1	Indicador do Coeficiente Alométrico ($ALOM_{COEF}$)	154
5.10.2	Indicador do Fator Alométrico ($ALOM_{FATOR}$)	155
5.10.3	Análises e resultados	156
5.11	CONCLUSÕES DAS ANÁLISES.....	157
6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	161
6.1	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA, RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES.....	161
6.2	OBJETIVOS DA PESQUISA	163
6.3	EVIDÊNCIAS QUE SUPTAM A HIPÓTESE	164
6.4	RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES	165
6.5	FUTURAS INVESTIGAÇÕES	166
	REFERÊNCIAS	167
	APÊNDICE A – CONSTITUIÇÃO DO BANCO DE DADOS DO SISTEMA URBANO SANTA MARIA-RS E OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS	173
	APÊNDICE B – RELAÇÃO COMPLETA DOS INDICADORES TAM_{PARC} E $TEMP_{PARC}$	230

**APÊNDICE C – RELAÇÃO DAS MEDIDAS $DENS_{MED}$ E $CENT_{MED}$ COM
FREQUÊNCIA MENSAL 237**

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa investiga a relação entre a Densificação da Forma Construída e a Expansão do Tecido Urbano na dinâmica do Crescimento Urbano. Considera que uma vez estabelecido o tecido urbano (largura das vias, tamanho dos quarteirões e conectividade, aspectos morfológicos de difícil transformação), o crescimento pode acontecer de duas formas: pela densificação – acúmulo de edificações nas quadras existentes, ou pela expansão do tecido, com acréscimo de novas áreas urbanizadas. O fenômeno do crescimento inicia-se a partir de dois processos e seus respectivos impactos: a construção de novos edifícios aumenta a densidade e a expansão do tecido urbano, com a implantação de novos parcelamentos do solo para fins urbanos, provoca a sua redução. Portanto, a expansão, ao efetivar-se, diminui a densidade construída ao mesmo tempo em que cria novas áreas adensáveis, as quais, ao serem edificadas aumentam novamente a densidade, iniciando um novo ciclo do processo. A expectativa é de que a relação entre os processos de densificação construída e expansão do tecido urbano constitua um padrão, a ser verificado. O padrão seria caracterizável pela existência de uma relação entre as quantidades de área construída e as quantidades de área urbanizada, onde o ponto crítico seria justamente aquele momento em que a quantidade de área construída excede o padrão provocando a expansão da área urbanizada. A mensuração deste padrão pode ser realizada com o auxílio das medidas de densidade média (menos provável) e densidade máxima em porções da forma construída e, também, de uma medida mais abstrata de distribuição espacial da forma construída, que pode ser uma das tantas medidas configuracionais de centralidade disponíveis.

O tema envolve o estudo de uma dinâmica espacial que aparentemente se aproxima da classe dos fenômenos melhor explicados através dos sistemas complexos que envolvem muitos componentes, regras de interação locais, simultaneidade e emergência de estados macro. Várias teorias tentam explicar a complexidade, uma delas é a criticalidade auto-organizada, segundo a qual, as reações em cadeia que resultam de mudanças no tempo e no espaço seguem distribuições, no tempo e no espaço, que ocorrem em todas as escalas, de modo a preservar o estado crítico do sistema. As cidades são exemplos aceitos de sistemas complexos, pois desenvolvem padrões de auto-organização, mas são sistemas artificiais, cujo comportamento está sujeito a modificações em função da inteligência

dos seus agentes. A dinâmica do Crescimento Urbano, entendido como sendo a relação entre as quantidades de forma construída e de área urbanizada, é um fenômeno cujo comportamento condiz com esse arcabouço geral.

Assim, apresentado o fenômeno e os processos envolvidos no tema desta pesquisa – as relações entre a Densificação da Forma Construída e a Expansão do Tecido Urbano na dinâmica do Crescimento Urbano, cabem algumas perguntas a serem respondidas:

Existem relações de proporcionalidade, um ponto crítico, entre a Forma Construída e o Tecido Urbano? Se sim, qual é e como ocorre?

Existe uma relação entre o tempo em que a forma construída leva para atingir o ponto crítico e o tamanho da expansão da área urbanizada? Ou o tempo de duração da mesma?

O que acontece no instante do atingimento do ponto crítico da forma construída e da expansão do tecido urbano, forma um padrão? Que padrão é esse? Pode ser associado ao fenômeno da criticalidade auto-organizada?

Então, se não é possível prever a quantidade de novas áreas urbanizadas ou a sua frequência, onde estaria o padrão?

Este padrão poderia estar na distribuição dos tamanhos e dos intervalos de tempo entre as expansões?

Como se dá a distribuição dos tamanhos e dos intervalos de tempo entre as expansões, será que possibilita a identificação de leis de potência?

As medidas urbanas de densidade e centralidade são capazes de capturar, mensurar e descrever a dinâmica inerente a esse processo?

1.1 HIPÓTESE

Para auxiliar na busca das respostas, formulamos a seguinte hipótese:

Existiria uma relação entre a evolução da forma construída agregada - medida em quantidades de área construída, e a da área urbanizada. Esta relação seguiria um padrão específico, uma regularidade que parece não ser trivial, visto que as duas variáveis evoluem segundo agregações diferentes - uma varia acrescentando quantidades muito pequenas, continuamente, outra varia agregando quantidades maiores, a intervalos de tempo. Este padrão poderia ser explicado através da criticalidade auto-organizada, que se estabelece pela tendência a evoluir para um

ponto crítico, o qual, quando ultrapassado, provoca um reordenamento do sistema e um novo ciclo na direção do ponto crítico. O padrão dessa dinâmica seria apenas evidenciado com a identificação de um ponto crítico na Forma Construída e uma regularidade das mudanças qualitativas no Tecido Urbano, segundo uma lei de potência.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O trabalho tem, como objetivo geral, investigar, com o auxílio de medidas de densidade e de centralidade, os comportamentos associados das dinâmicas de Densificação da Forma Construída e de Expansão do Tecido Urbano na expectativa de encontrar relações e padrões articulados entre ambos.

1.2.2 Objetivos específicos

Identificar e descrever possíveis relações críticas entre os processos de densificação e de expansão do espaço urbano, por meio da verificação da existência de pontos críticos e leis de potência, como sendo indícios da presença de Criticalidade Auto-Organizada.

Identificar e descrever possíveis relações métricas entre as matrizes Forma Construída e Tecido Urbano.

Verificar, dentre as medidas de densidade e centralidade da Forma Construída, qual melhor descreve evolução do Tecido Urbano.

1.3 JUSTIFICATIVA

A pesquisa justifica-se pelo pouco conhecimento que se tem da métrica evolutiva dos processos morfológicos provenientes da relação entre densificação e seus efeitos na expansão do território urbanizável, especialmente no que diz respeito à existência de padrões e limites de criticalidade.

Além disso, acredita-se que uma abordagem de pesquisa na linha dos sistemas configuracionais urbanos possa gerar resultados promissores em relação ao reconhecimento dos processos, com vistas à posterior elaboração de modelos descritivos do sistema urbano e de sistemas de suporte à decisão em planejamento e desenho urbano.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é composto de sete capítulos e três apêndices, conforme descrição do Quadro 1.

Quadro 1 – Estrutura do trabalho.

(continua)

Capítulo I	Introdução e delimitação do tema e do problema da pesquisa, formulação da hipótese e dos objetivos da investigação, bem como da sua justificativa e relevância e explicitação da estrutura do trabalho.
Capítulo II	Revisão teórica abordando a cidade como um fenômeno complexo gerido pelo processo comportamental da criticalidade auto-organizada e apresentando os conceitos de metabolismo urbano e de alometria urbana e as medidas de densidade e centralidade da forma urbana .
Capítulo III	Formulação dos conceitos envolvidos no fenômeno do crescimento urbano , a partir dos processos de densificação da forma construída e expansão do tecido urbano e da dinâmica que os envolve e, por último, proposição da abordagem, das medidas e dos indicadores utilizados para mensuração desta dinâmica.
Capítulo IV	Definição dos procedimentos analíticos para testagem da hipótese.
Capítulo V	Apresentação do estudo de caso: Santa Maria – RS.

(conclusão)

Capítulo VI	Apresentação das conclusões, das considerações finais e das proposições para investigações futuras.
Capítulo VII	Referências
Apêndice A	Constituição do Banco de Dados do Sistema Urbano Santa Maria-RS e obtenção das variáveis.
Apêndice B	Relação completa das medidas TAMPARC e TEMPPARC.
Apêndice C	Relação das medidas de DENSMED e CENTMED com frequência mensal.

Fonte: elaboração do autor (2018).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No intuito de alcançar os objetivos desta pesquisa, formulamos na sequência um quadro teórico que procura resgatar o estado da arte do tema em questão, situar este trabalho nesse contexto, e obter foco para o desenvolvimento metodológico desta pesquisa.

Inicia apresentando o conceito de fenômeno complexo, caracterizado por inúmeros componentes, regras de interação locais, simultaneidade e emergência de estados macro; aborda a teoria da criticalidade auto-organizada, que explicaria o fenômeno a partir da sua variação e probabilidade e da emergência de dinâmicas imprevisíveis; e mostra, em paralelo, como e porque as cidades são comparáveis a sistemas complexos que desenvolvem padrões de auto-organização, cujo comportamento está sujeito a modificações em função da inteligência dos seus agentes.

Prossegue apresentando os conceitos de metabolismo urbano, especialmente os desenvolvidos sob perspectiva morfológica e abordando a ciência da alometria a partir da perspectiva urbana.

E termina desenvolvendo os conceitos de densidade e centralidade aplicados ao estudo da Forma Construída, para no capítulo seguinte conceituar o Crescimento Urbano, tema desta pesquisa, como um fenômeno cujo comportamento se suspeita ser condizente com esse conhecimento.

2.1 CIDADE COMO FENÔMENO COMPLEXO

A Teoria Geral dos Sistemas, criada por Ludwig von Bertalanffy (1969) para analisar a natureza dos sistemas e a interação entre as suas partes no campo da biologia, e a Cibernética, fundada por Norbert Wiener (1948) com objetivo de estudar interdisciplinarmente a estrutura dos sistemas no âmbito da engenharia, encorajam os planejadores a tratar as cidades como **sistemas**.

Para Echenique (1975a), os elementos que compõe o espaço urbano são inter-relacionados e a alteração de um deles pode acarretar alterações nos demais, permitindo a sua associação à ideia de sistema, permitindo o estudo da cidade a partir do enfoque sistêmico e possibilitando alcançar sucesso em um dos objetivos da evolução urbana que é descobrir as relações entre os elementos mais significativos

deste espaço. Considera, também, a necessidade de modelos dinâmicos para retratar a dinamicidade dos processos urbanos.

Mas apenas com a “virada do milênio” que se pode verificar uma mudança radical no pensamento sobre cidades, passando a imperar a metáfora de cidades e sociedades como organismos, como sistemas biológicos em vez de físicos, onde as cidades passam a ser concebidas como sistemas que evoluem e crescem e cujas mudanças podem ser geridas, mas raramente projetadas de cima para baixo.

Neste sentido, Portugali (2013) considera a cidade como um conjunto de agentes urbanos, onde os componentes humanos interagem entre si, com os componentes materiais e com o ambiente. A inteligência dos agentes humanos transforma o “artefato cidade” em sistema complexo

Neste sentido, Portugali (2011) considera a cidade como um conjunto de agentes urbanos, onde os componentes humanos interagem entre si, com os componentes materiais e com o ambiente, e desta interação emergem comportamentos coletivos capazes de afetar os comportamentos individuais e assim por diante, transformando o “artefato cidade” em sistema artificial complexo.

Holland (1995) atribui aos sistemas complexos a capacidade de manter sua estrutura e coerência quando submetidos a alterações e Allen (2001 apud BATTY; TORRENS, 2001) afirma que para proporcionar isso podem ocorrer mudanças inesperadas nos comportamentos, onde esta **imprevisibilidade** origina o conceito de “**emergência**”, como aponta:

A definição mais simples de um **sistema complexo** é aquela que pode responder com mais de uma maneira o seu ambiente. A "escolha" como resposta decorre do fato de que os processos não lineares no âmbito do sistema podem potencialmente amplificar a heterogeneidade microscópica escondida no seu interior. Isso, ele argumenta, é a origem deste sobrecarregado conceito de **emergência**, outra maneira de descrever o comportamento que não pode ser antecipado. (ALLEN apud BATTY; TORRENS, 2001).

Para Prigogine (1984) processos de **auto-organização**, em condições afastadas do equilíbrio, ocorrem a partir da amplificação de uma flutuação microscópica resultando em diversas possibilidades de reação.

Segundo Portugali (2013), Peter Allen foi precursor ao desenvolver uma **teoria da complexidade das cidades** (Complexity Theories of Cities - CTC) considerando as cidades como sistemas abertos e complexos que compartilham as mesmas

propriedades dos sistemas complexos naturais, ou seja, abertos, complexos, de baixo para cima (*bottom up*) e muitas vezes caóticos.

Considerando isso, Batty e Torrens (2001), definem sistemas complexos como entidades onde os elementos, as interações e suas dinâmicas, geram estruturas que contêm surpresas que não podem ser pré-definidas.

Eles ainda preconizam a teoria da complexidade como uma forma de simplificar os sistemas complexos. Para eles, muitas vezes, a complexidade resulta de interações não lineares entre as componentes dos sistemas complexos, as quais normalmente conduzem a propriedades emergentes e a dinâmicas inesperadas, onde as características da auto-organização se transformam nas propriedades básicas dos sistemas complexos, permitindo expressar a complexidade pelas características de auto-organização, de não-linearidade, de dinâmica ordem/caos e de propriedades emergentes.

Batty (2007), por sua vez, afirma que o “paradigma da complexidade simplesmente muda o foco, de *top down* (de cima para baixo), para *bottom up* (de baixo para cima)” e enfatiza que as ações são locais e globais, mas com estrutura e ordem que emergem de baixo para cima, a partir de ações e decisões em que os indivíduos e agentes respondem ao seu ambiente e entre si, de forma competitiva e colaborativa.

Batty (2007) ao definir os elementos dos sistemas complexos, afirma que para tentar compreender a complexidade é preciso ter claro que “sistemas complexos nunca podem ser bem definidos”. Exemplo disto são as noções de variação, probabilidades e combinações aplicadas aos edifícios da Grande Londres, onde 4,9 milhões de edificações são distribuídas em um grande número de tipologias diferentes, as quais podem ou não existir. Segundo ele,

Este número de combinações pode ser elaborado de inúmeras formas e, embora possa ser reduzido através da introdução de restrições, sobre o que é viável e comportamentalmente aceitável, ainda é enorme (...) (Tradução livre de BATTY, 2007, p.9).

E, por conseguinte, um dos principais desafios da teoria da complexidade reside em compreender e gerir este tipo de explosão combinatória; o que leva à necessidade da existência de elementos de controle que tem que considerar a improvável igualdade de probabilidade na ocorrência de todas estas combinações.

É impossível imaginar que ações de cima para baixo possam resultar na variação de elementos que encontramos em sistemas complexos, como os edifícios de uma cidade ou os próprios seres vivos. Conforme Batty (2007), nestes sistemas generativos, a **ordem** e a **estrutura emergem** de baixo para cima, gerando sistemas complexos:

A própria vida é o melhor exemplo de tal variação e a maioria de nós concordaria que o tipo de diversidade que vemos à nossa volta só poderia ser gerado por variações genéticas que são consistentes com o neodarwinismo. (...) a evolução de baixo para cima é uma característica da complexidade e isso é consistente com a ideia de que a ordem e a estrutura emergem de ações e interações em tais sistemas. (Tradução livre de BATTY, 2007, p.10).

A emergência da ordem e da estrutura que definem a forma dos sistemas complexos ocorre como resultado de processos dinâmicos de baixo para cima. Estes processos podem progredir continuamente ou gerar problemas, novidades e surpresas, que são descontinuidades tais como a catástrofe e o caos.

As primeiras ideias de dinâmica de sistema aplicadas em modelos usavam o feedback - positivo e negativo para a simulação de cidades, enquanto consideravam suas estruturas estáticas e em equilíbrio. Até que, conforme Batty (2007),

A ideia de que as cidades podem e não devem ser tratadas como estando em equilíbrio, começou a penetrar o campo empurrando-o para as crescentes ciências de complexidade. (Tradução livre de BATTY, 2007, p.11).

Os sistemas complexos apresentam um número muito grande de variáveis e interações, que os impedem de ser estudados por métodos tradicionais que simplificam os fenômenos por meio de modelos de poucas variáveis. O que torna estes sistemas complexos é a sua dinâmica intrinsecamente temporal e a sua **imprevisibilidade**.

2.2 COMPORTAMENTO CRÍTICO AUTO-ORGANIZADO

Várias teorias foram geradas para explicar os sistemas complexos, recebendo diferentes denominação conforme os aspectos que enfatizam, a saber: Prigogine (1984) designou sua teoria de **estruturas dissipativas**, Hermann Haken (1987) – **sinérgica**, Lorenz (1963) - **teoria do caos**, Mandelbrot (1983) - **geometria fractal**,

Bak (1996) - **criticalidade auto-organizada** e, por fim, Barabasi (2002) e Watts (2004) desenvolveram a **ciência das redes**.

A teoria da Criticalidade Auto-organizada (***Self-Organized Criticality - SOC***), segundo Bak e Paczuski (1995) postula que sistemas grandes e dinâmicos evoluem naturalmente, por um processo de auto-organização, a um estado altamente interativo, encaminhando-se a um ponto crítico onde uma pequena perturbação pode levar a acontecimentos catastróficos, designados avalanches, que podem atingir desde proporções mínimas até o sistema como um todo, sendo apropriada para equacionar sistemas com dinâmica evolutiva e propriedades temporais e espaciais.

A teoria é bem definida por Batty (2005), quando afirma:

Criticalidade Auto-organizada é uma teoria construída em torno destes efeitos de interação. Na essência, a teoria postula que quando atividades iniciam a mover-se no tempo e no espaço, as reações em cadeia que resultam destas mudanças seguem distribuições no tempo e no espaço que ocorrem em todas as escalas. Em outras palavras, estas reações podem alcançar desde um simples e isolado movimento até movimentos que envolvem todas as atividades de um sistema; elas não têm comprimento característico de cadeia em termos de duração, não caracterizam número ou tamanho de atividades envolvidas, e não caracterizam distância sobre a qual a reação tem lugar. De fato, experimentos com sistemas teóricos sugerem que a duração e o tamanho das atividades envolvidas nestas reações seguem leis de potência. A principal conclusão é que sistemas C.A.O. evoluem para uma forma que incorpora o estado crítico, no qual estas reações continuamente ocorrem de tal maneira que o estado crítico do sistema é preservado". (Tradução livre de BATTY, 2005, p. 432).

Bak, Tang e Wiesenfeld (1988), dizem que sistemas que apresentam criticalidade auto-organizada são "críticos", apresentando um equilíbrio necessário, a exemplo da interdependência das espécies onde o ecossistema é muito sensível a pequenas alterações ou "ruídos", no entanto, a sensibilidade em demasia não teria permitido a sua evolução até o estado atual. Eles demonstram matematicamente como sistemas dinâmicos com graus espaciais estendidos de liberdade em duas ou três dimensões evoluem naturalmente para estados críticos auto-organizados.

Carneiro e Charret (2005), por sua vez, sugerem que esta criticalidade auto-organizada é o mecanismo comum subjacente por trás dos referidos sistemas e explicitam que "por auto-organizada, queremos dizer que o sistema evolui naturalmente para o estado sem especificação detalhada das condições iniciais (isto é, o estado crítico é um atrator da dinâmica)". E completam, afirmando que este estado

crítico, por ser mais “robusto” que as variações de parâmetros e a presença de aleatoriedade, induz o sistema a reações totalmente imprevisíveis.

Os sistemas dinâmicos dissipativos¹ interagem com graus locais de liberdade e possuem muitos estados diferentes do estado de equilíbrio mais estável, são os chamados estados metaestáveis². Nestes, existem restrições que impedem a transição imediata para o estado mais estável sem alguma perturbação significativa, muitas vezes pequena, de origem externa ou interna, a qual, quando presente levará o sistema para este estado mais estável.

Batty e Xie (1999) já haviam preconizado que sistemas complexos formados por muitos elementos interagentes, apresentam grande resiliência à alterações, mantendo-se em níveis críticos até serem conduzidos abruptamente um novo limiar.

Krafta, Netto e Lima (2011) também consideram a teoria da Criticalidade Auto-Organizada concernente com sistema urbano e afirmam que, ao considerar as interação econômicas, o **ponto crítico** seria o limite de elasticidade, por exemplo, entre oferta de serviços e localização de consumidores, atuando como um atrator do sistema à um estado para o qual aproximar-se-ia e próximo ao qual se manteria.

Bevilacqua (2015) desenvolveu estes conceitos aplicando-os na cidade de Santa Maria – RS, por meio das seguintes hipóteses:

“o crescimento urbano baseado na expansão e densificação de áreas residenciais é um atrator e condiciona a localização de novos serviços urbanos [...] e [...] os processos de crescimento são consistentes com a “criticalidade auto-organizada”, em que os padrões globais emergem de ações locais, refletindo na evolução dinâmica do sistema e sua morfologia.”
(Bevilacqua, 2015, p.33 e 34)

O autor conclui que as avaliações entre centro e periferia e as espacializações dos índices de proximidade permitiram confirmar que o crescimento urbano da cidade de Santa Maria, fundamentado na expansão ou densificação de áreas, é um atrator e condiciona a localização de novos serviços urbanos.

Por sua vez, Batty (2005) aplicou a teoria da C.A.O. na cidade de Búfalo, New York, onde vários atributos na escala do lote, como localização e o ano de construção de todas as propriedades taxadas na área metropolitana, estão registrados desde

¹ Conforme Bak, Tang e Wiesenfeld (1988), sistema dissipativo é um sistema aberto que muitas vezes opera distante do equilíbrio, realizando troca de energia e matéria com o ambiente.

² Conforme Bak, Tang e Wiesenfeld (1988), um estado metaestável corresponde a qualquer estado do sistema diferente do estado de equilíbrio mais estável.

1989 e permitiram que ele mensurasse “como a dimensão fractal da cidade tem se transformado nos últimos anos”. E concluiu que sua pesquisa sugere que “a cidade atingiu um ponto crítico” e especula que tanto para esta como para outras cidades pós-industriais emergentes “a principal fase de transição entre o regime urbano corrente para um que é consistente com uma nova era tecnológica é cada vez mais provável”.

Conforme Bak, Tang e Wiesenfeld (1988), a criticalidade auto-organizada está fundamentada em dois fenômenos, o efeito temporal e o efeito espacial, os quais representam a impressão digital temporal específica, ou seja, a **assinatura de criticidade ou criticalidade** da dinâmica de um estado crítico.

Batty (2005), a partir dos seus experimentos, conclui que a distribuição de avalanches acontece da seguinte forma:

- No aspecto temporal, o número de avalanches com um tempo de duração t - chamadas “lifetimes” – é dado pela equação $n(t)=t^\beta$ onde o expoente $\beta\sim 1.0$;
- Enquanto no aspecto espacial, a distribuição das magnitudes, o número de avalanches de tamanho s é dado pela equação $n(s)=s^{-\mu}$ onde o expoente $\mu\sim 0.4$.

Ele observa que como tamanhos variam com o tempo, estes expoentes podem ser facilmente relacionados e a relação precisa depende da configuração física do sistema em estudo.

Bak, Tang e Wiesenfeld (1988) ilustram a ideia básica de criticalidade auto-organizada em um sistema que denominou de "pilha de areia." Propõem construir a pilha adicionando aleatoriamente areia, um grão de cada vez. Ela vai crescer e a inclinação vai aumentar chegando, eventualmente, a um valor crítico, chamado "ângulo de repouso". Se mais areia é adicionada, a inclinação ficará demasiadamente íngreme e a pilha irá entrar em colapso.

À medida que a altura da pilha atinge dimensões maiores em relação a sua base, deslizamentos (deslocamentos de grãos entre localizações vizinhas) começam a acontecer envolvendo desde apenas os vizinhos locais até todo o sistema, levando ao surgimento de uma forma de organização, a criticalidade auto-organizada, que será responsável por definir o metabolismo de funcionamento do sistema, ou seja, a sua dinâmica.

Quando a pilha de areia atinge uma inclinação constante, chamada de ângulo de estabilidade, o sistema é alçado a um estado estacionário e encontra-se, também, no que chamamos de estado crítico.

Neste estado crítico, caracterizado pela imprecisão, não é possível prever qual o tamanho e o instante em que as avalanches irão ocorrer, pois quando deslizamentos locais ocorrem, podem ou não ser geradas avalanches de grandes tamanhos envolvendo todo o sistema. É neste instante que o sistema atinge a criticalidade auto-organizada.

As avalanches, conforme os autores representam as sequências de deslizamentos de grãos na pilha de areia e ocorrem quando a inclinação da pilha atinge o seu estado crítico, pois, para Batty (2005) “o estado crítico da pilha de areia é a sua inclinação máxima de repouso”.

Outro aspecto fundamental dos sistemas complexos diz respeito a sua **dinâmica**, que Batty (2005), no texto abaixo, associa as taxas de mudanças ocorridas neste sistema:

O caminho chave para distinguir processos em termos de dinâmica é através do conhecimento de suas taxas de mudança. Tipicamente em uma escala de análises de mudanças no espaço ou no tempo, ou considerando a agregação de ambos, processos significantes parecem se tornar mais lentos. Para processos em termos de taxas de mudanças finas existem escalas espacial e temporal, cuja variação é suavizada ao longo do tempo, conforme a aglomeração de ocupação do lugar. Isto é uma consequência óbvia da aglomeração em si (...). Mas isto também é consequência da aglomeração individual onde uma grande variedade de preferências por instituições, atividades ou grupos, ainda mostram o mesmo intervalo de preferências do nível micro, mas estas variações são suavizadas quando são agrupadas em unidades maiores. (Tradução livre de BATTY, 2005, p.425 e 426).

Ele mostra como atividades cotidianas realizadas pelos indivíduos, em um mesmo lugar e horário, ao serem agregadas a grupos ou períodos temporais maiores tendem a ter suprimida a sua “heterogeneidade inteiramente detalhada”. Embora, continua ele, “muitos níveis acima do individual, transformações nas cidades refletem os ciclos de atividades individuais”.

Isto acontece também, segundo Batty (2005), com as transformações no uso do solo, nas atividades econômicas e nas construções, que apesar de operarem vagarosamente ao longo do tempo, “agem nos ciclos de vida das pessoas”. O mesmo ocorre com a vagarosa migração na ocupação dos lugares dentro da cidade que se dá “baseada nos diferentes objetivos de como os indivíduos procuram otimizar seus estilos de vida de longo prazo através das escolhas locais”.

Para Batty (2005) conforme se agregam “dados no espaço e no tempo, obtidos a partir de processos detalhados submergidos, e alguns novos emergidos, da

ocupação destes lugares” os processos de mudança de lugar adquirem um caráter mais arbitrário, ficando a percepção de que na cidade “tudo se transforma, mas todas as coisas permanecem no lugar”.

O autor ilustra esta questão:

O grau de volatilidade da morfologia urbana no nível de mensuração de parcelas construídas na escala do metro, em contraste com o nível do uso do solo urbano e sua morfologia mensurada na escala do quilômetro, é maior. (Tradução livre de BATTY, 2005, p.426).

Dentre as características da dinâmica nos sistemas complexos, duas apresentam particular significado para a noção de transição. As noções de descontinuidade e catástrofe, descritas como sendo transições entre diferentes fases ou estados de um sistema, são difíceis de serem observadas.

Conforme Batty (2005), neste contexto da nossa inabilidade de observar micro mudanças, a transição espacial na microescala, por ser mais rápida, deveria ser mais fácil de ser observada, mas ainda se constitui em um obstáculo na formulação de modelos dinâmicos neste nível. O autor continua afirmando que:

É possível que a noção de transição descontínua seja mais efetivamente demonstrada numa escala mais agregada – no nível de uma cidade regional, ou uma megalópole - e isto reflete o fato que processos de longo tempo de urbanização em si mesmos estão sujeitos a transformações rápidas. Os movimentos a partir de uma sociedade nômade para estabelecer agricultura, e então, uma sociedade industrial são considerados como principal sublevação social e econômica, ocorridas durante um período de muitos anos, no entanto em termos de movimento histórico representam transições dramáticas e abruptas, possivelmente revoluções. (Tradução livre de BATTY, 2005, p.427- 428).

Batty (2005) afirma ainda que a física dos sistemas longe de equilíbrio envolve fases de transição que podem ser usadas para iniciar estudos de urbanização contemporânea, considerando que tanto pequenas sensibilidades, como profundas ondas de transformações tecnológicas em computação e comunicação, dirigirão a transição para uma sociedade pós-industrial. Pois se sociedades inteiras serão urbanizadas, conceitos de cidade terão de ser redefinidos, e teremos de buscar formas físicas mais eficientes para as nossas cidades. Sugere, em relação à cidade, que:

Nós atravessaremos algum tipo de limite, como nós passamos de cidades com uma forma física ainda remanescente da sociedade industrial baseada na mobilidade física e abundante espaço urbano, para cidades onde a oportunidade de mobilidade eletrônica é vastamente disponível, mas em espaço escasso. (Tradução livre de BATTY, 2005, p.428 e 429).

Batty (2005) continua dizendo que é importante conhecer mais sobre a forma da cidade do futuro, não para prevê-la, mas para “prover ferramentas a serem usadas para descrever e mensurar a transição potencial”. E que essas ferramentas passam pelo desenvolvimento de teorias de grande escala para sistemas complexos que evoluem para limites críticos, “incorporando um “frágil” equilíbrio que está mantido por um processo de auto-organização”.

2.3 METABOLISMO URBANO

Com o propósito de explorar o conceito de metabolismo urbano e como este vem sendo usado nas diferentes disciplinas, um evento foi realizado em 2011, pelo Environmental Institute, da University College London, que resultou na publicação: Urban Metabolism at UCL – A working paper, de autoria de BROTO, V.C.; ALLEN, A. e ERIKSSON A.

Conforme Broto, Allen e Eriksson (2011), o conceito inicial e mais tradicional de metabolismo urbano refere-se ao:

Processo metabólico no qual cidades transportam matérias primas, energia e água para dentro do ambiente construído, transformando-os em biomassa e resíduos. (Tradução livre de Broto, Allen e Eriksson, 2011, p.3).

Este processo metabólico refere-se ao conjunto de transformações que ocorrem na cidade de maneira a permitir que esta assimile as pressões a que está exposta e mantenha o equilíbrio do próprio sistema.

Segundo os autores, este conceito tem fomentado novas imaginações a respeito de a cidade ser o lugar onde “material e imaterial fluem através da infraestrutura e de diferentes economias”, sendo responsável pela mediação e reprodução desta entidade biofísica e socioeconômica denominada cidade. Dentre as várias ideias, a que mais tem se destacado é a de pensar sobre como as cidades podem ser sustentáveis a partir da priorização de fluxos realizada pelos arranjos sociais e econômicos.

Broto, Allen e Eriksson (2011) classificaram os trabalhos dos diversos autores que tem se dedicado a reflexão sobre o metabolismo urbano em três perspectivas:

- a perspectiva da analogia Funcional, que enfatiza o metabolismo urbano como condutor das funções de reprodução da cidade;
- a perspectiva da analogia Formal, que usa o conceito como ponto de entrada para a configuração interna da cidade; e, por fim,
- a perspectiva da Produção dialética, que enfatiza o metabolismo urbano na direção da produção e distribuição das economias urbanas.

Vamos proceder a uma breve reflexão sobre elas com intuito de verificar onde enquadrar a dinâmica do crescimento urbano.

A perspectiva da Produção dialética é muito diferente das outras duas porque não trata a cidade como um organismo ou ecossistema, mas compreende o metabolismo a partir dos processos de produção e consumo, que constituem economias modernas. Fundamenta-se na obra clássica de Marx sobre o metabolismo social e procura descrever as relações atinentes aos sistemas de produção, tratando o metabolismo urbano em oposição ao rural e enfatizando as diferenças em termos de taxas de acumulação nos diferentes sistemas. Oferecendo uma visão completamente diversa do tema desta pesquisa.

Já a perspectiva Funcional aborda a fisiologia da cidade como um organismo vivo, como referem Broto, Allen e Eriksson (2011), “assimila a cidade como uma célula ou um simples organismo que relaciona entradas e saídas de resíduos específicos”. Mesmo tratando a cidade de forma ampla, como um ecossistema produtor de uma grande quantidade de energia ou trabalho, focaliza as suas funções e como elas podem ser mantidas. Os autores destacam que:

A necessidade de compreender a função urbana na escala mais ampla do sistema. Isto habilita deslocar o foco de análise dos fluxos através da cidade – input e output – e como estes mantêm as funções urbanas. Para isto a cidade necessita ser conceituada como uma entidade simples, então, por meio de um modelo metabólico simples são observados, a partir de uma perspectiva macroscópica, uma limitada e limitante abordagem, dentro da visão de vários entrevistados. (Tradução livre de BROTO, ALLEN E ERIKSSON, 2011, p.5).

Ao conceituar a cidade como entidade simples, a partir de uma perspectiva macroscópica, a visão funcional limita a abordagem da cidade a uma escala macro e

não permite a visualização da heterogeneidade morfológica das diversas porções do tecido urbano.

A visão morfológica do metabolismo urbano dialoga com a fisiológica ao conceituar a cidade como um sistema de componentes sociais e ecológicos. Neste sentido, estende o foco dos recursos para processos sociais, enfatiza a anatomia do organismo a partir da sua organização interna e alterna a atenção da circulação para a interconexão.

Tanto é assim, que Tyler (2011) afirma ser a cidade uma coleção de pessoas antes de ser uma coleção de objetos e, ainda, que como organismos vivos, as cidades também morrem.

Batty (2011), como já visto, complementa dizendo que as cidades são “sistemas auto-organizados que crescem organicamente de baixo para cima” compostos de pessoas e construções, as quais são entidades com tempo de vida limitado e que por isso “tem de ser renovadas continuamente. ”

Esta visão, ao enfatizar a organização interna da cidade pressupõe a mudança da escala global para a escala local, propiciando o entendimento dos mecanismos que conduzem a dinâmica do sistema.

Segundo Tyler (2011), os princípios estruturais internos da cidade são a questão principal do metabolismo urbano.

Já conforme Broto, Allen e Eriksson (2011),

É assumido que a estrutura interna das cidades organiza e determina os processos de crescimento e decaimento em diferentes áreas urbanas, da mesma forma que o DNA define certos traços e doenças no corpo humano. (Tradução livre de BROTO, ALLEN E ERIKSSON, 2011, p.7).

Eles também definem disfuncionalidade como sendo as “áreas da cidade que podem impedir o desenvolvimento do metabolismo” e justificam a importância do conceito para compreender as implicações normativas da abordagem de analogia morfológica. Eles afirmam também que, especialmente no contexto da globalização, a configuração é determinada por processos ocorridos em outras escalas.

Batty (2011) afirma que, particularmente quando se considera o relacionamento das cidades por meio de redes, “a seiva da cidade é dinheiro e informação”, mas para Revell (2011) é muito mais que fluxo de recursos, “a pessoa é que faz o metabolismo”. Já para Allen (2011) o desafio central é “reconhecer que não é somente fluxo de

materiais, imagens e dinheiro, mas também fluxo de pessoas que definem padrões de globalização”, e que os vínculos pessoais e comunitários “transcendem e tecem” as noções de fronteira.

Mas Allen (2011) preconiza que uma perspectiva metabólica, além de se cercar de um largo conjunto de fluxos, precisa ser “produtivamente expandida para apreender se tais fluxos estão conduzindo para ligações recíprocas ou debilitadas entre cidade e regiões urbanas maiores”, pois isso evitaria uma abordagem que trata a cidade como ilha. Ele enfatiza que este link do metabolismo urbano-rural é útil para mensurar a tendência a sustentabilidade da urbanização e se esta conexão interno-externo, “conduz para um desenvolvimento sustentável e recíproco de ambos, cidade e adjacências.”

A análise de Broto, Allen e Eriksson (2011), a partir da perspectiva de analogia morfológica, foca sobre as forças que conduzem a cidade para processos anabólicos e catabólicos. Eles afirmam que neste contexto, a infraestrutura, a sustentação econômica da população e o tecido da cidade são importantes, mas tem um papel secundário na construção da cidade, pois “mais importante, são os mecanismos de estabelecimento e quebra de morfologias”.

Conforme Cohen (2011), a “cidade é uma arena chave para o entendimento das emissões de gases tóxicos” que causam o efeito estufa e o metabolismo pode ajudar a examinar “as complexas relações entre cidadãos e seus governantes e os espaços que eles habitam, e as mudanças que conduzem para alterar esta ordem” Pois, a partir deste entendimento podem ser agenciadas as formas de reconfigurar as relações dos cidadãos com a cidade.

E segundo Broto, Allen e Eriksson (2011), o metabolismo permite isto, ao considerar “a cidade como um tecido, e os fluxos materiais entre os governantes e o tecido, o governo escolhe a forma do tecido para fazer certa atividade, e os cidadãos escolhem viver neste tecido ou mudar-se.” O metabolismo pode, então, conduzir a “mudanças no jogo, nas suas interações e na sua própria forma.” E, concluem dizendo que isto é morfologia, pois as “interações entre governo e cidadãos, num modelo simplificado, implicam a construção e ruptura de links, que configuram a forma do tecido da cidade.”

Batty (2011) explica como o conceito de metabolismo urbano ativa os conceitos de renovação, decaimento e mudanças no corpo humano e como estes são aplicados na compreensão da regeneração urbana:

Inovações médicas e tecnológicas são o comprimento destes ciclos bastante drásticos. Pessoas estão vivendo mais e cada vez é mais fácil substituir edifícios rapidamente ou construí-los com materiais mais duráveis. Mas para sobreviver e responder as novas mudanças, cidades são continuamente regeneradas e renovadas em si mesmas. De fato, regeneração é a marca de qualquer sistema vivo, e dentro das cidades, a maioria das atividades levam a lugares que podem ser considerados como parte do processo de renovação. Novos crescimentos e decaimentos absolutos tendem a ser uma proporção relativamente pequena da mudança total. De fato, cidades estão continuamente em fluxo, como as pessoas e suas atividades respondem incessantemente as mudanças circunstanciais, que envolvem alterações nos padrões de movimentos, localizações, nos usos dos edifícios e em preferências sociais[...] (Tradução livre de BATTY, 2011, p.8).

Ele mostra que a ênfase não recai sobre o processo que mantém a cidade, mas sim, sobre a forma como perturbações e disfunções conformam a morfologia urbana. Para isto, utiliza uma analogia com ecossistemas: o foco no processo de circulação garante a continuidade do ecossistema analisado pela perspectiva funcional, porém, quando é visado morfologicamente, o foco alterna-se para as rupturas que formam novas distribuições, habilitando o surgimento de novas estruturas.

Voltando a questão da alternância de escalas na visão morfológica do tecido urbano, recordamos que Batty (2011) diz que “as cidades são sistemas auto organizados que crescem organicamente de baixo para cima”, ou seja, onde as rupturas e o surgimento de estruturas individuais, de natureza privada, por isso, constituintes da escala local ou micro, conduzem a rupturas e surgimento de estruturas coletivas, de natureza pública, integrantes da escala global ou macro.

Ao final, Broto, Allen e Eriksson (2011) apresentam as taxas metabólicas como sendo o resultado das transformações morfológicas ocorridas na cidade. Dizem que estas taxas, mesmo sendo homogêneas na escala global, podem ser heterogêneas quando olhas na escala local. Afirmam também, que elas são abordagens “concernentes com questões de alometria urbana”.

2.4 ALOMETRIA URBANA

As transformações ocorridas na morfologia da cidade, em especial nas áreas construída e urbanizada, podem ser estudadas por um ramo da ciência denominado Alometria, o qual estuda o tamanho das partes (elementos) em relação a outras e ao todo.

O físico West (2010) em palestra sobre as regras de escala afirma que, assim como a biologia estuda a alometria dos animais, os elementos e estruturas urbanas funcionam em rede e também apresentam relações de escala que nos permitem estudar as cidades sob a luz da alometria.

Diz West (2010):

É óbvio que uma cidade, ou até mesmo uma empresa, tem estrutura de rede. Nem só no nível social, como também no nível físico, uma cidade tem estradas e estações de gás e gasodutos, que são redes. Mas também tem algo mais abstrato e, em alguns casos, algo mais sofisticado do que na biologia. E isto são redes de interações sociais, que são onde as coisas como a informação e o conhecimento estão sendo traduzidos. Se você voltar para a biologia, outra maneira de dizer isso é que - vamos apenas pensar em mamíferos. O fato de que a baleia está no oceano e o elefante tem uma grande tromba e a girafa tem um pescoço longo e nós andamos sobre duas pernas e o rato corre ao redor, estas são todas as características superficiais. E em termos de sua funcionalidade, a sua concepção fisiológica, sua organização, sua história de vida, a essência do que eles são, na verdade, todas as versões em diferente escala um do outro. Nós somos, em algum nível de 90 por cento, apenas um rato em maior escala. E a pergunta é, isso é verdade nas cidades? New York é apenas uma escala maior de San Francisco, que é uma Boise em escala maior, que é uma escala maior de Santa Fé, mesmo que elas parecem completamente diferentes? Então, o que nós fizemos é olhar para todos esses dados, tudo a partir do número de postos de gasolina, comprimento dos cabos elétricos, número de patentes que produzem, número de policiais e crimes e propagação da doença AIDS e salários, tudo o que poderia colocar em suas mãos, e perguntar: "Se você olhar para essas funções de tamanho da cidade (população), há alguma progressão sistemática?" E para nosso espanto, na verdade, isso existe. Então, de alguma forma média, Santa Fe é uma escala reduzida de New York City. (Tradução livre de WEST, 2010).

O estudo destas relações de escala permitiu, já na década de 1940, que o linguista da Universidade de Harvard, George Kingsley Zipf, elaborasse uma lei empírica (conhecida por Lei de Zipf) que rege a dimensão, importância e/ou frequência dos elementos de uma lista ordenada. Ou seja, uma lei de potências sobre a distribuição de valores de acordo com o nº de ordem numa lista, onde o segundo elemento se repetirá com uma frequência que é aproximadamente a metade do primeiro, e o terceiro elemento com uma frequência de 1/3 e assim sucessivamente.

Já Batty, no artigo *Building a Science of Cities* de 2011, dedica o item *Size, Shape, Scale and Space: Three Laws of Scaling* ao estudo das relações de escala dos componentes da cidade, entre si e com o todo, e entre as cidades, ou seja, a **alometria urbana**. Inicia com o que havia afirmado em 2008: "o que liga todas estas formas e processos em conjunto é a ideia de 'escalar'". Embora o verbo escalar não tenha o mesmo significado na Língua Portuguesa, os verbos que mais se aproximam

são graduar e progredir, ou ainda, transformar, mas aí teríamos que acrescentar transformar sem perder a essência, ou seja, uma transformação limitada por regras de “hereditariedade”. O autor explica que um objeto ‘escala’ quando “de alguma maneira se assemelha a um objeto maior ou menor da mesma forma”, com o qual deve guardar alguma regularidade, podendo apresentar distinções. Batty exemplifica com uma afirmação de Bonner, 2006: “se um objeto escalar com respeito ao seu espaço, isto significa que a sua forma espacial pode ter as mesmas proporções que um objeto maior ou menor”. E continua afirmando que provavelmente estas proporções vão apresentar alguma distorção motivada pela alteração do tamanho, para poder conservar algumas funções críticas. Cita o exemplo do meio de transporte urbano que apresenta modal e tecnologias diferentes com características físicas e de movimento adequadas aos diversos tamanhos de cidade.

Bak também associa a alometria às cidades, desenvolvendo três leis de alometria da forma urbana: lei do número, lei do tamanho e lei da área. Estas leis, desenvolvidas a partir dos estudos de Zipf, guardam grande relação com as regras básicas apresentadas a seguir, a partir dos trabalhos desenvolvidos por Batty.

Batty (2011) apresenta três regras básicas que regem este fenômeno, três leis fundamentais.

1. A primeira lei de escala, chamada regra de classificação dos tamanhos, ou lei de número, tem origem na Lei de Zipf. Estabelece a frequência com que cada classe de tamanho vai aparecer no conjunto dos objetos. Como, por exemplo, o tamanho das cidades em uma rede denominada de rede *scale-free* (sem escala) por Barabasi (2003 apud BATTY 2011).

2. A segunda lei de escala trata da forma como os atributos das cidades alteraram-se em relação ao seu tamanho e um ao outro. Um exemplo é a área (atributo geométrico) de uma cidade que muda de tamanho à medida que a sua população aumenta. Neste caso a relação entre as duas variáveis (x e y) é dada por uma equação do tipo $y=bx^a$ que pode resultar em: uma alometria negativa quando o coeficiente a for inferior a 1 (y cresce a uma taxa alométrica menor que x), alometria positiva quando o coeficiente a for superior a 1 (y cresce a uma taxa alométrica superior a x) ou uma isometria quando o coeficiente a for igual a 1 (y cresce a uma taxa alométrica igual a do x).

Bettencourt (2013) em *The Origins of Scaling in Cities*, afirma que:

A maioria das propriedades urbanas, Y , varia continuamente com o tamanho da população e estão bem descritas matematicamente, em média, por uma relação de escala numa lei de potência com a fórmula $Y=Y_0N^\beta$, onde Y e β são constantes em N . (Tradução livre de BETTENCOURT, 2013, p.1438)

Afirma que cidades de diferentes tamanhos apresentam propriedades muito diferentes, mas que geralmente as quantidades sociais per capita – salários e invenções – aumentam com a população numa escala superlinear, enquanto o volume per capita ocupado pela infraestrutura urbana – estradas, cabos, ... – diminui em uma escala sublinear.

3. Já, a terceira lei de escala diz respeito às interações entre os elementos, no caso da cidade, entre os seus habitantes. Segundo Batty (2011) “Uma razão pela qual atividades criativas, inovações e até mesmo renda escalam em uma proporcionalidade maior do que a população é por causa dos efeitos da interação”, ou seja, com o aumento da população de uma cidade a área que a população dispõe para realizar suas interações também aumenta. Ele conclui, dizendo que “os atributos de renda e afins escalam superlinearmente (com alometria positiva) com a população”.

Bettencourt (2013) em seus estudos sobre alometria urbana, com auxílio de estudos empíricos, desenvolve um sistema quantitativo e unificado para entender, a nível teórico, como as cidades funcionam e como surgiram estas interdependências entre os componentes urbanos. Para tanto, considera a população, a área e a rede social. Esta última consiste no conjunto de interações entre as pessoas (amizade, emprego, conhecimento, e etc.), as quais constituem fenômenos locais.

A estas interações, ele atribui dois tipos de parâmetros: os parâmetros (g_k) positivos são atraentes e expressam um benefício social (como por exemplo: as relações econômicas mutuamente benéficas), enquanto os parâmetros (g_k) negativos são repulsivos e expressam um custo social (como os crimes, por exemplo). Onde κ descreve os tipos de ligações sociais.

Estes processos compartilham a mesma média subjacente à dinâmica de encontros sociais no espaço e no tempo, na perspectiva da cidade e suas redes de infraestrutura. Assim, o número médio de interações locais por pessoa é dado pelo produto: volume gerado por seu movimento ($\alpha_0\ell$) X densidade populacional ($n=N/A$). Onde: ℓ é o típico comprimento percorrido por pessoas, bens e informações; n é a densidade; N é a população e A é a área.

Assim, o resultado social médio de uma cidade pode ser obtido através da multiplicação do número total de interações pelo resultado médio por interação. Onde Y expressa cada saída socioeconômica urbana.

Outra propriedade importante é que: as cidades são populações de mistura, ou seja, mesmo que as pessoas na cidade explorem diferentes locais em diferentes vezes, qualquer local pode, em princípio, ser alcançado por qualquer pessoa.

Fundamentado nesta propriedade, o modelo (algoritmo) por ele desenvolvido permite que todos os indivíduos explorem totalmente a cidade dentro da menor distância percorrida. Como o crescimento da rede é incremental, as redes de infraestrutura se desenvolvem para conectar as pessoas e tendem, assim, a se descentralizar. Mas como o esforço humano é limitado, limites são fornecidos ao algoritmo.

Embora todas as cidades tenham bolsões espaciais e sociais de maior e menor mobilidade, integração social e serviços melhores e piores, a teoria, por ele desenvolvida, não prediz perfis de densidade ou diferenças socioeconômicas no interior da cidade, mas sim magnitudes (medidas) para a cidade como um todo. Segundo ele, como nenhum desses bolsões existe em isolamento absoluto; eles são apenas, mais ou menos “conectados”, então eles devem ser entendidos com referência ao resto da cidade.

Como as interações entre as pessoas também fornecem a base das relações institucionais, as organizações podem beneficiar-se de estar na cidade maior e recolher uma grande intensidade de interações. O que permite expressar níveis de produtividade a partir dos níveis de interação.

Ainda, segundo Bettencourt (2013), o modelo consegue “acertar” as previsões da teoria sobre as quantidades de estradas, magnitude de volume de infraestrutura e, também, sobre o tamanho das economias urbanas.

Para o autor, a concentração espacial e a aceleração temporal das interações sociais nas cidades têm algumas semelhanças qualitativas marcantes em outros sistemas que são igualmente acionadas por forças atrativas e se tornam mais densas com a magnitude, como por exemplo, o tamanho e a escala. Ele cita uma analogia com as estrelas que queimam mais rapidamente e são mais brilhantes com o aumento da massa.

Os trabalhos de Bettencourt, numa visão mais funcional da cidade, abordam o metabolismo a partir da escala global, mensurando taxas alométricas médias,

agregadas ao sistema como um todo. Mas, como mostraremos na próxima seção, é temerário analisar sistemas complexos pela média, visto que estes apresentam muitas flutuações em torno da mesma.

Assim, o desafio de abrir a caixa-preta, de descer a escala local, intraurbana, conduz à aplicação prática da alometria urbana desenvolvida por Batty e sua equipe. Batty, Carvalho, Hudson-Smith, Milton, Smith e Steadman (2007) definem seu trabalho como sendo:

Um primeiro passo no desenvolvimento de escala e alometria para distribuições espaciais dentro das cidades e isso sugere um programa de investigação complementar àquele que vem sendo desenvolvido para relacionamentos equivalentes entre cidades por Bettencourt, Lobo, Helbing, Kuhnert e West. (Tradução livre de BATTY, CARVALHO, HUDSON-SMITH, MILTON, SMITH E STEADMAN, 2007, p.26).

Os autores iniciam relacionando alguns fatores definidores da heterogeneidade na distribuição espacial da densidade dos elementos da cidade:

Populações tendem a se agrupar em torno de locais de mercado [...] densidades tendem a refletir economias de aglomeração que geram um pequeno número de locais de densidade muito alta e um grande número de locais com densidades mais baixas. [...] As cidades são, assim, compostas de clusters fractais com muitos níveis espaciais que parecem seguir regras numéricas (de escala) bem definidas. (Tradução livre de BATTY, CARVALHO, HUDSON-SMITH, MILTON, SMITH e STEADMAN, 2007, p.2).

Mostram como a finitude dos recursos contribui para o surgimento e configuração de porções diferenciadas de tecido urbano:

O fato de que há um pequeno número de grandes cidades e um grande número de pequenas, e que esta distribuição se manifesta numa regularidade que parece persistente ao longo do tempo, reflete a consequência de processos competitivos sob limites de recursos: não há simplesmente nunca o fornecimento de recursos ou demandas para sustentar um grande número de grandes cidades, e, portanto, a maioria das cidades permanece pequena. Os mesmos mecanismos existem claramente na escala mais local, dentro das cidades a competição talvez seja menos feroz, mas, mesmo assim, regulam a ordenação das populações e outras atividades pelo tamanho, constituindo-se na norma e não a exceção. (Tradução livre de BATTY, CARVALHO, HUDSON-SMITH, MILTON, SMITH E STEADMAN, 2007, p.2).

E propõe uma forma de relativizar a estrutura espacial no estudo das relações alométricas:

Vamos estender o estudo de distribuições de tamanho para a estrutura interna de cidades, inicialmente sem a estrutura espacial, demonstrando que as ordens de escala são tão fortes dentro das cidades como entre elas, e, em seguida, reintroduzindo “o espaço” para mostrar a sua importância relativa. [...] Há aqui, uma inflexão adicional para nossa análise de distribuições de tamanhos intraurbanos. Embora vamos começar analisando a distribuição de densidades populacionais, o nosso foco é sobre atributos geométricos em vez de econômicas e demográficas da cidade. (Tradução livre de BATTY, CARVALHO, HUDSON-SMITH, MILTON, SMITH E STEADMAN, 2007, p.3).

Batty, Carvalho, Hudson-Smith, Milton, Smith e Steadman (2007) consideram a ideia de “escalar” associada a variação das dimensões euclidianas dos edifícios:

A ideia de “escalar” em cidades está fortemente relacionada com as limitações que a geometria impõe a densidade e a proximidade e, portanto, vamos examinar as distribuições de tamanho de edifícios em termos da sua dimensão euclidiana - área, perímetro, altura e assim por diante – a partir do argumento, um tanto vago, que estes tamanhos refletem a demanda por população e emprego. Além disso, como edifícios crescem em tamanho, a sua forma deve mudar para lhes permitir funcionar e, portanto, o seu dimensionamento pode ser ligado à sua alometria. (Tradução livre de BATTY, CARVALHO, HUDSON-SMITH, MILTON, SMITH e STEADMAN, 2007, p.3).

Os autores terminam relacionam atividade socioeconômica à construção de geometrias dos edifícios:

Na verdade, uma teoria sólida de alometria urbana deve relacionar atividade econômica e social à construção de geometrias e neste trabalho nós esperamos definir a agenda para futuros trabalhos nesta área. (Tradução livre de BATTY, CARVALHO, HUDSON-SMITH, MILTON, SMITH e STEADMAN, 2007, p.3).

Assim, Batty, Carvalho, Hudson-Smith, Milton, Smith e Steadman (2007) definem a alometria urbana como um campo do conhecimento aberto a novas pesquisas, onde pode-se incluir a análise das relações entre a evolução das áreas construída e urbanizada e a densificação da primeira e a expansão da segunda, cuja relação se faz por meio da medida de densidade.

2.5 DENSIDADE DA FORMA CONSTRUÍDA

Numa visão morfológica da dinâmica do crescimento urbano, a primeira noção que ocorre quando queremos caracterizar a matriz da Forma Construída é a ideia de densidade.

A densidade é uma medida que mostra a distribuição de uma quantidade qualquer por uma unidade de espaço. No estudo da cidade usamos várias medidas de densidade: densidade demográfica, densidade urbana, densidade residencial, densidade construída, etc.

Ao focarmos a Matriz da Forma Construída, quando falamos em densidade estamos nos referindo à distribuição das edificações no tecido urbano, ou seja, a densidade edificada ou construída, bem como a relação da sua magnitude com a magnitude do Tecido Urbano.

A medida de **Densidade da Forma Construída** mensura quão compacta ou intensa é a ocupação do tecido urbano por edificações e como está distribuída, permitindo que se façam ilações a respeito da alometria entre a Matriz Forma Construída e a Matriz Tecido Urbano.

Vários autores, no decorrer do processo de construção da ciência urbana, conceituaram a medida morfológica de densidade, a partir de definições muito simples, até as mais complexas.

Pont e Haupt (2009) conceituam a densidade como um fenômeno “multivariável que consiste de três indicadores fundamentais - intensidade, compacidade e a densidade da rede”, os quais dependem de quatro variáveis: área de terra base, comprimento de rede, área bruta e área edificada; e são construídos para diversos níveis de escala - lotes, loteamentos, bairros, tipos de tecido ou até toda a área urbana. Conceituam também, três indicadores derivados: a altura do prédio, a amplidão - uma medida da quantidade de espaço não construído ao nível do solo por metro quadrado de área bruta, que indica a pressão das edificações sobre o espaço não construído e a tara. Sendo que esta última permite que os mesmos indicadores possam ser considerados para as diferentes escalas.

Embora a complexidade comportamental dos processos envolvidos na dinâmica do crescimento urbano, a medida de densidade pode ser a mais simples possível, visto que o objetivo da mesma é verificar quando a evolução e a distribuição espacial e temporal da magnitude da forma construída atinge seu ponto crítico em relação a magnitude do tecido urbano.

Assim, a Densidade da Forma Construída é definida como sendo a magnitude do estoque de forma construída em relação à magnitude de área territorial do tecido urbano. E, para tanto, será expressa pela seguinte equação:

$$\text{DENS} = \text{FC}/\text{TU} \quad (1)$$

onde, FC é a quantidade do estoque de forma construída, representado pela magnitude de área construída e TU é quantidade de tecido urbano, representado pela magnitude da área territorial urbanizada.

A Densidade da Forma Construída, como já abordamos, pode ser mensurada para diversas agregações espaciais e temporais. Utilizaremos a Densidade agregada temporalmente por meses e anos e espacialmente ao mínimo (a cada conjunto de lotes adjacentes as porções de espaço público) de onde selecionaremos o espaço público de máxima densidade (constituindo a Medida de Densidade Máxima) e no outro extremo, ao máximo (total do Tecido Urbano da cidade) na constituição da Medida de Densidade Média.

Porém, a medida de densidade, por não ser sistêmica, deixa a desejar, pois não considera a distribuição relativa das porções de forma construída no Tecido Urbano. Neste sentido, propõe-se a inclusão da topologia do Espaço Público com o auxílio da medida topológica de centralidade.

2.6 CENTRALIDADE DA FORMA CONSTRUÍDA

Os estudos relativos à configuração espacial urbana demonstram haver relações estruturais entre as matrizes Forma Construída e Tecido Urbano, para além daquelas meramente geométricas descritas pela densidade. As medidas de centralidade, ao capturar as relações estruturais e prover formas mais elaboradas de diferenciação espacial, permitem supor que a 'saturação' do espaço público, aqui, até então, tomada como uma relação simples entre área construída e área de territorial, possa ser entendida como uma distribuição relativa (e desigual) de forma construída sobre o território urbanizado. Isso introduz uma visão completamente nova na análise, permitindo supor que a saturação tem mais a ver com a concentração de formas construídas em determinadas regiões da cidade do que com as quantidades totais de espaço urbanizado e edificações, visando à identificação da emergência de valores críticos na densificação da forma construída.

Deste modo, enquanto, com as medidas de Densidade da Forma Construída estaríamos mensurando a densidade urbana, com as medidas de **Centralidade da Forma Construída**, propostas neste trabalho, estaríamos medindo a intensidade

urbana, caracterizada por ser uma medida de tensionamento espacial gerado por elementos de polarização e posições relativas interconectadas.

Para Batty e Torrens (2001) a teoria da complexidade tem conseguido demonstrar comportamentos até então considerados inexplicáveis, porque considera que estes processos existem em um nível micro e originam fenômenos em um nível macro, diferentemente da visão tradicional que tentava explica-los no nível macro. Análise de centralidade faz exatamente isso, ao assumir uma rede de posições intraurbanas micro, interligadas e carregadas de conteúdo polarizador; a tensão resultante envolve o sistema de localizações como um todo, mas depende de cada unidade.

Para continuar a análise deste processo de densificação propõe-se o uso de um segundo indicador, este baseado na medida topológica de centralidade.

Para Krafta (2009), a medida de centralidade é:

[...] capaz de mensurar a 'quantidade relativa de cidade depositada em cada entidade espacial' ao identificar a diferenciação espacial correspondente à intensidade de atividades urbanas (residenciais, comerciais, ...), bem como dos fluxos de veículos e pedestres nos diversos espaços do sistema de espaços públicos [...].

Isto fica mais explícito quando Faria (2010) apresenta as medidas baseadas no conceito de centralidade, dizendo que:

[...] a ideia de centralidade está fundamentada no fato de que as interações entre vértices não adjacentes obrigatoriamente dependem da mediação realizada por outros vértices e que, de alguma forma, estes últimos se beneficiam das relações indiretas e/ou têm acrescida a sua relevância para o funcionamento da rede. Assim, nesta classe de medidas, o valor do vértice é definido pelo seu papel intermediário entre as inter-relações que ocorrem entre os elementos adjacentes.

CRUCITTI, P.; LATORA, V.; PORTA, S. (2006) empregam a medida de centralidade em áreas urbanas e tem constatado que a análise do padrão distributivo dos valores de centralidade dos espaços públicos do sistema revela aspectos do próprio sistema. Em representações por unidades morfológicas máximas constataram um padrão distributivo exponencial, em traçados mais irregulares tendendo a uma lei de potência e, com arestas valoradas em termos de distâncias geométricas, o padrão de distribuição é exponencial para traçados irregulares ou orgânicos e Gaussiano para

traçados em grelha. Em determinadas situações o padrão distributivo foi capaz de registrar as ruas estruturantes do sistema.

Com isso, acredita-se que a aplicação da medida de centralidade da forma construída possa auxiliar na identificação, por meio da análise distributiva dos valores de centralidade nos diversos espaços públicos, da emergência de valores críticos na forma construída. Especula-se que valores mais altos e muito díspares, evidenciando uma distribuição do tipo lei de potência, poderiam ser indicativos de espaços públicos cuja forma construída adjacente atingiu o seu ponto crítico. Assim, a distribuição dos valores de centralidade em forma de lei de potência indicaria que o sistema se encontra em um estado crítico, caracterizado pela existência de porções de forma construída com densidade crítica.

Especula-se ainda, que a evolução dos histogramas de frequência da centralidade em vários tempos possa revelar mais aspectos da dinâmica do sistema.

E quando estes histogramas, mostrando os tempos em que o sistema se encontra em estado crítico, forem comparados com os períodos de expansão do tecido urbano (as avalanches) poderemos verificar a existência ou não de alguma relação temporal entre os processos de densificação e de expansão, aparentemente dissociados. A existência de algum tipo de relação entre eles poderia indicar o atingimento do ponto crítico.

As medidas de centralidade utilizadas são fundamentadas na medida topológica de Centralidade proposta por Krafta (1994), a partir do relacionamento entre a medida Forma Construída Parcial (com dados agregados por faces de quadra adjacentes a cada espaço público) e as conectividades dos subespaços públicos (desagregados por trechos entre interseções das vias), bem como da sua posterior agregação ao sistema como um todo. O Modelo de Centralidade de Krafta (1994) utiliza a seguinte expressão:

$$t_{ij} = a_i a_j \qquad t_{ij}(k) = \frac{a_i a_j}{p} \qquad C(k) = \sum_{i < j}^n t_{ij}(k) \qquad (2)$$

onde t_{ij} é a tensão entre duas unidades i e j de espaços públicos, a_i e a_j são as quantidades de formas construídas respectivamente em i e j , computadas como seus respectivos atributos, $t_{ij}(k)$ é a parcela de tensão entre i e j atribuída a k , sendo k uma unidade de espaço público pertencente ao ou aos caminhos mínimos entre i e j , p é o

número de unidade de espaço público pertencentes a esse ou esses caminhos mínimos. Finalmente, $C(k)$ é a centralidade de k dada após o cômputo de todos os pares possíveis do sistema.

A Centralidade da Forma Construída, por sua vez, é agregada temporalmente por meses e anos e espacialmente ao mínimo (a cada conjunto de lotes adjacentes as porções de espaço público) de onde selecionaremos o espaço público de máxima centralidade (constituindo a Medida de Centralidade Máxima) e no outro extremo, ao máximo (total do Tecido Urbano da cidade) na constituição da Medida de Centralidade Média.

Assim, mostramos como as medidas de Densidade e Centralidade permitem expressar, respectivamente, a distribuição da densidade e da intensidade da Forma Construída no Tecido Urbano, as quais possibilitariam, quando comparadas aos parcelamentos do solo, identificar os Pontos Críticos na relação entre as matrizes da Forma Construída e do Tecido Urbano.

Apresentados e analisados os conceitos de sistema complexos e metabolismo urbano, as teorias de criticalidade auto-organizada e de alometria urbana e as medidas morfológicas e topológicas hábeis para a descrição e mensuração da distribuição da densidade e da intensidade da Forma Construída no Tecido Urbano, passamos a expor o fenômeno do crescimento urbano, os processos envolvidos e a sua dinâmica.

3 CRESCIMENTO URBANO

A caracterização do fenômeno do crescimento urbano passa pela descrição dos processos envolvidos, da dinâmica entre eles e das medidas e indicadores que poderiam ser utilizadas para a sua mensuração.

3.1 PROCESSOS DO CRESCIMENTO URBANO

Os processos envolvidos na formação da dinâmica do crescimento urbano são a Densificação da Forma Construída e a Expansão do Tecido Urbano.

3.1.1 Densificação da Forma Construída

A densificação urbana, termo genérico, remete de imediato ao aumento da densidade de uso e ocupação do solo urbano e, conforme Krafta e Neto (2011), pode ocorrer por meio “da substituição dos edifícios, das mudanças de uso da terra, e do surgimento de novas centralidades”.

No estudo da dinâmica do crescimento urbano vamos definir o processo de Densificação da Forma Construída como sendo o aumento dos estoques de Forma Construída, ou seja, o aumento de área construída dos edifícios acumulada no Tecido Urbano.

Assim, a densificação da Forma Construída é mensurada por meio da aplicação de duas medidas: a medida morfológica de Densidade da Forma Construída e a medida topológica de Centralidade da Forma Construída. As quais constituem-se medidas acessórias ao permitirem relacionar, de modos diferentes, as medidas principais Forma Construída Parcial e Espaço Privado Parcial, Tecido Urbano Total e a variável espacial Trechos das vias, apresentadas no capítulo da Metodologia.

A Densificação da Forma Construída ao expressar a relação entre Área Construída e Área Urbanizada permite a identificação dos Pontos Críticos na relação entre Forma Construída e Tecido Urbano, os quais, se existirem, permitiriam, juntamente com a determinação de Leis de Potência, inferir a presença de indícios de Criticalidade Auto-organizada à dinâmica do crescimento urbano.

3.1.2 Expansão do Tecido Urbano

Por sua vez, na outra “ponta” da dinâmica do crescimento urbano vamos definir o processo de Expansão do Tecido Urbano como sendo o aumento dos estoques de Tecido Urbano, ou seja, o aumento da área territorial parcelada para fins urbanos.

A Expansão do Tecido Urbano é mensurada por meio de duas medidas principais, a medida do Tecido Urbano Total e a medida dos Parcelamentos, apresentadas no capítulo da Metodologia.

A Expansão do Tecido Urbano, quando mensurada pela medida dos Parcelamentos, permitiria a determinação de Leis de Potência na distribuição destes eventos, as quais, se existirem, permitiriam, juntamente com a identificação de Pontos Críticos, inferir a presença de indícios de Criticalidade Auto-organizada à dinâmica do crescimento urbano.

3.2 DINÂMICA DO CRESCIMENTO URBANO

A dinâmica do Crescimento Urbano parte do pressuposto que sistemas urbanos estão em constante transformação.

Tomemos o exemplo de uma cidade qualquer.

Num determinado momento apresenta todos os seus lotes ocupados com edifícios com índice de aproveitamento 1, teríamos então, que a relação entre área construída e área urbanizada útil³, seria $1/1=1$.

Passados 20 anos, se o acréscimo de área construída fosse 10% e o acréscimo de área urbanizada⁴ fosse também de 10%, a relação continuaria sendo 1, e o sistema seria isométrico; se, ao contrário, um dos elementos crescesse mais do que o outro, o sistema teria comportamento alométrico, sub ou superlinear.

No nosso caso, como os acréscimos ocorrem segundo quantidades discretas diferentes (a Forma Construída em doses muito pequenas e muito frequentes e o Tecido Urbano em doses maiores e menos frequentes) surge a possibilidade da existência de um ponto crítico. Isso quer dizer que entre uma expansão do tecido

³ A área urbanizada útil equivale a matriz Área Privada, onde se encontram todos os espaços territoriais adensáveis – os lotes.

⁴ A área urbanizada, que corresponde à área da matriz Tecido Urbano, é utilizada neste trabalho alternativamente a área urbanizada útil. Isto é possível dado a proporcionalidade estipulada por percentuais entre áreas públicas e privadas pela legislação urbanística.

urbano e outra, o sistema tem comportamento alométrico, porque um dos elementos está crescendo e o outro não. Considerando a Forma Construída como variável de referência, o sistema nesse intervalo é superlinear.

Quando ocorre um novo loteamento (expansão do tecido urbano, avalanche), o sistema pode se modificar de três formas: a) voltar a mostrar padrão isométrico (muito difícil, pois seria necessário que a quantidade de área urbanizada acrescentada fosse igual à de área construída verificada no intervalo), b) manter o comportamento alométrico do intervalo, com a mesma superlinearidade (acréscimo de área urbanizada ainda é menor do que o acréscimo de área construída no período), ou c) mudar para sublinear, quer dizer, acrescentar tanta área urbanizada nova que a relação desta com a quantidade de área construída cairia para menos de 1.

Mas o processo continua, num segundo suposto intervalo, sucessivos acréscimos micro de Forma Construída se sucedem até que outra avalanche ocorre.

Essa nova avalanche pode ocorrer no mesmo ponto crítico (mesmo valor de densidade média, ou de densidade máxima, ou de centralidade, conforme o indicador de ponto crítico que se adote) ou não.

Se a avalanche ocorrer com um ponto crítico mais alto que o anterior, situação mais provável, significa que o sistema é auto similar, mas não repetitivo, pois a densidade, ou a centralidade que dispara a mudança de estado aumenta com o tempo.

O sistema ao atingir o seu ponto crítico torna-se instável e, nesta situação, mesmo pequenos aumentos de forma construída podem ser suficientes para fazer emergir comportamentos de reação que desencadeiam avalanches.

É de se esperar então, que sendo o sistema urbano possuidor de uma dinâmica crítica auto-organizada, as avalanches sejam geradas em diversos tamanhos e tempos de duração distribuídos segundo uma lei de potência, ou seja, poucas grandes e duradouras avalanches e muitas pequenas e rápidas avalanches.

Resumindo, o ponto crítico é atingido quando, hipoteticamente, a relação entre quantidade de forma edificada e de terra urbanizada atinge determinado valor que se acredita possa ser expresso pelas medidas de densidade e de centralidade, a qual, ao agregar a estrutura topológica do tecido urbano, descreveria o processo com mais acuidade.

Apresentados os processos e a dinâmica do crescimento urbano, passamos a caracterizar a sua abordagem.

3.3 ABORDAGEM DO FENÔMENO

A seção estrutura a abordagem dada ao fenômeno do Crescimento Urbano e aos processos de Densificação e Expansão neste trabalho. Para tanto, o fenômeno é abordado:

- por meio da linha de pesquisa dos estudos configuracionais;
- em analogia ao modelo teórico da Pilha de Areia;
- e fundamentado nos conceitos e teorias de sistemas complexos, criticalidade auto-organizada, metabolismo urbano e alometria urbana.

3.3.1. Abordagem configuracional

O estudo do fenômeno do crescimento urbano é desenvolvido por meio da linha de pesquisa “Sistemas Configuracionais Urbanos”, que enfatiza o estudo da morfologia urbana por meio da descrição de estados e processos configuracionais e suas relações com a dinâmica social correspondente.

A abordagem configuracional do sistema urbano pressupõe a sistematização do espaço urbano por meio de matrizes e a sua mensuração a partir da constituição de medidas configuracionais, como a densidade e a centralidade apresentadas na seção anterior.

Krafta (2014) ao sistematizar a morfologia urbana afirma:

Embora pareça ter um repertório inesgotável de componentes e arranjos espaciais, a forma urbana, na sua grande variedade, pode ser associada a um grupo limitado de matrizes [...].

As matrizes da forma urbana são quatro: Espaço Público, Espaço Privado, Forma Construída e Tecido Urbano.

O **Espaço Público (EPu)** é o conjunto das vias, também denominado espaços canais por Echenique (1975b) e Kruger (1996). O EPu é discretizado por unidades morfológicas mínimas, consideradas subespaços do Espaço Público, os quais constituem o espaço viário entre interseções e são denominados **trechos de via (TV)**.

O **Espaço Privado (Epr)** é o conjunto das quadras que contém os lotes, o conjunto dos espaços adensáveis, que contém as edificações. O Epr é agregado por faces de quadra adjacentes a cada trecho de via (TV).

A **Forma Construída (FC)** é o conjunto das edificações, as quais junto com os lotes abrigam as atividades e por isso, também denominadas estoques por Echenique (1975b) e Kruger (1996). A FC é caracterizada pela sua magnitude (quantidade de área construída), e agregada por faces de quadra adjacentes a cada TV e no total do sistema.

E o **Tecido Urbano (TU)** é o conjunto que contém os Espaços Público e Privado e, também, a Forma Construída. Constitui a expressão do próprio sistema urbano. Resulta da acumulação dos processos de parcelamento do solo durante o tempo de desenvolvimento daquele assentamento. O Tecido Urbano corresponde à área territorial urbanizada, sendo caracterizado pela magnitude da sua área territorial e desagregado em parcelas resultantes dos processos de parcelamento do solo (sob a forma de desmembramentos, loteamentos e condomínios fechados) e agregado ao conjunto de todos os parcelamentos do espaço urbano.

Assim, as matrizes Tecido Urbano, Espaço Público e Espaço Privado são as áreas territoriais, que correspondem aos estoques de área urbanizada, enquanto a matriz Forma Construída corresponde ao estoque de edifícios.

Entende-se por área urbanizada, a área efetivamente ocupada pelo tecido urbano.

A figura 1 apresenta a classificação do Espaço Urbano em matrizes e a desagregação das variáveis que os constituem.

Figura 1 – Classificação e desagregação configuracional do sistema urbano.



Fonte: Silva, E. L. B, adaptado de Krafta (2018).

3.3.2. Analogia a Pilha de Areia

O fenômeno do crescimento urbano, em função da sua dinamicidade e complexidade, é estudado analogamente ao sistema de transporte desenvolvido por Bak, Tang e Wiesenfeld (1998), denominado Pilha de Areia.

Como analogia podemos dizer que:

- as Formas Construídas (áreas dos edifícios) adicionadas constantemente ao sistema assemelham-se aos grãos de areia;
- o Tecido Urbano (área urbanizada) assemelhasse à base da pirâmide;
- a relação entre a magnitude da Forma Construída e a magnitude do Tecido Urbano – mensurada pela Densidade da Forma Construída e pela Centralidade da Forma Construída, constitui o ângulo de inclinação da pilha de areia;
- e os Parcelamentos que constituem os eventos isolados de adição abrupta (catastrófica) de área ao Tecido Urbano, assemelham-se as avalanches.

Os parcelamentos são caracterizados por seus efeitos espaciais e temporais, a saber, respectivamente, tamanho e intervalo de tempo entre os eventos:

- o efeito temporal é expresso pelo intervalo de tempo decorrido entre um parcelamento e o subsequente. Derivado deste aspecto, pode-se classificar os parcelamentos pelo seu tempo de duração - denominado “lifetime” por Batty;

- e o efeito espacial constitui-se no tamanho do parcelamento, ou seja, na magnitude da sua área territorial.

Os efeitos temporais e espaciais dos parcelamentos são analisados pela distribuição das suas ocorrências, por meio da equação:

$$N(\text{PARC}) = \text{PARC}^{-a} \quad (3)$$

onde $N(\text{PARC})$ é a função que representa a distribuição dos eventos “Parcelamento”, PARC são os eventos parcelamentos e a é um parâmetro constante conhecido por expoente ou parâmetro escalar, que, quando próximo a 1, indicaria uma função de distribuição do tipo lei de potência, que permitiria, juntamente com a identificação de Pontos Críticos, inferir se o sistema apresenta indícios de comportamento Crítico Auto Organizado.

3.3.3. Associação conceitual e teórica

A presente seção aborda o fenômeno do crescimento urbano a partir da ótica dos sistemas complexos com comportamento crítico auto-organizado, cujo metabolismo envolve os processos de Densificação da Forma Construída e de Expansão do Tecido Urbano podendo ser mensurado por meio da alometria urbana.

Iniciamos apresentando o crescimento urbano a partir dos conceitos atinentes aos **sistemas complexos** e a **teoria da criticalidade auto-organizada**.

O crescimento urbano envolve ações que ocorrem de baixo para cima, pois a construção de novos edifícios e loteamentos resulta dos interesses dos diversos agentes urbanos, condizente com a noção de que as cidades crescem de baixo para cima, como diz Batty (2007), numa “ação concertada de milhões de indivíduos e agências que geram estruturas de complexidade que são praticamente impossíveis de gerir, controlar ou redesenhar de cima para baixo”.

Os elementos dos sistemas que compõe o processo do crescimento urbano constituem, também, uma grande variabilidade:

- os edifícios apresentam variabilidade na dimensão geométrica (diferentes alturas e composições formais na sua base), na dimensão dos usos (atividades residenciais, comerciais, serviços e industriais, dentre outras) e na dimensão da magnitude, onde apresentam quantidades variadas de área física;

- os parcelamentos, por sua vez, apresentam variabilidade na dimensão geométrica (diferentes formas territoriais, forma e número de lotes, tipos de ruas, etc.), na dimensão dos usos (para fins residenciais, comerciais, serviços e industriais, dentre outros), na dimensão da magnitude (quantidade variada de área territorial) e na dimensão da acessibilidade.

Portanto, a compreensão desta variabilidade passa pelo reconhecimento da existência de padrões entre as magnitudes de Forma Construída e do Tecido Urbano.

No crescimento urbano, as mudanças porque passa a forma urbana são locais (algumas microscópicas como as adições de forma construída) e descoordenadas, mas simultâneas, e resultam em estados macro (formas globais e macroscópicas como as adições de tecido urbano) imprevisíveis e instáveis, num nítido processo de baixo para cima.

O crescimento urbano é um processo dinâmico, que ocorre em dois momentos distintos.

1º momento: a construção de novos edifícios representa acréscimo na área construída.

2º momento: a densificação da área construída poderia, ou não, levar a um ponto crítico na relação entre a área construída e a área urbanizada.

3º momento: se atingido o ponto crítico, a descontinuidade se daria com a implantação de novos parcelamentos.

Sendo assim, fundamentado nas considerações de Batty (2007), no segundo momento a ordem e a estrutura do sistema emergem de baixo para cima, pois é o momento em que as ações passam da escala microscópica (local) para a macroscópica (global). Justamente neste instante é que ocorreria decisão: se não foi atingido o ponto crítico, o processo de crescimento urbano continuaria apenas com o crescimento da área construída, nada acontecendo com a área urbanizada; por outro lado, se foi atingido o ponto crítico o processo sofreria descontinuidade, representada pelo acontecimento da catástrofe (avalanche), com o acréscimo pontual de área urbanizada.

Este segundo momento poderia ser, ainda, analisado sob o aspecto da pertinência da utilização das medidas morfológicas de densidade e centralidade. A relação entre área construída e área urbanizada poderia ser pensada como sendo a intensificação da utilização dos espaços públicos que proveem acessibilidade aos espaços privados, os quais contém as áreas construídas. Neste caso, o limiar crítico

estaria na capacidade destes espaços públicos em abrigar os deslocamentos originados nas porções de forma construída e o seu atingimento representaria a descontinuidade, com o acréscimo de áreas urbanizadas e, conseqüentemente, novos espaços públicos. Isso indicaria que a decisão sobre o acontecimento da avalanche dependeria da intensidade de utilização dos espaços públicos, o que justificaria a inclusão do sistema de espaços públicos no estudo da dinâmica do crescimento urbano.

Na dinâmica do crescimento urbano o Tecido Urbano (oferta) é ocupado por Formas Construídas (demandas) e novas áreas de TU são ofertadas apenas quando as existentes passam a abrigar uma determinada quantidade percentual de área construída. Este percentual representaria o limite de elasticidade entre as áreas construídas e as áreas urbanizadas, ou seja, o Ponto Crítico entre a Forma Construída e o Tecido Urbano. Dentro deste limite as áreas urbanizadas seriam suficientes para aquela demanda de área construída e fora do qual haveria uma força encorajando emergências de novas áreas urbanizadas. Conseqüentemente, esse ponto crítico seria um atrator da dinâmica do crescimento urbano, ou seja, um estado para o qual o sistema tenderia e no entorno do qual permaneceria.

O mecanismo que leva o aumento da Forma Construída e a sua conseqüente densificação a, no limite, conduzir o processo de expansão Tecido Urbano corresponde, conforme Batty, a um processo de reação, que significaria uma transição abrupta para um novo regime, onde a reação seria a expansão do Tecido Urbano e o novo regime seria um Tecido Urbano ampliado. Isto nos leva a intuir que a ampliação do Tecido Urbano deveria ser classificada como uma transição abrupta, reflexo de transições suaves ocorridas na matriz da Forma Construída como resultado de ações individuais. Poder-se-ia, ainda, dizer que o grau de volatilidade das transformações na Forma Construída (adição de edifícios) é maior que o grau de volatilidade das transformações no Tecido Urbano, onde cada parcelamento representa um conjunto significativo de lotes, fundamentando a suposição inicial deste trabalho de que a Forma Construída parece estar em constante ampliação, enquanto a variação do Tecido Urbano parece acontecer em ciclos - por algum tempo nada acontece e de repente surgem um ou mais Parcelamentos simultâneos.

A função deste mecanismo seria indicar, a cada variação no estoque da Forma Construída, se a reação seria de continuidade ou de descontinuidade. A continuidade aconteceria quando a Densidade e/ou a Centralidade da Forma Construída ainda não

atingiu o seu limiar crítico, enquanto a descontinuidade, também relacionada à noção de catástrofe, ocorreria quando uma ou duas destas medidas alcançassem o seu ponto crítico. Assim, a continuidade implicaria a manutenção da magnitude territorial do tecido urbano existente, em outras palavras, nada aconteceria com o tecido urbano, enquanto a descontinuidade implicaria na expansão do Tecido Urbano por meio da implantação de novos parcelamentos.

Cabe ainda especular sobre os comportamentos dos dados e sua agregação em relação as escalas do espaço urbano, quando da análise do seu crescimento. As mudanças no nível micro, na escala local, são representadas pela adição de Forma Construída, onde o dado mais desagregado possível, a quantidade de área construída em cada parcela urbana (lote), varia espacial e temporalmente da seguinte forma:

- em relação à agregação temporal, os edifícios são construídos dia-a-dia, talvez até menos – hora-a-hora, mas do ponto de vista da viabilidade de existência do dado, a menor desagregação é diária, pois cada documento de registro expedido pela prefeitura está atrelado a uma data (um determinado dia) de expedição do documento;
- já em relação à agregação espacial, existe a disponibilidade do dado detalhado da construção de novas quantidades de área construída em cada lote, pois cada edifício possui ou deveria possuir o seu documento de habite-se.

A dificuldade encontrada nesta questão diz respeito à forma de agregação do dado. A agregação mínima, quantidade de área construída por lote e por dia representaria uma elevação muito grande na quantidade de dados a serem manipulados, o que, conseqüentemente, elevaria o tamanho da análise combinatória e a complexidade da sua análise.

No outro extremo do processo, as mudanças no nível macro, na escala global, são representadas pela adição de Tecido Urbano, onde o dado mais desagregado possível, a quantidade de área territorial em cada empreendimento de parcelamento do solo para fins urbanos (loteamento ou desmembramento), varia espacial e temporalmente da seguinte forma:

- em relação à agregação temporal, os parcelamentos são construídos durante um grande período de tempo, mas do ponto de vista da viabilidade de existência do dado, a menor desagregação é diária, pois cada documento de licença, seja de instalação, seja de ocupação, expedido pela prefeitura está atrelado a uma data (um determinado dia) de expedição do documento, o dia em que, pelo menos

burocraticamente, o novo parcelamento começa a funcionar, passa a integrar o sistema;

- já em relação à agregação espacial, existe a disponibilidade do dado detalhado da implantação de novas quantidades de área territorial em cada parcelamento, pois cada loteamento ou desmembramento possui ou deveria possuir os seus documentos de licença.

Neste caso, das mudanças no nível macro, utilizar a agregação do dado quantidade de área territorial por parcelamento e por dia não representaria uma elevação muito grande na quantidade de dados a serem manipulados, visto que os parcelamentos ocorrem em número muito menor que o de lotes na cidade. No entanto, a agregação temporal mínima, diária, parece não ser necessária visto que, conforme Batty (2005), o grau de volatilidade das transformações no Tecido Urbano é menor do que o das transformações na Forma Construída.

Em relação a isto, cabe ainda ressaltar que a análise das mudanças decorrentes da densificação da forma construída relativizada à sua localização exige que a mesma seja agregada coincidentemente com a discretização do espaço público, para, então, permitir a mensuração da Medida Topológica de Centralidade da Forma Construída. Portanto, a variação espacial e temporal dos dados da Forma Construída e a discretização do Espaço Público para a constituição da medida de centralidade, poderia ocorrer da seguinte forma:

- em relação à agregação temporal da Forma Construída, como a menor desagregação na incorporação de novos edifícios é diária, o dado área construída pode ser diário, mensal, anual, etc.;

- já em relação à agregação espacial da Forma Construída, a quantidade de área construída pode levar em conta a entrada de cada novo edifício no sistema, ou ser agregada por conjuntos de novos edifícios adjacentes ao espaço público que possibilita o acesso aos lotes que abrigam os referidos edifícios, e, portanto, coincidir com a discretização adotada para o espaço público;

- e, por fim, a discretização do espaço público pode ser mínima, por trechos de via entre duas interseções ou, máxima, considerando cada via como uma linha axial.

Na sequência apresenta-se o crescimento urbano sob a ótica do conceito de **metabolismo urbano**.

A análise das perspectivas (funcional, formal e dialética) que vem sendo utilizadas na abordagem do sistema urbano como processo metabólico permite

demonstrar a adequação do fenômeno do crescimento urbano a perspectiva da analogia formal, com uma visão morfológica, em virtude da ênfase na organização interna do organismo e na interconexão de suas partes.

Abordando o crescimento urbano a partir de uma visão morfológica passamos a definir o que se entende por fluxo na morfologia da cidade, ou melhor, que elementos da cidade são capazes de desenvolver conectividades e ligações.

A matriz Espaço Público (EPu) é formada pelo conjunto de “subespaços” que constituem as vias urbanas, e para possibilitar a sua função precípua – garantir os deslocamentos urbanos - encontram-se interconectados em maior ou menor grau e, por isso mesmo, possibilitam o desenvolvimento de muitos outros tipos de conectividades, como os fluxos materiais e imateriais de pessoas, cargas e, especialmente, as comunicações, que permitem a criação dos vínculos pessoais e comunitários citados por Allen (2011). Assim, o Espaço Público constitui o meio fundamental para parcelar o território e ocupar cada parcela com formas construídas e atividades. O sistema espacial constituído pelas unidades de espaço público, parcelas ocupáveis de espaço privado, e formas construídas, firmemente interconectadas, apresenta características hierárquicas capazes de gerar diferenciação espacial. Isso acarretaria que diferentes magnitudes de densidade da forma construída podem atingir o ponto crítico em diferentes localizações do tecido urbano. Desta forma, o Espaço Público, sendo parte da dinâmica do crescimento urbano, é responsável por valorar diferenciadamente as porções de forma construída, tornando a densidade das mesmas uma medida relativa, pois depende da sua localização no tecido urbano. Cabe salientar que, neste estudo, não temos a pretensão de identificar como se distribui esta relatividade e como impacta no atingimento do ponto crítico, mas apenas verificar a sua existência.

Sendo assim, com a constituição do espaço público como “lugar” do acontecimento dos fluxos, aprofunda-se a aproximação da dinâmica do crescimento urbano ao conceito de metabolismo urbano, onde os termos usados por Allen (2011):

- o “largo conjunto de fluxos” é constituído pelas conectividades do espaço público que relativizam o estudo à estrutura topológica do tecido urbano;
- e o “link do metabolismo urbano-rural” é representado pelas perdas de terreno rural, muitas vezes produtivo, para a expansão do tecido urbano.

Na dinâmica urbana em construção, os processos anabólicos (de síntese, onde novas estruturas são ligadas pela incorporação de formas adicionais de energia) estão representados pelos processos de Densificação da Forma Construída e de Expansão do Tecido Urbano, enquanto os catabólicos (de desligamento), pelos edifícios que são demolidos para darem espaços para outros mais lucrativos e pelas terras rurais que são urbanizadas.

Nos processos de Densificação da Forma Construída e de Expansão do Tecido Urbano, de um lado, novos edifícios e novos loteamentos são as novas estruturas ligadas ao espaço público existente, por meio da incorporação de recursos financeiros que representam as formas adicionais de energia. E de outro, os edifícios demolidos e as terras que deixam de ser rurais, são as estruturas quebradas ou desligadas para extrair energia, ou seja, dar espaço para as novas estruturas:

- na matriz Forma Construída, a destruição de edifícios, geralmente com pouca área construída e, que em razão disto propiciam retorno econômico menor que o possível naquele lugar, representa os processos catabólicos; cuja destruição permite a construção de novos edifícios com áreas construídas dentro do máximo permitido, e conseqüentemente, com maior retorno financeiro, os quais são os processos anabólicos;

- enquanto, na matriz Tecido Urbano, o empreendimento de novos loteamentos constitui processos anabólicos; enquanto os processos catabólicos são, muitas vezes, a perda de área rural produtiva para agricultura. Nesta transição, geralmente, um pequeno recurso investido em produção agrícola que gera certo retorno financeiro, é trocado por um investimento bem maior em urbanização, o qual trará um retorno financeiro maior que o anterior. Nesta troca, que constitui um processo de estabelecimento e ruptura e ligações, ou seja, de construção e quebra de morfologias, geralmente perde o meio ambiente e o cidadão, razão pela qual a expansão territorial das cidades é evitada pelos urbanistas que tendem a considerar cidades mais compactas e densas como cidades mais ecológicas.

Por sua vez, os processos anabólicos e catabólicos, de estabelecimento (construção de novos edifícios e loteamentos) e de ruptura (destruição de edifícios e espaços agrícolas) de morfologias ocorrem mediados por mecanismos que dependem dos interesses dos diversos agentes urbanos dentre os quais se podem citar o aumento da qualidade de vida do ambiente construído, o aumento do lucro imobiliário,

a redução dos gastos com infraestrutura, embora os mesmos não constituam o escopo deste trabalho.

As rupturas e o surgimento de novas estruturas ocorrem nas quatro matrizes da forma urbana.

As rupturas ocorrem no Espaço Privado quando os terrenos deixam de remunerar adequadamente seus proprietários ou abrigam usos que se tornaram incompatíveis com o entorno ou região; na Forma Construída acontecem rupturas quando edifícios são demolidos, para dar lugar a outros mais rentáveis economicamente e adequados a novos usos e tecnologias, muitas vezes motivadas pelas rupturas no Espaço Privado; já no Espaço Público as rupturas equivalem a perdas nas conectividades que acontecem quando trechos de via são interrompidos ou conversões são proibidas, muitas vezes pela própria redução na fluidez do tráfego, geralmente motivadas pelo processo de densificação da Forma Construída, onde as rupturas anteriormente citadas habilitam o estabelecimento de novas estruturas; e, por sua vez, no Tecido Urbano as rupturas ocorrem quando áreas rurais deixam de ser aproveitadas pelo setor primário para serem parceladas para fins urbanos.

As novas estruturas ocorrem no Espaço Privado quando os terrenos passam novamente a remunerar adequadamente seus proprietários e a abrigar usos compatíveis com o entorno ou região; na Forma Construída as estruturas correspondem aos novos edifícios, economicamente mais rentáveis e adequados aos novos usos e tecnologias, que constituem o processo de Densificação da Forma Construída; enquanto, no Espaço Público as estruturas são representadas pelas conectividades dos subespaços públicos existentes com as novas ruas criadas, geralmente em decorrência do processo de Expansão do Tecido Urbano; e, por sua vez, no Tecido Urbano o surgimento de estruturas corresponde a incorporação de novas porções de tecido (novos parcelamentos) ao existente, constituindo-se no processo de Expansão do Tecido Urbano. O estabelecimento destas estruturas, assim como na Forma Construída e no Espaço Público, também gera alterações estruturais na morfologia urbana.

Outro aspecto abordado por Batty (2011) diz respeito a alternância das escalas, o qual na dinâmica do crescimento urbano ocorre, também, nas quatro matrizes: no Espaço Privado, as estruturas são individuais e pertencem a escala local, pois acontecem em porções territoriais individualizadas (terrenos) para atender a interesses também individuais (proprietários dos terrenos) e são, na maior parte das

vezes, de propriedade privada; na Forma Construída as estruturas, na mesma linha do espaço privado, também são individuais e enquadram-se na escala local, pois acontecem em porções individualizadas (edifícios) para atender a interesses também individuais (proprietários dos edifícios) e são, na maior parte das vezes, de propriedade privada; já, no Espaço Público as estruturas também são individuais e pertencentes à escala local, mas repercutem na escala global, pois os seus reflexos não ficam limitados aos subespaços cuja conectividade foi alterada, mas se estendem em maior ou menor intensidade, aos demais. Então, é no espaço público que o processo de crescimento passa da escala local para a global; e, por outro lado, no Tecido Urbano as estruturas enquadram-se na escala global, visto que, apesar de envolverem espaços individualizados (terrenos) de natureza privada, as novas vias são espaços de natureza pública.

Retomando as palavras de Batty (2011), “as cidades são sistemas auto-organizados que crescem organicamente de baixo para cima”, percebe-se que o momento, o “start” do crescimento, ocorre com a mudança de escala. E isto acontece quando o surgimento de estruturas na Forma Construída - escala local, conduzem a o surgimento de estruturas no Tecido Urbano - escala global, mediados por estruturas do Espaço Público, que acontecem na escala local e refletem na global.

Esta consideração restringe o foco deste trabalho de pesquisa. Enquanto o metabolismo urbano envolve surgimentos e rupturas de estruturas nas quatro matrizes da forma urbana (Espaço Privado, Forma Construída, Espaço Público e Tecido Urbano), **a dinâmica do crescimento urbano** relaciona as matrizes **Forma Construída e Tecido Urbano**, a partir de um padrão alométrico que determina o ponto crítico da densidade, o qual é relativizado pela centralidade estabelecida no Espaço Público, por meio das conectividades dos novos parcelamentos.

Nesta linha, pretende-se descobrir se existe uma regra que determine as condições para que o surgimento de estruturas na Forma Construída conduza ao surgimento de estruturas no Tecido Urbano e, considerando que o foco não está em explicar a dinâmica (descobrir o que e como é acionada, com que objetivo), mas em descobrir se o processo específico envolvendo acréscimos de forma construída e de área urbanizada segue um padrão identificável.

A verificação deste padrão, fundamentada em métodos de **alometria urbana**, indicaria a existência de uma dinâmica ou, até, de um metabolismo ou, ainda, de uma relação consistente de produção dessas duas matrizes de modo associado, o que

remete a um dos objetivos deste trabalho: descobrir se existe uma regra de alometria urbana que determine as condições para que o estabelecimento de estruturas na Forma Construída conduza ao estabelecimento de estruturas no Tecido Urbano.

Esta regra de alometria passa pelo mecanismo de reação que indica se haverá ou não a descontinuidade com o estabelecimento de novos parcelamentos. O mecanismo, como vimos, utiliza-se da noção de densidade de ocupação do território por edifícios, cuja distribuição ocorre diferenciadamente nos diversos subespaços (Trechos de Via) do Espaço Público, remetendo a necessidade de abordá-lo a partir de uma escala local, que permita a verificação de como a heterogeneidade do surgimento das estruturas construídas influencia no atingimento do limiar crítico entre a Forma Construída e o Tecido Urbano.

O reconhecimento desta heterogeneidade inicia-se pelo conhecimento da densidade da Forma Construída e da distribuição das suas magnitudes, para posteriormente, introduzir a estrutura espacial, cujo relacionamento dos Espaços Públicos é responsável pela constituição da medida de centralidade. O estudo, então, perpassa a análise da Densidade e da Centralidade da Forma Construída em cada Trecho de Via e agregada ao sistema urbano.

As análises das Densidades e Centralidades da Forma Construída levam em conta a variação espacial e temporal destas medidas a partir da ideia de “escalar” apresentada por Batty (2011). Enquanto nos trabalhos desenvolvidos por Batty e sua equipe as dimensões euclidianas dos edifícios “escalam” (variam de proporção) em função da demanda por população e emprego, no nosso caso, a magnitude da Forma Construída (expressa pela medida de densidade da forma construída) “escala” a partir de demandas por espaço construído para abrigar atividades. O que nos permite examinar as distribuições de magnitude da forma construída por meio das magnitudes da densidade da forma construída.

Neste mesmo sentido, Batty e sua equipe relacionam atividade socioeconômica à construção de geometrias dos edifícios, enquanto nós relacionamos a atividade socioeconômica à densidade da Forma Construída. E, neste caso, especula-se a existência de alguma relação de proporcionalidade entre estes dois fenômenos e com o processo de expansão do tecido urbano. E assim, surge a pergunta: será que uma maior densidade, ao expressar maior grau de atividade socioeconômica, guarda relação direta de proporcionalidade com a sensibilização do comportamento que conduz a expansão do tecido urbano?

E continua-se perguntando, o mecanismo que conduz a densificação da forma construída à expansão do tecido urbano é acionado quando:

- a densificação do sistema, como um todo, atinge determinado limite ou Ponto Crítico?
- e/ou a densificação de alguma(s) porção(ões) do Tecido Urbano atinge determinado o Ponto Crítico?

No sentido de compreender estes comportamentos e responder as referidas perguntas, utilizamos funções estatísticas que permitem relacionar os dados das medidas de variação dos estoques edificado e de área urbanizada, visando os seguintes objetivos:

- verificar se existe uma regra alométrica que relacione a evolução das magnitudes da Forma Construída Total com a evolução das magnitudes do Tecido Urbano Total;
- identificar os Pontos Críticos da relação entre Forma Construída Parcial e Total (expressas pela sua densidade e centralidade) e Parcelamentos;
- e verificar a sensibilidade das medidas de densidade e centralidade, em cada trecho e no sistema como um todo, em descrever a evolução do Tecido Urbano.

E concluímos, dizendo que enquanto Batty e sua equipe incluem o espaço como argumento de análise, nós incluímos o tempo. Visto que ao compararmos dados de uma série histórica podemos verificar se as magnitudes da Forma Construída guardam alguma constância entre os diversos tempos em que ocorre a expansão do Tecido Urbano, o que é esperado em fenômenos críticos.

3.4 MEDIDAS E INDICADORES DA DINÂMICA DO CRESCIMENTO URBANO

A observação e mensuração dos processos envolvidos na dinâmica do crescimento urbano pode ser realizada a partir da constituição de medidas de variação e de relação entre os estoques.

A mensuração da variação dos estoques de edifícios e de área urbanizada é realizada pelas seguintes medidas de variação:

- Forma Construída Parcial (FC_P);
- e Forma Construída Total (FC_T), para o estoque edificado;
- Espaço Privado Parcial (EPr_P);

- Tecido Urbano Total (TU_T);
- Tamanho dos Parcelamentos ($TAMP_{PARC}$);
- e Tempo entre Parcelamentos ($TEMP_{PARC}$), para o estoque de área urbanizada.

A mensuração da distribuição da densidade e da intensidade da Forma Construída no Tecido Urbano é realizada por medidas morfológicas e topológicas, designadas como medidas de relação entre os estoques, a saber:

- Densidade Máxima ($DENS_{MAX}$);
- Densidade Média ($DENS_{MED}$);
- Centralidade Máxima ($CENT_{MAX}$);
- e Centralidade Média ($CENT_{MED}$).

O relacionamento das medidas Densidade Máxima, Densidade Média, Centralidade Máxima e Centralidade Média com a medida Tecido Urbano Total permite a elaboração do indicador de sensibilidade das medidas, indicando qual das medidas principais melhor descreve a evolução do Tecido Urbano.

Por sua vez, o relacionamento das medidas Densidade Média e Centralidade Média com as medidas Tamanho e Tempo entre Parcelamentos permite produzir os indicadores de Pontos Críticos para cada uma das medidas, os quais indicam o estado do estoque edificado nos pontos de ocorrência de expansão da área urbanizada e um possível padrão entre as mesmas.

Com as medidas Tamanho e Tempo entre Parcelamentos são produzidos os indicadores de distribuição dos Tamanhos e dos intervalos de Tempo entre os Parcelamentos, com os quais pode-se determinar possíveis leis de potência.

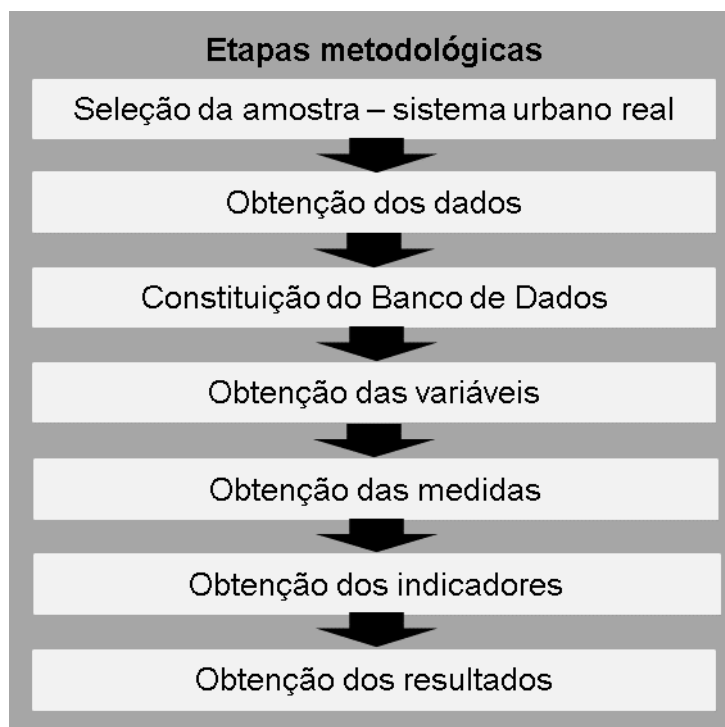
E, por último, as medidas Forma Construída Total e Tecido Urbano Total permitem que se construa indicadores de alometria entre as referidas matrizes.

A identificação de pontos críticos e a determinação de leis de potência nestes indicadores, bem como a verificação de algum padrão entre a evolução da Forma Construída e do Tecido Urbano, permite inferir que a dinâmica do crescimento urbano pode ser associada a fenômenos complexos regidos pela teoria da Criticalidade Auto-organizada.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A consecução dos objetivos desta pesquisa está fundamentada na sequência de procedimentos metodológicos apresentada na figura 2.

Figura 2 – Etapas do procedimento metodológico.

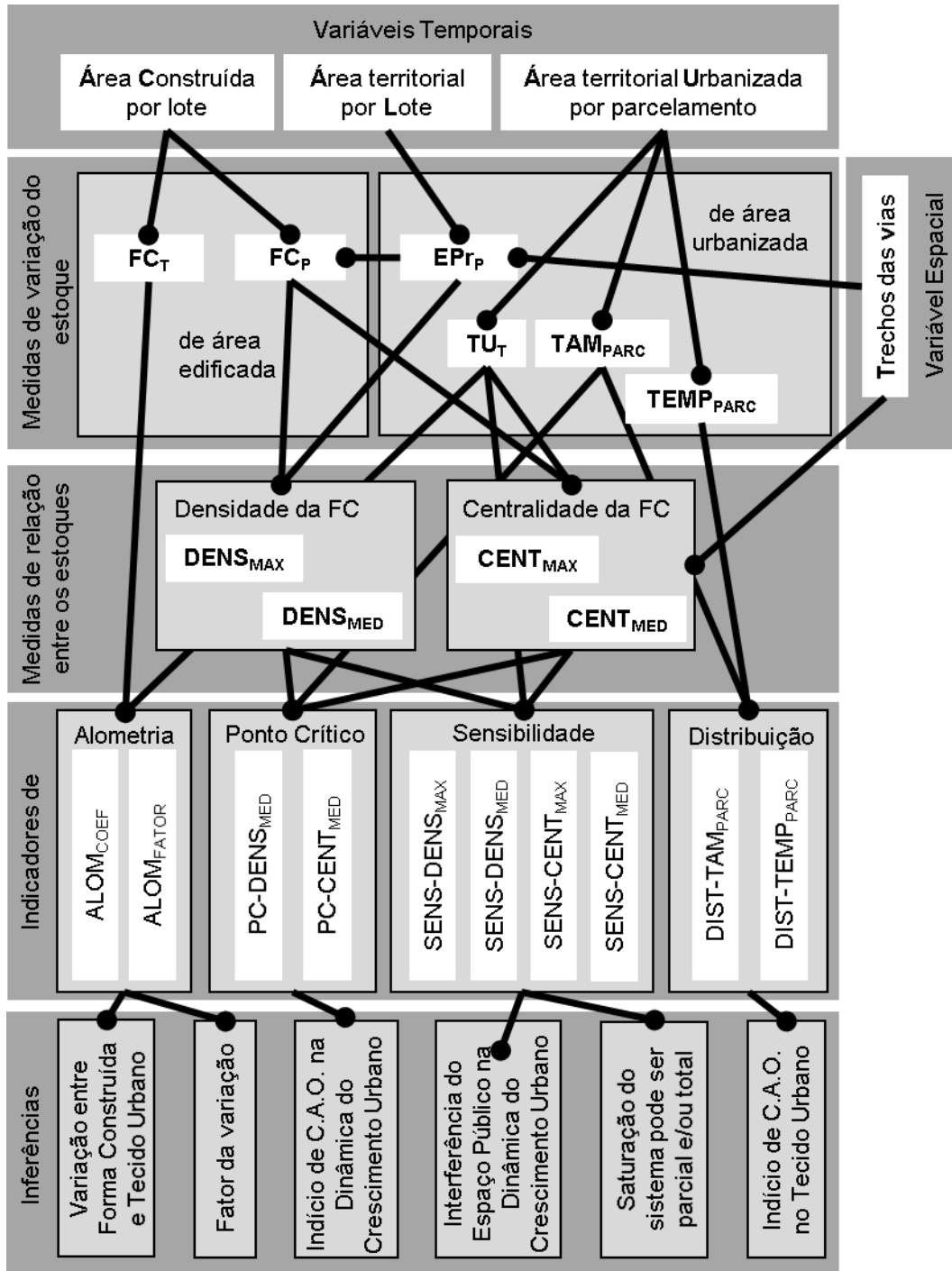


Fonte: elaboração do autor (2018).

Estes procedimentos são detalhados na estrutura analítica desenvolvida na sequência, onde as variáveis são associadas na elaboração de medidas que tem por objetivo fornecer os indicadores que produzirão resultados que acreditamos poderem revelar evidências de que a hipótese desta pesquisa é verdadeira.

A estrutura analítica da metodologia é apresentada na figura 3.

Figura 3 – Estrutura analítica.



Legenda:**Variáveis temporais****AC** - Área Construída por lote;**AL** – Área territorial por lote;**AU** – Área territorial urbanizada por parcelamento.**Variável espacial****TV** – Trechos das vias.**Medidas Principais****Variação do estoque edificado:****FC_T** e **FC_P** – Forma Construída Total e Forma Construída Parcial.**Variação do estoque de área urbanizada:****EPr_P** – Espaço Privado Parcial;**TU_T** – Tecido Urbano Total;**TAM_{PARC}** – Tamanho dos Parcelamentos;**TEMP_{PARC}** – Tempo entre Parcelamentos.**Medidas acessórias****Densidade da Forma Construída:****DENS_{MAX}** – Densidade Máxima;**DENS_{MED}** – Densidade Média.**Centralidade da Forma Construída:****CENT_{MAX}** – Centralidade Máxima;**CENT_{MED}** – Centralidade Média.**Indicadores****Sensibilidade das medidas acessórias:****SENS-DENS_{MAX}** - Sensibilidade da Densidade Máxima;**SENS-DENS_{MED}** - Sensibilidade da Densidade Média;**SENSCENT_{MAX}** - Sensibilidade da Centralidade Máxima;**SENS-CENT_{MED}** - Sensibilidade da Centralidade Média.**Ponto Crítico:****PC-DENS_{MED}** – Pontos Críticos da Densidade Média;**PC-CENT_{MED}** – Pontos Críticos da Centralidade Média.**Distribuição das avalanches:****DIST-TAM_{PARC}** Distribuição dos Tamanhos dos Parcelamentos;**DIST-TEMP_{PARC}** - Distribuição dos Tempo entre Parcelamentos.**Alometria entre FC e TU:****ALOM_{COEF}** - Coeficiente alométrico;**ALOM_{FATOR}** – Fator alométrico.

4.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

4.1.1 Seleção da amostra – sistema urbano real

A seleção do sistema urbano para verificação desta metodologia obedece aos seguintes critérios:

- cidade de porte médio que apresente certa dinâmica nas atividades da construção civil, que facilite a observação do fenômeno em estudo;
- possuir cadastro imobiliário informatizado contendo dados de área construída dos imóveis por um determinado tempo;
- possuir base cadastral atualizada, preferencialmente em um ambiente de georreferenciamento, que possibilite a obtenção dos dados territoriais referentes aos parcelamentos.

4.1.2 Obtenção dos dados

Devem ser viabilizados os dados brutos do sistema urbano relativos a base cartográfica, aos parcelamentos realizados na área urbana e às áreas construída e de lote.

4.1.3 Constituição do Banco de Dados

Deve ser constituído um banco de dados espaciais, ou geográficos, com capacidade de armazenar dados relacionados com a localização das entidades, juntamente com dados que lhes atribuem algum valor, seja qualificativo ou quantitativo.

Os bancos de dados espaciais, ou ambientais, são constituídos por dados georreferenciados, também denominados espaciais ou ambientais, cujo relacionamento tem por objetivo gerar informações geográficas necessárias à elaboração de estudos ambientais.

Conforme Mello Filho (2003):

Para realização de estudos ambientais, tem-se por objetivo a conquista de informações geográficas, utilizando-se, para tal fim, dados que, por possuírem uma posição espacial, ou localização geográfica definida,

são denominados dados georreferenciados ou espaciais. (Mello Filho 2003, p.54)

Os dados ambientais caracterizam-se por possuírem dois componentes fundamentais: um componente gráfico e um componente não-gráfico.

O componente gráfico descreve a localização e as feições geográficas e seus relacionamentos espaciais, podendo incluir as coordenadas geográficas e/ou outros símbolos capazes de definir os elementos cartográficos de um mapa.

Já o componente não-gráfico, também denominado textual ou atributivo, descreve fatos e fenômenos, sociais ou naturais, representados no mapa.

4.1.4 Obtenção das variáveis

As séries estatísticas que integram as variáveis podem ser classificadas a partir de vários critérios. O critério que se destaca é o da variação dos elementos que as compõem:

- no que se refere as variáveis Área Construída por lote (**AC**), Área territorial por lote (**AL**) e Área territorial urbanizada por parcelamento (**AU**), classificadas como **temporais** (ou cronológicas), o que varia é a época do acontecimento do fenômeno;
- já na série que compõe a variável Trechos das vias (**TV**), classificada como **espacial** (geográfica, territorial ou de localização), o elemento variável é o lugar onde o fenômeno acontece.

O quadro 2 apresenta as características das variáveis temporais e espaciais.

Quadro 2 – Variáveis e séries estatísticas.

Nome da variável	Área construída por lote	Área territorial por lote	Área territorial urbanizada por parcelamento	Trechos das vias
Sigla	AC	AL	AU	TV
Espécie (fenômeno ou fato)	Quantidade de área construída nos edifícios	Quantidade de área territorial nos lotes	Quantidade de área territorial nos parcelamentos	Adjacência entre espaços públicos
Desagregação/discretização	Por Lote		Por parcelamento	Por trechos
Atributos (unidade)	Quantidade de área (ha)		Conectividades	
Matriz	Forma Construída	Espaço Privado	Tecido Urbano	Espaço Público
Nome da série	Temporal		Temporal e espacial	Espacial
Frequência	Anual		Diária	Não se aplica
Recorte temporal	Ano civil, entre 1997 e 2016		Ano civil, entre 1918 e 2016	Não se aplica
Classificação da variável	Variável quantitativa contínua		Variável qualitativa nominal	
Tipo de dado	Número		Vetor	
Forma de obtenção	Cadastro Imobiliário		Sistema de Informações Geográfica Municipal	
Uso nas medidas	FC _P e FC _T	EP _{TP}	TU _T e PARC	FC _P , EP _{TP} , CENT
Banco de dados	Banco de Dados Espaciais do Sistema Urbano			

Fonte: elaboração do autor (2018).

O relacionamento das variáveis permite a elaboração das **medidas de variação** – que mensurariam a variação dos estoques edificado e de área

urbanizada e das **medidas de relacionamento** – que mensuram a densidade e a intensidade da ocupação do território por meio do relacionamento entre as matrizes Forma Construída e Tecido Urbano, as quais possibilitam a consecução de indicadores dos processos envolvidos na dinâmica do crescimento urbano.

4.1.5 Medidas de variação do estoque edificado

As medidas de variação do estoque edificado expressam como o estoque edificado varia a cada ano do recorte temporal.

4.1.5.1 Forma Construída Parcial (FC_P)

A medida Forma Construída Parcial expressa a magnitude de área construída em cada subespaço do Espaço Público.

Corresponde ao somatório das áreas construídas em todos os lotes adjacentes a cada trecho de via.

A medida é expressa em hectares (ha).

É utilizada na constituição das medidas acessórias Densidade e Centralidade.

4.1.5.2 Forma Construída Total (FC_T)

A medida Forma Construída Total expressa a magnitude de área construída no Tecido Urbano.

Corresponde ao somatório das áreas construídas em todos os lotes no Tecido Urbano.

A medida é expressa em hectares (ha).

É utilizada na constituição dos indicadores de alometria entre a Forma Construída e o Tecido Urbano.

4.1.6 Medidas de variação do estoque de área urbanizada

As medidas de variação do estoque de área urbanizada expressam como o estoque de área urbanizada varia a cada ano do recorte temporal.

4.1.6.1 Espaço Privado parcial (EP_{rP})

A medida Espaço Privado Parcial expressa a magnitude de área dos lotes acessados por cada subespaço do Espaço Público.

Corresponde ao somatório das áreas territoriais de todos os lotes adjacentes a cada trecho de via.

A medida é expressa em hectares (ha).

É utilizada na constituição da medida acessória de Densidade da Forma Construída.

4.1.6.2 Tamanho dos Parcelamentos (TAM_{PARC})

A medida Tamanho dos Parcelamentos expressa a magnitude total da área urbanizada em cada parcelamento de solo (evento catastrófico, avalanche) constituinte do Tecido Urbano.

O processamento desta medida compreende na identificação da quantidade de área territorial compreendida por parcelamento.

A medida é expressa em hectares (ha).

É utilizada na constituição do indicador de distribuição dos Tamanhos dos Parcelamentos e, também, na elaboração dos indicadores de Pontos Críticos nas medidas de Densidade e de Centralidade.

4.1.6.3 Tempo entre Parcelamentos ($TEMP_{PARC}$)

A medida Tempo entre Parcelamentos expressa o tempo transcorrido entre um parcelamento e o próximo.

O processamento desta medida compreende na identificação da quantidade de meses entre os parcelamentos.

A medida é expressa em meses.

É utilizada na constituição do indicador de distribuição dos Tempos entre Parcelamentos e, também, na elaboração dos indicadores de pontos críticos nas medidas de Densidade e da Centralidade.

4.1.6.4 Tecido Urbano Total (TU_T)

A medida Tecido Urbano Total expressa a magnitude de área urbanizada no Tecido Urbano em cada período do recorte temporal.

Corresponde ao somatório das áreas urbanizadas de todos os parcelamentos (medida parcelamentos) do Tecido Urbano. Sendo obtida, a cada período do recorte temporal, pela soma das áreas dos parcelamentos ocorridos até o momento.

A medida é expressa em hectares (ha).

É utilizada na constituição da medida acessória de Centralidade da Forma Construída e dos indicadores de sensibilidade destas medidas acessórias e de alometria entre a Forma Construída e o Tecido Urbano.

4.1.7 Medidas de Densidade da Forma Construída

A medida de Densidade da Forma Construída constitui-se no indicador da **densidade** da Forma Construída, ou seja, expressa a magnitude do estoque de edifícios associado ao Tecido Urbano.

É obtida, inicialmente, para cada trecho de via, expressando a densidade da forma construída adjacente a cada porção de espaço público. É calculada, adaptado a partir da equação 1, pela seguinte equação:

$$DENS_P = FC_P / EP_{rP} \quad (1)$$

onde, FC_P é a quantidade de estoque de forma construída adjacente ao trecho de espaço público, representado pela magnitude da área construída nos lotes que tem acesso pelo trecho de espaço público e EP_{rP} é quantidade de área privada adjacente a porção de espaço público, representado pela magnitude da área territorial dos lotes acessados pelo referido trecho de espaço público.

A densidade parcial é utilizada na constituição das medidas Densidade Máxima e Densidade Média da Forma Construída.

4.1.7.1 Densidade Máxima da Forma Construída ($DENS_{MAX}$)

A medida Densidade Máxima da Forma Construída expressa a máxima densidade parcial do Tecido Urbano, sendo definida como a medida da porção do tecido urbano com maior densidade parcial. Revela, desta forma, a densidade máxima de ocupação do Tecido Urbano por edifícios.

Constitui-se na medida de densidade da porção de forma construída que apresentar a maior densidade em cada período da série histórica, sendo obtida a partir da seleção do espaço público de maior densidade parcial.

A medida é utilizada na constituição dos indicadores de Ponto Crítico na Densidade Máxima e de Sensibilidade das Medidas.

A medida constitui-se no indicador simplificado da densidade da forma urbana, que ao expressar a densidade máxima é utilizada para a identificação do limiar de criticalidade, ou seja, os pontos críticos entre a Forma Construída e o Tecido Urbano, por meio da análise da sua evolução cronológica comparada com a ocorrência dos parcelamentos, bem como do indicador de sensibilidade da Densidade Máxima.

4.1.7.2 Densidade Média da Forma Construída ($DENS_{MED}$)

A medida Densidade Média da Forma Construída, por sua vez, expressa a média da densidade no Tecido Urbano, sendo definida como a densidade média de ocupação do Tecido Urbano por edifícios.

A medida é definida como sendo a relação entre a magnitude total do estoque de forma construída e a magnitude total do estoque de área urbanizada. Sendo expressa, adaptado a partir da equação 1, pela seguinte equação:

$$DENS_{MED} = FC_T / TU_T \quad (2)$$

onde, FC_T é a quantidade total do estoque de forma construída, representado pela magnitude total da área construída na cidade e TU_T é quantidade total de tecido urbano, representado pela magnitude da área territorial urbanizada de toda a cidade.

A medida constitui-se no indicador simplificado da densidade da forma urbana, que ao expressar a densidade média seria utilizada para a identificação do limiar de criticalidade, ou seja, dos pontos críticos entre a Forma Construída e o Tecido Urbano, por meio da análise da sua evolução temporal comparada com a ocorrência dos parcelamentos, similarmente à densidade máxima, bem como do indicador de sensibilidade da Densidade Média.

4.1.8 Medidas de Centralidade da Forma Construída

A medida de Centralidade da Forma Construída é definida como sendo o indicador de hierarquia da **intensidade** de vida urbana, ao considerar as quantidades de Forma Construída, e indiretamente de atividades de uso, associadas a desigualdade dos Espaços Públicos do Tecido Urbano.

A medida de Centralidade da Forma Construída seria obtida, num primeiro momento, para cada trecho de via e, como tal, constituir-se-ia no indicador de centralidade de cada uma das porções de forma construída adjacentes a cada porção de espaço público. A medida seria construída a partir do relacionamento das variáveis: área construída – AC (com dados agregados por faces de quadra – geralmente duas - adjacentes a cada espaço público) e trechos de via – TV. Seria calculada pelas equações apresentadas no item 2.3 da fundamentação teórica, designadas como equação 03, para cada trecho de espaço público.

A centralidade parcial é utilizada na constituição das medidas Centralidade Máxima e Centralidade Média da Forma Construída.

4.1.8.1 Centralidade Máxima da Forma Construída ($CENT_{MAX}$)

A medida Centralidade Máxima da Forma Construída expressa a máxima centralidade parcial do Tecido Urbano.

Corresponde à magnitude da centralidade do trecho de via de maior centralidade parcial, em cada período da série histórica.

É utilizada na constituição dos indicadores de Ponto Crítico na Centralidade Máxima e de Sensibilidade da Centralidade Máxima.

4.1.8.2 Centralidade Média da Forma Construída ($CENT_{MED}$)

A medida Centralidade Média da Forma Construída, por sua vez, expressa a média da centralidade no Tecido Urbano, sendo definida como a intensidade média de ocupação do Tecido Urbano por edifícios.

A medida constitui um indicador médio da centralidade do sistema a cada período da série histórica. É calculada, a partir da equação 2, como sendo a média das centralidades no sistema, pela seguinte equação:

$$CENT_{MED} = \sum CENT_P / TU_T \quad (3)$$

onde, $\sum CENT_P$ é a soma dos valores de centralidade de todos os Espaços Públicos do sistema; e TU_T é o Tecido Urbano Total do sistema.

A medida Centralidade Média da Forma Construída, indicador simplificado da centralidade da forma urbana, é utilizada para a identificação dos pontos críticos entre a Forma Construída e o Tecido Urbano mediado pelo Espaço Público, bem como na elaboração do indicador de Sensibilidade das Medidas.

4.1.9 Indicadores de Sensibilidade das Medidas

Os indicadores de Sensibilidade das Medidas expressam o quanto a série de dados de cada uma das medidas de relacionamento entre as matrizes Forma Construída e Tecido Urbano se parece com a série de dados da medida Tecido Urbano Total, ou seja, qual a correlação da evolução de cada uma das medidas de densidade e centralidade com a evolução da medida Tecido Urbano Total.

4.1.9.1 Sensibilidade da Densidade Máxima ($SENS-DENS_{MAX}$)

O indicador de Sensibilidade da Densidade Máxima é obtido a partir do cálculo da equação de correlação ($R-DENS_{MAX}$) entre a medida Densidade Máxima e a medida Tecido Urbano Total.

4.1.9.2 Sensibilidade da Densidade Média ($SENS-DENS_{MED}$)

O indicador de Sensibilidade da Densidade Média é obtido a partir do cálculo da equação de correlação ($R-DENS_{MED}$) entre a medida Densidade Média e a medida Tecido Urbano Total.

4.1.9.3 Sensibilidade da Centralidade Máxima ($SENS-CENT_{MAX}$)

O indicador de Sensibilidade da Centralidade Máxima é obtido a partir do cálculo da equação de correlação ($R-DENS_{MAX}$) entre a medida Centralidade Máxima e a medida Tecido Urbano Total.

4.1.9.4 Sensibilidade da Centralidade Média ($SENS-CENT_{MED}$)

O indicador de Sensibilidade da Centralidade Média é obtido a partir do cálculo da equação de correlação ($R-DENS_{MED}$) entre a medida Centralidade Média e a medida Tecido Urbano Total.

4.1.9.5 Análise

A análise dos indicadores de sensibilidade é realizada a partir da comparação entre as quatro equações de correlação, onde valores mais próximos de 1 ou -1 indicam correlação⁵ mais forte e, quanto mais forte a correlação maior será o poder da medida acessória em explicar a evolução do TU_T .

⁵ Conforme MOREIRA JUNIOR (2016), o Coeficiente de Correlação Linear Simples ou de Correlação Linear Simples de Pearson (r) pode variar entre -1 e 1. Se r for positivo, então existe uma correlação direta (ou positiva) entre as variáveis; porém se r for negativo, então existe uma correlação inversa (ou negativa) entre as variáveis. A magnitude de r indica quão próximos de uma linha reta estão os pontos, ou seja, quanto mais próximo de +1 ou -1, mais forte é a correlação, e quanto mais próximo de zero, mais fraca é a correlação entre as duas variáveis. (Curso de estatística)

4.1.9.6 Resultados esperados

Espera-se com este conjunto de indicadores poder determinar qual das medidas acessórias melhor explica a evolução do TU_T e, conseqüentemente, a ocorrência dos Parcelamentos.

4.1.10 Indicadores de Ponto Crítico

Os indicadores de Ponto Crítico permitem identificar os limiares de criticalidade (PC) nas medidas acessórias Densidade e Centralidade e, quando comparados aos Parcelamentos, possíveis padrões entre estas medidas e a medida dos parcelamentos.

Os indicadores mostram o estado do sistema urbano, a partir das medidas acessórias Densidade e Centralidade, sempre em dois instantes relativos a cada evento Parcelamento, considerado este, como sendo o evento catastrófico, a avalanche, do fenômeno do crescimento urbano.

O instante imediatamente anterior ao acontecimento do Parcelamento (avalanche) é calculado pela relação entre a Forma Construída Total no período e o Tecido Urbano Total sem o novo parcelamento.

E, por sua vez, o instante imediatamente posterior ao acontecimento do Parcelamento (avalanche) é calculado pela relação entre a Forma Construída Total no período e o Tecido Urbano Total com o acréscimo do novo parcelamento.

Isto é possível a partir da associação entre as medidas FC e TU.

No caso da densidade média, esta associação é direta, pois a densidade é calculada por meio da divisão da FC_T pelo TU_T , bastando que se calcule a densidade da FC no período do acontecimento do parcelamento, nos dois instantes já explicitados, tendo como denominador o TU_T sem e com o novo parcelamento.

No caso da densidade máxima, a associação da FC é feita a porções de espaço privado (EP_{Pr}), inviabilizando a sua comparação ao TU_T sem e com o novo parcelamento.

Na centralidade média, definida como o somatório das centralidades parciais (em cada trecho de via) dividido pelo TU_T , similarmente a densidade média, basta que se se calcule a centralidade da FC naquele período, nos instantes imediatamente anterior e imediatamente posterior a ocorrência do parcelamento, ou seja, considerando o TU_T sem e com o novo parcelamento.

E, por último, a centralidade máxima, ao expressar a maior centralidade parcial, refere-se a um trecho de via, apresentando, portanto, um recorte espacial diverso, que não permite a sua associação direta com o TU_T e seus parcelamentos, inviabilizando a identificação dos PC.

Sendo assim, os indicadores de PC são calculados relativamente a cada evento Parcelamento, para as medidas acessórias Densidade Média e Centralidade Média da Forma Construída.

4.1.10.1 Pontos Críticos da Densidade Média

Os indicadores de PC na densidade média são calculados para todos os parcelamentos ocorridos em todos os períodos do recorte temporal.

Para os instantes imediatamente anteriores aos parcelamentos, o cálculo seria realizado, adaptado a partir da equação 05, pela seguinte equação:

$$PC-DENS_{MED} = FC_T / TU_{T_{anterior}PARC} \quad (4)$$

onde, FC_T é a quantidade total do estoque de forma construída no instante do parcelamento e $TU_{T_{anterior}PARC}$ é quantidade total de tecido urbano anterior a ocorrência do parcelamento, ou seja, representado pela magnitude da área territorial urbanizada de toda a cidade sem a expansão (novo(s) parcelamento(s)).

E para o segundo instante, posterior ao parcelamento, o cálculo seria realizado, adaptado a partir da equação 05, pela seguinte equação:

$$DENS_{MEDpósPC} = FC_T / TU_{TpósPARC} \quad (5)$$

onde, FC_T é a quantidade total do estoque de forma construída no instante do parcelamento e $TU_{TpósPARC}$ é quantidade total de tecido urbano posterior a

ocorrência do parcelamento, ou seja, representado pela magnitude da área territorial urbanizada de toda a cidade com a expansão do(s) novo(s) parcelamento(s).

4.1.10.2 Pontos Críticos da Centralidade Média

Por sua vez, os indicadores de PC na centralidade média são calculados, igualmente, para todos os parcelamentos ocorridos em todos os períodos do recorte temporal.

Para os instantes imediatamente anteriores aos parcelamentos, o cálculo seria realizado, adaptado a partir da equação 06, pela seguinte equação:

$$PC-CENT_{MED} = \Sigma CENT_P / TU_{T_{anterior}PARC} \quad (6)$$

onde, $\Sigma CENT_P$ é somatório das centralidades parciais em todos os trechos de via no instante do parcelamento e $TU_{T_{anterior}PARC}$ é quantidade total de tecido urbano anterior a ocorrência do parcelamento, ou seja, representado pela magnitude da área territorial urbanizada de toda a cidade sem a expansão (novo(s) parcelamento(s)).

E o segundo instante seria calculado, adaptado a partir da equação 06, pela seguinte equação:

$$CENT_{MEDpósPC} = \Sigma CENT_P / TU_{T_{pós}PARC} \quad (7)$$

onde, $\Sigma CENT_P$ é somatório das centralidades parciais em todos os trechos de via no instante do parcelamento e $TU_{T_{pós}PARC}$ é quantidade total de tecido urbano posterior a ocorrência do parcelamento, ou seja, representado pela magnitude da área territorial urbanizada de toda a cidade com a expansão do(s) novo(s) parcelamento(s).

4.1.10.3 Análise

A análise isolada de cada um dos indicadores de PC permite a identificação dos Pontos Críticos e dos seus valores.

Por sua vez, a análise conjunta entre os indicadores de PC e os indicadores de distribuição dos Tamanhos e Tempos entre Parcelamentos, por meios estatísticos, possibilita a determinação da possível existência de padrões que relacionem os processos de Densificação da Forma Construída e de Expansão do Tecido Urbano.

A análise dos indicadores de pontos críticos é realizada pelos métodos estatísticos: teste de Dickey-Fuller Aumentado, teste Ljung-Box e modelo de regressão.

4.1.10.3.1 Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF)

O teste de Dickey-Fuller Aumentado objetiva verificar se a variável (no nosso caso, a medida ou indicador) é estacionária ou se apresenta alguma tendência de crescimento.

É conhecido na literatura como teste ADF (Augmented Dickey-Fuller) e requer o estudo sobre a seguinte regressão:

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (8)$$

onde β_0 é o intercepto, também denominado como drift da série; β_1 é o coeficiente de tendência; δ é o coeficiente de presença de raiz unitária e m é o número de defasagens tomadas na série.

As hipóteses do teste são:

$$\begin{cases} H_0: \delta=0 \\ H_1: \delta \neq 0 \end{cases} \text{ ou } \begin{cases} H_0: \text{A série não é estacionária} \\ H_1: \text{A série é estacionária} \end{cases}$$

A estatística do teste ADF é dada por

$$T = \frac{\hat{\delta}}{s(\hat{\delta})} \quad (9)$$

onde $\hat{\delta}$ é um estimador para δ e $s(\hat{\delta})$ é um estimador para o desvio padrão do erro de δ .

O teste de Dickey-Fuller Aumentado seria aplicado aos indicadores de Pontos Críticos da Densidade e da Centralidade.

4.1.10.3.2 Teste de Ljung-Box

O teste Ljung-Box é muito útil para detectar a presença ou não de correlação residual, em outras palavras, de auto correlação, ou ainda, de relação entre observações atuais e passadas.

As hipóteses a serem testadas são:

$$\begin{cases} H_0: \text{Os resíduos são i.i.d.} \\ H_1: \text{Os resíduos não são i.i.d.} \end{cases}$$

ou, equivalente,

$$\begin{cases} H_0: \text{Os resíduos não são correlacionados.} \\ H_1: \text{Os resíduos são correlacionados.} \end{cases}$$

As estimativas de auto correlações são calculadas por

$$\hat{r}_k = \frac{\sum_{t=k+1}^n \hat{a}_t \hat{a}_{t-k}}{\sum_{t=1}^n \hat{a}_t^2}.$$

Sendo o modelo apropriado, a estatística de teste

$$Q(k) = n(n-2) \sum_{j=1}^K \frac{\hat{r}_j^2}{(n-j)} \quad (10)$$

terá aproximadamente uma distribuição χ^2 com $(K - p - q)$ graus de liberdade, onde K é o número de defasagens tomada na função de autocorrelação, p e q são as ordens do modelo ajustado. Portanto, rejeitamos a hipótese nula se $Q > \chi_{1-\alpha, k-p-q}^2$ com um nível de significância α .

O teste de Ljung-Box é aplicado aos indicadores de Pontos Críticos da Densidade e da Centralidade e aos indicadores de distribuição dos Tamanhos e Tempos de intervalo entre os Parcelamentos.

4.1.10.3.3 Modelo de Regressão

Regressão linear é uma equação utilizada para se estimar o valor esperado de uma variável y , a partir de valores de algumas outras variáveis x .

Tem por objetivo tratar de um valor que não se consegue estimar inicialmente, por meio da estimação de um modelo de regressão.

Consideremos duas variáveis X e Y . Dados n pares $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$, se Y é função linear de X , pode-se estabelecer uma regressão linear simples cujo modelo estatístico é

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i, \text{ para } i=1, \dots, n \quad (11)$$

em que substituímos X_i por x_i uma vez que X_i é uma variável determinística (constante conhecida).

Neste modelo,

Y_i é uma variável aleatória e representa o valor da variável resposta (variável dependente) na i -ésima observação;

x_i representa o valor da variável explicativa (variável independente, variável regressora) na i -ésima observação; ε_i é uma variável aleatória que representa o erro experimental; β_0 e β_1 são os parâmetros do modelo, que serão estimados, e que definem a reta de regressão e n é o tamanho da amostra.

O modelo de regressão é aplicado aos indicadores de Pontos Críticos da Densidade e da Centralidade.

4.1.10.4 Resultados esperados

Com a aplicação dos métodos Teste de Dickey-Fuller Aumentado, Teste de Ljung-Box e Modelo de Regressão espera-se verificar se os indicadores de PC permitem prever, e com que grau de confiança, com que valor de Densidade e Centralidade ocorrerão os próximos PC e se este indicador guarda alguma correlação com os indicadores de Parcelamento. Permitem, ainda, verificar se o Tamanho e os Tempos entre Parcelamentos guardam alguma correlação com os indicadores da FC, pois a não existência desta correlação torna-se um indício da presença de Criticalidade Auto-Organizada (C.A.O).

Assim, a análise simultânea da aplicação dos métodos estatísticos aos indicadores permite realizar as associações descritas na sequência.

O grau de confiança de previsibilidade da Densidade Média maior que o da Centralidade Média indica que a Densidade apresenta maior sensibilidade para explicar a expansão do TU e, conseqüentemente, o espaço público exercer

pouca importância no fenômeno do crescimento urbano; por outro lado, o grau de confiança de previsibilidade da Centralidade Média maior que da Densidade Média indica que a Centralidade apresenta maior sensibilidade para explicar a expansão do TU e, conseqüentemente, o espaço público exerce papel importante na dinâmica do crescimento urbano.

Por sua vez, a existência de correlação entre os indicadores da FC e os indicadores do TU indica que as reações do TU podem ser previstas a partir das ações da FC, negando a teoria da C.A.O.; mas, a não existência de correlação entre os indicadores da FC e os indicadores do TU indica que as reações do TU não podem ser previstas a partir das ações da FC, o que representa um indício da presença de comportamentos aleatórios (não previsíveis) condizentes com a teoria da C.A.O.

4.1.11 Indicadores de Distribuição dos Parcelamentos

Os indicadores de distribuição dos Parcelamentos expressam o tipo de distribuição dos dados das medidas Tamanho dos Parcelamentos e Tempo entre Parcelamentos.

Permitiriam determinar se a distribuição dos dados é do tipo Decaimento Exponencial ou Lei de Potência.

4.1.11.1 Distribuição dos Tamanho dos Parcelamentos (TAM_{PARC})

O indicador de Tamanho dos Parcelamentos expressa o tipo de distribuição dos dados do efeito espacial da expansão – Parcelamentos – do tecido urbano.

Tem por objetivo verificar se o tamanho dos Parcelamentos apresenta um comportamento escalar condizente com o comportamento crítico auto-organizado dos sistemas complexos.

O indicador é obtido por meio dos seguintes passos:

- Elaboração do gráfico de colunas dos valores dos Tamanhos dos Parcelamentos;

- Cálculo da equação de regressão de potência, derivada a partir equação 3:

$$N(\text{TAMP}_{\text{PARC}}) = \text{TAMP}_{\text{PARC}}^{-a} \quad (12)$$

onde $N(\text{TAMP}_{\text{PARC}})$ é a função que representa a distribuição dos tamanhos dos Parcelamentos, $\text{TAMP}_{\text{PARC}}$ é a medida Tamanho dos Parcelamentos em cada ocorrência e a é um parâmetro constante conhecido por expoente ou parâmetro escalar.

4.1.11.2 Distribuição dos Tempos entre *Parcelamentos* ($\text{TEMP}_{\text{PARC}}$)

O indicador de Tempo entre os Parcelamentos expressa o tipo de distribuição dos dados do efeito temporal da expansão – Parcelamentos – do tecido urbano.

Tem por objetivo verificar se o tempo entre os parcelamentos (*lifetimes*) apresenta um comportamento escalar condizente com o comportamento crítico auto-organizado dos sistemas complexos.

O indicador é obtido por meio dos seguintes passos:

- Elaboração do gráfico de colunas dos valores dos Tempos entre Parcelamentos;
- Cálculo da equação de regressão de potência derivada a partir equação 3:

$$N(\text{TEMP}_{\text{PARC}}) = \text{TEMP}_{\text{PARC}}^{-a} \quad (13)$$

onde $N(\text{TEMP}_{\text{PARC}})$ é a função que representa a distribuição dos tamanhos dos Parcelamentos, $\text{TEMP}_{\text{PARC}}$ é a medida Tempo entre Parcelamentos em cada ocorrência e a é um parâmetro constante conhecido por expoente ou parâmetro escalar.

4.1.11.3 Análise

A interpretação é feita a partir da análise do expoente, ou parâmetro escalar, da função de ajuste. Quando o valor de a ficar próximo a 1 ($a \sim 1$) indica que o decaimento dos valores é do tipo Lei de Potência.

4.1.11.4 Resultados esperados

Se a função de ajuste dos dados mostrar um decaimento do tipo Lei de Potência, pode-se inferir que o sistema possui criticalidade auto-organizada, no que tange a matriz Tecido Urbano.

4.1.12 Indicadores de alometria

Os indicadores de alometria entre a FC e o TU expressariam qual das series de dados apresenta maior variação e determinar o valor desta diferença de variação.

4.1.12.1 Coeficiente Alométrico ($ALOM_{COEF}$)

O indicador do coeficiente de alometria entre FC_T e TU_T - $ALOM_{COEF}$, expressa o coeficiente da variável TU_T na relação alométrica entre as duas variáveis. O qual, por sua vez, expressa o ângulo da reta de ajuste (linha de tendência) com o eixo x (linha horizontal), permitindo a identificação de como as variáveis se alternam.

O indicador $ALOM_{COEF}$ é assumido como sendo o coeficiente da equação

$$FC_T = bTU_T^a \quad (14)$$

onde, FC_T é a quantidade total do estoque de forma construída, representado pela magnitude de área construída, TU_T é quantidade total de tecido urbano, representado pela magnitude da área territorial urbanizada, a é o coeficiente e b é a constante de TU_T .

4.1.12.2 Fator Alométrico ($ALOM_{FATOR}$)

O indicador Fator Alométrico entre FC_T e TU_T - $ALOM_{VAR}$, indica a taxa de variação entre as medidas FC_T e TU_T , ou seja, o quanto a medida FC_T varia em relação a medida TU_T , a cada ano da série de estudo.

O cálculo seria elaborado em duas etapas.

Inicialmente seria calculada a variação entre as medidas FC_T e TU_T , em cada ano do recorte temporal, pela equação

$$ALOM_{VAR} = baTU_T^{a-1} \quad (15)$$

onde, TU_T é a magnitude do TU_T no referido ano e b é a constante e a o coeficiente do TU_T na relação entre os conjuntos de dados das variáveis FC_T e TU_T , provenientes da equação 06.

Os indicadores de variação de alometria - $ALOM_{VAR}$ - permitem que se calcule a taxa de variação média das variações anuais.

No segundo momento seria calculada a taxa de variação da alometria entre FC_T e TU_T , ou seja, o fator alométrico - $ALOM_{FATOR}$.

O fator alométrico indicaria, quantitativamente, a taxa de variação média das variações anuais entre as medidas FC_T e TU_T , ou seja, quanto uma medida varia em relação a outra.

É calculado a partir do conjunto de indicadores da variação de alometria em cada ano - $ALOM_{VAR}$, a partir da equação 18, por meio da equação:

$$ALOM_{FATOR} = \Sigma ALOM_{VAR}/n \quad (16)$$

onde, $\Sigma ALOM_{VAR}$ é o somatório das taxas de variação em cada ano e n corresponde ao número de anos do recorte temporal.

4.1.12.3 Análises

A análise do relacionamento entre FC_T e TU_T é feita com base no indicador do coeficiente alométrico - $ALOM_{COEF}$, que se constitui no coeficiente

a da variável TU_T (Equação 17), visto que este expressa o ângulo da reta de ajuste (linha de tendência) com o eixo x (linha horizontal).

Sendo assim, o indicador é utilizado para definir qualitativamente o tipo de relação entre a FC_T e o TU_T . Podendo, esta, ser do tipo:

- **Superlinear**, quando o coeficiente a for superior a 1, situação em que teremos uma alometria positiva, onde a FC_T cresce a uma taxa alométrica superior ao TU_T ;
- **Sublinear**, quando o coeficiente a for inferior a 1, situação em que teremos uma alometria negativa, onde a FC_T cresce a uma taxa alométrica menor que o TU_T ;
- ou **Isométrica**, quando o coeficiente a for igual a 1, situação em a FC_T cresce a uma taxa alométrica igual a taxa alométrica do TU_T .

4.1.12.4 Resultados

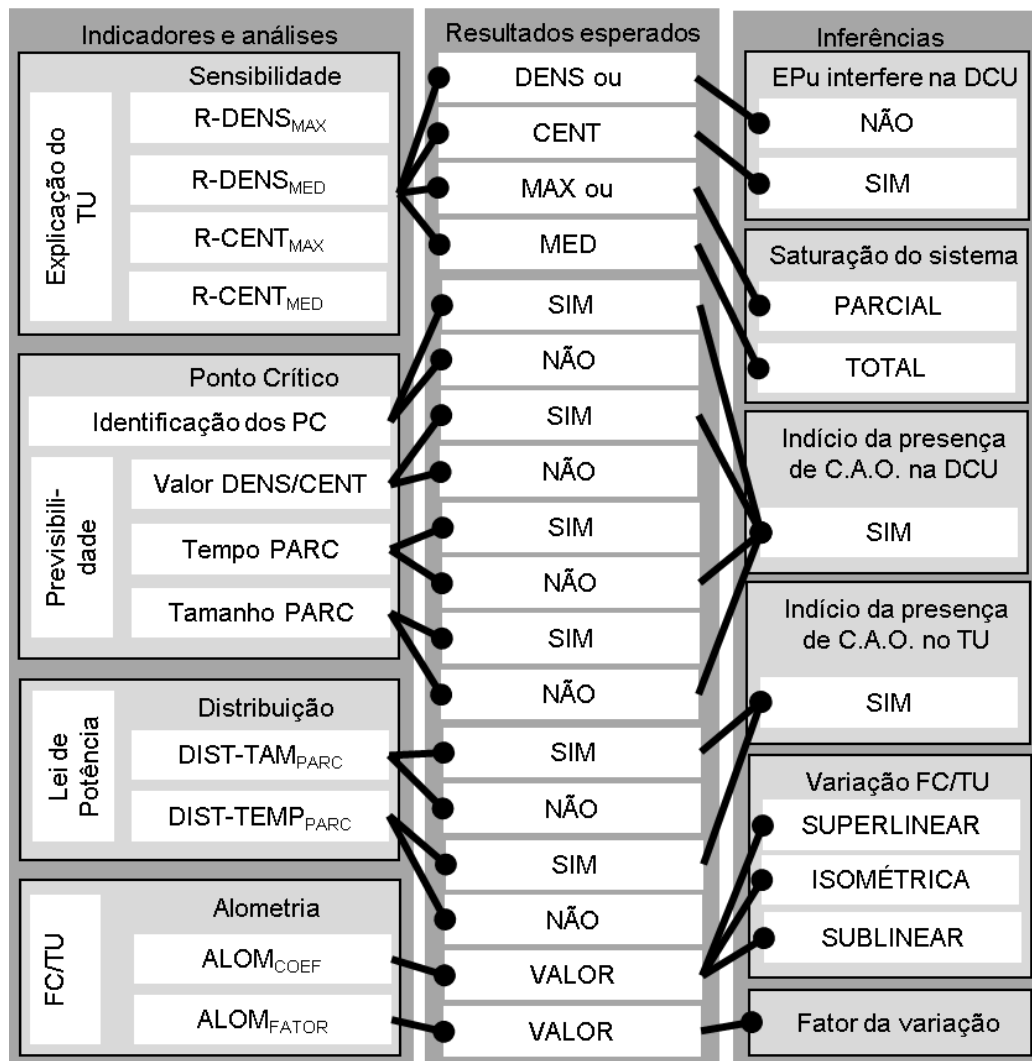
A aplicação dos indicadores de alometria entre a Forma Construída e o Tecido Urbano permitiria identificar como ocorre a variação de cada matriz e de uma em relação a outra.

4.1.13 Resultados esperados

A aplicação do conjunto de indicadores propostos em situações reais poderia confirmar, ou não, os resultados esperados que passariam pela verificação de sensibilidade e identificação de pontos críticos nas medidas acessórias, pela verificação de possíveis padrões entre os pontos críticos destas medidas e os Parcelamentos, pela determinação de Leis de Potência na medida de Parcelamentos e, finalmente, pela determinação das relações alométricas entre matrizes FC e TU .

A figura 4 apresenta as análises que seriam realizadas com cada indicador, seus possíveis resultados e as respectivas inferências.

Figura 4 – Indicadores, análises, resultados e inferências.



Fonte: elaboração do autor (2018).

A determinação da **sensibilidade das medidas** Densidade e Centralidade da Forma Construída permite afirmar que, no caso das medidas de densidade explicarem melhor a evolução do TU que as medidas de centralidade, pode inferir que o Espaço Público não exerce interferência na dinâmica do Crescimento urbano; por outro lado, se as medidas de centralidade explicarem melhor a evolução do TU que as medidas de densidade, pode-se inferir que o Espaço Público exerce interferência na referida dinâmica.

Por sua vez, ainda considerando a **sensibilidade das medidas**, se as medidas máximas explicarem melhor a evolução do TU que as medidas médias, pode-se inferir que a saturação parcial do sistema é suficiente para determinar o atingimento do limiar de criticalidade entre as matrizes FC e TU; por outro lado,

se as medidas médias explicarem melhor a evolução do TU que as medidas máximas, pode-se inferir que a saturação parcial do sistema não é suficiente para determinar o atingimento do limiar de criticalidade entre as matrizes FC e TU, necessitando, para tanto, que o sistema como um todo atinja a saturação.

No que diz respeito ao **indicador de pontos críticos**, a inferência da presença de C.A.O. na dinâmica do crescimento urbano pode ser feita se as análises produzirem os seguintes resultados: ocorrer a identificação dos PC nas medidas acessórias; estas medidas indicarem a previsibilidade dos valores de densidade e centralidade no próximo PC e a não previsibilidade do intervalo de tempo e do tamanho do parcelamento que ocorrerá com o atingimento do próximo PC.

Por sua vez, por meio das análises do **indicador de distribuição dos parcelamentos**, pode-se inferir que o TU possui um comportamento C.A.O. se a distribuição do decaimento dos dados das séries “tamanhos dos parcelamentos” e “tempo de intervalo entre os parcelamentos” for do tipo Lei de Potência.

E, por último, no tocante aos **indicadores de alometria**, pode-se inferir que, conforme o valor do coeficiente de alometria, a variação da FC é superlinear, isométrica ou sublinear em relação a variação do TU e que o fator alométrico determina quantitativamente esta variação.

5 SANTA MARIA-RS: UM CASO EM ESTUDO

Este capítulo apresenta a aplicação da metodologia de análise do Crescimento Urbano pelos processos de densificação e expansão ao sistema urbano Santa Maria -RS.

O capítulo está estruturado em itens que apresentam, respectivamente:

- a seleção e caracterização do sistema urbano Santa Maria-RS;
- os dados brutos obtidos;
- a constituição do Banco de Dados;
- a obtenção das variáveis e das medidas de variação dos estoques;
- a obtenção das medidas de relação entre os estoques;
- a agregação e o recorte temporal dos indicadores;
- os indicadores de sensibilidade das medidas;
- os indicadores de ponto crítico;
- os indicadores de distribuição dos parcelamentos;
- os indicadores de alometria;
- e as conclusões das análises.

5.1 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA URBANO SANTA MARIA-RS

5.1.1 Atendimento aos critérios de seleção

A área urbanizada correspondente ao distrito sede do município de Santa Maria no Rio Grande do Sul foi escolhida por atender aos critérios anteriormente definidos, a saber:

- é uma cidade de porte médio que possui uma grande e dinâmica atividade ligada a construção civil, além de uma consistente poupança interna vinculada ao grande número de servidores públicos federais e produtores rurais da região, a qual possibilita uma fácil observação do fenômeno em estudo;
- possui um cadastro imobiliário informatizado desde o ano de 1984, o que possibilita a obtenção dos dados de área construída;

- está implantando um sistema de georreferenciamento e realizando um recadastramento imobiliário que possibilitam a obtenção dos dados territoriais, em especial a área dos parcelamentos e a área total urbanizada.

5.1.2 Localização geográfica

A cidade localiza-se na região sul do Brasil, na região Central do Estado do Rio Grande do Sul e dista 293km da capital, Porto Alegre. Situa-se numa zona de transição entre Planalto Meridional Brasileiro e a Depressão Central do Rio Grande do Sul. E encontra-se nas coordenadas: Latitude Sul 29°41'02" e Longitude Oeste 53°48'25".

A figura 5 apresenta a localização de Santa Maria e da capital Porto Alegre no Estado do Rio Grande do Sul.

Figura 5 – Localização de Santa Maria no Rio Grande do Sul.



Fonte: elaboração do autor (2018), adaptado de FEPAM-RS (2018).

5.1.3 População e densidade demográfica

O município de Santa Maria, fundado em 17/05/1858 a partir do desmembramento dos municípios de Cachoeira do Sul e Cruz Alta, conta com uma população de 261.031 pessoas (IBGE 2010) distribuídas em 1.796,60 km², perfazendo uma densidade demográfica 145,29 hab/km².

Por sua vez, a cidade de Santa Maria é uma cidade de porte médio, com uma população de 246.465 habitantes urbanos (IBGE 2010), em uma área de 126,79 Km², perfazendo uma densidade demográfica 1.943,85 hab/km².

Se considerarmos apenas a área efetivamente urbanizada do distrito sede, calculada em 58,24 Km² para o ano de 2017, temos uma densidade demográfica de 4.231,88 hab/ha.

5.1.4 Desenvolvimento urbano

Vários acontecimentos nas escalas local, estadual, federal e até internacional, fazem de Santa Maria uma cidade de caráter regional, ao mesmo tempo que direcionam o desenvolvimento da sua área urbana.

Santa Maria surgiu em 1797 a partir do acampamento de uma expedição militar, com o objetivo de demarcar os limites territoriais entre as coroas portuguesa e espanhola. Militares e suas famílias ali acampadas atraem comerciantes fornecedores de gêneros de diversas ordens.

O comércio estabelecido atrai consumidores da região, tornando Santa Maria um pólo de abastecimento para as regiões oeste, norte e central do Estado.

Esta dominância regional, especialmente no comércio, é corroborada, em 1886, com a chegada da ferrovia que transformou Santa Maria no principal entroncamento ferroviário do estado e acesso ao centro do país. Este fato impulsionou o crescimento econômico e populacional da cidade, originando um vetor de desenvolvimento urbano ao norte do núcleo original, atraído pela instalação da Gare da Estação Férrea.

Na década de 1960 é criada a Universidade Federal de Santa Maria, primeira universidade federal fora de capital, que torna Santa Maria um pólo regional na área educacional. A criação do campus universitário no distrito de Camobi, gerou um novo vetor de desenvolvimento urbano para leste.

Na década de 1970 foi instalada a Base Aérea de Santa Maria em um campo de aviação construído pelos Estados Unidos, na época da 2ª Guerra Mundial, como auxiliar em caso de necessidade bélica. Inicia-se, então, a formação de uma vasta estrutura composta por várias unidades do Exército Brasileiro e da Brigada Militar do Rio Grande do Sul, que torna Santa Maria um pólo na área de defesa.

As décadas de 1970 e 1980 são marcadas pela implantação do Distrito Industrial e de grandes conjuntos habitacionais na zona oeste da cidade, orientando

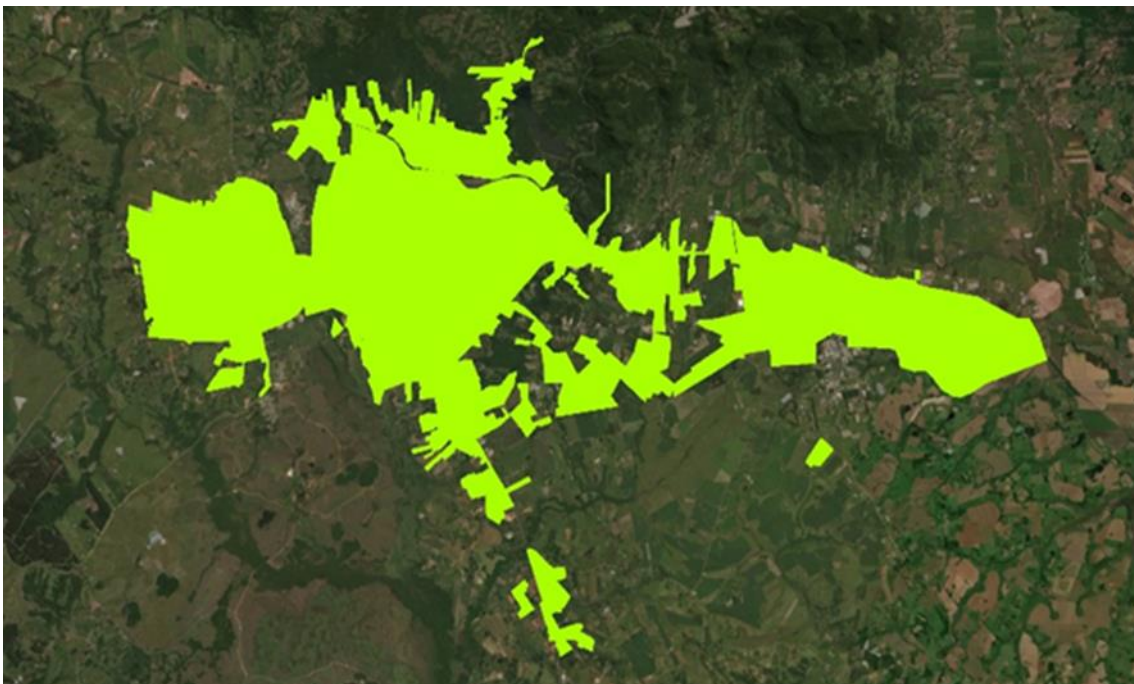
para este lado mais um vetor de desenvolvimento urbano. Também foram marcadas pela abertura e pavimentação de rodovias ligando Santa Maria as diversas regiões do Estado. O advento do transporte rodoviário coincidia com a desestruturação do ferroviário que culminou com a interrupção do transporte de passageiros e posteriormente a privatização das ferrovias. Esta alteração no modal de transporte alterou a estrutura urbana de Santa Maria, gerando vetores de desenvolvimento urbano para oeste, leste e sul em oposição ao vetor norte de desenvolvimento do núcleo inicial.

A partir do ano 2000 ocorreu a localização de empreendimentos de grande porte, destinados a comércio e serviços e a habitação (loteamentos e condomínios fechados), nas proximidades das principais vias de circulação, não ocasionando alterações significativas na estrutura urbana e sua configuração, visto que ocorreram pela ocupação e adensamento dos vazios urbanos.

Estes acontecimentos contribuíram para o desenvolvimento da atual forma urbana da cidade de Santa Maria.

A figura 6 apresenta macroforma da cidade de Santa Maria.

Figura 6 – Macroforma da cidade de Santa Maria.



Fonte: elaboração do autor (2018), adaptado do Google Earth (2018).

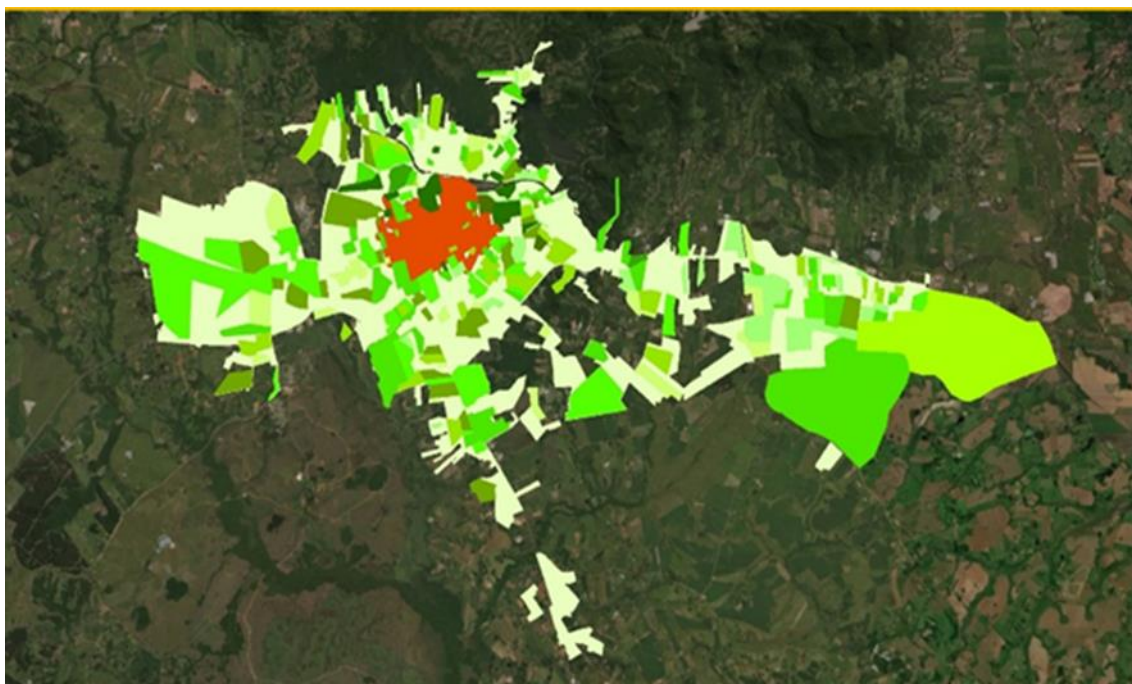
5.1.5 Crescimento por expansão do Tecido Urbano

O crescimento urbano de Santa Maria, do ponto de vista da expansão do Tecido Urbano, segundo Salamoni (2008), ocorreu por meio de dois processos distintos: inicialmente por um crescimento celular, com o acréscimo de novas ruas, e posteriormente por um crescimento por extensão, a partir do acréscimo de novos parcelamentos. No primeiro processo, que durou por quase um século, o Tecido Urbano foi expandido “rua a rua”, enquanto no segundo, a cidade passou a “estender seu território urbano por meio de anexação de grandes massas de Tecido Urbano” denominadas parcelamento do solo.

O primeiro processo se estendeu de 1797, com a implantação do acampamento militar para demarcação de território, até o início do século XX, enquanto a segunda iniciou em junho de 1916 com a implantação do primeiro loteamento registrado pela municipalidade, denominado “Vila Leste”.

A figura 7 apresenta o Tecido Urbano resultante do crescimento “rua-a-rua” (na cor laranja) e do crescimento por parcelamentos (em diferentes tons de verde, onde os mais escuros são os primeiros a serem implantados e os mais claros são mais recentes).

Figura 7 – Crescimento urbano de Santa Maria.



Fonte: elaboração do autor (2018), adaptado de Salamoni (2008).

5.1.6 O Tecido Urbano e a Forma Construída

Apresentada a evolução dos parcelamentos que formam a estrutura urbana, passa-se a apresentar alguns aspectos peculiares das matrizes Tecido Urbano e Forma Construída.

A figura 8 apresenta parte do Tecido Urbano de Santa Maria e imagens com aspectos distintos da Forma Construída, a saber: Rua Alberto Pasqualine situada no centro da cidade, com alta densidade construtiva; Bairro Itararé na região nordeste, com média densidade construtiva e Rua Vitória situada na região Oeste, com baixa densidade construtiva.

Figura 8 – Tecido Urbano e aspectos da Forma Construída.



Fonte: elaboração do autor (2018), fotos arquivo pessoal e do Google Earth (2018).

5.2 DADOS BRUTOS

Apresenta-se, na sequência, os dados brutos utilizados na constituição do Banco de Dados.

Os dados que constituem a cartografia digital, com componentes gráficos e não gráficos, foram fornecidos pelo Instituto de Planejamento de Santa Maria, RS –

IPLAM, e constituem o Sistema de Informações e de Avaliação de Desempenho Municipal – SIAD.

Os dados da cartografia digital estão organizados em *shapes* temáticos. Estes possuem dados gráficos georreferenciados no Sistema de Coordenadas Projetadas SIRGAS_2000_UTM_zone_22S, em Projeção Transversa de Mercator (*Transverse_Mercator*), com as seguintes especificações: *false_easting*: 500000,00000000, *false_northing*: 10000000,00000000, *central_meridian*: -51,00000000, *scale_factor*: 0,99960000, *latitude_of_origin*: 0,00000000 e unidade linear em metros.

Os *shapes* temáticos constituem uma base cadastral elaborada sobre a base cartográfica proveniente do levantamento aerofotogramétrico de 2013.

Os dados gráficos e não gráficos relativos aos espaços estão contidos nos *shapes*:

- *shape* Perímetro Urbano Sede;
- *shape* Logradouro;
- *shape* Lote;
- *shape* Loteamento;
- e *shape* Condomínio.

Os dados relativos aos estoques de ocupação urbana encontram-se em relatórios, com componentes apenas não gráficos, extraídos do Cadastro Imobiliário de Santa Maria.

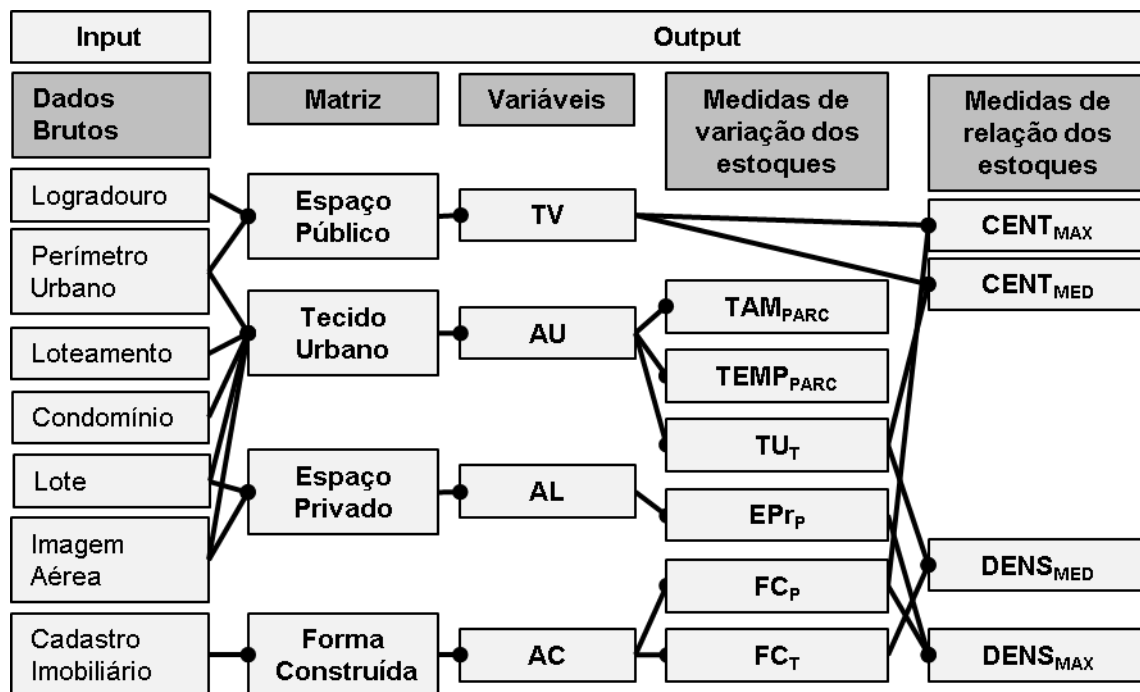
E, por sua vez, a área efetivamente urbanizada está contida na imagem aérea disponibilizada pelo Google Earth.

5.3 BANCO DE DADOS E VARIÁVEIS

Este item apresenta, em linhas gerais, os métodos utilizados para obtenção das variáveis que integram o banco de dados espaciais do sistema urbano Santa Maria – RS. O apêndice A, por sua vez, apresenta a metodologia completa utilizada para a transformação de dados brutos em informações úteis para a obtenção das variáveis e medidas utilizadas para a mensuração dos indicadores da dinâmica do crescimento urbano de Santa Maria.

O algoritmo de modelagem do Banco de Dados é apresentado na figura 9.

Figura 9 – Algoritmo de modelagem do banco de dados.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor.

5.3.1 Informações da matriz Tecido Urbano (TU)

As informações da Matriz TU, que contém a variável temporal Área territorial urbanizada por parcelamento (AU) permitem a obtenção das medidas principais: Parcelamentos (PARC) e Tecido Urbano Total (TU_T).

Os procedimentos para transformação dos dados brutos em informações úteis na constituição das medidas principais são organizados em duas etapas: agregação das feições e desagregação das feições. Inicialmente as feições contidas nos *shapes* são agregadas constituindo novos *shapes* e, na sequência, os parcelamentos são agregados por ano, constituindo outros novos *shapes*. Com isso obtém-se as medidas de variação dos estoques da matriz Tecido Urbano.

5.3.2 Informações das matrizes Espaço Privado (EP_r), Espaço Público (EP_u) e Forma Construída (FC)

As informações das Matrizes EPr, EPU e FC contém as variáveis temporais Área territorial por lote (AL) e Área construída por lote (AC) e a variável espacial Trechos de via (TV), as quais permitem a obtenção das medidas principais Espaço Privado Parcial (EPr_P), Forma Construída Parcial (FC_P) e Forma Construída Total (FC_T).

Os dados básicos para obter-se estas informações estão no *shape* dos lotes, no *shape* dos logradouros com os respectivos trechos de via e nos arquivos de dados textuais do Cadastro Imobiliário relativos a cada ano do estudo.

Embora tenhamos todas as informações necessárias para a obtenção das variáveis, estas informações não estão conectadas.

O *shape* dos logradouros contém as vias discretizadas por trechos, o *shape* com os lotes contém o dado textual que indica a que via cada lote pertence, mas não apresenta a referência ao trecho da via. Por sua vez, o único dado de descrição de cada lote comum aos arquivos do cadastro imobiliário e ao *shape* dos lotes é o código de localização

Visando equacionar estas lacunas entre os dados, a constituição deste banco de dados está organizada nas etapas de associação dos dados textuais do cadastro imobiliário ao *shape* dos lotes, indexação dos lotes aos trechos viários, anexação dos dados temporais aos lotes, agregação dos dados dos lotes aos trechos e o recorte espacial do *shape* dos logradouros para definir os trechos existentes em cada período.

Na primeira etapa, associação dos dados textuais - os dados cadastrais (área de lote e área construída) são associados aos dados gráficos (lotes) integrantes do *shape* Lote por meio do código de localização (orientação-setor-quadra-lote), originando o *shape* LoteC.

Na segunda etapa, indexação espacial dos dados - os lotes do *shape* LoteC são indexados aos trechos de logradouros do *shape* Logradouro, inicialmente pelo código do logradouro e posteriormente por proximidade espacial, originando os *shapes* Lote/ano e Trecho/ano. Os *shapes* Lote/ano contém as feições dos lotes existentes em cada ano indexados aos trechos de logradouro. Já os *shapes* Trecho/ano contém as feições dos trechos de logradouro existentes em cada ano indexados aos lotes.

Na terceira etapa, anexação dos dados temporais – os dados cadastrais (área de lote e área construída no lote) são anexados, primeiramente aos lotes gerando um arquivo de Banco de Dados denominado Arquivo BD Lote/ano e, num segundo momento, as feições dos lotes que integram o *shape* Lote/ano.

Por sua vez, na quarta etapa, agregação dos dados – os dados cadastrais que estão vinculados aos lotes são agregados por trechos de logradouro constituindo os arquivos de Banco de Dados Trecho/ano, já com as densidades parciais calculadas. Os dados textuais destes arquivos são anexados as feições de trechos de logradouros dos *shapes* Trecho/ano.

E, por último, na quinta etapa, recorte espacial dos dados – os *shapes* Lote/ano e Trecho/ano são recortados, com base no *shape* TU_T daquele ano, com o intuito de retirar os lotes e trechos que ainda não existiam no respectivo ano.

Executadas as cinco etapas deste processo obtém-se as medidas de variação dos estoques das matrizes Espaço Privado e Forma Construída, as quais são calculadas em hectares (ha) para todos os anos do recorte temporal 1997 a 2016.

5.4 MEDIDAS DE VARIAÇÃO DOS ESTOQUES

5.4.1. Medida Tamanho dos Parcelamentos (TAM_{PARC})

As informações sobre os parcelamentos do solo para fins urbanos que integram os *shapefiles* Loteamento e Condomínio (IPLAN-SM) são atualizadas e, posteriormente, são unidas em um mesmo *shape* denominado Parcelamento Formal, onde as áreas (ha) dos polígonos constituem a medida Tamanho dos Parcelamentos.

5.4.2 Medida Tempos entre Parcelamentos ($TEMP_{PARC}$)

Por sua vez, a medida Tempos entre Parcelamentos é obtida a partir da contagem dos meses entre o referido parcelamento e o próximo.

A tabela 1 ilustra as medidas TAM_{PARC} e $TEMP_{PARC}$. A tabela completa é apresentada no apêndice B.

Tabela 1 – Extrato das medidas TAM_{PARC} e TEMP_{PARC}.

Nome do parcelamento	data	TAM _{PARC} (ha)	TEMP _{PARC} (meses)
Vila Leste	jun/16	28.16	136
Vila Independência	nov/27	2.87	1
Vila Artur Tietze	jan/28	1.98	0

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

5.4.3 Medida Tecido Urbano Total (TU_T)

A obtenção da medida depende das duas etapas acima apresentadas.

Na primeira, com auxílio da imagem aérea (Google 2017) são retirados do *shape* Lote (IPLAN/SM) todas as glebas não parceladas (rurais), constituindo o *shape* Área Total Urbanizada. Deste são subtraídas as feições de Parcelamento Formal, originando o *shape* Parcelamento Informal. A mescla das feições dos *shapes* Parcelamento Formal e Parcelamento Informal resulta no *shape* Parcelamento Total Classificado. Este contém todos dos parcelamentos, formais e informais, com os atributos data (mês e ano) e magnitude de área territorial em hectare (ha).

Enquanto, na segunda, as feições do *shape* Parcelamento Total Classificado são separadas por data de aprovação, originando *shapes* específicos para cada ano:

- o *shape* TU_T1997 contém toda a área parcelada até o ano de 1997, em uma única feição cuja área corresponde ao total da área urbanizada naquele ano;
- o *shape* ΔTU_T1997 contém os parcelamentos aprovados no ano de 1997;
- o *shape* TU+ΔTU_T1997 contém a área parcelada até o ano de 1997 e os parcelamentos aprovados no ano de 1997;
- e, na sequência, a dissolução das feições do *shape* TU+ΔTU_T1997 origina uma feição única que compõe o *shape* TU_T1998.

Assim, a área territorial do *shape* TU_T1997 corresponde ao valor da medida Tecido Urbano Total em 1997 (TU_T1997), a área territorial do *shape* TU_T1998 corresponde a TU_T1998, e assim por diante.

A tabela 2 apresenta a medida TU_T, para cada ano do recorte temporal.

Tabela 2 – Medida Tecido Urbano Total (TU_T).

Ano	TU_T (ha)
1997	5323.5
1998	5323.5
1999	5323.5
2000	5334.24
2001	5339.52
2002	5341.69
2003	5359.43
2004	5379.69
2005	5390.74
2006	5403.39
2007	5407.8
2008	5477.96
2009	5521.68
2010	5527.41
2011	5563.98
2012	5602.21
2013	5668.58
2014	5765.87
2015	5765.87
2016	5824.87

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

5.4.4 Medida Espaço Privado Parcial (EPR_P)

A medida Espaço Privado Parcial (EPR_P) expressa o somatório das áreas territoriais dos lotes adjacentes a cada trecho de espaço público, para cada ano da série histórica.

5.4.5 Medida Forma Construída Parcial (FC_P)

A medida Forma Construída Parcial (FC_P) expressa o somatório das áreas construídas nos edifícios pertencentes ao conjunto de lotes adjacentes a cada trecho do Espaço Público (variável espacial TV) em cada ano do recorte temporal.

5.4.6 Medida Forma Construída Total (FC_T)

Por sua vez, a medida Forma Construída Total (FC_T) expressa o somatório de todas as variáveis FC_P em cada ano do recorte temporal.

A tabela 3 apresenta a variável TV e as medidas principais EP_{rP}, FC_P, e FC_T para cada ano do recorte temporal. As medidas EP_{rP}, FC_P são relativas ao trecho de via da Rua Alberto Pasqualine (código da rua = 32, código do trecho = 212), identificado como sendo o trecho de maior densidade.

Tabela 3 – Variável TV e medidas EP_{rP}, FC_P, e FC_T.

Ano	TV	EP _{rP}	FC _P	FC _T
1997	Rua Dr. Alberto Pasqualine	4580.81	27314.4	658.95
1998	Rua Dr. Alberto Pasqualine	4580.81	27314.4	669.55
1999	Rua Dr. Alberto Pasqualine	5768.70	27343.2	672.38
2000	Rua Dr. Alberto Pasqualine	4580.81	27314.4	686.75
2001	Rua Dr. Alberto Pasqualine	4580.81	27314.4	854.73
2002	Rua Dr. Alberto Pasqualine	4580.81	27311	876.31
2003	Rua Dr. Alberto Pasqualine	4580.81	27335.2	906.65
2004	Rua Dr. Alberto Pasqualine	4580.81	27335.2	941.11
2005	Rua Dr. Alberto Pasqualine	3550.06	27387.3	957.00
2006	Rua Dr. Alberto Pasqualine	3550.06	27387.3	957.39
2007	Rua Dr. Alberto Pasqualine	4764.51	43035.9	1014.35
2008	Rua Dr. Alberto Pasqualine	3550.06	27417.1	1037.79
2009	Rua Dr. Alberto Pasqualine	3550.06	27417.1	1097.09
2010	Rua Dr. Alberto Pasqualine	3550.06	27603.6	1134.11
2011	Rua Dr. Alberto Pasqualine	3550.06	27603.6	1155.24
2012	Rua Dr. Alberto Pasqualine	5198.17	53254.5	1183.40
2013	Rua Dr. Alberto Pasqualine	5198.17	53254.5	1221.35
2014	Rua Dr. Alberto Pasqualine	5198.17	53254.5	1255.32
2015	Rua Dr. Alberto Pasqualine	5198.17	53254.5	1289.81
2016	Rua Dr. Alberto Pasqualine	5198.17	53254.5	1323.04

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

5.5 MEDIDAS DE RELAÇÃO ENTRE OS ESTOQUES

Este item apresenta as medidas acessórias Densidade da Forma Construída e Centralidade da Forma Construída.

As medidas acessórias são calculadas para cada ano do recorte temporal, visto que os dados disponíveis para a obtenção da medida FC_P são anuais, no período compreendido entre os anos de 1997 e 2016.

5.5.1 Medidas de Densidade da Forma Construída

As medidas de Densidade da FC são: Medida de Densidade Máxima ($DENS_{MAX}$) e Medida de Densidade Média ($DENS_{MED}$).

5.5.1.1 Medida de Densidade Máxima da Forma Construída ($DENS_{MAX}$)

A medida de Densidade Máxima da Forma Construída corresponde a magnitude da densidade no trecho de via de maior densidade.

5.5.1.2 Medida de Densidade Média da Forma Construída ($DENS_{MED}$)

Por sua vez, a medida da Densidade Média da Forma Construída indica a média da densidade construída do sistema. É calculada pela divisão entre a FC_T e o TU_T , para cada ano da série histórica.

A tabela 4 apresenta as medidas anuais de $DENS_{MAX}$ e $DENS_{MED}$.

Tabela 4 – $DENS_{MAX}$ e $DENS_{MED}$ com frequência anual.

(continua)

Ano	EP _{UP}	$DENS_M$	$DENS_T$
1997	Rua Dr. Alberto Pasqualine	5.962784	0.123781
1998	Rua Dr. Alberto Pasqualine	5.962784	0.125773
1999	Rua Dr. Alberto Pasqualine	4.739928	0.126304
2000	Rua Dr. Alberto Pasqualine	5.962784	0.128744
2001	Rua Dr. Alberto Pasqualine	5.962784	0.160077
2002	Rua Dr. Alberto Pasqualine	5.962050	0.164051
2003	Rua Dr. Alberto Pasqualine	5.967335	0.169169
2004	Rua Dr. Alberto Pasqualine	5.967335	0.174938
2005	Rua Dr. Alberto Pasqualine	7.714588	0.177526
2006	Rua Dr. Alberto Pasqualine	7.714588	0.177183
2007	Rua Dr. Alberto Pasqualine	9.032595	0.187572
2008	Rua Dr. Alberto Pasqualine	7.722993	0.189448
2009	Rua Dr. Alberto Pasqualine	7.722996	0.198687

(conclusão)			
Ano	EP _{UP}	DENS _M	DENS _T
2010	Rua Dr. Alberto Pasqualine	7.775519	0.205179
2011	Rua Dr. Alberto Pasqualine	7.775520	0.207628
2012	Rua Dr. Alberto Pasqualine	10.244859	0.211237
2013	Rua Dr. Alberto Pasqualine	10.244859	0.215459
2014	Rua Dr. Alberto Pasqualine	10.244859	0.217715
2015	Rua Dr. Alberto Pasqualine	10.244859	0.223697
2016	Rua Dr. Alberto Pasqualine	10.244859	0.227136

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

5.5.2 Medidas de Centralidade da Forma Construída

As medidas de Centralidade da Forma Construída são: Medida de Centralidade Máxima ($CENT_{MAX}$) e Medida de Centralidade Média ($CENT_{MED}$).

A centralidade é calculada para cada porção de espaço público (trecho de via), considerando a sua posição topológica no sistema e a quantidade de FC que abriga.

Com o software “Medidas Urbanas” calcula-se a centralidade dos trechos de via, para cada ano da série histórica.

5.5.2.1 Medida Centralidade Máxima da Forma Construída ($CENT_{MAX}$)

A medida Centralidade Máxima da Forma Construída corresponde a centralidade do trecho de via que apresenta maior magnitude.

De posse dos valores de centralidade em cada ano, identifica-se o trecho de via de maior centralidade em cada um dos anos.

5.5.2.2 Medida Centralidade Média da Forma Construída ($CENT_{MED}$)

O indicador da Centralidade Média da Forma Construída corresponde ao somatório dos valores de centralidade de todos os trechos de via relativizado pelo Tecido Urbano.

De posse dos valores de centralidade em cada ano, soma-se os valores de todos os trechos de via e divide-se este valor pela magnitude do Tecido Urbano Total, em cada um dos respectivos anos.

A tabela 5 apresenta as medidas $CENT_{MAX}$ e $CENT_{MED}$ para cada ano do recorte temporal.

Tabela 5 – $CENT_{MAX}$ e $CENT_{MED}$ com frequência anual.

Ano	Nome da via	TV	$CENT_{MAX}$	$CENT_{MED}$
1997	Estrada BR287	11405	155.344.97	3263.79
1998	Rua do Acampamento	841	159.331.254.272.00	3077142811.24
1999	Rua do Acampamento	841	155.038.498.816.00	3083948356.35
2000	Rua do Acampamento	841	159.791.333.376.00	3217377403.51
2001	Rua do Acampamento	841	190.329.962.496.00	4963427484.11
2002	Rua do Acampamento	841	200.278.441.984.00	5222689395.28
2003	Rua do Acampamento	841	210.742.673.408.00	5576044570.98
2004	Rua do Acampamento	841	223.803.998.208.00	5999132462.12
2005	Rua do Acampamento	841	228.487.577.600.00	6177239127.50
2006	Rua do Acampamento	841	226.915.762.176.00	6178977869.21
2007	AV. Nossa Senhora das Dores	499	257.610.088.448.00	6988972233.95
2008	AV. Nossa Senhora das Dores	499	271.614.590.976.00	7229158297.54
2009	Rua do Acampamento	841	321.915.781.120.00	8047885056.12
2010	Rua do Acampamento	841	379.683.569.664.00	8457760630.71
2011	Rua do Acampamento	841	351.675.383.808.00	8812389574.66
2012	Rua do Acampamento	841	360.402.223.104.00	9152870239.08
2013	AV. Nossa Senhora das Dores	499	384.964.919.296.00	9658409286.32
2014	AV. Nossa Senhora das Dores	499	412.778.954.752.00	10089740231.74
2015	AV. Nossa Senhora das Dores	499	433.839.702.016.00	10598631976.03
2016	AV. Nossa Senhora das Dores	499	459.081.351.168.00	11149618466.37

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Obtidas as medidas principais e acessórias, passa-se a elaboração dos indicadores.

5.6 AGREGAÇÃO E RECORTE TEMPORAL DOS INDICADORES

Esse item apresenta considerações acerca da frequência, anual ou mensal, com que as medidas serão utilizadas na constituição dos indicadores e do seu respectivo recorte temporal.

As medidas EP_{rP} , FC_P , e FC_T são calculadas com **agregação** anual, visto que os dados brutos do Cadastro Imobiliário se referem a cada ano civil. Consequentemente, os indicadores de Densidade e de Centralidade também são calculados com recorrência anual.

Por outro lado, os parcelamentos são apresentados a partir da data de aprovação dos mesmos pelo órgão competente, salvo alguns casos (geralmente mais antigos) em que, por falta de dados, são assumidas outras datas constates do arquivo municipal, como por exemplo a data de licenciamento. Sendo assim, a medida Parcelamentos pode ser apresentada com diferentes frequências, a partir da diária.

A análise das possibilidades de agregação desta medida mostrou que:

- a agregação diária, além de desnecessária, resultaria em um número exagerado de períodos;
- a agregação mensal permitiria demonstrar com acurácia necessária os eventos de parcelamento, visto que apenas em poucos meses haveria acumulação de mais de um parcelamento;
- e a agregação anual, resulta em perda da capacidade explicativa da medida, pois, de um lado, acumulam-se vários parcelamentos em um mesmo ano; enquanto de outro, a amostra torna-se demasiadamente pequena e com quase todos os períodos anuais apresentando expansão do TU.

Foi adotada a frequência mensal para a medida Parcelamentos, onde são considerados o mês e o ano da aprovação do referido parcelamento.

Com isso, temos medidas agregadas com diferentes frequências, onde EP_{rP} , FC_P , e FC_T são anuais e PARC são mensais, ocasionado problemas na elaboração dos indicadores de ponto crítico que envolvem medidas de densidade e centralidade (anuais) e a medida parcelamentos (mensais).

A agregação dos parcelamentos em uma frequência anual seria possível, mas como já foi dito, diminuiria a capacidade explicativa da medida. Então, a saída recai na

agregação mensal da medida parcelamentos, o que é possível por meio de interpolação, a qual converteria os dados anuais em mensais.

Evidencia-se que a interpolação, ao distribuir as variações de um ano igualmente pelos seus meses, pode gerar distorções em relação a situação real, pois é pouco provável que, na realidade, a FC tenha apresentado variação constante durante todo o ano. Estas distorções, no entanto, são inevitáveis quando realizamos pesquisas em situações reais, onde os dados não são armazenados e disponibilizados exatamente de acordo com as necessidades metodológicas. Do estudo.

Posto isto, os indicadores de sensibilidade das medidas acessórias e de alometria entre as matrizes FC e TU são calculados para cada ano do recorte temporal, a partir da frequência original das medidas.

Por sua vez, os indicadores de distribuição dos parcelamentos são calculados para cada mês do recorte temporal, igualmente a partir da frequência original das medidas.

E, por último, os indicadores de ponto crítico são calculados para cada mês do recorte temporal, a partir da frequência original dos parcelamentos (mensal) e da interpolação (mensal) das medidas de densidade e centralidade da forma construída.

O outro aspecto é o do tamanho do **recorte temporal**.

A medida dos Parcelamentos abrange toda a evolução do crescimento da área urbanizada, desde o primeiro parcelamento do solo registrado pela prefeitura municipal, e provavelmente ocorrido, na área urbana do município de Santa Maria. Trata-se da Vila Leste no Bairro Menino Jesus, ocorrido em 1916.

Por sua vez, as medidas principais EP_{RP} , FC_P , e FC_T e, conseqüentemente, as acessórias Densidade e Centralidade compreendem um recorte temporal bem menor, entre os anos de 1997 e 2016, visto que os dados brutos do Cadastro Imobiliário (que contém as áreas construída e territorial de cada lote) foram disponibilizados a partir de 1997, embora a informatização deste cadastro tenha ocorrido em 1984.

A análise preliminar dos dados da medida FC ressalta que o ano de 2001 apresenta um crescimento muito mais acelerado que os anos anteriores e posteriores, provavelmente resultante de fatores exógenos. Este crescimento “anormal”, não representativo, determinou a retirada dos anos iniciais, restando um recorte temporal entre 2002 e 2016.

Em função disto os indicadores são estudados em recortes temporais diferenciados: o de distribuição dos parcelamentos entre 1916 e 2016, o de alometria entre 1997 e 2016 e os demais, de sensibilidade das medidas acessórias e de ponto crítico, entre os anos de 2002 e 2016.

O quadro 3 apresenta os indicadores com as respectivas agregações e recortes temporais.

Quadro 3 – Frequência de agregação e recorte temporal dos indicadores.

Nome do indicador	Sensibilidade das medidas acessórias	Ponto crítico	Distribuição dos parcelamentos	Alometria
Recorte temporal)	2002 a 2016	2002 a 2016	1916 a 2016	1997 a 2016
Agregação temporal do dado	Anual	Mensal	Mensal	Anual

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

5.7 INDICADORES DE SENSIBILIDADE DAS MEDIDAS

Os indicadores de sensibilidade das medidas de relação entre os estoques são: Sensibilidade da Densidade Máxima, Sensibilidade da Densidade Média, Sensibilidade da Centralidade Máxima e Sensibilidade da Centralidade Média.

5.7.1 Sensibilidade da Densidade Máxima (SENS-DENS_{MAX})

O cálculo da correlação entre a Densidade Máxima e o Tecido Urbano Total resulta em $R\text{-DENS}_{MAX} = 0.8945$.

5.7.2 Sensibilidade da Densidade Média (SENS-DENS_{MED})

O cálculo da correlação entre a Densidade Média e o Tecido Urbano Total resulta em $R\text{-DENS}_{MED} = 0.8775$.

5.7.3 Sensibilidade da Centralidade Máxima (SENS-CENT_{MAX})

O cálculo da correlação entre a Centralidade Máxima e o Tecido Urbano Total resulta em $R\text{-CENT}_{MAX} = 0.9129$.

5.7.4 Sensibilidade da Centralidade Média (SENS-CENT_{MED})

O cálculo da correlação entre a Centralidade Média e o Tecido Urbano Total resulta em $R\text{-CENT}_{MED} = 0.8935$.

5.7.5 Análise

A análise dos indicadores de sensibilidade é realizada a partir da comparação entre os resultados das quatro equações de correlação

Assim, as equações de correlação, apresentadas na tabela 6, abaixo, mostram o quanto cada série de dados é parecida com a evolução do TU ($R \sim 1,0$) e, por conseguinte, qual delas tem a maior possibilidade de explicar a evolução do TU, ou seja, a sua expansão.

Tabela 6 – Equações de Correlação com TU.

Equações de Correlação com TU				
Indicador	DENS _{MED}	DENS _{MAX}	CENT _{MED}	CENT _{MAX}
R =	0.8775	0.8945	0.8935	0.9129

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

A observação das equações dos dados mensais permite constatar que:

- a densidade máxima possui maior correlação com o TU que a densidade média;
- a centralidade máxima possui maior correlação com o TU que a centralidade média;
- e quando comparadas as medidas mais correlacionadas de densidade com as medidas mais correlacionadas de centralidade verifica-se que a correlação da centralidade máxima é maior que a correlação da densidade máxima.

Portanto, análise das correlações, por si só, ressalvado o curto período do estudo e a pequena diferença entre os resultados, demonstra que:

- as medidas máximas apresentam maior sensibilidade na descrição dos parcelamentos do que as medidas médias.
- e, também, que as medidas de centralidade apresentam maior sensibilidade na descrição dos parcelamentos do que as medidas de densidade.

Esta análise da sensibilidade das medidas acessórias na descrição da dinâmica do crescimento urbano é corroborada pela análise dos Pontos Críticos da Densidade Média e da Centralidade Média, mostrada na sequência, onde verifica-se que o grau de confiança de previsibilidade dos próximos PC é maior para a medida de Centralidade (96.72%) que para o de Densidade (94,55%). Ressalvando, mais uma vez, a possibilidade de distorção dos resultados em virtude da utilização de valores mensais interpolados a partir de valores anuais.

Restando, assim, confirmada, embora todas as considerações já apresentadas, a maior sensibilidade da medida de centralidade na descrição da expansão do TU.

5.7.6 Resultados

Pode-se, portanto, inferir que a centralidade descreve melhor a expansão que a densidade, o que significa que o espaço público possui uma função definidora no processo de crescimento urbano, ou seja, o espaço público é parte integrante da dinâmica do crescimento urbano.

Então, a partir dos indicadores de densidade e centralidade, considerando as ressalvas já explicitadas, comprova-se a hipótese que a centralidade, ao agregar à área construída a sua posição relativa no tecido urbano, tem mais condições de explicar a expansão do mesmo.

5.8 INDICADORES DE PONTO CRÍTICO

Os indicadores de ponto crítico são: Pontos Críticos da Densidade Média e Pontos Críticos da Centralidade Média.

De posse das medidas de Densidade e Centralidade para todos os anos da série histórica, procede-se a interpolação das mesmas, obtendo-as para cada mês do recorte temporal.

Na sequência, procede-se a identificação das medidas dos meses em que ocorre(m) parcelamento(s), o que permite que se calcule, a partir destes valores, os valores de densidade e centralidade nos instantes imediatamente anteriores e posteriores aos parcelamentos.

5.8.1 Pontos Críticos da Densidade Média

Calculados os indicadores de PC da densidade média (PC-DENS_{MED} e DENS_{MED}pósPC), a tabela 7 ilustra a medida de Densidade Média com frequência mensal para o ano de 2002, onde aparecem dois parcelamentos (na cor cinza) e as densidades médias calculadas para o instante imediatamente anterior ao parcelamento – PC-DENS_{MED}, considerado o Ponto Crítico da Densidade Média, (**negrito**) e para o instante imediatamente posterior ao parcelamento - DENS_{MED}pósPC (sublinhado).

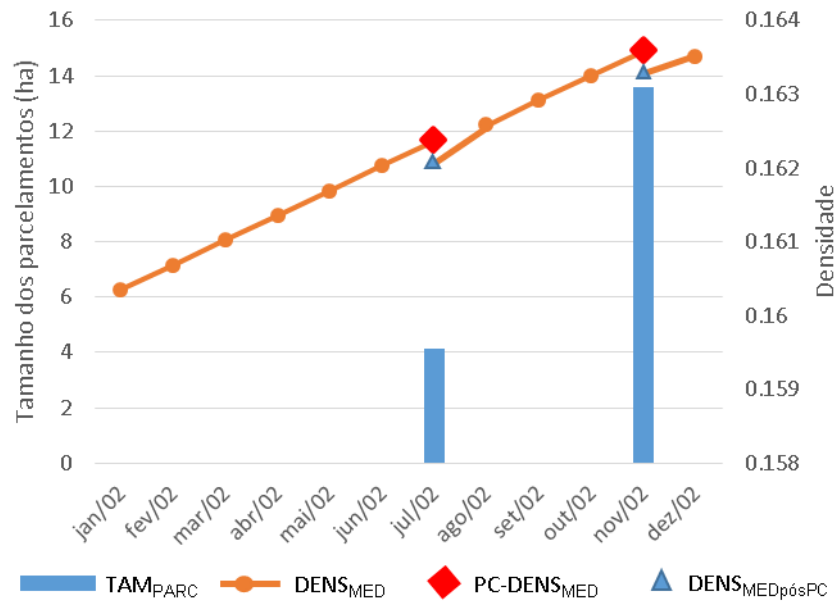
Tabela 7 – PC-DENS_{MED} no ano de 2002.

Data	TAM _{PARC} (ha)	DENS _{MED} (mensal)
jan/02	0	0.160347009
fev/02	0	0.160683574
mar/02	0	0.161020138
abr/02	0	0.161356703
mai/02	0	0.161693268
jun/02	0	0.162029833
jul/02	4.13	0.162366398
pós parc	0	<u>0.16224096</u>
ago/02	0	0.162577265
set/02	0	0.16291357
out/02	0	0.163249874
nov/02	13.61	0.163586179
pós parc	0	<u>0.163170764</u>
dez/02	0	0.163506215

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

A figura 10 apresenta os PC da Densidade Média no ano de 2002 (PC-DENS_{MED}) e os instantes imediatamente posteriores aos parcelamentos (DENS_{MED}pósPC).

Figura 10 – Pontos Críticos da Densidade Média e Parcelamentos ano de 2002.



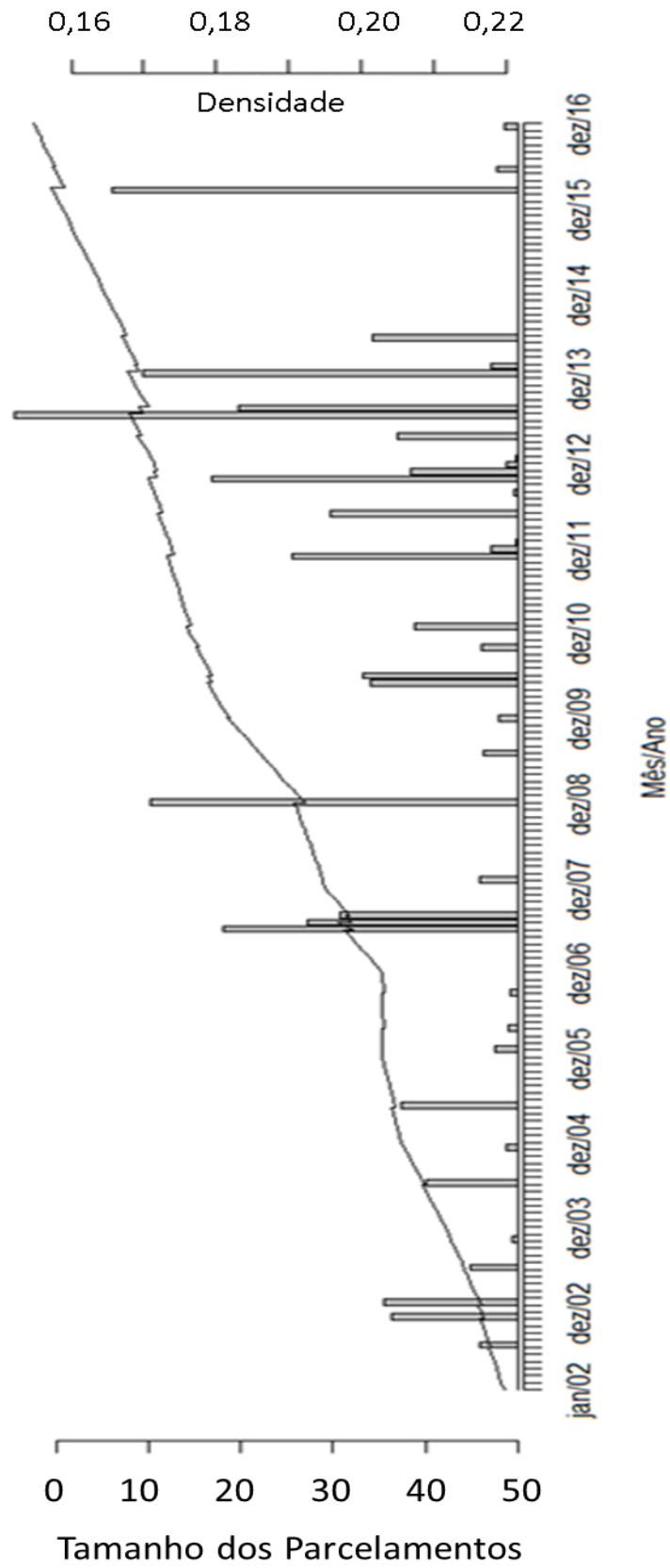
Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

A figura 11, apresenta a curva da Densidade Média, relativa ao período entre os anos 2002 e 2016, com os instantes imediatamente anteriores aos parcelamentos (PC-DENS_{MED}), caracterizados pela extremidade superior dos segmentos da linha vertical, e os instantes imediatamente posteriores aos parcelamentos (DENS_{MED}pósPC) caracterizados pela extremidade inferior dos segmentos da linha vertical. Aparecem, também, os parcelamentos, representados por barras verticais cuja altura expressa o tamanho das mesmas (TAM_{PARC}).

O método permite identificar 40 PC da Densidade Média, correspondentes aos 40 parcelamentos ocorridos no período.

O apêndice C apresenta a relação das medidas DENS_{MED} e CENT_{MED} com frequência mensal, e a identificação dos respectivos indicadores de PC-DENS_{MED}, DENS_{MED}pósPC, PC-CENT_{MED} e CENT_{MED}pósPC.

Figura 11 – Pontos Críticos da Densidade Média e Parcelamentos.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

5.8.2 Pontos Críticos da Centralidade Média

Calculados os indicadores de PC da centralidade máxima, a tabela 8 apresenta o ano de 2002 onde aparecem dois parcelamentos (na cor cinza) e suas respectivas centralidades médias no instante imediatamente anterior ao parcelamento – PC-CENT_{MED}, considerado ponto crítico, (negrito) e no instante imediatamente posterior ao parcelamento - CENT_{MED}pósPC (sublinhado).

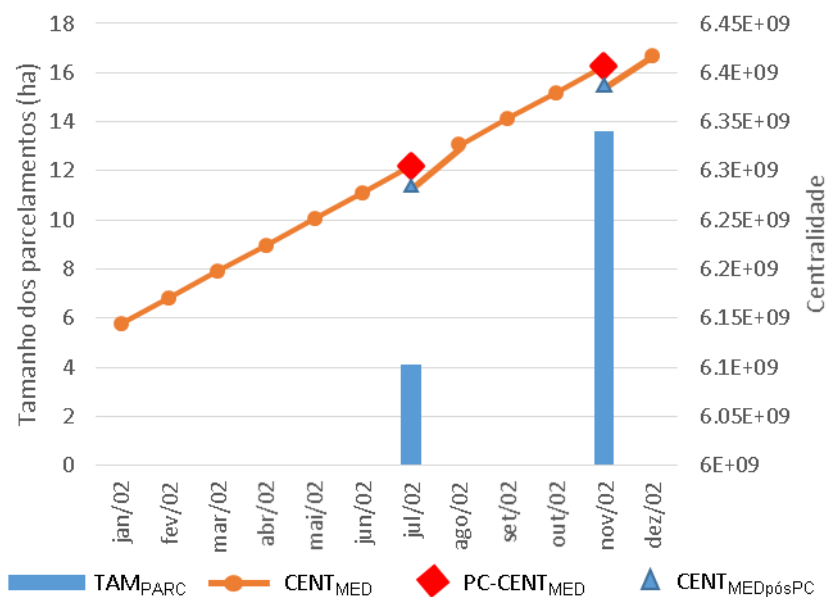
Tabela 8 – PC-CENT_{MED} no ano de 2002.

Data	TAMPARC (ha)	CENT _{MED} (mensal)
jan/02	0	6144419262
fev/02	0	6171130332
mar/02	0	6197841403
abr/02	0	6224552473
mai/02	0	6251263543
jun/02	0	6277974613
jul/02	4.13	6304685684
pós parc		<u>6299814942</u>
ago/02	0	6326505377
set/02	0	6353195811
out/02	0	6379886245
nov/02	13.61	6406576680
pós parc		<u>6390307656</u>
dez/02	0	6416930312

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

A figura 12 apresenta o gráfico desta situação, onde aparecem os PC da Centralidade Média (PC-CENT_{MED}) e os instantes imediatamente posteriores aos parcelamentos (CENT_{MED}pósPC).

Figura 12 – Pontos Críticos da Centralidade Média e Parcelamentos no ano de 2002.



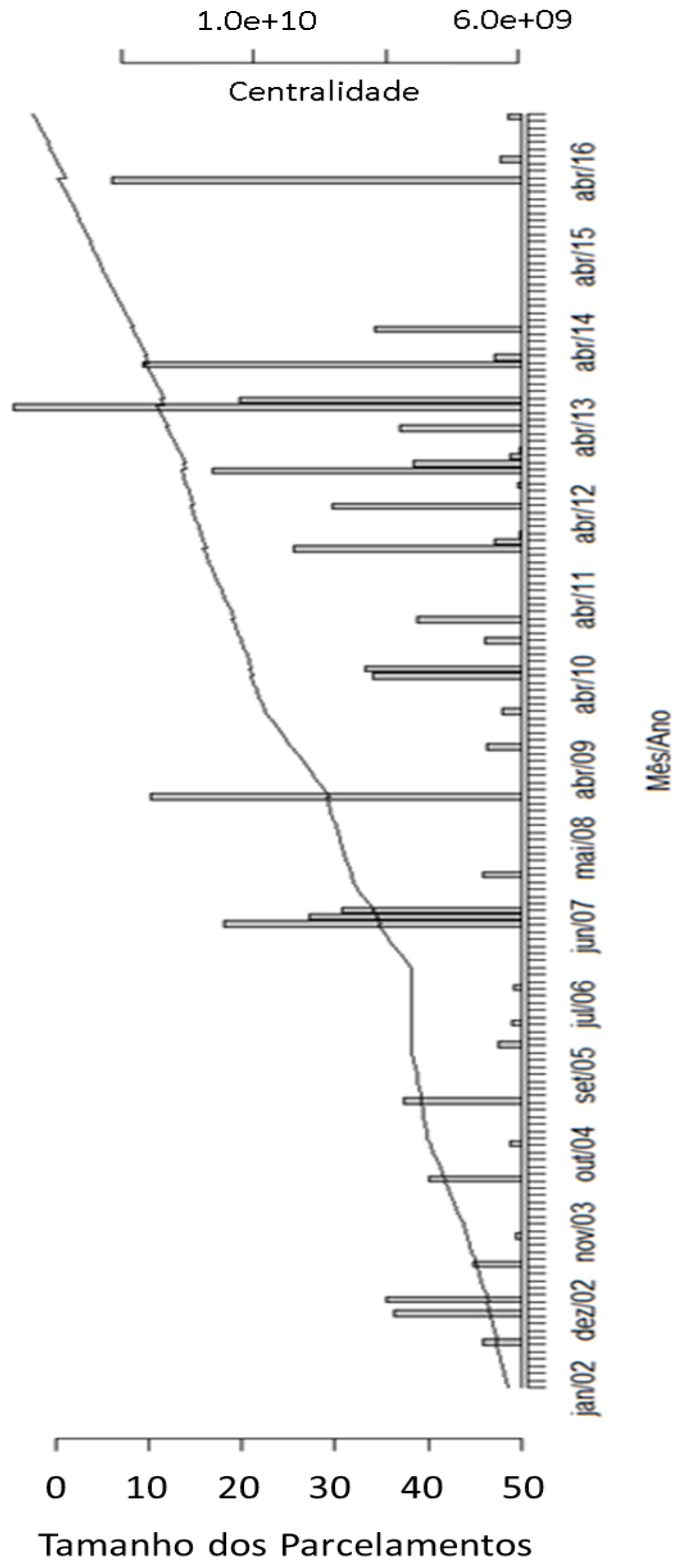
Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

A figura 13, apresenta a curva da Centralidade Média com os instantes imediatamente anteriores aos parcelamentos ($PC-CENT_{MED}$), caracterizados pela extremidade superior dos segmentos da linha vertical, e os instantes imediatamente posteriores aos parcelamentos ($CENT_{MEDpósPC}$) caracterizados pela extremidade inferior dos segmentos da linha vertical. Aparecem, também, os parcelamentos, representados por barras verticais cuja altura expressa o tamanho das mesmas ($TAMPARC$).

O método permite identificar 40 PC da Centralidade Média, correspondentes aos 40 parcelamentos ocorridos no período.

O apêndice C apresenta a relação completa das medidas $DENS_{MED}$ e $CENT_{MED}$ com frequência mensal, e a identificação dos respectivos indicadores de $PC-DENS_{MED}$, $DENS_{MEDpósPC}$, $PC-CENT_{MED}$ e $CENT_{MEDpósPC}$.

Figura 13 – Pontos Críticos da Centralidade Média e Parcelamentos.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

5.8.3 Análise

As análises estatísticas dos indicadores de Ponto Crítico da Densidade Média e da Centralidade Média e das medidas Tamanho dos Parcelamentos e Tempo entre Parcelamentos são realizadas por meio da aplicação dos métodos estatísticos: teste de Dickey-Fuller Aumentado, teste Ljung-Box e Modelo de regressão, utilizando o software R versão 3.3.1.

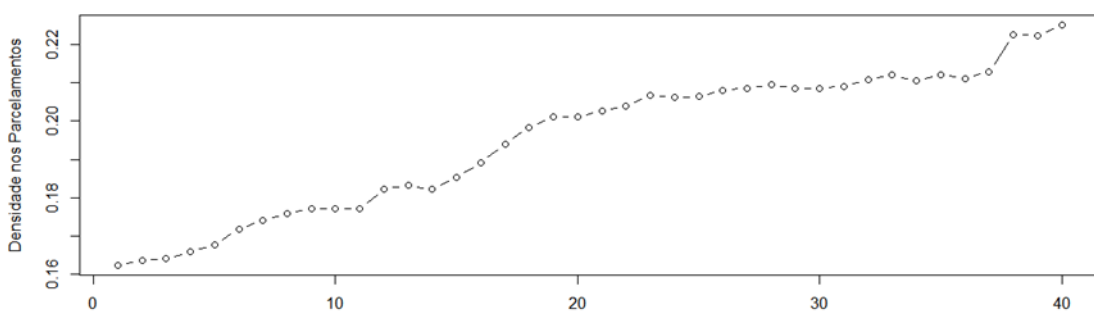
Estes métodos analisam apenas os PC (indicadores de PC) das medidas acessórias em relação aos Tamanhos e os Tempos entre os parcelamentos.

5.8.3.1 Análise dos Pontos Críticos da Densidade Média

A figura 34, apresenta os 40 pontos críticos da densidade média (PC-DENS_{MED}), ou seja, as ocorrências de densidade média coincidentes com as 40 avalanches ocorridas neste período.

Assim, a figura 14 apresenta os Pontos Críticos da Densidade Média, onde cada ponto representa uma das 40 ocorrências de PC-DENS_{MED}, coincidentes com os 40 meses em que ocorreram parcelamentos no período entre janeiro de 2002 e dezembro de 2016.

Figura 14 – Pontos Críticos da Densidade Média.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

Ao indicador de Pontos Críticos da Densidade Média foram aplicados os três métodos estatísticos.

5.8.3.1.1 Teste de Dickey-Fuller Aumentado

O teste de Dickey-Fuller Aumentado é aplicado aos 40 pontos críticos do indicador de PC da densidade média.

O teste ADF resultou em um p-valor igual a 0.5493, portanto maior que 0.05, então, não rejeita-se H_0 e conclui-se que a série é não estacionária, ao nível de 5% de significância. Ou seja, o indicador Densidade Média apresenta crescimento.

Sendo assim, o teste de Dickey-Fuller Aumentado permite afirmar que o indicador Densidade Média apresenta tendência linear com crescimento.

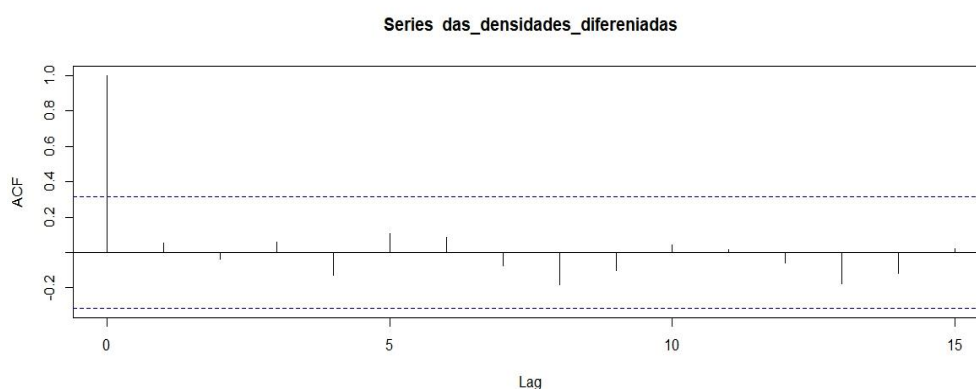
5.8.3.1.2 Teste de Ljung-Box

Na sequência é aplicado teste de Ljung-Box aos 40 pontos críticos da densidade média.

Para o qual é retirada da tendência e, na sequência, são testadas a autocorrelação amostral e a autocorrelação parcial amostral.

A figura 15 apresenta a autocorrelação amostral das densidades totais após diferenciação.

Figura 15 – Autocorrelação amostral das densidades médias após diferenciação.



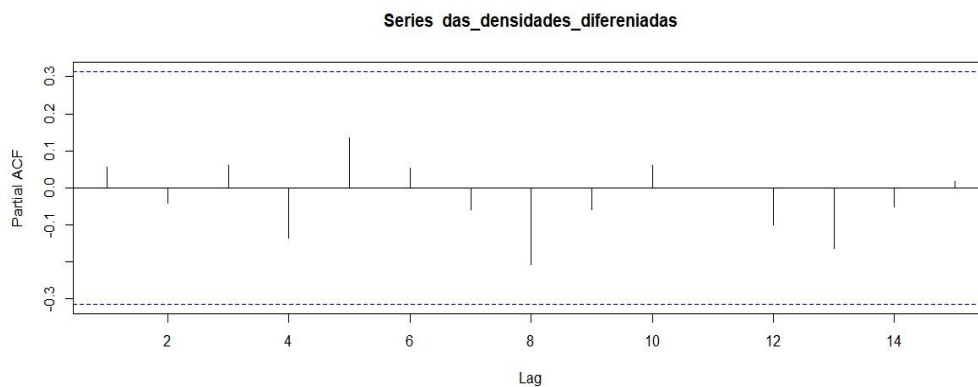
Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

Após a série ter sido diferenciada, ou seja, ao fazer-se $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$ para todos os valores de t , percebemos que os resíduos da diferença são um

processo ruído branco pois, de acordo com acima (gráfico de autocorrelação), onde todos os lags estão dentro do intervalo de confiança, evidenciando assim que não há nenhuma relação entre observações atuais e observações passadas.

A figura 16 apresenta a autocorrelação parcial amostral das densidades médias após diferenciação.

Figura 16 – Autocorrelação parcial amostral das densidades médias após diferenciação.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

O mesmo pode ser observado na figura acima, gráfico de autocorrelação parcial. Ao extrair as observações entre dois valores observados quaisquer, os resíduos correspondentes continuam não correlacionados.

Com base no Teste de Ljung-Box, o p-valor resultante é igual a 0.7197, sendo assim superior a 0.05, portando não rejeitamos a hipótese nula de que os resíduos são não correlacionados, com isso podemos afirmar que os resíduos são não correlacionados, ao nível de 5% de significância.

Sendo assim, o teste de Ljung-Box permite afirmar que não existe autocorrelação (correlação entre quaisquer dos valores) no indicador Densidade Média.

5.8.3.1.3 Estimação do Modelo de Regressão

Por último, estima-se a tendência e modela-se uma reta ajustável ao conjunto de 40 pontos críticos do indicador densidade média.

Como não há dependência entre os valores dessa variável, concluímos que a variação dos valores só ocorre em função do tempo, ou seja, a única relação que existe é entre os valores dessa variável e o tempo. Com isso ajustamos um modelo para estimar a tendência e modelar uma reta em função da variável tempo (ocorrência de parcelamentos).

A tabela 9 mostra o modelo estimado para a variável pontos críticos do indicador densidade média.

Tabela 9 – Modelo estimado para o indicador de PC da Densidade Média.

Coeficientes	Valor estimado	Erro padrão	t valor	Pr(> t)
(Intercepto)	0.1637	1.392e-03	117.59	<2e-16 ***
tempo	0.001540	5.918e-05	26.03	<2e-16 ***

Níveis de significância: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

Podemos observar no modelo acima que os valores de todos os coeficientes são muito significativos, ao nível de confiança próximo a 100%. Sendo assim o modelo está bem ajustado.

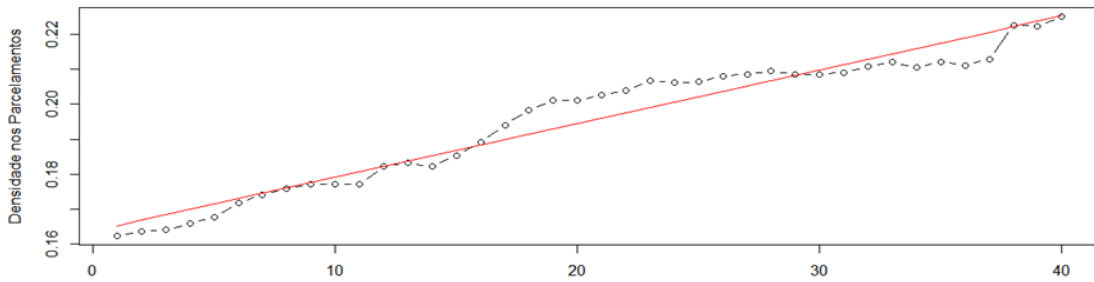
Como R² igual a 0.9455, esse modelo explica 94.55% do comportamento do indicador densidade na ocorrência dos parcelamentos.

Modelo final:

$$\text{Densidade} = 0.1637 + 0.001540 * \text{tempo}$$

A figura 17 apresenta as densidades médias no mês em que ocorreu cada uma das 40 avalanches (representadas por pontos) no período de janeiro de 2002 à dezembro de 2016 e o modelo estimado para as densidades desse mesmo período, representado pela reta vermelha.

Figura 17 – Pontos Críticos da Densidade Média com a linha de tendência.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

Por sua vez, o modelo de regressão permite afirmar que a confiança de previsibilidade do indicador Densidade Média é de 94.55%.

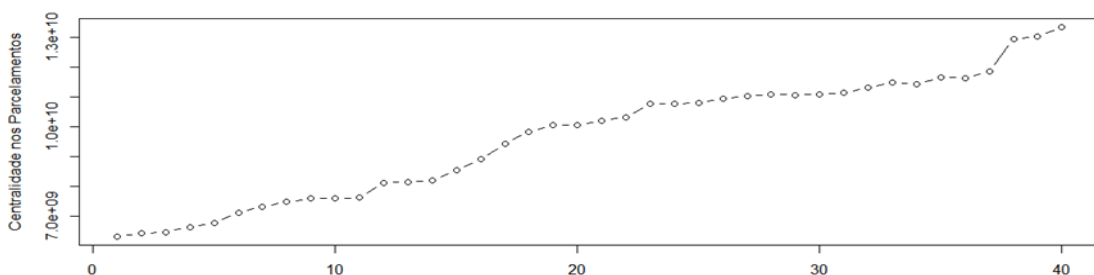
Assim, fundamentado nestes três métodos estatísticos pode-se afirmar que os pontos críticos do indicador Densidade Média:

- apresentam tendência linear com crescimento;
- não apresentam correlação (correlação entre observações atuais e observações passadas, mesmo com lags maiores que 1);
- e permitem estimar o valor da densidade média em que ocorrerá o próximo PC, com 94,55% de confiança.

5.8.3.2 Análise dos Pontos Críticos da Centralidade Média

A figura 18 apresenta os 40 Pontos Críticos da Centralidade Média – PC-CENT_{MED}, representados por pontos, coincidentes com os meses em que ocorreu cada um dos 40 parcelamentos do período entre janeiro de 2002 e dezembro de 2016.

Figura 18 – Pontos Críticos da Centralidade Média.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

5.8.3.2.1 Teste de Dickey-Fuller Aumentado

O teste de Dickey-Fuller Aumentado é aplicado aos 40 pontos críticos do indicador de PC densidade média.

O teste ADF resultou em um p-valor igual a 0.4694, portanto maior que 0.05, então, não rejeita-se H_0 e conclui-se que a série é não estacionária, ao nível de 5% de significância. Ou seja, o indicador Densidade Média apresenta crescimento.

Sendo assim, o teste de Dickey-Fuller Aumentado permite afirmar que o indicador Centralidade Média apresenta tendência linear com crescimento.

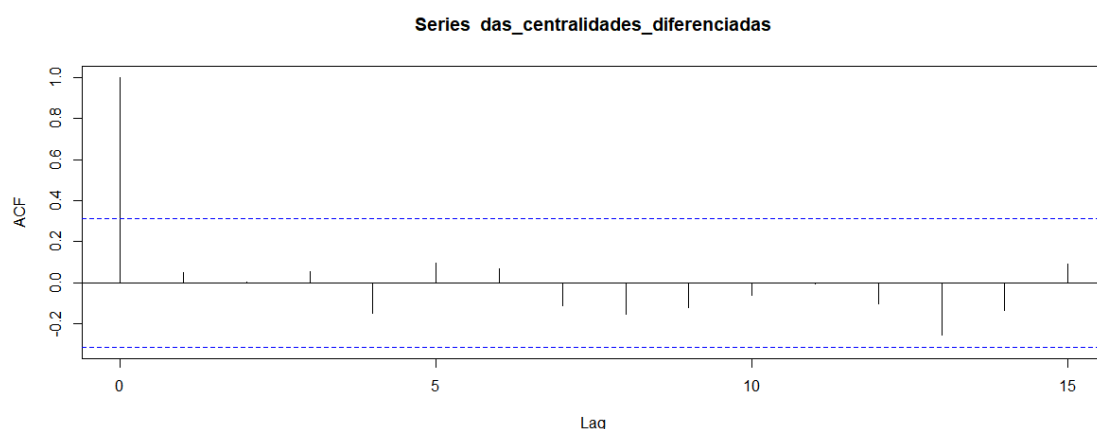
5.8.3.2.2 Teste de Ljung-Box

Na sequência é aplicado o teste de Ljung-Box aos 40 pontos críticos da centralidade média.

Para o qual é retirada da tendência e, na sequência, são testadas a autocorrelação amostral e a autocorrelação parcial amostral.

A figura 19 apresenta a autocorrelação amostral das centralidades totais após diferenciação.

Figura 19 – Autocorrelação amostral das centralidades médias após diferenciação.

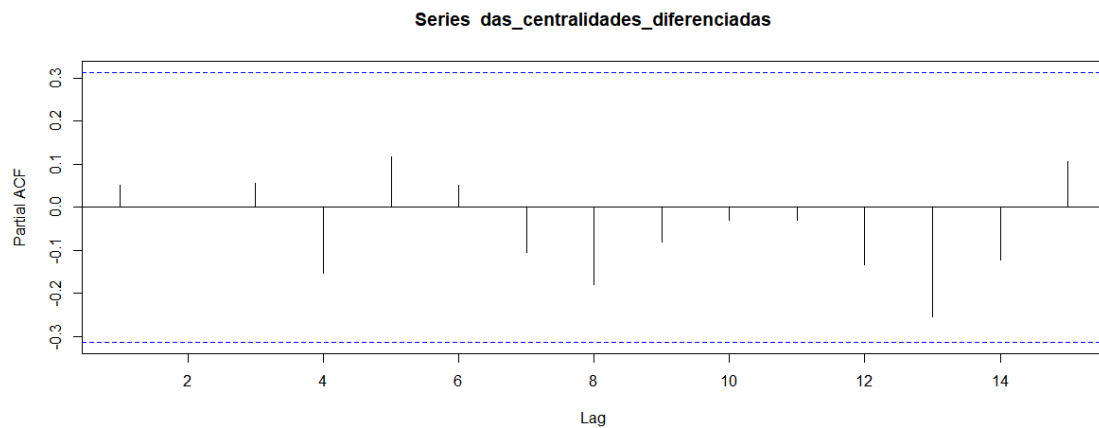


Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

Após a série ter sido diferenciada, percebemos que os resíduos da diferença são um processo ruído branco pois, de acordo com o gráfico acima (de autocorrelação), todos os lags estão dentro do intervalo de confiança, evidenciando assim que não há nenhuma relação entre observações atuais e observações passadas correspondentes à indicador centralidade média.

A figura 20 apresenta a autocorrelação parcial amostral das centralidades médias após diferenciação.

Figura 20 – Autocorrelação parcial amostral das centralidades médias após diferenciação.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

A análise do gráfico da autocorrelação parcial amostral é equivalente a do gráfico da autocorrelação amostral. Ao extrair as observações entre dois valores observados quaisquer, os resíduos correspondentes continuam não correlacionados.

Com base no teste de Ljung-Box, o p-valor resultante é igual a 0.7349, sendo assim superior a 0.05, portando não rejeitamos a hipótese nula de que os resíduos são não correlacionados, com isso podemos afirmar que os resíduos são não correlacionados, ao nível de 5% de significância.

Sendo assim, o teste de Ljung-Box permite afirmar que não existe autocorrelação (correlação entre quaisquer dos valores) no indicador Centralidade Média.

5.8.3.2.3 Estimação do Modelo de Regressão

Por último, estima-se a tendência e modela-se uma reta ajustável ao conjunto de 40 pontos críticos do indicador centralidade média.

Assim como ocorre com a Densidade Média, na Centralidade Média não há dependência entre os valores dessa variável. Concluímos então, que a variação dos valores só ocorre em função do tempo, ou seja, a única relação que há é entre os valores dessa variável e o tempo. Com isso ajustamos um modelo para estimar a tendência e modelar uma reta em função da variável tempo (ocorrência de parcelamentos).

A tabela 10 mostra o modelo estimado para a variável pontos críticos do indicador centralidade média.

Tabela 10 – Modelo estimado para o indicador de PC da Centralidade Média.

Coeficientes	Valor estimado	Erro padrão	t valor	Pr(> t)
(Intercepto)	6.135e+09	1.192e+08	51.46	<2e-16 ***
tempo	1.720e+08	5.067e+06	33.94	<2e-16 ***

Níveis de significância: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

Podemos observar no modelo acima que os valores de todos os coeficientes são muito significativos, ao nível de confiança próximo a 100%. Sendo assim o modelo está bem ajustado.

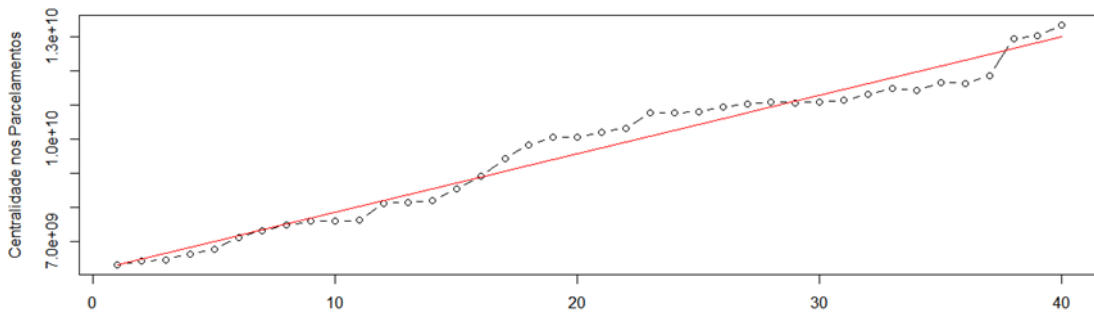
Com R² igual a 0.9672, esse modelo explica 96.72% do comportamento da variável centralidade na ocorrência das avalanches.

Modelo final:

$$\text{Centralidade} = 6.135e+09 + 1.720e+08 * \text{tempo}$$

A Figura 21 apresenta as centralidades médias no mês em que ocorreu cada um dos 40 parcelamentos (representadas por pontos) no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2016 e o modelo estimado para as centralidades desse mesmo período, representado pela reta vermelha.

Figura 21 – Pontos Críticos da Centralidade Média com a linha de tendência.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

Por sua vez, o modelo de regressão permite afirmar que a confiança de previsibilidade do indicador centralidade média é de 96.72%.

Assim, fundamentado nestes três métodos estatísticos pode-se afirmar que os pontos críticos do indicador Centralidade Média:

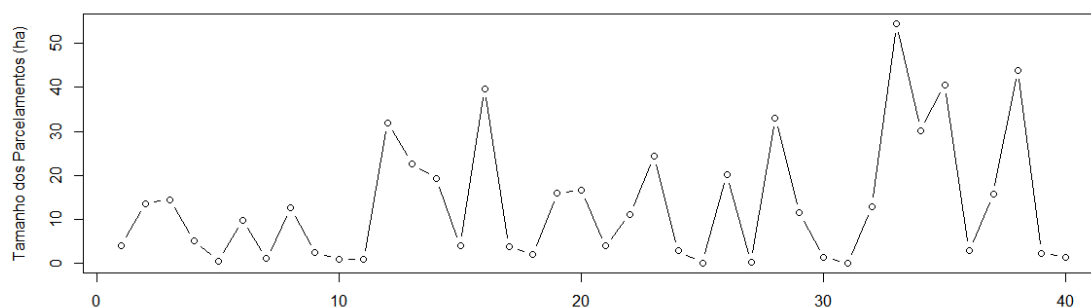
- apresentam tendência linear com crescimento;
- não apresentam autocorrelação (correlação entre observações atuais e observações passadas, mesmo com lags maiores que 1);
- permitem estimar o valor da centralidade média em que ocorrerá o próximo PC, com 96.72% de confiança.

5.8.3.3 Análise dos Tamanhos dos Parcelamentos

A análise estatística do indicador Tamanho dos Parcelamentos é realizada entre os anos de 2002 e 2016, considerando todos os 40 parcelamentos ocorridos neste período.

A figura 22 apresenta os tamanhos de cada um dos 40 parcelamentos, representadas por pontos, ocorridas no período de janeiro de 2002 à dezembro de 2016.

Figura 22 – Tamanho dos Parcelamentos ocorridos de janeiro de 2002 à dezembro de 2016.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

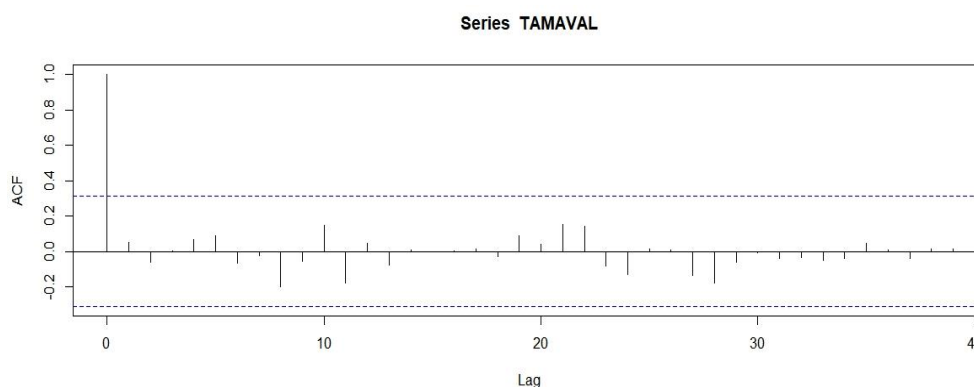
5.8.3.3.1 Teste de Ljung-Box

É aplicado o teste de Ljung-Box aos tamanhos dos 40 parcelamentos.

Para o qual é retirada a tendência e, na sequência, são testadas a autocorrelação amostral e a autocorrelação parcial amostral.

A figura 23 apresenta a autocorrelação amostral dos tamanhos das avalanches após diferenciação.

Figura 23 – Autocorrelação amostral dos tamanhos dos parcelamentos após diferenciação.



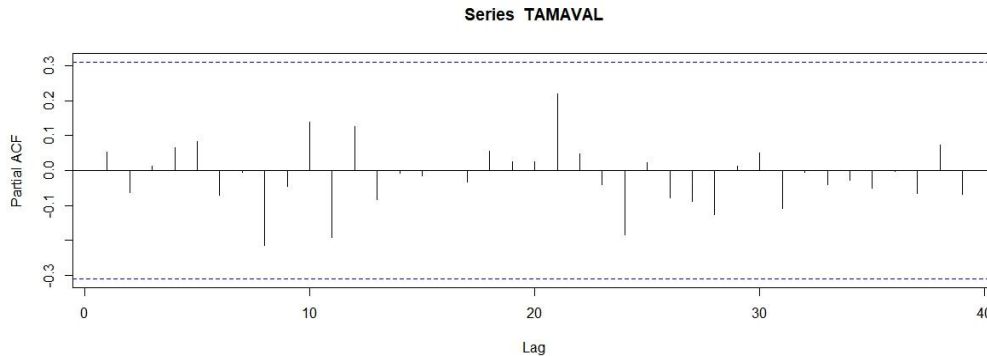
Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

Após a série ter sido diferenciada, percebe-se que os resíduos da diferença são um processo ruído branco pois, de acordo com figura acima, todos os lags estão dentro do intervalo de confiança, evidenciando assim que não há

nenhuma relação entre observações atuais e observações passadas correspondentes à medida Tamanho dos parcelamentos.

A figura 24 apresenta a autocorrelação parcial amostral dos tamanhos dos parcelamentos após diferenciação.

Figura 24 – Autocorrelação parcial amostral da medida tamanho dos parcelamentos.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

Pode ser percebido na figura acima, que ao extrair as observações entre dois valores quaisquer, os resíduos correspondentes continuam não correlacionados.

Com base no teste Ljung-Box, o p-valor resultante é igual a 0.7327, sendo assim superior a 0.05, portando não rejeitamos a hipótese nula de que não existe correlação, com isso podemos afirmar que os resíduos são não correlacionados, ao nível de 5% de significância.

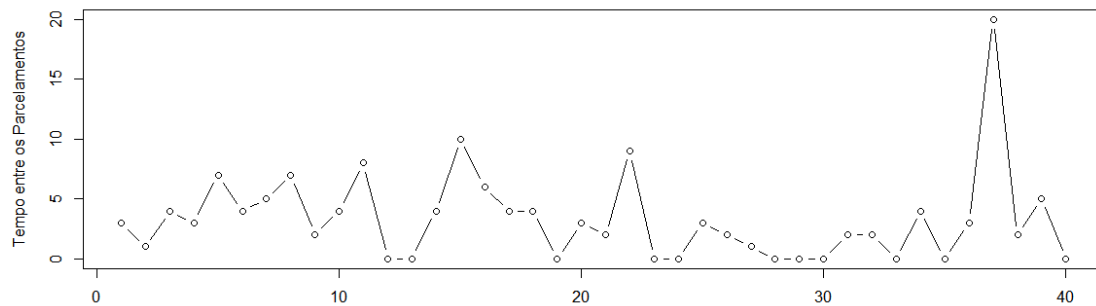
Sendo assim, o teste de Ljung-Box permite afirmar que não existe autocorrelação (correlação entre quaisquer dos valores) no indicador Tamanho dos Parcelamentos.

5.8.3.4 Análise dos Tempos entre Parcelamentos

A análise estatística do indicador Tempo entre Parcelamentos é realizada entre os anos de 2002 e 2016, considerando todas os 40 parcelamentos ocorridas neste período.

A figura 25 apresenta os tempos entre os parcelamentos, representados por pontos, ocorridos no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2016.

Figura 25– Tempos entre Parcelamentos ocorridos de janeiro de 2002 à dezembro de 2016.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

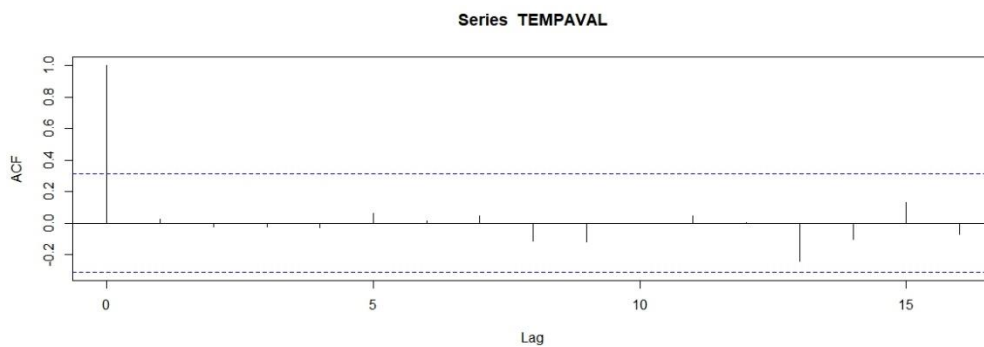
5.8.3.4.1. Teste de Ljung-Box

É aplicado o teste de Ljung-Box aos tempos entre os 40 parcelamentos.

Para o qual é retirada da tendência e, na sequência, são testadas a autocorrelação amostral e a autocorrelação parcial amostral.

A figura 26 apresenta a autocorrelação amostral dos tempos entre os parcelamentos após diferenciação.

Figura 26 – Autocorrelação amostral dos tempos entre os parcelamentos após diferenciação.



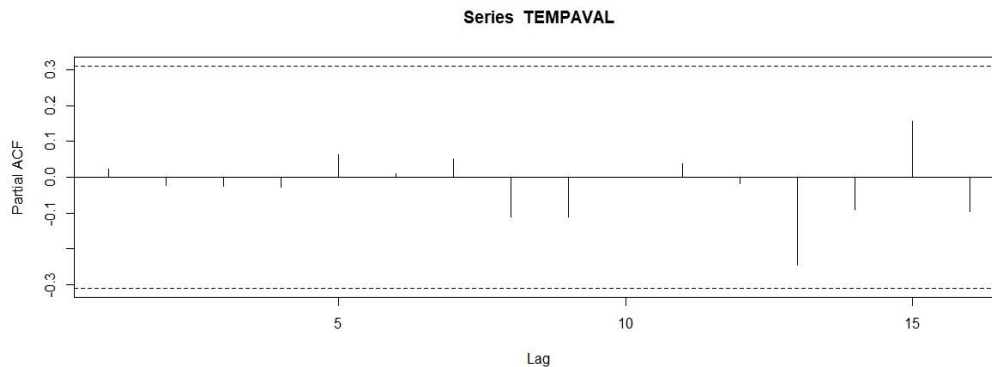
Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

Após a série ter sido diferenciada, percebemos que os resíduos da diferença são um processo ruído branco pois, de acordo com a figura acima, todos os lags estão dentro do intervalo de confiança, evidenciando assim que

não há nenhuma relação entre observações atuais e observações passadas correspondentes ao indicador Tempo entre Parcelamentos.

A figura 27 apresenta a autocorrelação parcial amostral dos tempos entre os parcelamentos após diferenciação.

Figura 27 – Autocorrelação parcial amostral do indicador tempo entre parcelamentos.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

Pode ser observado na figura acima, que ao extrair as observações entre dois valores quaisquer, os resíduos correspondentes continuam não correlacionados.

Com base no teste Ljung-Box, o p-valor resultante é igual a 0.8802, sendo assim superior a 0.05, portando não rejeitamos a hipótese nula de que os resíduos são não correlacionados, com isso podemos afirmar que os resíduos são não correlacionados, ao nível de 5% de significância.

Sendo assim, o teste de Ljung-Box permite afirmar que não existe autocorrelação (correlação entre quaisquer dos valores) na medida Tempo entre Parcelamentos.

Concluindo, as análises estatísticas permitem afirmar que:

- os quatro indicadores não são autocorrelacionados;
- os indicadores da FC apresentam tendência com crescimento e possuem alto grau de confiança de previsibilidade;
- enquanto os indicadores do TU não apresentam tendência, não permitindo a previsibilidade;
- a confiança de previsibilidade é maior para a centralidade do que para a densidade;

- e, não existe correlação entre os indicadores de PC da FC e as medidas do TU, pois os primeiros apresentam tendência com crescimento, enquanto os últimos não apresentam tendência.

5.8.4 Resultados

A partir das conclusões das análises estatísticas aplicadas aos indicadores de PC da densidade e da centralidade e as medidas de Tamanho e Tempo entre Parcelamentos pode-se afirmar que:

Os indicadores de PC da Densidade e da Centralidade Médias permitem que se preveja os valores com que a densidade e a centralidade atingirão o próximo PC, mas não permitem que se prediga o tamanho do novo parcelamento e nem em quanto tempo acontecerá.

Este comportamento de previsibilidade do PC e não previsibilidade dos parcelamentos é condizente com comportamentos associados a criticalidade auto-organizada e, a partir do que, pode-se inferir que a dinâmica do crescimento urbano possui comportamento C.A.O.

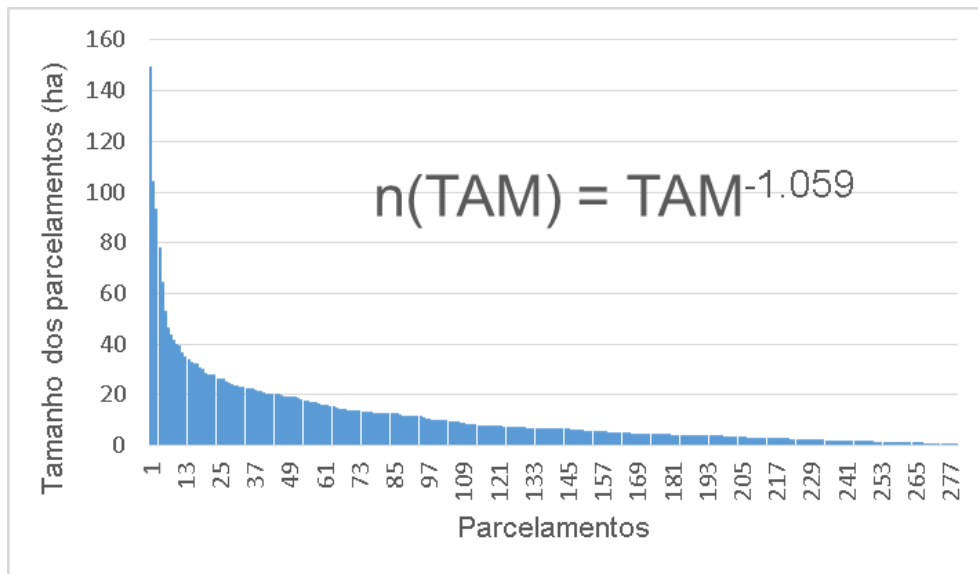
5.9 INDICADORES DE DISTRIBUIÇÃO DOS PARCELAMENTOS

Os indicadores de distribuição dos parcelamentos são: Indicador de Distribuição dos Tamanhos dos Parcelamentos e indicador de distribuição dos Tempos entre Parcelamentos.

5.9.1 Distribuição dos Tamanho dos Parcelamentos (TAM_{PARC})

A figura 28 apresenta a distribuição dos tamanhos dos parcelamentos e a equação de regressão da série de dados.

Figura 28 – Distribuição dos Tamanhos dos Parcelamentos e Lei de Potência.



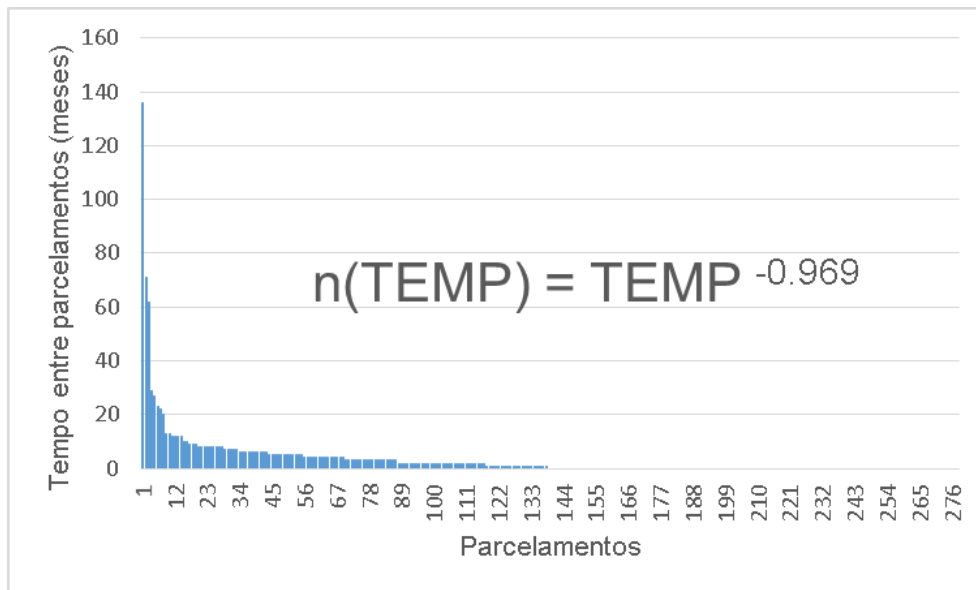
Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

A Lei de Potência que rege a distribuição dos tamanhos dos parcelamentos é $n(\text{TAM}) = \text{TAM}^{-1.059}$. Apresenta um coeficiente escalar muito próximo de 1 e, portanto, condizente com uma distribuição do tipo Lei de Potência.

5.9.2 Distribuição dos intervalos de Tempo entre Parcelamentos ($\text{TEMP}_{\text{PARC}}$)

A figura 29 apresenta a distribuição dos tempos entre os parcelamentos e a equação de regressão da série de dados, a qual apresenta um coeficiente - 0,969, muito próximo de 1 e, portanto, condizente com uma distribuição do tipo Lei de Potência.

Figura 29 – Distribuição dos Tempos entre Parcelamentos e Lei de Potência.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

A Lei de Potência que rege a distribuição dos tempos entre os parcelamentos é $n(\text{TEMP}) = \text{TEMP}^{-0.969}$. Apresenta um coeficiente escalar muito próximo de 1 e, portanto, condizente com uma distribuição do tipo Lei de Potência.

5.9.3 Análises

A análise dos indicadores de distribuição dos Tamanhos dos Parcelamentos (TAM_{PARC}) e dos Tempos entre Parcelamentos ($\text{TEMP}_{\text{PARC}}$) é realizada comparativamente aos estudos de Batty e de Carneiro e Charret.

Na distribuição dos tamanhos, Batty encontrou, para a cidade de Búfalo nos Estados Unidos, a Lei de Potência $n(s) = s^{-1.112}$, enquanto Carneiro e Charret verificaram o coeficiente -1,13 em seus experimentos. Para Santa Maria a Lei de Potência que rege a distribuição dos tamanhos dos parcelamentos é $n(\text{TAM}) = \text{TAM}^{-1.059}$, apresentando, portanto, um coeficiente escalar mais próximo de 1 que nos estudos dos mencionados autores.

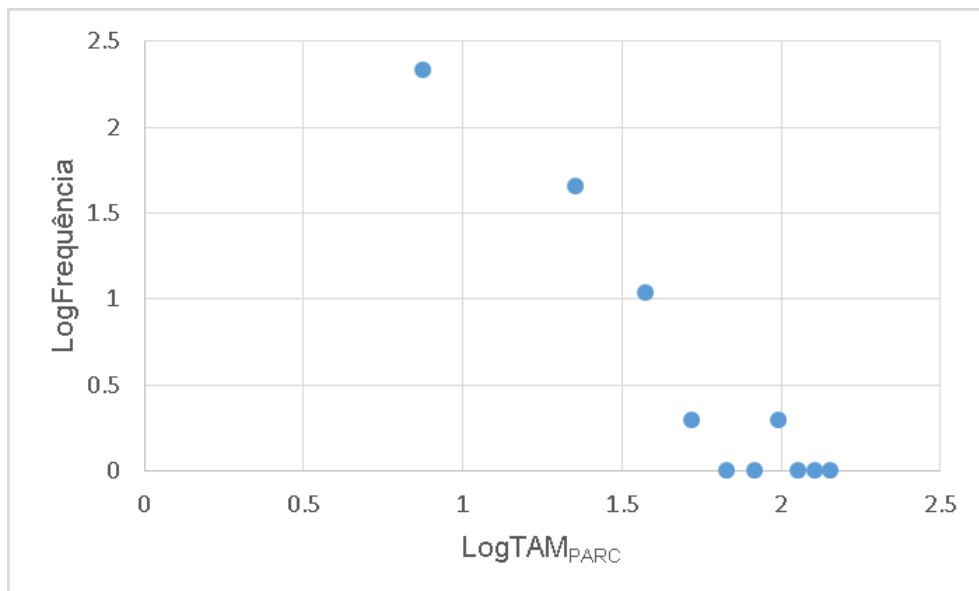
E, por sua vez, na distribuição dos tempos, Batty encontrou a Lei de Potência $n(t) = t^{-1.105}$, enquanto Carneiro e Charret verificaram o coeficiente -1,18 em seus experimentos. Para Santa Maria a Lei de Potência que rege a distribuição dos tempos entre parcelamentos é $n(\text{TEMP}) = \text{TEMP}^{-0.969}$,

apresentando, portanto, um coeficiente escalar mais próximo de 1 que nos estudos dos mencionados autores.

Outra forma de analisar o comportamento escalar das medidas de parcelamento é por meio da análise dos gráficos de dispersão entre os logaritmos das frequências dos parcelamentos e os logaritmos dos tamanhos e dos tempos dos parcelamentos, respectivamente.

A figura 30, apresenta o gráfico de dispersão que mostra os Logaritmos da Frequência de distribuição dos Tamanhos dos Parcelamentos no eixo vertical e os Logaritmos dos Tamanhos dos Parcelamentos no eixo horizontal.

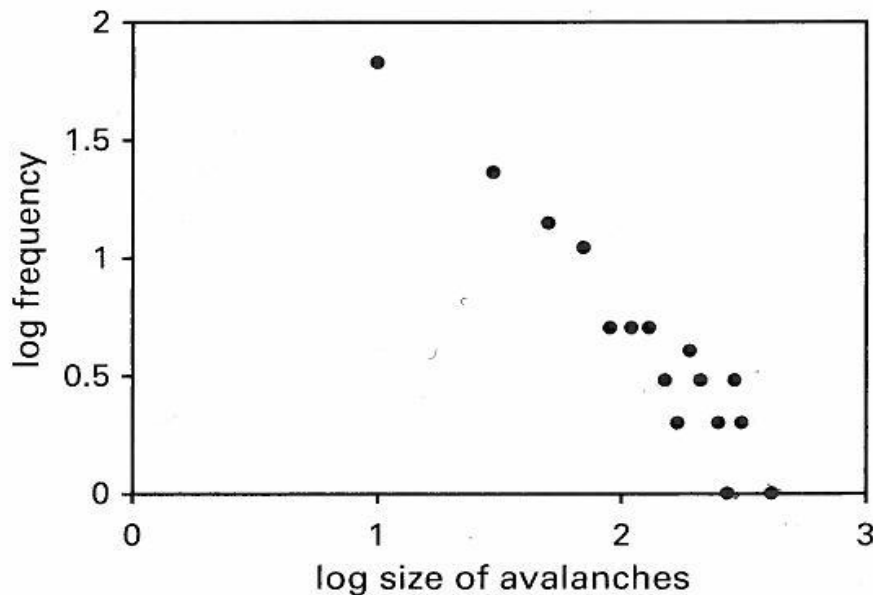
Figura 30 – Comportamento Escalar dos Tamanhos dos Parcelamentos em Santa Maria.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

A figura 31, por sua vez, apresenta o gráfico de LogFreqxLogTam das avalanches construído por Batty para a cidade de Búfalo.

Figura 31 – Comportamento Escalar dos Tamanhos das Avalanches em Búfalo.



Fonte: BATTY, M.2005. p. 436.

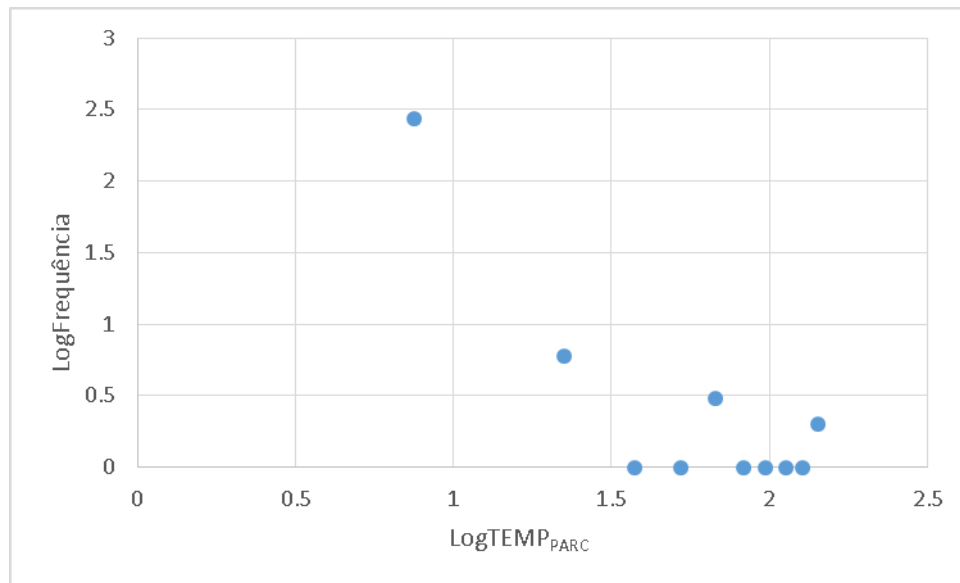
Observa-se que os dois gráficos apresentam comportamentos escalares semelhantes, porém, na cidade de Búfalo ocorre uma concentração de frequências média-baixas (0,5) com tamanho médio-alto maior que as ocorrências com frequências baixas e tamanhos altos, afastando-se um pouco do padrão de decaimento por leis de potência.

Enquanto, na cidade de Santa Maria ocorre uma maior concentração de frequências baixas e tamanhos altos, sem concentrações intermediárias como ocorre em Búfalo.

Esta análise do comportamento escalar, por meio dos gráficos é corroborada pela análise das leis de potência encontradas para as duas cidades, onde a Lei de Potência do Tamanho entre parcelamentos de Santa Maria apresenta coeficiente mais próximo de 1 que em Búfalo.

Análise semelhante é realizada para os Tempos. A figura 32, apresenta o gráfico de dispersão que apresenta os Logaritmos da Frequência de distribuição dos Tempos entre os parcelamentos no eixo vertical e os Logaritmos dos Tempos entre os parcelamentos no eixo horizontal.

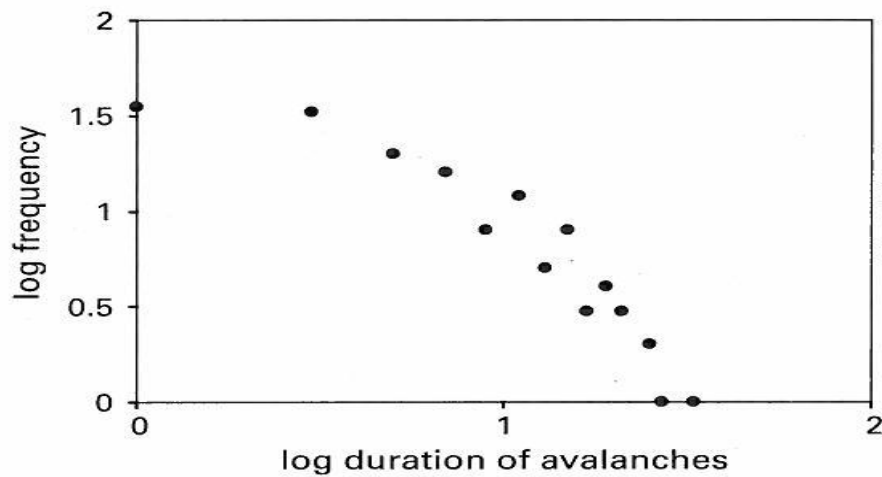
Figura 32 – Comportamento Escalar dos Tempos entre Parcelamentos em Santa Maria.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

A figura 33, por sua vez, apresenta o gráfico de LogFreqxLogTam das avalanches construído por Batty para a cidade de Búfalo.

Figura 33 – Comportamento Escalar dos Tempos das Avalanches em Búfalo.



Fonte: BATTY, M.2005. p. 436.

Observa-se que os dois gráficos apresentam comportamentos escalares um pouco distintos, embora o comportamento dos tempos entre parcelamentos em Santa Maria seja semelhante ao dos tamanhos das avalanches em Búfalo.

Num primeiro momento achamos que esta distorção poderia estar associada a necessidade que tivemos de arbitrar o mês em que alguns parcelamentos foram aprovados, já que tínhamos apenas o ano deste acontecimento. Mas na sequência, e analisando as equações de regressão, percebemos que o comportamento escalar verificado para os tempos entre parcelamentos em Santa Maria é muito mais parecido com o verificado por Batty para os tamanhos das avalanches. Sendo, portanto, um indicativo mais forte da presença da criticalidade auto-organizada na distribuição dos tempos entre parcelamentos em Santa Maria.

Na cidade de Búfalo ocorre uma concentração de frequências médias (1) com tempos médio-alto maior que as ocorrências com frequências baixas e tempos altos, afastando-se um pouco do padrão de decaimento por leis de potência. Enquanto, na cidade de Santa Maria não ocorre concentração de frequências intermediárias como ocorre em Búfalo e sim nas frequências mais baixas.

Esta análise do comportamento escalar, por meio dos gráficos é corroborada pela análise das leis de potência encontradas para as duas cidades. Onde a Lei de Potência dos tempos das avalanches de Santa Maria apresenta coeficiente mais próximo de 1 que em Búfalo.

5.9.4 Resultados

As análises dos indicadores de distribuição dos tamanhos e dos tempos entre parcelamentos permitem que se infira, fundamentado nas assertivas de Batty e nos parcelamentos do solo para fins urbanos em Santa Maria, que o crescimento do TU de Santa Maria, quando se considera os tamanhos das expansões e os tempos entre elas, é um sistema complexo que apresenta um comportamento condizente com a criticalidade auto-organizada.

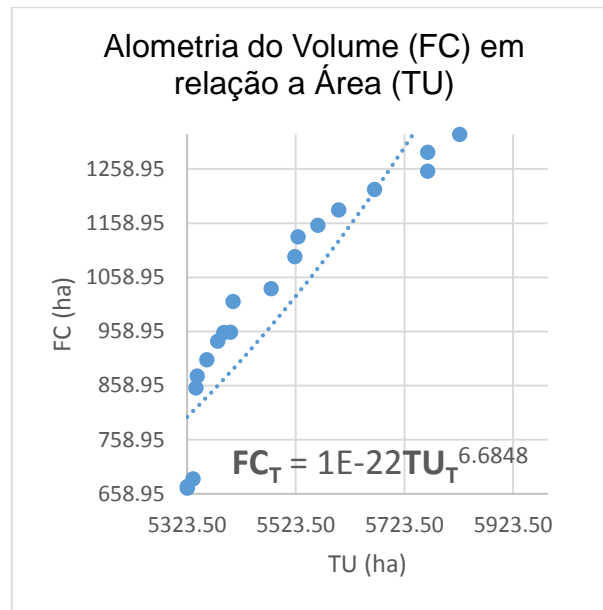
5.10 INDICADORES DE ALOMETRIA

Os indicadores de Alometria são estabelecidos pelo Coeficiente Alométrico e o Fator Alométrico.

5.10.1 Indicador do Coeficiente Alométrico ($ALOM_{COEF}$)

A figura 34 apresenta o gráfico de dispersão das medidas FC_T e TU_T , com a respectiva linha de tendência e sua equação de ajuste.

Figura 34– Gráfico de dispersão $FCT \times TUT$.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

A partir da equação 17, a equação de ajuste

$$FC_T = 1E-22TU_T^{6.6848} \quad (17)$$

determina-se o coeficiente $a=6,6848$ e a constante $b=1E-22$. Sendo assim, temos

$$ALOM_{COEF} = 6,6848$$

Como o coeficiente é maior que 1, temos uma alometria **positiva** ou **superlinear**.

Então, a variação da FC é superlinear a variação do TU, em outras palavras, a FC cresce a uma taxa alométrica superior a variação do TU.

5.10.2 Indicador do Fator Alométrico (ALOM_{FATOR})

De posse das medidas FC_T e TU_T, do coeficiente a=6,6848 e da constante b=1E-22, calcula-se a variação entre as duas medidas a cada ano, a partir da equação 18, por meio da equação,

$$ALOM_{VAR}=1E-22 \times 6,6848 \times TU_T^{(6,6848)} \quad (18)$$

A tabela 11 apresenta as medias TU_T e FC_T e as variações de alometria - ALOM_{VAR}, para os anos entre 1997 e 2016, bem como o somatório dos indicadores.

Tabela 11 – Variáveis TU_T e FC_T e os indicadores ALOM_{VAR}.

Ano	TU _T (ha)	FC _T (ha)	ALOM _{VAR}
1997	5323.50	658.95	1.02
1998	5323.50	669.55	1.02
1999	5323.50	672.38	1.02
2000	5334.24	686.75	1.03
2001	5339.52	854.73	1.04
2002	5341.69	876.31	1.04
2003	5359.43	906.65	1.06
2004	5379.69	941.11	1.08
2005	5390.74	957.00	1.09
2006	5403.39	957.39	1.11
2007	5407.80	1014.35	1.11
2008	5477.96	1037.79	1.20
2009	5521.68	1097.09	1.25
2010	5527.41	1134.11	1.26
2011	5563.98	1155.24	1.31
2012	5602.21	1183.40	1.36
2013	5668.58	1221.35	1.45
2014	5765.87	1255.32	1.60
2015	5765.87	1289.81	1.60
2016	5824.87	1323.04	1.70
Σ dos indicadores ALOM _{VAR} =			24.35

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).

De posse do somatório dos indicadores de variação de alometria em cada ano,

$$\Sigma \text{ dos indicadores } ALOM_{VAR} = 24,35$$

Procede-se o cálculo do Fator Alométrico ($ALOM_{FATOR}$), que corresponde a taxa de variação média da alometria entre FC_T e TU_T , calculada, a partir da equação 19, com a equação

$$ALOM_{FATOR} = 24,35/20 \quad (19)$$

Obtendo-se o fator Alométrico

$$ALOM_{FATOR} = 1,22.$$

O que permite dizer que a variação média da taxa de variação anual, neste período é 1,22.

Isso significa que, em Santa Maria, entre 1997 e 2016, **a FC variou 22% a mais que o TU.**

Portanto, para cada hectare acrescido no TU, em média neste período, foram acrescidos 1,22 hectares na FC.

5.10.3 Análises e resultados

Um fator **alométrico** positivo das variáveis **expansão** e **densificação**, indicando uma densificação crescente a uma taxa relativamente alta como esta, caracteriza um processo de urbanização que **privilegia a compactação**, em **detrimento da dispersão**. Isso é surpreendente, considerando tendências recentes de crescimento urbano fragmentado e disperso. O caso-estudo único com que se trabalha aqui não permite inferir qualquer nova tendência ou correção de tendências anteriores, não obstante sinaliza um processo saudável de crescimento urbano.

O fator alométrico calculado afasta-se do 'número mágico' de 15% que West obteve nos seus já célebres estudos sobre alometria urbana. Uma das razões para isso pode ser o fato de que não se usou aqui a variável "população"

como variável de referência. Outra razão pode ser a de que Santa Maria ainda não atingiu o estágio de cidade “industrial” que West atribui as cidades por ele estudadas, as quais, afirma, estão prestes a mudar de estágio, a tornarem-se cidades pós-industriais.

Embora não constitua objeto dessa tese, entender os motivos das variações da cidade, Santa Maria está longe de ser uma cidade industrial, constitui-se sim, em uma cidade vocacionada aos serviços de educação, de saúde e de comércio em geral. Justificando, assim, uma variação maior no crescimento da densificação em relação ao crescimento da expansão.

5.11 CONCLUSÕES DAS ANÁLISES

As conclusões das análises dos indicadores são limitadas, visto que se fundamentam em evidências desenvolvidas a partir de:

- apenas um estudo de caso, o sistema urbano Santa Maria – RS.
- dados precários disponibilizados pelos órgãos municipais;
- metodologias de vinculação de diferentes bases de dados, que apesar de serem altamente desenvolvidas, operaram sobre dados muitas vezes desconexos;
- dados referentes a um curto período de tempo, se considerada a complexidade do sistema urbano;
- e, ainda, a possível diminuição da acurácia dos indicadores, que devido a necessidade de transformá-los de frequência anual para mensal, foram interpolados com objetivo de descrever as especificidades do processo de crescimento urbano.

Considerando-se todas estas ressalvas, pode-se fazer as seguintes ilações a respeito da dinâmica do crescimento urbano.

As análises de **alometria** entre Forma Construída e Tecido Urbano, permitiram identificar que a medida Forma Construída é superlinear em relação a medida Tecido Urbano e que o Fator Alométrico entre elas é 1,22.

As análises de **sensibilidade** das medidas da Forma Construída na descrição da expansão do Tecido Urbano, corroboradas pelos modelos de

regressão dos indicadores de Ponto Crítico da Densidade e da Centralidade Médias, permitem afirmar que:

- as medidas máximas de Densidade e Centralidade são mais correlacionados com o crescimento do Tecido Urbano que as medidas médias, indicando que a saturação parcial (de trechos de espaço público) é robusta o suficiente para conduzir a comportamentos de expansão no Tecido Urbano, ou seja, basta a saturação parcial da matriz Forma Construída para que a matriz Tecido Urbano reaja por meio da sua expansão;
- as medidas de Centralidade são mais correlacionados com o crescimento do Tecido Urbano que as medidas de Densidade, indicando que a medida de Centralidade permite descrever com maior sensibilidade o processo de expansão do Tecido Urbano;
- os indicadores de Ponto Crítico da Centralidade Média permitem prever o próximo ponto crítico com maior confiança que o indicadores de Ponto Crítico da Densidade Média, indicando que a medida de centralidade permite descrever com mais acurácia que a densidade os limiares de criticalidade entre as matrizes Forma Construída e Tecido Urbano;
- a maior sensibilidade da Centralidade na descrição da expansão do Tecido Urbano indica que a matriz Espaço Público, por meio da sua topologia, tem papel relevante na dinâmica do Crescimento Urbano.

Já as análises dos indicadores de **distribuição** dos Tamanhos e dos Tempos entre parcelamentos permitiram determinar as Leis de Potência que regem estes eventos e, assim, comprovar que os parcelamentos ocorrem em todas as escalas sem padrão definido, demonstrando a existência de indícios da presença de Criticalidade Auto-Organizada no crescimento da matriz Tecido Urbano.

Por sua vez, as análises dos indicadores de **Ponto Crítico** na Densidade Média e na Centralidade Média, permitiram a identificação dos pontos críticos nas referidas medidas.

E, ainda, as análises estatísticas entre os indicadores de Ponto Crítico na $DENS_{MED}$ e na $CENT_{MED}$ e as medidas TAM_{PARC} e $TEMP_{PARC}$, permitiram comprovar que:

- os Pontos Críticos da Densidade Média apresentam tendência linear com crescimento e, apesar de não haver autocorrelação (correlação entre observações atuais e observações passadas, mesmo com lags maiores que 1), o valor da densidade do próximo Ponto Crítico pode ser previsto com uma margem de confiança de 94,55%;
- os Pontos Críticos da Centralidade Média também apresentam tendência linear com crescimento e inexistência de autocorrelação, sendo que a diferença está na margem de confiança, de previsibilidade do próximo Ponto Crítico, que é de 96,72%;
- o TAM_{PARC} e o $TEMP_{PARC}$ não apresentam tendência de crescimento, nem autocorrelação e, portanto não permitem prever o tamanho do próximo parcelamento e nem o tempo até a sua ocorrência;
- e, portanto, se os indicadores de Ponto Crítico ($PC-DENS_{MED}$ e $PC-CENT_{MED}$) possuem tendência linear com crescimento e as medidas do Tecido Urbano (TAM_{PARC} e $TEMP_{PARC}$) não apresentam tendência de crescimento, pode-se afirmar que não existe relação entre os indicadores da Forma Construída e os indicadores do Tecido Urbano, a não ser a certeza de que quando os primeiros atingirem seu limiar de criticalidade haverá uma reação do Tecido Urbano, em forma de parcelamento;
- por sua vez, as análises mostram que podemos prever qual o próximo ponto crítico da densidade média e da centralidade média, ou seja, com que valor a densidade e a centralidade vão atingir seu Ponto Crítico e desencadear um novo parcelamento, mas não podemos prever quando acontecerá e nem o tamanho do mesmo.

De onde depreende-se que a ação da Forma Construída é previsível, pois ocorrerá quando a Densidade ou Centralidade atingirem seu Ponto Crítico; mas a reação do Tecido Urbano é imprevisível, pois não se sabe qual será o tamanho do próximo parcelamento e nem quanto tempo levará para ocorrer.

E, ainda, que esta imprevisibilidade denota um comportamento Crítico Auto-Organizado (C.A.O.) na dinâmica do Crescimento Urbano.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O capítulo apresenta as considerações finais sobre: o tema, sua aplicação metodológica e contribuições; o atingimento dos objetivos da pesquisa, a comprovação da hipótese; e sobre as investigações a serem desenvolvidas adiante.

6.1 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA, RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES

O estudo da dinâmica do crescimento urbano e dos processos de densificação e expansão, a partir dos resultados da aplicação da metodologia proposta no sistema urbano de Santa Maria - RS possibilitou contribuições em diversos campos do conhecimento.

No **campo teórico** permitiu associar mais um fenômeno de dinâmica urbana, o **Crescimento Urbano** e dos processos de **Densificação e Expansão**, aos comportamentos verificáveis nos **Sistemas Complexos** e explicados por meio da Teoria da **Criticalidade Auto-Organizada**.

A aplicação da metodologia proposta nesta pesquisa demonstra que, ao menos na cidade de Santa Maria, a relação entre área construída e urbanizada, embora a primeira acresça pequenas porções (edifícios) quase que diariamente ao estoque de Forma Construída e a segunda demore até meses para acrescentar áreas muito grandes (parcelamentos) ao estoque de Tecido Urbano, apresenta um limiar de elasticidade, identificado por meio de 40 Pontos Críticos, respectivos a cada um dos Parcelamentos ocorridos entre 2002 e 2016, estabelecidos pelas medidas de Densidade e Centralidade da Forma Construída, os quais apresentam determinada regularidade que permite a previsão dos valores com que a Densidade e a Centralidade atingirão próximo Ponto Crítico.

Os resultados demonstraram, ainda, que esta regularidade dos acréscimos de Forma Construída não se estende aos acréscimos de Tecido Urbano, visto que os efeitos espaciais (tamanhos) e temporais (intervalo de tempo) dos 279 Parcelamentos ocorridos entre 1916 e 2016, atingiram todas as escalas, variando de 0,03 a 150 ha e de alguns dias até 136 meses, tendo sua distribuição descrita, respectivamente, pelas Leis de Potência -1,059 e -0,969.

Podendo-se concluir, com isso, que os comportamentos verificados nos processos de densificação de Forma Construída e de Expansão do Tecido Urbano, constituintes da Dinâmica do Crescimento Urbano são condizentes com os comportamentos que, segundo Bak (1996) e Batty (2005), caracterizam os Sistemas Complexos Crítico Auto-Organizados.

Por outro lado, a análise da Dinâmica do Crescimento Urbano em Santa Maria, por meio da perspectiva morfológica (analogia formal) do **Metabolismo Urbano**, onde os fluxos são taxas metabólicas – acréscimos de áreas construída e urbanizada, demonstrou ser eficaz no entendimento dos processos de Densificação da Forma Construída e Expansão do Tecido Urbano.

E, por sua vez, as proposições da **Alometria Urbana**, como uma propriedade específica e objetiva dos sistemas urbanos, possibilitaram a produção de evidências quantitativas e confiáveis a respeito do reconhecimento dos limiares entre a densificação da forma construída e a expansão do tecido urbano, como a superlinearidade da variação do crescimento da Forma Construída sobre do Tecido Urbano. O indicador alométrico de 22% encontrado para relação entre áreas construída e urbanizada em Santa Maria, entre os anos de 1997 e 2016, é um pouco maior que os 15% verificados por Bettencourt (2007) em métricas que consideram a população em relação a outras propriedades urbanas, como, por exemplo, salários e infraestrutura. Esta diferença ocorre, provavelmente, em virtude da existência de edifícios não residenciais, vazios e com diferentes densidades de ocupação (relação entre o número de habitantes e a área construída).

Faz-se importante considerar, ainda, que a utilização do **Modelo Configuracional de Centralidade** (Krafta, 1994) possibilitou uma descrição da diferenciação espacial baseada na centralidade de intermediação, a qual foi adicionada a área construída como dimensão gravitacional, resultando em uma medida, Centralidade da Forma Construída, capaz de descrever melhor a relação entre a evolução da Forma Construída e do Tecido Urbano, quando comparada a medida mais simples de Densidade da Forma Construída. Assim, a medida de centralidade, ao considerar a topologia dos Espaços Públicos, demonstrou uma sensibilidade maior na descrição da Expansão do Tecido Urbano, indicando a importância da análise topológica do **Espaço Público** no estudo da **Dinâmica do Crescimento Urbano**.

No **campo metodológico**, por sua vez, o desenvolvimento de uma metodologia de análise da Dinâmica do Crescimento Urbano, que privilegiasse a **evolução espacial e temporal** do sistema, viabilizou-se com o processamento, análise e disponibilização informatizada de dados georreferenciados (geoprocessamento) por meio da utilização de ferramentas computacionais de **Sistemas de Informação Geográfica – SIG**.

Os diversos tipos de processamento de dados (ferramentas destacadas na sequência do texto, em *itálico*) permitiram associar dados não gráficos (quantidades de área construída e urbanizada) aos dados gráficos georreferenciados ‘subespaços do Espaço Público’ (trechos de via), constituindo as medidas de Densidade e Centralidade da Forma Construída em cada um dos anos do recorte histórico. Os 279 parcelamentos foram agregados a partir da *mescla e dissolução* das feições condomínios fechados com as feições loteamentos e desmembramentos e, posteriormente, desagregas nos 100 anos do recorte temporal, enquanto os 68.542 lotes foram *indexados* aos trechos de via adjacentes e as suas informações cadastrais anuais, magnitude de área construída e de lote, foram *associadas* ao *shape* dos lotes pelo código de localização constante nos dois banco de dados, permitindo a constituição de 20 *shapes* com a reconstituição do Tecido Urbano em cada ano da série histórica.

Os procedimentos citados foram realizados em aplicativos de SIG: o “Arcgis 10.3.1”, de caráter comercial e uso difundido globalmente, e o “Campeiro” e o “C7CDS Gestão Urbana”, desenvolvidos na própria UFSM, de uso livre e código aberto. Os resultados demonstraram o potencial das geotecnologias no desenvolvimento de trabalhos voltados a análise de fenômenos urbanos dinâmicos, como é o caso do Crescimento Urbano, e a importância de softwares de uso livre e código aberto, os quais proporcionaram a programação de rotinas específicas de gerenciamento e análise de dados espaciais, além de todas as conferências necessárias para verificar a acurácia dos procedimentos de vinculação de dados provenientes de bases diferentes.

6.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo principal deste trabalho, que era investigar os comportamentos associados a dinâmicas do Crescimento Urbano e aos processos de

Densificação e Expansão foi alcançado, visto que verificou-se que o fenômeno do **Crescimento Urbano e seus processos possuem comportamentos característicos de Sistemas Complexos Críticos Auto-Organizados**.

Por sua vez, os objetivos específicos também foram alcançados. As relações críticas entre os processos de Densificação e Expansão do espaço urbano, foram descritas por meio da **identificação de Pontos Críticos** na relação entre Forma Construída e Tecido Urbano e **Leis de Potência** na distribuição dos Parcelamentos. As **relações métricas** entre as matrizes Forma Construída e Tecido Urbano foram **identificadas e mensuradas**. E, por último, verificou-se que a medida de **Centralidade** da Forma Construída **descreve a evolução do Tecido Urbano** melhor que a medida de Densidade da Forma Construída.

6.3 EVIDÊNCIAS QUE SUPORTAM A HIPÓTESE

Os resultados da aplicação da metodologia proposta no sistema urbano Santa Maria produziram evidências na direção de **confirmar a hipótese** estabelecida.

Verificou-se a existência de um **padrão Alométrico** entre os acréscimos das matrizes forma construída e tecido urbano. Este padrão permite afirmar que a evolução da forma construída agregada é 22% maior que a evolução da área urbanizada.

Ficou explicado, ainda, por meio da **Criticalidade Auto-Organizada**, que os padrões de reação do Tecido Urbano não possuem escalas definidas. Isto porque a previsibilidade dos pontos críticos medidos pela densidade e centralidade e, conseqüentemente, presentes na forma construída não se estende aos parcelamentos. Podemos prever os valores com que a densidade e a centralidade atingirão o próximo ponto crítico, mas não podemos prever quando acontecerá e nem o tamanho do parcelamento resultante.

E, comprovou-se, ainda, que este **padrão é melhor descrito pela medida de Centralidade da Forma Construída** do que pela medida de Densidade da Forma Construída. Embora as duas medidas tenham se mostrado capazes de descrever o padrão alométrico entre as matrizes, a centralidade, ao agregar a topologia do tecido urbano, considera a importância do espaço público

na definição deste padrão, e conseqüentemente, na dinâmica do crescimento urbano.

6.4 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

A pesquisa revelou a fundamental importância das informações dos diversos cadastros e base de dados construídos e mantidos pela municipalidade, como por exemplo o cadastro imobiliário e a base cartográfica, para o conhecimento da cidade e dos seus processos, com vistas a qualificação do planejamento e da gestão do espaço urbano.

Neste sentido, em relação ao cadastro imobiliário, recomenda-se que a Prefeitura Municipal adote ações que permitam **recuperar** com mais facilidade e especificidade espacial e temporal dos **registros passados** e a **rastreabilidade das matrículas dos imóveis** quando da ocorrência de parcelamentos e/ou remembramentos do solo urbano, por meio da criação de um vínculo entre os números de inscrição cadastral anteriores e posteriores as alterações, possibilitando que se faça, com sucesso, a busca de dados, por exemplo, de áreas construídas anteriores aos parcelamentos. Se estas ações não conseguirem alcançar os dados passados, pelo menos que supram as deficiências para o futuro.

Já, em relação a base de dados geográficos, sugere-se ao Instituto de Planejamento Municipal, que: proceda a vinculação entre as feições dos diversos *shapes*, crie **instrumentos** que propiciem que a **atualização dos dados** por meio de procedimentos cotidianos de gestão da cidade e, especialmente, adote **protocolos de disponibilização** universal e qualificada **dos dados** que são públicos.

E, por último, recomenda-se que o Poder Público Municipal, por meio das Secretarias de Governo (administração direta) e do Instituto de Planejamento Municipal (autarquia) adote procedimentos de **uniformização de critérios e de formas de registro dos dados**, permitindo maior facilidade de cruzamento entre diferentes bases de dados.

6.5 FUTURAS INVESTIGAÇÕES

A continuidade dos estudos iniciados neste trabalho se mostra promissora, seja na concepção das cidades como fenômenos Complexos, regidos pela Criticalidade Auto-Organizada e compreendidos pelas relações de Alometria que envolvem, seja com o uso de sistemas de Georreferenciamento como facilitadores das análises promovidas pelos Estudos Configuracionais Urbanos. Referem-se a campos de conhecimento ainda em desenvolvimento, portanto, com muitas lacunas a serem preenchidas. Neste sentido, relacionamos abaixo algumas possibilidades de estudos.

A **aplicação da metodologia** desenvolvida nesta pesquisa em **outras cidades**, desde que apresentem bases de dados acessíveis e confiáveis.

Aprofundamento do estudo das relações de Alometria entre as matrizes Forma Construída e Tecido Urbano, a partir da consideração de como as classes de Densidade e/ou Centralidade evoluem durante o processo de crescimento urbano. Isto permitiria desenvolver análises de **localização espacial** das medidas desenvolvidas neste estudo, **Densidade e Centralidade Parciais** (DENSP e CENTP) e seus **Pontos Críticos**;

Utilização das mesmas medidas de Densidade e Centralidade Parciais, que podem ser estudados a partir da **distribuição** de dados e da determinação de **leis de potência** como indicadores da presença de Criticalidade Auto-Organizada;

Desenvolvimento de **análises estatísticas** nas medidas de **Densidade e Centralidade Máximas** (DENSM e CENTM), ora desenvolvidas, com intuito de verificar se as mesmas corroboram com as conclusões alcançadas para a Densidade e Centralidade Totais (DENST e CENTT), no sentido da existência de indícios de Criticalidade Auto-Organizada.

Desenvolvimento e testagem de novos indicadores, e/ou mudança da ênfase, para o reconhecimento, por exemplo, da **universalidade** dos sistemas urbanos em diferentes tempos, a partir do desenvolvimento de indicadores de **similaridade** ou da associação do espaço urbano aos estudos de **geometria fractal**.

E **desenvolvimento** e aplicação de um **modelo configuracional** capaz de descrever e simular com eficiência o comportamento do crescimento urbano.

REFERÊNCIAS

ALLEN, P. M. **Cities and Regions as Self-Organizing Systems: Models of Complexity**. Taylor and Francis, London. 1998.

ALLEN, A. Interview conducted on 15/11/2011, London. In.: **Urban Metabolism at UCL – A working paper**. Broto, V.C.; Allen, A. e Eriksson A. UCL Environment Institute Development and Planning Unit UCL. London. 2011.

BAK, P.; PACZUSKI, M. Complexity, contingency, and criticality: macroevolution, macroeconomics, punctuated equilibrium. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, DC, v. 92, p. 6689-6696, 1995.

BAK, P.; TANG, C.; WIESENFELD, K. Self-organized criticality. **Physical Review A**, Department of Physics, Broonhaven National Laboratory, Upton, New York, v. 38, n.1, p. 364 – 374, 1988.

BATTY, M. The size, scale, and shape of cities. **Science**, Washington, v. 319, p. 769, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/319/5864/769>>. Acesso em: 28 de fev. de 2013.

_____. **Cities and Complexity: understanding cities with cellular automata, agente-based models, and fractals**. ISBN 0-262-02583-3. Cambridge, MA: The MIT Press. 2005. 565 páginas.

_____. Interview conducted on 28/07/2011. In **Urban Metabolism at UCL – A working paper**. Broto, V.C.; Allen, A. e Eriksson A. UCL Environment Institute Development and Planning Unit UCL. London. 2011.

BATTY, M.; CARVALHO, R.; HUDSON-SMITH, A.; MILTON, R.; SMITH, D.; STEADMAN, P. **Scaling and Allometry in the Building Geometries of Greater London**. Working papers series, Paper 126, Centre for Advanced Spatial Analysis, and Bartlett Graduate School, University College London, 1-19 Torrington Place, London WC1E 6BT. ISSN 1467-1298. December 2007.

BATTY, M.; TORRENS P. M. **Modeling complexity: the limits to prediction**. 2001. Disponível em: <<http://www.casa.ucl.ac.uk/paper36.pdf>>. Acesso em: 06 de out. De 2015.

BATTY, M.; XIE, Y. Self-organized criticality and urban development. In.: **Discrete Dynamics in Nature and Society**, [S.l.], v. 3, p. 109-124, 1999.

BETTENCOURT, L. M. A. **The Origins of Scaling in Cities**. *Science*, v.340, JUNE 2013, p.1438 a 1441.

BETTENCOURT, L.; WEST G. **A unified theory of urban living**. *Nature*, v.467, October 2010, p. 912 – 913.

BEVILACQUA, D. **Crescimento urbano: relações críticas entre sistemas de serviços urbanos e consumidores e seus reflexos no crescimento da cidade**. Tese apresentada ao Programa de Planejamento Urbano e Regional/UFRGS. Porto Alegre. 305 f. 2015.

BROTO, V.C.; ALLEN, A. e ERIKSSON A. In.: **Urban Metabolism at UCL – A working paper**. UCL Environment Institute Development and Planning Unit UCL. London. 2011.

CARNEIRO, M.V.; CHARRET, I. C. A Criticalidade Auto-Organizada na Pilha de Areia. 2005. In.: **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 4, p. 571 – 576, 2005.

COHEN, T. Interviewed on 13/07/2011, London. In.: **Urban Metabolism at UCL – A working paper**. Broto, V.C.; Allen, A. e Eriksson A. UCL Environment Institute Development and Planning Unit UCL. London. 2011.

CRUCITTI, P.; LATORA, V.; PORTA, S. Centrality measure in urban network. *Physical Review E*, v.73, 036125. 2006.

DURLAUF, S. N. **Complexity and Empirical Economics**, *The Economic Journal*, 115, F225-243. 2005.

ECHENIQUE, M. **La estructura del espacio urbano**. Barcelona: GG., p. 235-248, 1975a,

_____. El concepto de sistemas, modelos y teorías en los estudios urbanos. In.: ECHENIQUE, M. et al **Modelos Matemáticos de la Estructura Espacial Urbana: Aplicaciones en América Latina**. Ediciones SIAP, Buenos Aires, pp. 13-45, 1975b.

FARIA, A.P.N. **Análise configuracional da forma urbana e sua estrutura cognitiva**. 2010. Tese de Doutorado. PROPUR/UFRGS. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2010.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM-RS), **Mapas**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp>. Acesso em: 23 jun. 2018

GOOGLE EARTH PRO (2018). **Imagens do tecido urbano e cenas do street view**. Acesso em: 23 jun. 2018.

HOLLAND, J. H. **Hidden order: how adaptation builds complexity**. Reading: Addison-Wesley Publishing, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DE SANTA MARIA, RS (IPLAN). Sistema de Informações e de Avaliação de Desempenho Municipal – SIAD. **Base cartográfica Digital**. 2013 a 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Image catalogue**. 2010. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 06 de out. de 2015.

JOHNSON, S. **Emergência. A dinâmica de rede em formigas, cérebros, cidades e softwares**. Zahar, Rio de Janeiro. 2003.

KRAFTA, R. **Modelling intraurban configurational development**. Environment and Planning B: Planning and Design, v.21, p.67-82. 1994.

_____. **Notas de aula de Morfologia Urbana**. ISBN 978-85-386-0227-9. Editora da UFRGS. Porto Alegre. 2014. 352 páginas.

KRAFTA, R. e NETTO, V. **A Forma Urbana Como Problema De Desempenho - o impacto de propriedades espaciais sobre o comportamento urbano**. In Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, Vol.11, Nº2, novembro de 2009.

_____. **Urban Form as a Problem of Performance: from indicators of urban features to systemic indicators of actual performance**. Porto Alegre: 2011.

KRAFTA, R.; NETTO, V.; LIMA, L. Urban built form grows critical. In.: **Cybergeo, European Journal of Geography**, Paris, document 565, 20 nov. 2011. Disponível em: <<http://cybergeo.revues.org/24787>>. Acesso em: 06 de out. de 2015.

KRÜGER, M. J. **Definição de Morfologia Urbana**. 1996. Departamento de arquitetura, Universidade de Coimbra (texto apresentado no curso “Morfologia Urbana” – PROPUR/UFRGS).

LABORATÓRIO DE GEOMÁTICA DO CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS/UFSM. **Dados georreferenciados de Santa Maria**. 2017.

LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO DO CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS /UFSM. **Dados georreferenciados de Santa Maria**. 2017.

MCLOUGHLIN, J. B. **Planificación urbana e regional: un enfoque de sistemas**. Madrid: IEAL, 1971.

MELLO FILHO, J. A. de. **Qualidade devida na região da Tijuca, RJ, por geoprocessamento**. 2003. Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003. CDU 288 p.

MELLO, L. F. S. – **Projeto de Pesquisa sobre a Evolução Urbana de Santa Maria**. Universidade Federal de Santa Maria/Curso de Arquitetura e Urbanismo. Em desenvolvimento.

MOREIRA JUNIOR, F. J. **Estatística Geral usando o Excel**. Apostila. Santa Maria: UFSM. 2016.

MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M. **Análise de Séries Temporais**. São Paulo, Blucher, 2006.

PONT, M.B. e HAUPT, P. **Space, density and urban form**. ISBN 978-90-5269-375-0. Netherlands. 2009. 303 p.

PORTAL ACTION. **Análise de regressão**. Disponível em: <<https://www.portalaction.com.br/analise-de-regressao/11-modelo-estatistico>> Acesso em: 21 de jun. de 2018

_____. **Teste de Dickey-Fuller Aumentado**. Disponível em: <<https://www.portalaction.com.br/series-temporais/141-teste-de-dickey-fuller-aumentado>> Acesso em: 21 de jun. de 2018

_____. **Teste de Ljung-Box**. Disponível em: <<https://www.portalaction.com.br/series-temporais/472-teste-de-ljung-box>> Acesso em: 21 de jun. de 2018

_____. **Modelos para previsão de séries temporais**. Disponível em: <https://impa.br/wp-content/uploads/2017/04/13_CBM_81_02.pdf> Acesso em: 21 de jun. de 2018

PORTUGALI, J. **Complexity cognition and the city**. Berlin: Springer, 2011.

_____. **What makes cities complex?**. 2013. Disponível em: <<http://www.spatialcomplexity.info/files/2013/10/Portugali.pdf>>. Acesso em: 03 de fev. de 2014.

PUMAIN, D. The socio-spatial dynamics of systems of cities and innovation processes: a multi-level model. In: ALBEVERIO, S. et al. (Eds.). **The dynamics of complex urban systems: an interdisciplinary approach**. Mendrisio: Springer, 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA (PMSM) / Secretaria de Finanças. **Cadastro Imobiliário**. 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA (PMSM) / Secretaria de Regulação Urbana / Superintendência de Análises e Aprovação de Projetos. **Arquivo de projetos**. 2017.

PRIGOGINE, I. **Order out of chaos**: man's new dialogue with nature. New York: Bantam New Age Books, 1984.

ROCHA, J.; MORGADO, P. A complexidade em geografia. In: ESTEVES, A. (Org.). **Geophilia**: o sentir e os sentidos da geografia. Homenagem a Jorge Gaspar. Lisboa: CEG, 2007. p 137-153. Disponível em: <<http://lisboa.academia.edu/JorgeRocha/Books>>. Acesso em: 1 de maio de 2013.

SALAMONI, G. F. **O crescimento urbano por extensão e suas repercussões morfológicas em estruturas urbanas: estudo de caso: Santa Maria - RS**. 2008. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Propur, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2008. 365 p.

SALAT, S. E BOURDIC, L. **Systemic resilience of complex urban systems - on trees and leaves**. In Journal of Land Use, Mobility and Environment TeMA 2 (2012) 55-68 print ISSN 1970-9889, e- ISSN 1970-9870 DOI: 10.6092/1970-9870/918. 23 de jul. de 2012.

SALAT, S.; BOURDIC, L.; LABBE, F. Breaking symmetries and emerging scaling urban structures. A Morphological Tale of 3 Cities: Paris, New York and Barcelona. In.: **International Journal of Architectural Research**, v. 8 - Issue 2 - Regular Section. Paris, France. 2014. p 77-93.

SERRA, Geraldo. **O espaço natural e a forma urbana**. São Paulo: Ed. Livraria Nobel, 1987, 211 p.

TYLER, N. Interview conducted on 11/07/2011. **In Urban Metabolism at UCL – A working paper**. Broto, V.C.; Allen, A. e Eriksson A. UCL Environment Institute Development and Planning Unit UCL. London. 2011.

RODAS DURÁN, J. E. **Biofísica: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Prentice Hall, 2003, 318p.

WEST, G. **Palestra sobre as regras de escala**. 2010. Disponível em: <<http://rs.resalliance.org/2010/11/26/geoffrey-west-on-biological-and-urban-allometry>>. Acesso em: 16 de set. de 2015.

APÊNDICE A – CONSTITUIÇÃO DO BANCO DE DADOS DO SISTEMA URBANO SANTA MARIA-RS E OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS

Este capítulo consiste na apresentação das etapas metodológicas que permitem transformar dados brutos em informações adequadas a mensuração das medidas urbanas necessárias à compreensão do tema de estudo e à verificação da hipótese de trabalho.

Apresenta os dados brutos disponíveis e como são operados até transformarem-se em informações úteis para a constituição do banco de dados espaciais das matrizes urbanas e a transformação destas informações nas variáveis que permitem a mensuração das medidas urbanas.

BANCO DE DADOS ESPACIAIS DO SISTEMA URBANO SANTA MARIA-RS

Apresenta-se, na sequência, os dados gráficos e não gráficos utilizados na constituição do Banco de Dados.

Dados da cartografia digital com componentes gráficos e não gráficos

Os dados que constituem a cartografia digital, com componentes gráficos e não gráficos, foram fornecidos pelo Instituto de Planejamento de Santa Maria, RS – IPLAM, e constituem o Sistema de Informações e de Avaliação de Desempenho Municipal – SIAD.

Os dados da cartografia digital estão organizados em shapes temáticos. Estes possuem dados gráficos georreferenciados no Sistema de Coordenadas Projetadas SIRGAS_2000_UTM_zone_22S, em Projeção Transversa de Mercator (Transverse_Mercator), com as seguintes especificações: false_easting: 500000,00000000, false_northing: 10000000,00000000, central_meridian: -51,00000000, scale_factor: 0,99960000, latitude_of_origin: 0,00000000 e unidade linear em metros.

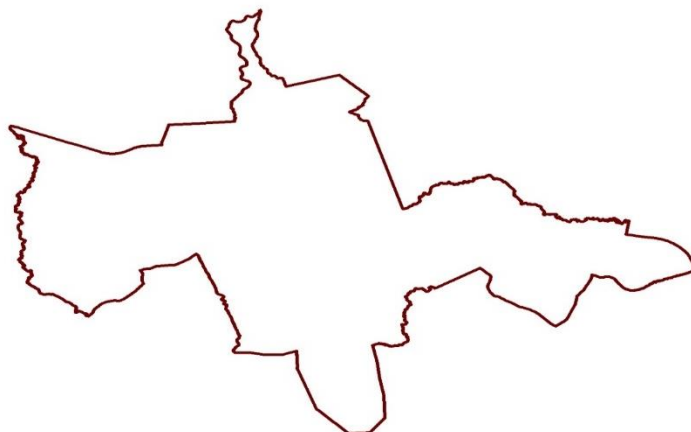
Os shapes temáticos constituem uma base cadastral elaborada sobre a base cartográfica proveniente do levantamento aerofotogramétrico de 2013.

Os shapes utilizados neste trabalho são mostrados na sequência.

Shape Perímetro Urbano Sede

O Shape “PerímetroUrbanoSede”, mostrado na figura 35, contém o perímetro urbano da sede do município.

Figura 35 – Shape Perímetro Urbano Sede



Fonte: IPLAN (2013).

Shape Logradouro

O Shape “Logradouro”, mostrado na figura 36, contém os eixos das vias públicas discretizado por trechos de via, ou seções de logradouro.

Figura 36 – Shape Logradouro



Fonte: IPLAN (2013).

O shape possui, associado a ele, uma planilha, com dados não gráficos que discriminam o nome e o código do logradouro para cada trecho viário (entidade espacial). Parte da planilha é mostrada na tabela 12.

Tabela 12 – Dados não gráficos do Shape Logradouro.

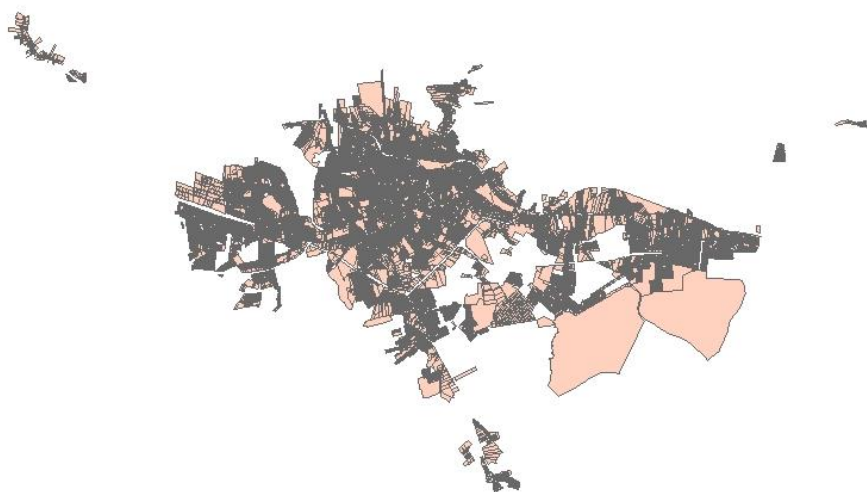
INSC	LOGRADOURO
10323.00074	10323 - RUA SEM DENOMINAÇÃO
10321.00590	10321 - AV. A - COND. BAUHAUS
10307.00100	10307 - RUA 22 - LOT. RES. DOM IVO LORSCHETER

Fonte: IPLAN (2013).

Shape Lote

O shape Lote, mostrado na figura 37, contém os polígonos dos lotes e glebas das áreas urbanas do município de Santa Maria. Apresenta as feições de lotes restituídas a partir das fotografias aéreas realizadas no ano de 2013, sendo que parte das glebas integram o Cadastro Imobiliário do Município.

Figura 37 – Shape Lote.



Fonte: IPLAN (2013).

O shape possui, associado a ele, uma planilha com dados não gráficos (Tabela 13) associados a cada lote (entidade espacial), com a discriminação da localização do imóvel denominada INSCANTERI, que consiste nas informações

“setor”, “quadra”, “lote” e “sublote” de cada lote, conforme a planta cadastral do município. Os lotes que não apresentam este dado (célula vazia) não estão inscritos no Cadastro Imobiliário. Ou porque ainda são glebas rurais, ou porque o parcelamento não foi objeto de análise e aprovação pela prefeitura.

Tabela 13 – Dados não gráficos do Shape Lote.

URL	INSCANTERI
0	
0	SO.0051.0021.0532
0	SO.0051.0021.0521
0	SO.0051.0021.0512

Fonte: IPLAN (2013).

Shape Loteamento

O shape Loteamento, mostrado na figura 38, contém os polígonos dos loteamentos aprovados pela prefeitura municipal na área urbana do distrito sede do município de Santa Maria. Os perímetros dos loteamentos foram digitalizados a partir dos mapas de aprovação dos mesmos, encontrados junto ao arquivo do Cadastro Imobiliário do Município e os mais recentes tiveram suas plantas, em meio digital, inserida no shape.

Figura 38 – Shape Loteamento



Fonte: IPLAN (2013).

O shape possui, associado a ele, uma planilha com dados não gráficos (Tabela 14) associados a cada loteamento (entidade espacial), como o nome, o bairro, as datas constantes do processo de aprovação de cada loteamento, bem como a localização do mesmo no arquivo do Cadastro Imobiliário.

O loteamento mais antigo é do ano de 1916 e o mais recente de 2014, e muitos loteamentos não possui nenhuma data informada.

Tabela 14 – Dados não gráficos do Shape Loteamento.

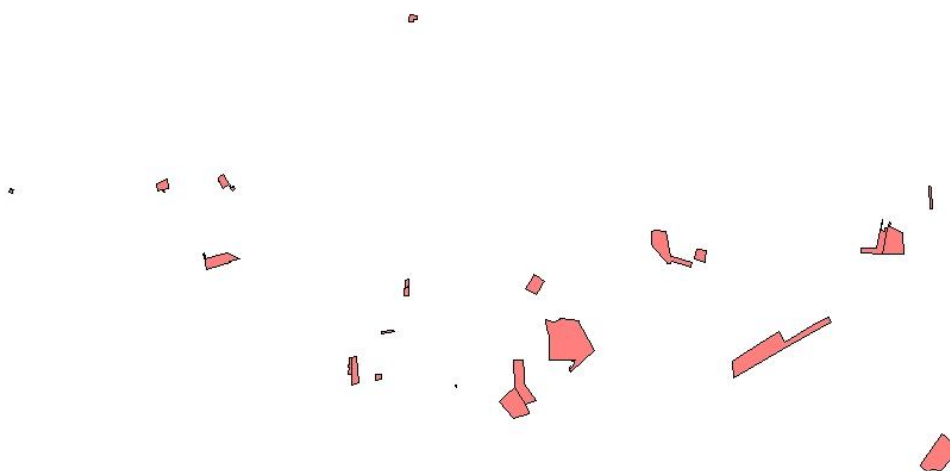
TIPO_PARC	TIPO_RESI	NOME	BAIRRO	UNI_RES	DISTR	REFER	APROV	LICEN	VISTO	SELO	ARQUIVO	NUMPASTA	NUMER
		Parque Residencial Santa Lucia II	Camobi		Sede		07/02/1990	29/08/1991			28/05/1992	181B	3
Loteamento		Vila Tonetto	Camobi	Tonetto	Sede	Rua Santo Hilário					28/12/1977		0
Loteamento		Vila Pércio Reis II	Itararé	Vila Pércio Reis	Sede		01/09/1985					195	7
		Parque Residencial Amaral	Camobi		Sede		10/09/1990	02/09/1991				185	12

Fonte: IPLAN (2013).

Shape Condomínio

O shape Condomínio, mostrado na figura 39, contém os polígonos dos condomínios fechados aprovados pela prefeitura municipal na área urbana do distrito sede do município de Santa Maria. Os perímetros dos condomínios fechados foram digitalizados a partir dos mapas de aprovação dos mesmos, encontrados junto ao arquivo do Cadastro Imobiliário do Município e os mais recentes tiveram suas plantas, em meio digital, inserida no shape.

Figura 39 – Shape Condomínio.



Fonte: IPLAN (2013).

O shape possui, associado a ele, uma planilha (Tabela 15), semelhante à dos loteamentos, com dados não gráficos associados a cada condomínio fechado (entidade espacial), como o nome, o bairro, as datas constantes do processo de aprovação de cada loteamento, bem como a localização do mesmo no arquivo do Cadastro Imobiliário.

O loteamento mais antigo é do ano de 1978 e o mais recente de 2012, e muitos loteamentos não possuem datas informadas.

Tabela 15 – Dados não gráficos do Shape Condomínio.

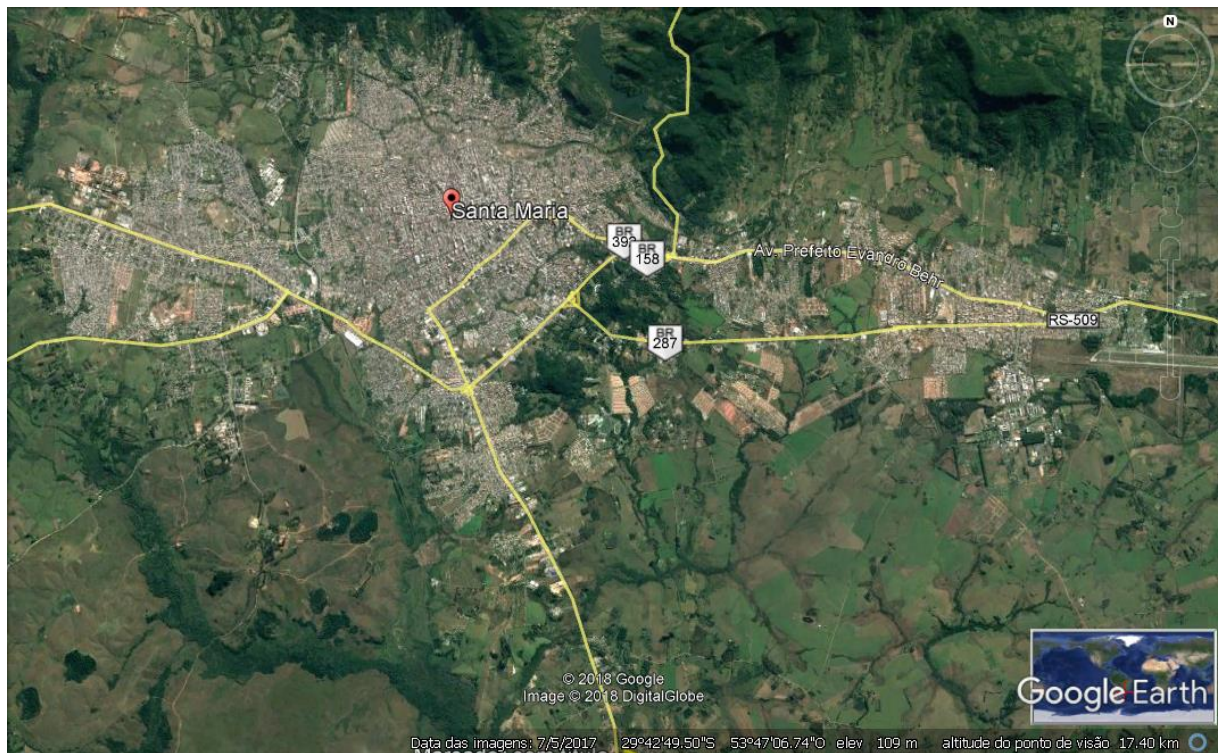
TIPPARC	NOME	BAIRRO	REFER	APROV	LIC	NUMPAS TA
Condomínio Fechado	Parque das Oliveiras	Tomazetti	Rua Cesar Trevisan	01-11-2011		S/No
Condomínio Fechado	Greenwood Village	Cerrito	Rua Pedro Santini esq. Jose Baracchini	30-06-2003	30-06-2003	S/No
Condomínio Fechado	Condomínio Fechado Horizontal Morada do Lago	Tomazetti	Rua Cesar Trevisan	21-05-1992		201

Fonte: IPLAN (2013).

Imagem de satélite

Foi utilizada a imagem disponibilizada pelo Google Earth Pro, apresentada na figura 40.

Figura 40 – Imagem de Satélite.



Fonte: Imagem de satélite do Google Earth Pro, 7 de maio de 2017.

Dados da ocupação urbana com componentes apenas não gráficos

A Prefeitura Municipal de Santa Maria (PMSM), por meio da Secretaria de Finanças, cedeu os dados não-gráficos relativos a forma de ocupação da área urbana, em especial, a área territorial dos lotes e a quantidade de área construída sobre os mesmos.

Cadastro Imobiliário

Os dados, área territorial e área construída dos lotes, são parte do Cadastro Imobiliário da Prefeitura Municipal de Sana Maria. Este cadastro foi informatizado no ano de 1984, permitindo o resgate anual dos dados a partir desta. A tarefa de organização destes dados para posterior disponibilização ficou a cargo do CPD.

Os dados estão armazenados em 33 planilhas digitais, uma para cada ano da série de dados, de 1984 a 2017, conforme ilustra a tabela 16 com os dados do ano de 2011.

Tabela 16 – Dados não gráficos do Cadastro Imobiliário.

Orientação	Setor	Quadra	Lote	Rua	Imposto	Área Lote	Área Construída	NOME_RUA	ANO
NE	0011	0001	0020	2102	1	180,0900	146,7600	RUA VISCONDE DE FERREIRA PINTO	2011
NE	0011	0001	0033	2102	1	362,6100	222,8300	RUA VISCONDE DE FERREIRA PINTO	2011
NE	0011	0001	0043	2102	2	398,8577	0,0000	RUA VISCONDE DE FERREIRA PINTO	2011

Fonte: PMSM (2013).

Algoritmo de modelagem do banco de dados espaciais

O relacionamento dos dados, gráficos e não gráficos, que integram os shapes acima apresentados possibilita a constituição do banco de dados espaciais. O algoritmo desta modelagem está apresentado na figura 9 do capítulo 5.

Os shapes Loteamento e Condomínio juntamente com os shapes Lote e Perímetro Urbano Sede e a imagem de satélite vão compor as informações relativas as variáveis da **Matriz Tecido Urbano**.

Os dois primeiros necessitam ser atualizados a partir do ano de 2013, bem como, pesquisadas as datas de muitos loteamentos e condomínios.

O shape Logradouro, juntamente com o shape Perímetro Urbano Sede vai compor as informações das variáveis da **Matriz Espaço Público**.

O shape Lote, juntamente com a imagem de satélite e os dados de localização dos lotes constantes do Cadastro Imobiliário, vai compor as informações das variáveis da **Matriz Espaço Privado**.

Por sua vez, os arquivos com dados não gráficos do Cadastro Imobiliário – especialmente a área territorial e a área edificada dos lotes, vão compor as informações das variáveis da **Matriz Forma Construída**.

Os lotes, embora estejam identificados pelo nome da rua, não possuem vínculos com o trecho de logradouro que é a entidade espacial pela qual o sistema viário é discretizado. Da forma em que se apresenta é possível a incorporação e vinculação do atributo “área construída”, constante do Cadastro Imobiliário, à entidade espacial “lote”, mas não à entidade espacial “trecho de logradouro”. Faz-se, portanto, necessário a construção de um vínculo que permita relacionar a unidade espacial “lote” à unidade espacial “trecho de via”.

Verifica-se que os dados constantes dos shapes e do Cadastro Imobiliário possuem dados com acurácia e pertinência suficientes para esta pesquisa, necessitando a atualização dos shapes “Loteamento” e “Condomínio” e a construção do vínculo entre os shapes “Logradouro” e “Lote”, o que será mostrado na sequência, respectivamente, nos itens ‘Informações da Matriz Tecido Urbano’ e ‘Informações das Matrizes Espaço Público, Espaço Privado e Forma Construída’.

INFORMAÇÕES DA MATRIZ TECIDO URBANO (BDTU)

A organização dos dados gráficos e textuais dos loteamentos e dos condomínios fechados geram informações sobre o parcelamento do solo para fins urbanos, visando a constituição do Banco de Dados da Matriz Tecido Urbano (BDTU), o reconhecimento da evolução da matriz Tecido Urbano e, em especial, a constituição das variáveis Tecido Urbano Total – TU_T e Variação do Tecido Urbano – ΔTU_T , em cada ano da série histórica.

Conforme explanado anteriormente, os shapes, fornecidos pelo IPLAM, que constituirão esta base de dados, contém os loteamentos e condomínios fechados que foram aprovados pela prefeitura até o ano de 2013, sendo que muitos deles com informações incompletas.

A atualização dos dados destes shapes foi executada a partir de pesquisa junto à Superintendência de Análises e Aprovação de Projetos, da Secretaria de Regulação Urbana da Prefeitura Municipal de Santa Maria, e ao Arquivo desta superintendência, bem como com a busca de dados em outras fontes, como trabalhos de pesquisas do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFSM e a dissertação de mestrado do Arquiteto e Urbanista Gian Salamoni realizada junto ao PROPUR. Na sequência os shapes foram editados com a inserção dos dados atualizados.

Após a atualização dos dados procedeu-se, em duas etapas, uma série de operações utilizando ferramentas de geoprocessamento do software ArcMap Integrante do Sistema de Informações Geográfica - SIG "Arcgis". Versão 10.2.2.

Na primeira etapa os dados dispersos em vários shapes são organizados e agregados em um shape, a partir do qual, na segunda etapa, os dados são seletivamente desagregados para constituírem os shapes que contém as informações relativas a cada ano da série de dados.

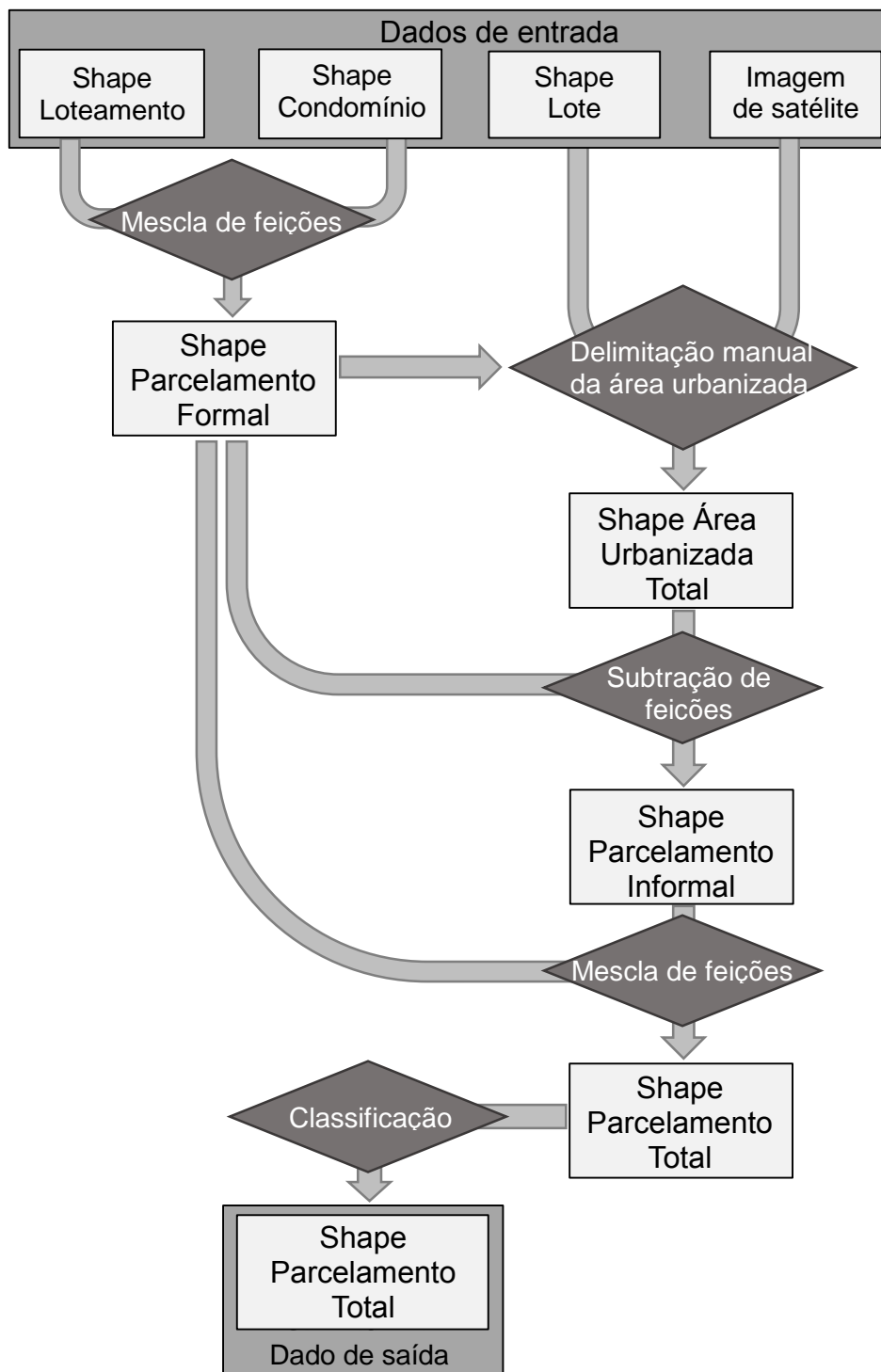
Primeira etapa: agregação de feições

Esta etapa consiste na agregação das feições (loteamentos formais, condomínios fechados formais e demais áreas urbanizadas sem informação sobre procedimentos oficiais de parcelamento do solo para fins urbanos) provenientes, respectivamente, dos shapes loteamento, condomínio e lote, em único shape

contendo todas as áreas parceladas do distrito sede do Município de Santa Maria, temporalmente identificadas com os períodos da série de dados desta pesquisa.

A figura 41 mostra o algoritmo de agregação das feições da Matriz Tecido Urbano, o qual é desenvolvido na sequência.

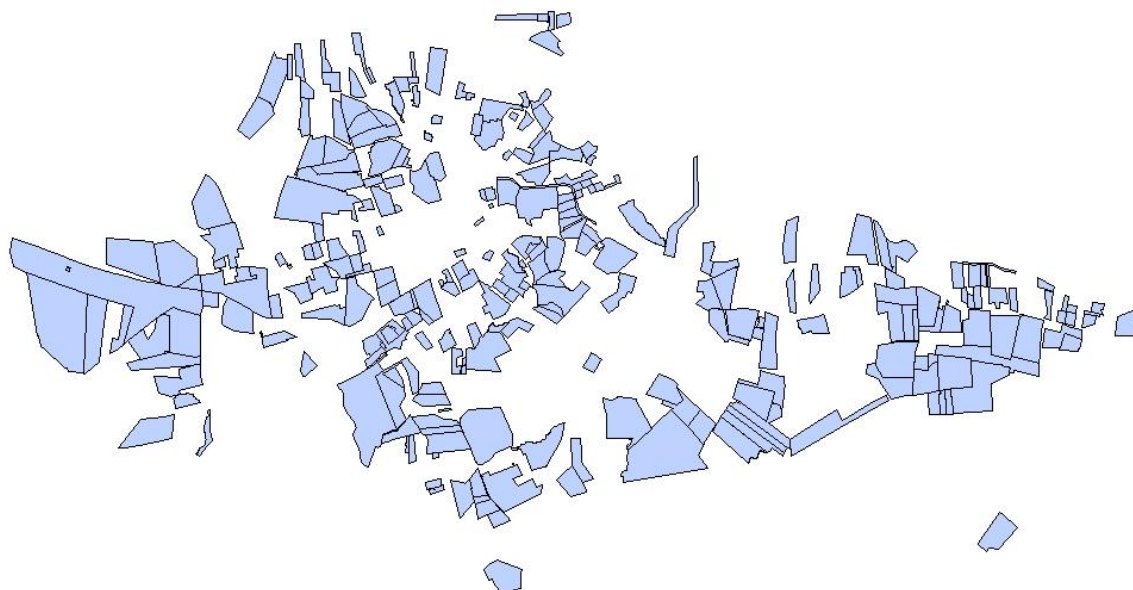
Figura 41 – Primeira etapa: agregação de feições.



Shape Parcelamento Formal

Os shapes Loteamento e Condomínio foram unidos com a utilização da ferramenta “Merge” em um novo shape denominado Parcelamento Formal, figura 42, que contém todos os parcelamentos (loteamentos e condomínios) aprovados pela prefeitura municipal.

Figura 42 – Shape Parcelamento Formal.

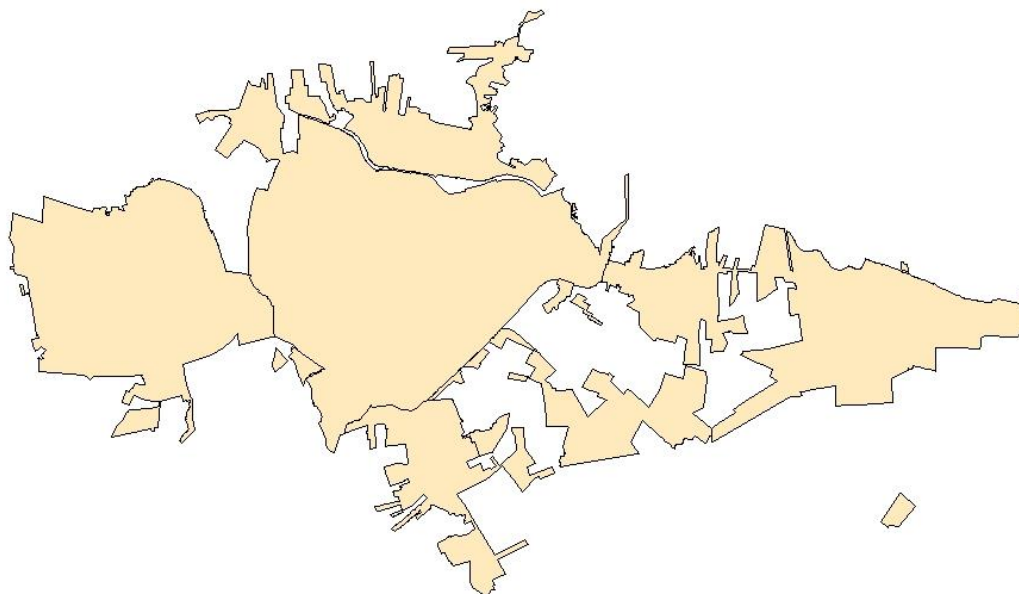


Fonte: elaboração do autor (2017).

Shape Área Urbanizada Total

Procedeu-se, manualmente, a delimitação da área urbanizada por meio de observação visual do shape do “lote”. Ou seja, foi selecionada toda a área simultaneamente contida em lotes e parcelada, além da porção ocupada junto as vias dos lotes não parcelados. Resultando no Shape Área Urbanizada Total, figura 43.

Figura 43 – Shape Área Urbanizada Total.



Fonte: elaboração do autor (2017).

Shape Parcelamento Informal

Procedeu-se a delimitação da área urbanizada não pertencente aos parcelamentos aprovados pelo município, a qual denominamos parcelamento informal. Esta área constitui-se na área que está urbanizada (Shape “Área Urbanizada”), mas não está contida no Shape dos parcelamentos aprovados (Shape Parcelamento Formal). Para obtenção desta área utilizou-se a ferramenta “Symmetrical Difference” que criou o Shape Parcelamento Informal, figura 44.

Figura 44 – Shape Parcelamento Informal.



Fonte: elaboração do autor (2017).

Shape Parcelamento Total

Para obtenção de toda área urbanizada com a delimitação dos parcelamentos procedeu-se a mescla das áreas parceladas legalmente (Shape Parcelamento Formal) com as áreas parceladas informalmente (Shape Parcelamento Informal). Para tanto, utilizou-se a ferramenta “Merge” que resultou no Shape Parcelamento Total, figura 45.

Uma análise do atributo “ano” dos parcelamentos constantes do Shape Parcelamento Total mostra que o primeiro loteamento foi aprovado no ano de 1916 e o mais recente no ano de 2016.

Figura 45 – Shape Parcelamento Total.



Fonte: elaboração do autor (2017).

Parcelamento Total Classificado

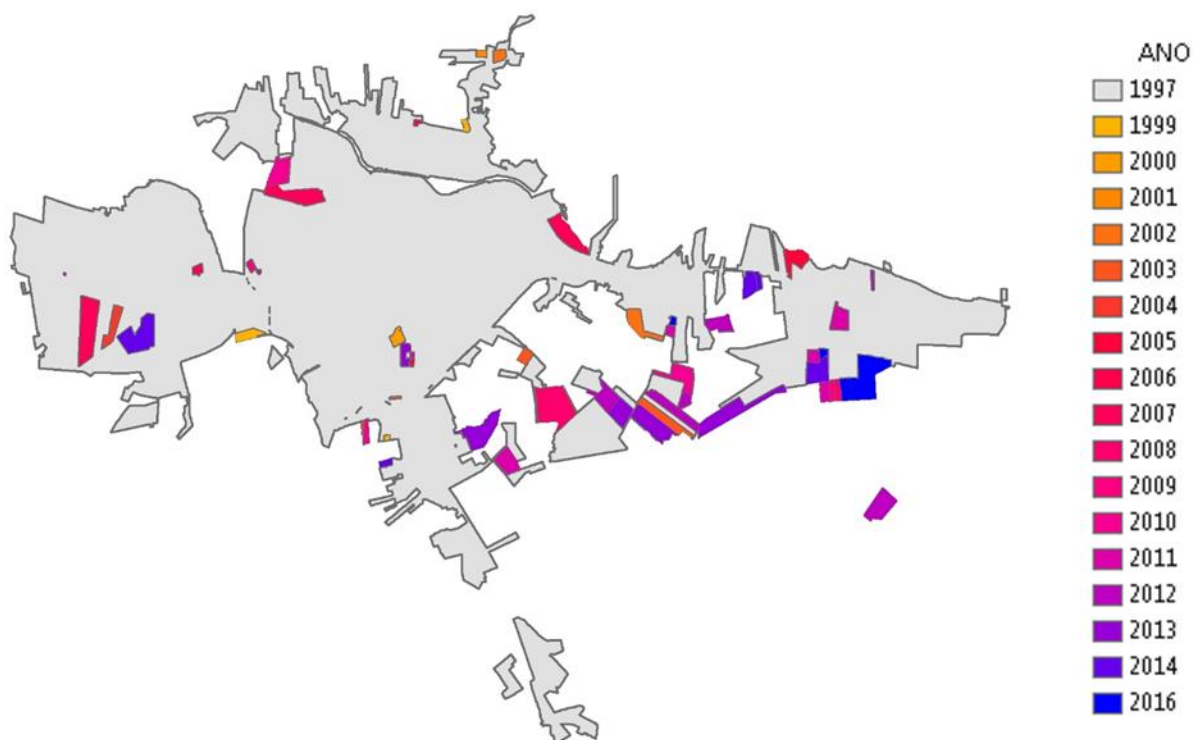
Com o objetivo de enquadrar todos os parcelamentos ao período da série histórica dos dados da Forma Construída, a saber de 1984 a 2017, foi atribuído o ano de 1984, primeiro período da série, aos parcelamentos (formais e informais) registrados anteriormente a esta data.

A partir deste procedimento de classificação, no Shape Parcelamento Total Classificado, todos os parcelamentos estão referenciados ao recorte temporal deste trabalho de pesquisa, ou seja, entre 1984 e 2017. Sendo que o primeiro período da série acumula todo o parcelamento ocorrido até aquele ano.

A figura 46, apresenta a área urbanizada até 1997 na cor cinza e em diferentes cores, conforme legenda, os parcelamentos ocorridos nos demais anos, permitindo uma visão evolutiva da área urbanizada de Santa Maria no recorte temporal do estudo envolvendo a Forma Construída.

O Shape Parcelamento Total Classificado constitui-se simultaneamente no shape de saída da primeira etapa e de entrada da segunda.

Figura 46 – Shape Parcelamento Total Classificado.

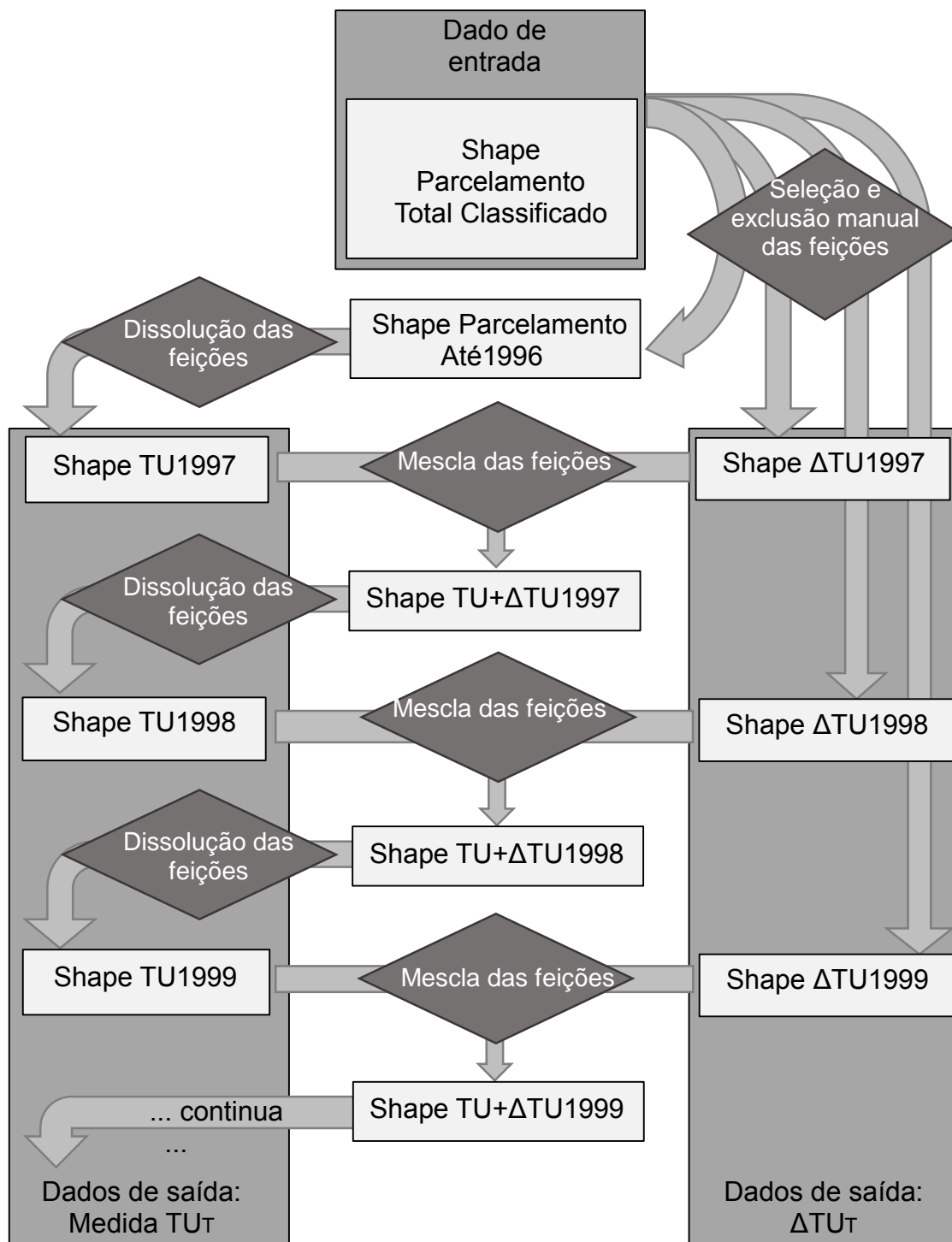


Fonte: elaboração do autor (2017).

Segunda etapa: desagregação de feições

A segunda etapa de processamento dos dados da Matriz Tecido Urbano, mostrada na figura 47, consisti na desagregação temporal das feições criando shapes com as áreas totais de parcelamentos acumulados e os parcelamentos e áreas totais de parcelamentos aprovados a cada ano da série de dados, constituindo as variáveis TU_T , TU_P e ΔTU_T .

Figura 47 – Segunda etapa: desagregação de feições.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

A partir do shape Parcelamento Total Classificado, por meio de seleção e exclusão manual das feições, são criadas duas famílias de shapes.

A primeira com apenas um shape que contém toda a área parcelada antes de 1997, ou seja, com os parcelamentos aprovados até 1996, denominado Shape ParcelamentoAté1996. Contém todos os parcelamentos aprovados até este ano, onde cada parcelamento (feição) é representado por um polígono com seus atributos.

A segunda, dos shapes denominados " ΔTU_{ano} ", contém apenas os parcelamentos aprovados em cada ano. Cada parcelamento constitui-se em um polígono ao qual estão atribuídas todas as informações originais daquele parcelamento, adicionadas da sua área territorial. O somatório das áreas territoriais dos parcelamentos constitui a área de expansão do tecido urbano naquele ano, ou seja, ΔTU_{Tano} .

A partir destes shapes, ParcelamentoAté1996 e ΔTU_{ano} , e com auxílio de ferramentas de geoprocessamento, são criadas a terceira e a quarta famílias de shapes.

A terceira família, dos shapes denominados $TU + \Delta TU_{ano}$, contém a área urbanizada existente em cada ano e os parcelamentos aprovados no mesmo. Origina-se da mescla das feições dos shapes TU_{ano} e ΔTU_{ano} , por meio da ferramenta *merge*.

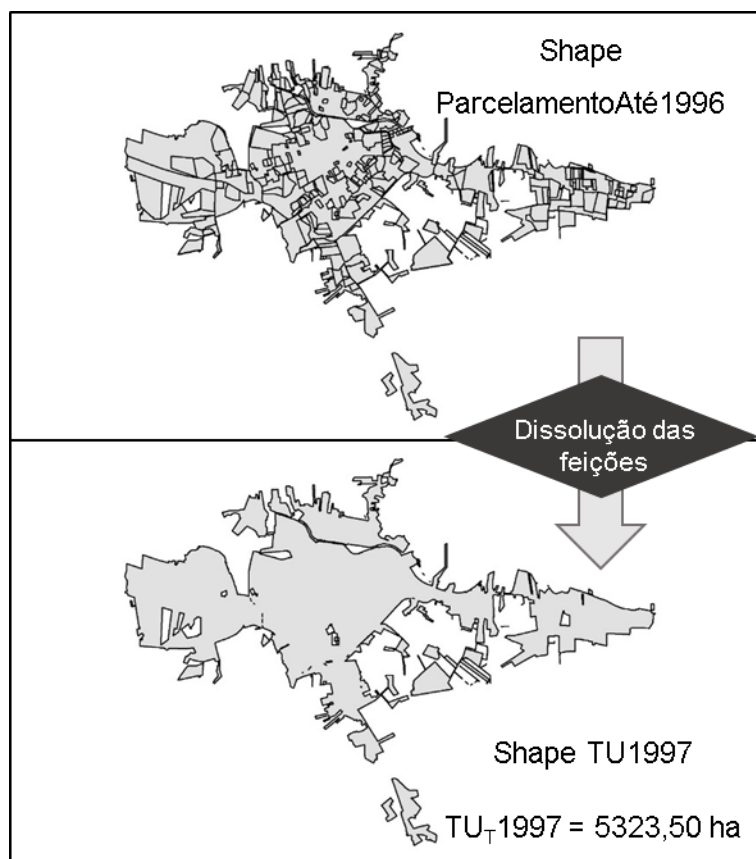
E, por último, a quarta família, dos shapes denominados " TU_{ano} ", contém a área urbanizada existente em cada ano, onde um polígono contém toda a área. Origina-se da dissolução dos limites das feições área urbanizada e parcelamentos constantes dos shapes " $TU + \Delta TU_{ano}$ " do ano anterior. A área territorial do polígono único deste shape constitui a área urbanizada existente naquele ano, ou seja, a medida TU_{Tano} .

O desenvolvimento e processamento deste algoritmo e a conquista da medida do Tecido Urbano Total é mostrado na sequência, a partir de 1997, primeiro ano da série de dados da Forma Construída.

O primeiro ciclo de processamento, referente ao ano de 1997, inicia-se com a elaboração do shape ParcelamentoAté1996, com os parcelamentos aprovados até este ano. A dissolução dos limites entre as feições deste shape, por meio da ferramenta *dissolve*, origina o shape TU_{1997} . O qual, apresenta feição única, ou seja, um polígono cuja área territorial expressa a magnitude do tecido urbano no ano 1997, constituindo-se na medida $TU_{T1997} = 5323,50ha$.

Neste ano nenhum parcelamento foi aprovado, ou seja, não houve expansão, portanto $\Delta TU_{T1997} = 0,00 ha$. A figura 48 apresenta os shapes e o processamento de dissolução pelo qual obtém-se a variável TU_T .

Figura 48 – Dados do Tecido Urbano em 1997.



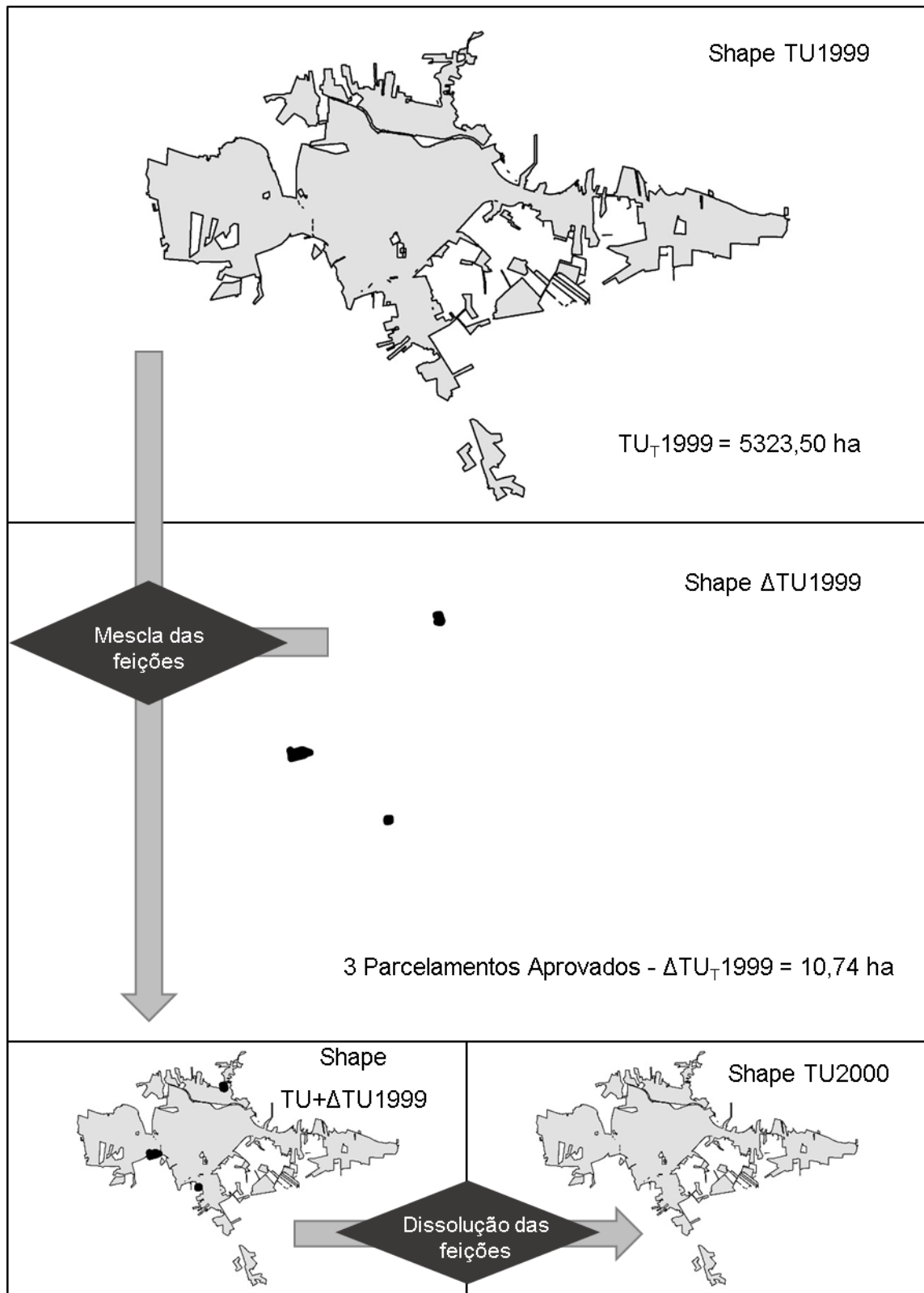
Fonte: Elaboração do autor (2017).

No ano de 1998 também nenhum parcelamento foi aprovado, permanecendo inalterada a magnitude do Tecido Urbano. Com isso, $TU_T1998=5323,50$ ha e $\Delta TU_T1998 = 0,00$ ha.

No ano de 1999, como não houve expansão em 1998, a magnitude do Tecido Urbano se mantém inalterada, sendo assim, $TU_T1999=5323,50$ ha. Neste ano foram aprovados 3 parcelamentos, cuja área territorial soma $\Delta TU_T1999=10,74$ ha. A figura 49 apresenta os shapes e os processamentos para a obtenção da medida TU_T .

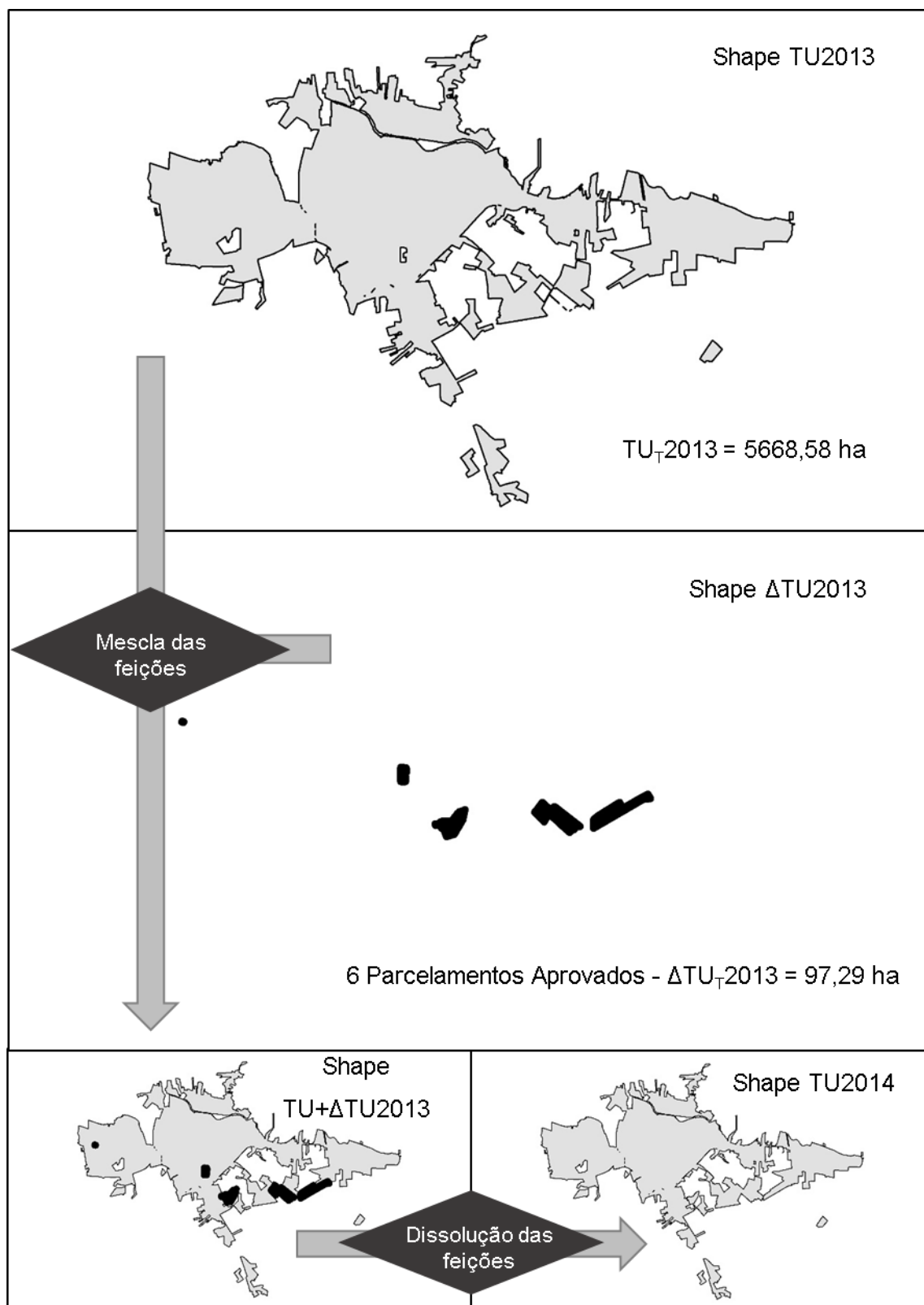
O processamento segue até o final da série histórica. Ilustrativamente a figura 50 apresenta os shapes e os respectivos processamentos e resultados para o ano de 2013.

Figura 49 – Dados do Tecido Urbano em 1999.



Fonte: Elaboração do autor (2017).

Figura 50 – Dados do Tecido Urbano em 2013.



Fonte: Elaboração do autor (2017).

Sistematização das medidas do Tecido Urbano

As medidas Tecido Urbano Total - TU_T e Variação do Tecido Urbano Total - ΔTU_T estão apresentadas na tabela 17.

Tabela 17 – Medidas da Matriz Tecido Urbano.

Ano	Tecido Urbano Total TU_T (ha)	Nº Parcelamentos Aprovados	Variação Área Urbanizada ΔTU_T (ha)
1997	5323,5	0	0
1998	5323,5	0	0
1999	5323,5	3	10,74
2000	5334,24	1	5,28
2001	5339,52	1	2,17
2002	5341,69	2	17,74
2003	5359,43	3	20,26
2004	5379,69	2	11,05
2005	5390,74	1	12,65
2006	5403,39	3	4,41
2007	5407,8	3	70,16
2008	5477,96	2	43,72
2009	5521,68	2	5,73
2010	5527,41	4	36,57
2011	5563,98	5	38,23
2012	5602,21	8	66,37
2013	5668,58	6	97,29
2014	5765,87	5	59
2015	5765,87	0	0
2016	5824,87	3	47,67
2017	5872,54	0	0

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

INFORMAÇÕES DAS MATRIZES ESPAÇO PRIVADO, ESPAÇO PÚBLICO E FORMA CONSTRUÍDA (BDEF)

A organização dos dados gráficos dos lotes urbanos e dos dados textuais relativos a descrição da localização (orientação, setor, quadra, lote) e características de ocupação dos mesmos, constantes do Cadastro Imobiliário, gera informações sobre a constituição e distribuição:

- Das áreas adensáveis do solo urbano, visando o reconhecimento da evolução da matriz Espaço Privado e, em especial, a constituição das medidas Espaço Privado Parcial – EP_{rP} e Espaço Privado Total - EP_{rT} em cada ano da série histórica;
- Do conjunto de subespaços públicos (trechos viários) que compõe a Matriz Espaço Público permitem o reconhecimento da evolução da matriz, visando a constituição da variável espacial Trechos de via, a qual possibilita a mensuração da medida de centralidade, a cada ano da série histórica;
- Da ocupação do solo urbano, visando o reconhecimento da evolução da matriz Forma Construída e, em especial, a constituição das medidas Forma Construída Parcial – FC_P , Forma Construída Total - FC_T e Variação do Forma Construída Total - ΔFC_T , em cada ano da série histórica.

Descrição das variáveis e medidas

As variáveis e medidas são descritas a seguir.

Medidas da Matriz Espaço Privado

A medida Espaço Privado Parcial (EP_{rP}) consiste no somatório das áreas territoriais de todos os lotes adjacentes a um determinado subespaço da matriz Espaço Público, ou seja, a um determinado trecho de via. Portanto, para obter a referida variável precisa-se saber quais lotes são adjacentes a cada trecho viário.

Por sua vez, a medida Espaço Privado Total (EP_{rT}) consiste no somatório das áreas territoriais de todos os lotes adjacentes a todos os subespaços da matriz Espaço Público, ou seja, consiste no somatório de todas as medida EP_{rP} em cada ano.

Medidas da Matriz Forma Construída

A medida Forma Construída Parcial (FC_P) consiste no somatório das áreas construídas de todos os lotes adjacentes a um determinado subespaço da matriz Espaço Público, ou seja, a um determinado trecho de via. Igualmente ao que ocorre no Espaço Público, para obter a referida variável precisa-se saber quais lotes são adjacentes a cada trecho viário.

Por sua vez, a medida Forma Construída Total (FC_T) consiste no somatório das áreas construídas de todos os lotes adjacentes a todos os subespaços da matriz Espaço Público, ou seja, consiste no somatório de todas as variáveis FC_P em cada ano.

Já a medida Variação da Forma Construída Total (ΔFC_T), consiste na diferença entre o somatório de todas as áreas construídas em um ano e o somatório de todas as áreas construídas no ano anterior, ou seja, a diferença entre FC_T em um ano e FC_T no ano anterior.

Variáveis da Matriz Espaço Público

Por sua vez, a variável espacial Trechos de via, consiste na identificação de cada trecho de via, subespaço de espaço público.

A mensuração da diferenciação espacial dos subespaços públicos será realizada pelo software Medidas Urbanas. Neste caso, as adjacências e correspondentes conectividades são reconhecidas automaticamente, não necessitando a sua descrição.

Etapas da constituição do banco de dados

Assim, os dados básicos para obter-se as informações das matrizes Espaço Privado e Público e Forma Construída são o shape dos lotes, o shape dos logradouros com os respectivos trechos de via e os arquivos de dados textuais do Cadastro Imobiliário relativos a cada ano do estudo.

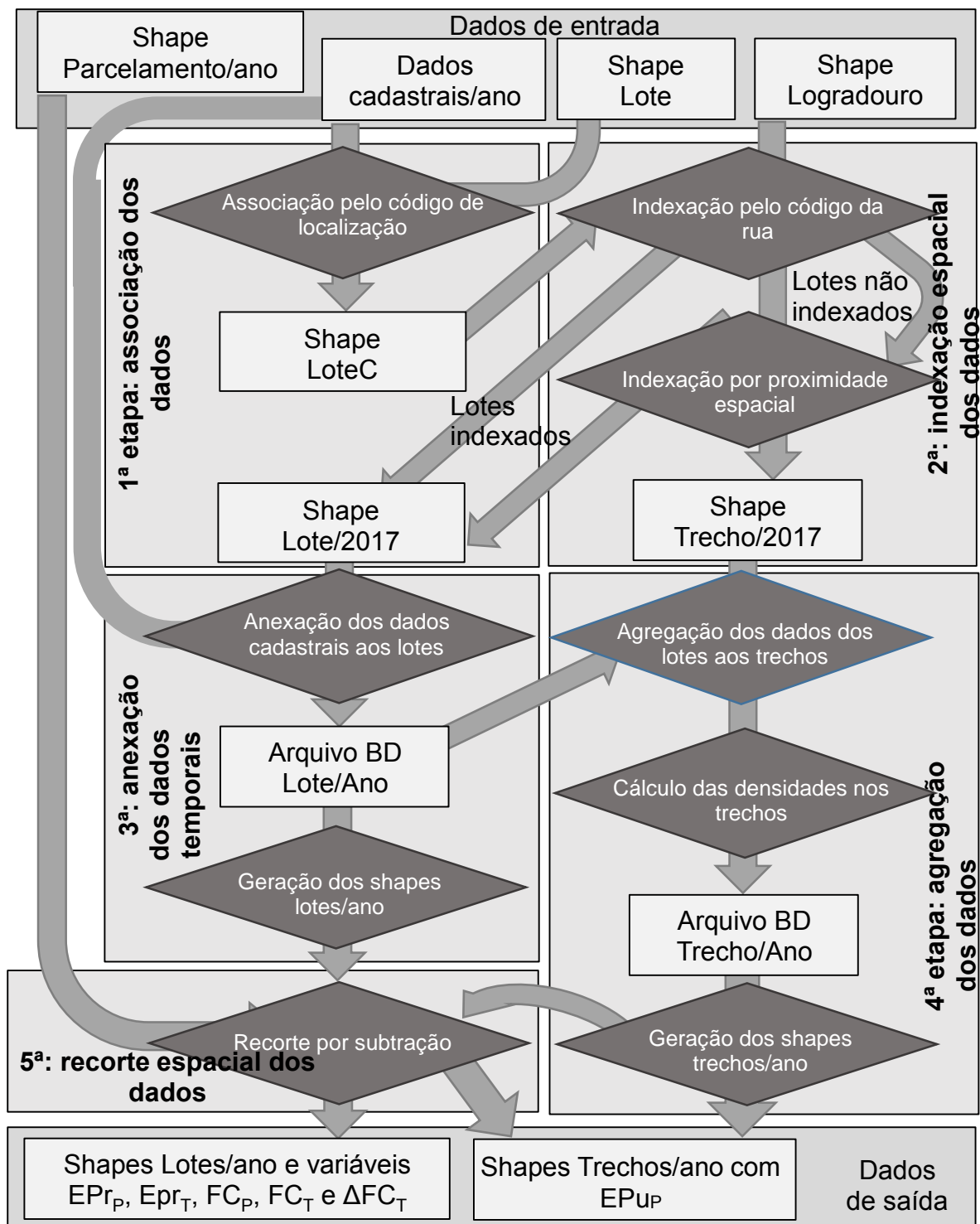
Ocorre que, embora o shape dos logradouros contenha as vias discretizadas por trechos, o shape com os lotes contém o dado textual que indica a que via cada lote pertence, mas não apresenta a referência ao trecho da via, unidade espacial da variável EP_{TP} .

Por sua vez, o único dado de descrição de cada lote comum aos arquivos do cadastro imobiliário e ao shape dos lotes é o código de localização

Visando equacionar estas lacunas entre os dados, a constituição deste banco de dados está organizada nas etapas de associação dos dados textuais do cadastro imobiliário ao shape dos lotes, indexação dos lotes aos trechos viários, anexação dos dados temporais aos lotes, agregação dos dados dos lotes aos trechos e o recorte

espacial do shape dos logradouros para definir os trechos existentes em cada período, conforma mostra a figura 51.

Figura 51 – Etapas do algoritmo do Banco de Dados das Matrizes Espaço Privado, Espaço Público e Forma Construída.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Primeira etapa: associação dos dados

Para resolver esta carência, faz-se necessário criar na planilha com dados textuais dos lotes, um código que indique a que trecho viário cada lote é adjacente, ou seja, indexar cada lote a um trecho.

Os dados textuais em questão, área de lote, área construída e tipo de imposto, constam do Cadastro Imobiliário. Neste cadastro a identificação dos lotes é feita pelo código de localização dos imóveis na planta do Cadastro (orientação, setor, quadra, lote) pelo número de inscrição cadastral e pelo endereço, código e nome da rua e número predial.

Destes dados, o único que consta do shape dos lotes é o código de localização.

Assim, o passo inicial consistiu em associar, por meio do código de localização, os dados cadastrais (não textuais) ao shape dos lotes. Esta associação foi realizada com a ferramenta *join* do software ArcMap.

Este processamento deu origem ao shape LoteC que contém os dados não textuais polígonos dos lotes (vetores) e os dados textuais de atributos (área construída, área de lote e tipo de imposto) e de localização (código “orientação, setor, quadra, lote”, número cadastral e endereço).

O referido shape, juntamente com o shape Logradouro e o Cadastro Imobiliário, permite a constituição do Banco de Dados dos Espaços Público e Privado e da Forma Construída.

Segunda etapa: indexação espacial dos dados

Para executar segunda, a terceira e a quarta etapas da constituição deste banco de dados, o Laboratório de Geomática da UFSM, por meio do Professor Enio Giotto, elaborou um programa computacional específico, denominado Trechos, dentro do ambiente do software de geoprocessamento C7_CDS, desenvolvido pelo próprio laboratório com o objetivo de proporcionar uma geotecnologia para gestão urbana. A figura 52 apresenta a primeira tela do programa C7_CDS.

Figura 52 – Tela inicial do Programa C7 CDS.

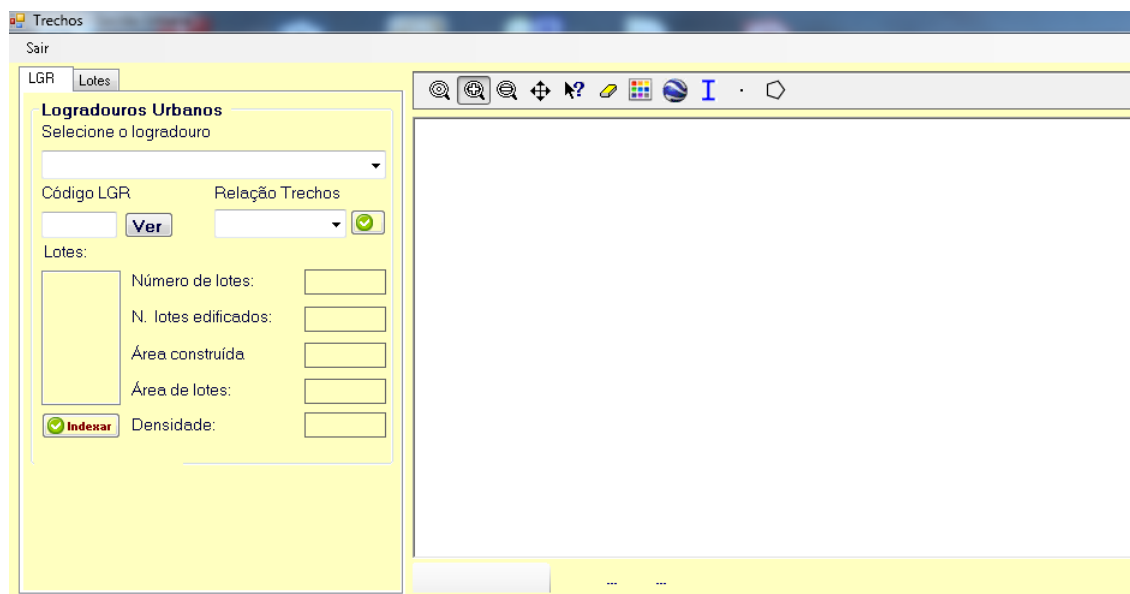


Fonte: Laboratório de Geomática do CCR-UFSM (2017).

O programa Trechos, cuja tela inicial é mostrada na figura 53, com o objetivo de proporcionar a indexação dos lotes aos trechos das vias, foi desenvolvido em três etapas:

- A primeira, visa a indexação espacial dos dados dos lotes aos trechos de logradouro;
- A segunda, a anexação dos dados temporais;
- Enquanto a terceira objetiva a agregação dos dados dos lotes aos trechos viários.

Figura 53 – Tela inicial da rotina Trechos do Programa C7 CDS.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Para realizar a agregação dos dados dos lotes (matriz EPr) às unidades espaciais trechos (matriz EPU) é necessário que os lotes estejam indexados aos trechos de EP, para tanto, precisa-se definir a que trecho de logradouro cada lote é adjacente.

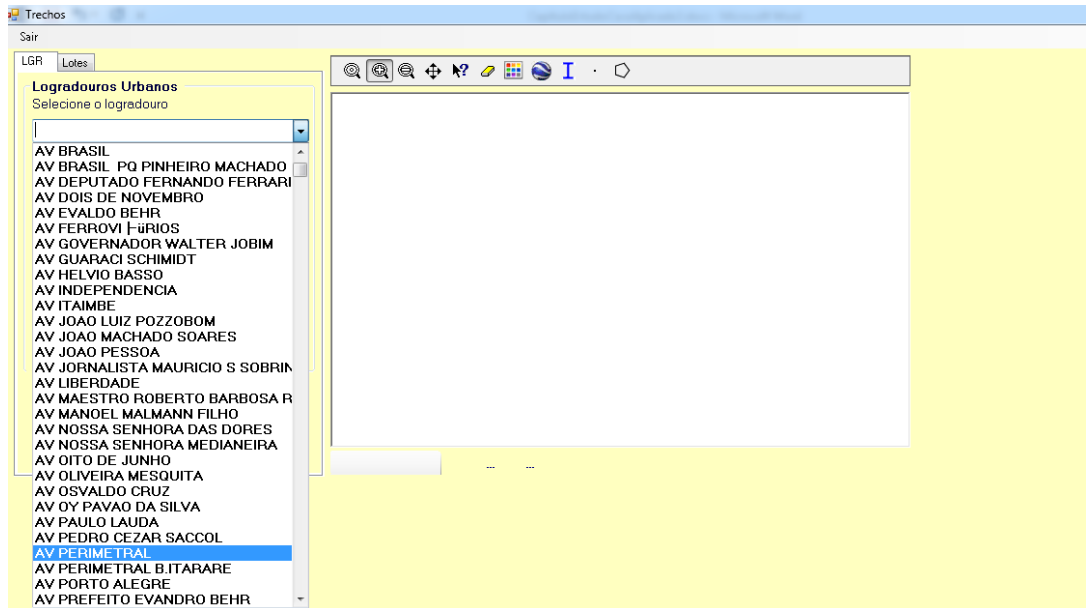
Este procedimento, realizado a partir dos dados cadastrais de 2017 por conterem todos os lotes da série histórica, é realizado em dois momentos. Inicialmente utilizando as informações não gráficas (textuais) dos lotes e, posteriormente, para os lotes que não possuem estas informações, a proximidade espacial.

Indexação pelo código da rua

Neste primeiro momento são confrontados os trechos de cada logradouro aos lotes que contém a informação textual daquele logradouro. Por exemplo: são confrontados aos trechos da Avenida Perimetral todos os lotes que possuem o código 3988 informado no respectivo campo da planilha de dados.

O passo inicial consiste na seleção, a partir de uma lista, de um logradouro da cidade para a realização dos procedimentos de indexação dos lotes a cada um dos trechos do respectivo logradouro. A cidade tem seus logradouros divididos em 7.838 trechos. A figura 54 mostra a seleção dos logradouros.

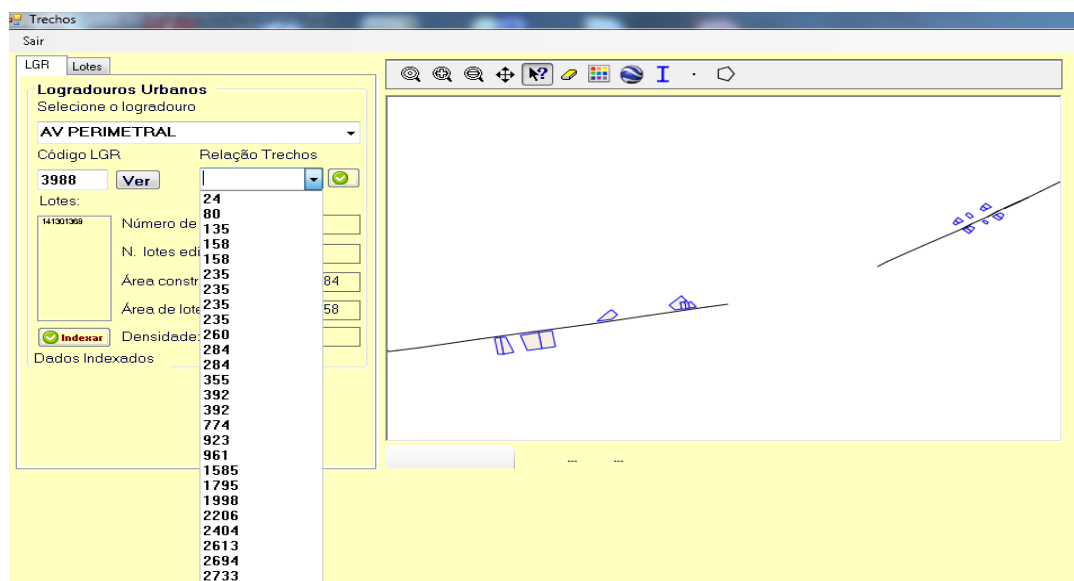
Figura 54 – Seleção do logradouro.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Selecionado um logradouro, o eixo deste aparece na tela de trabalho junto com todos os lotes que possuem aquele logradouro indicado nos dados não-gráficos. Na sequência, seleciona-se um trecho de logradouro, a partir da relação de todos os trechos que constituem aquele logradouro. Conforme a figura 55.

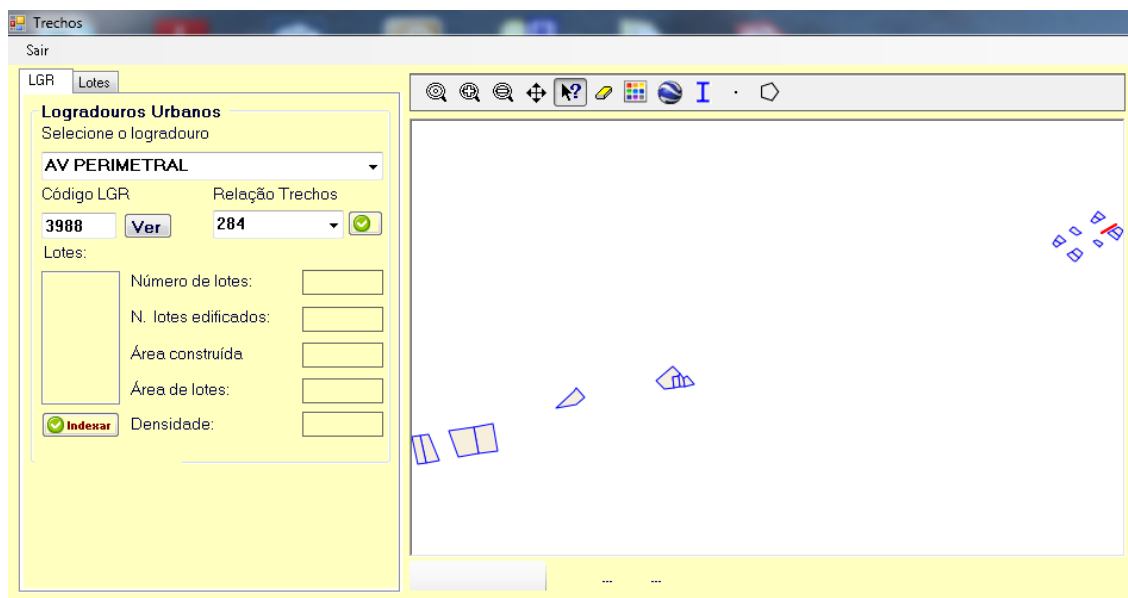
Figura 55 – Seleção do trecho.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

O eixo do trecho selecionado aparece na tela juntamente com os lotes, como mostra a figura 56.

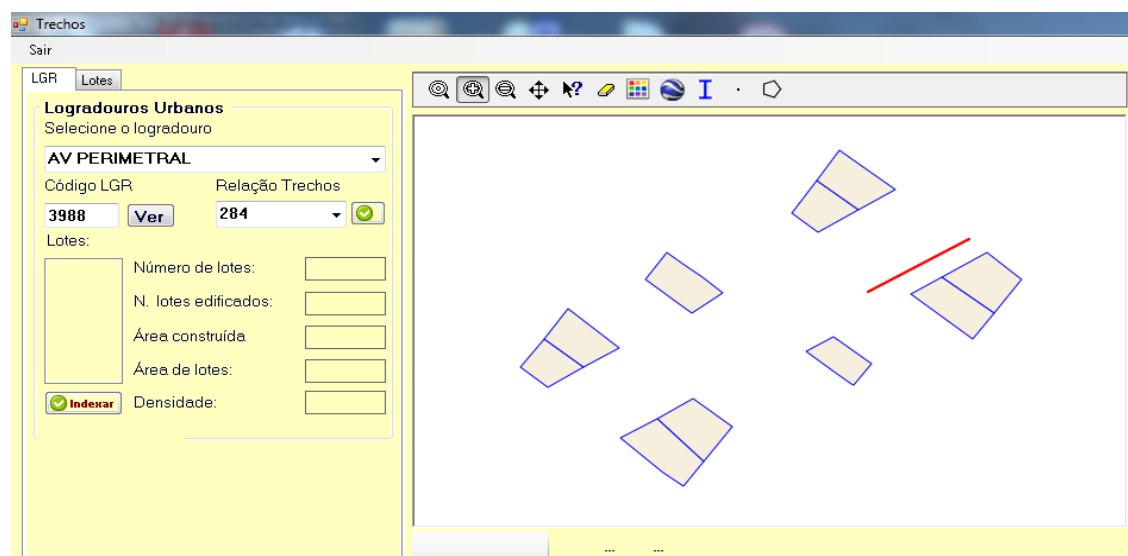
Figura 56 – Trecho selecionado em destaque.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Quando necessário, aproxima-se a imagem para melhor definição dos polígonos que representam os lotes (figura 57).

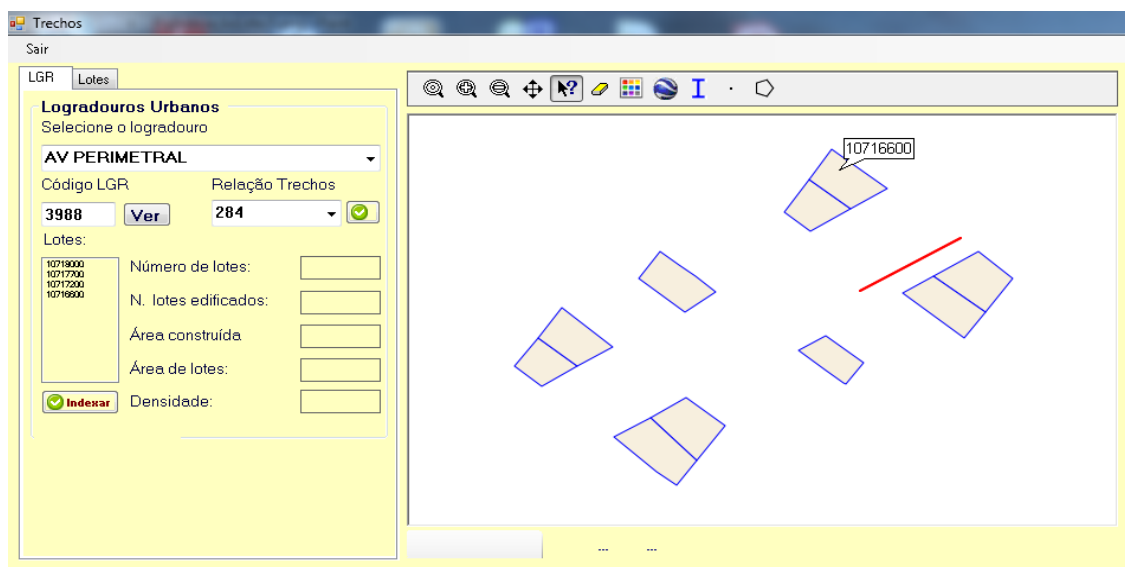
Figura 57 – Aproximação do trecho selecionado em destaque.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Seleciona-se, com um clique do mouse, cada lote adjacente aquele trecho viário. Sobre o lote selecionado aparece o seu número cadastral, como mostra a figura 58.

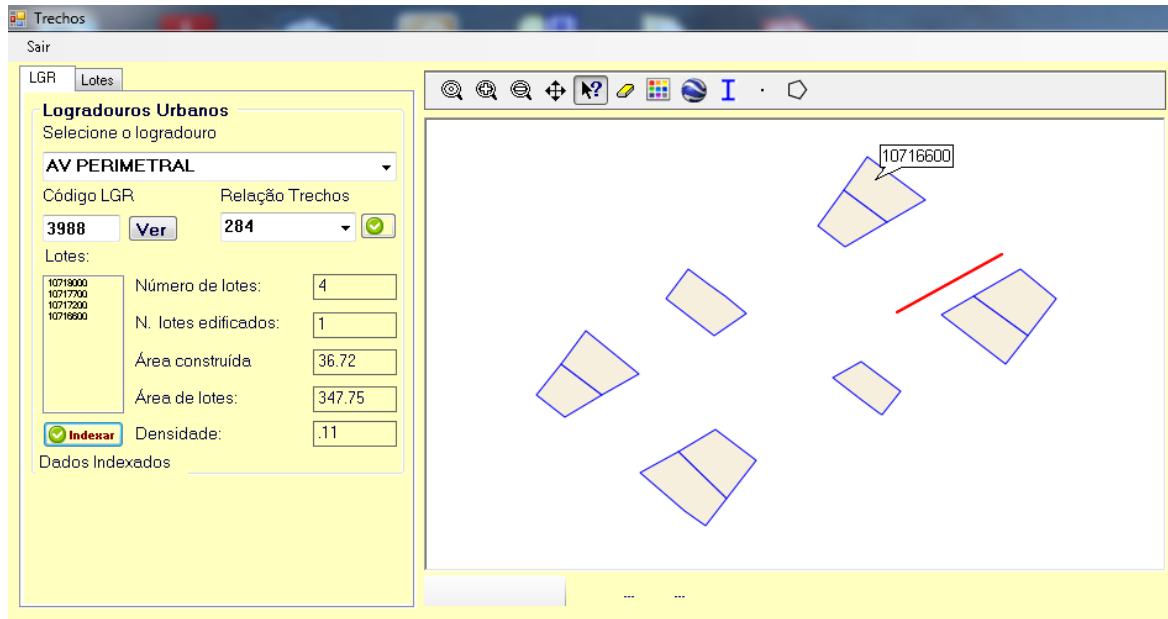
Figura 58 – Seleção do lote a ser indexado.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Ao selecionarmos todos os lotes adjacentes aquele trecho, clica-se no botão indexar. Os números dos cadastros dos lotes, ao serem indexados ao banco de dados, são totalizados e o resultado de cada trecho é mostrado na tela. A figura 59 mostra o número de lotes, o número de edifícios edificados, o total da área construída e da área dos lotes, além da densidade construída no respectivo trecho.

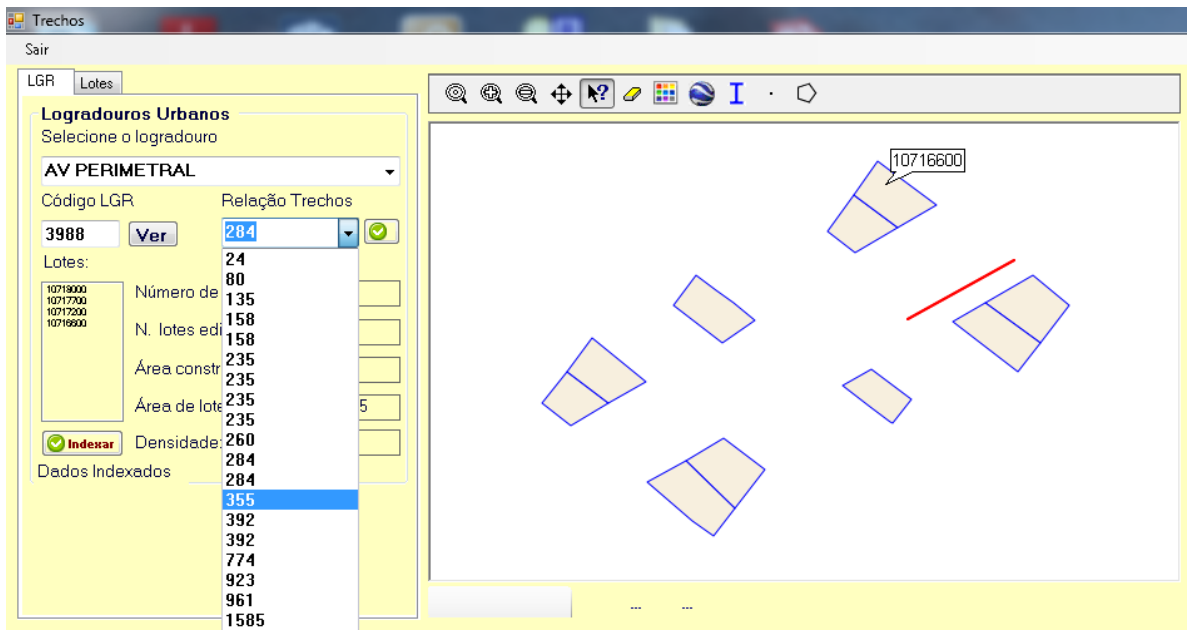
Figura 59 – Somatório dos lotes indexados.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Terminada a indexação dos lotes deste trecho, seleciona-se o próximo da lista e procede-se a indexação dos seus lotes, até terminar os trechos daquele logradouro. O que é mostrado na figura 60.

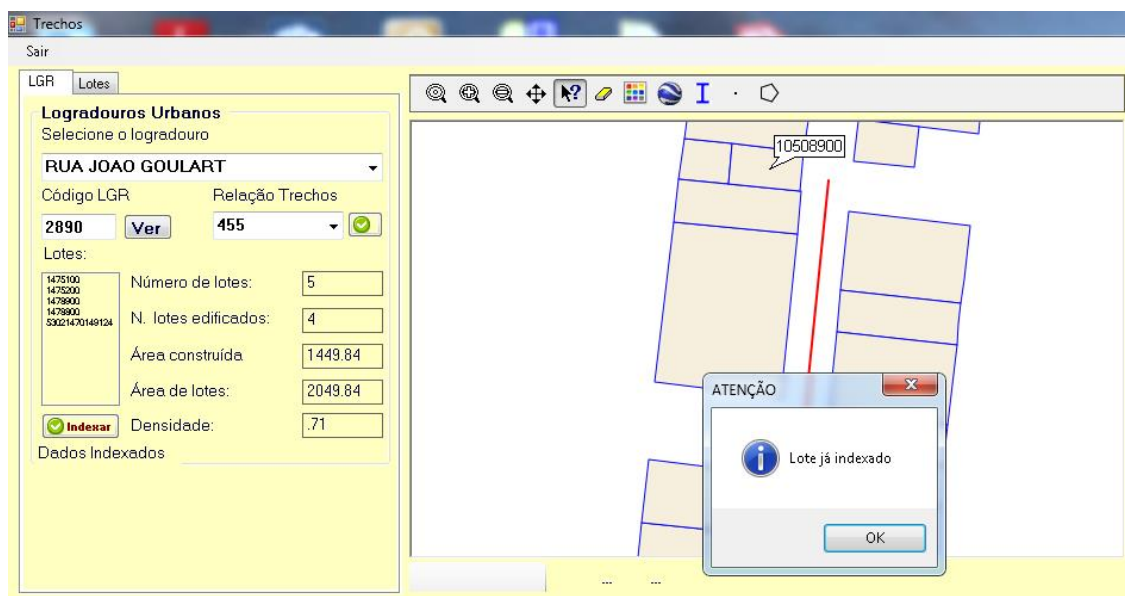
Figura 60 – Seleção do próximo trecho.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

É importante salientar que o programa não permite a dupla indexação de um lote, pois ao clicar-se em um lote já indexado, somos alertados sobre isto. A figura 61 mostra o aviso de que o lote já foi indexado.

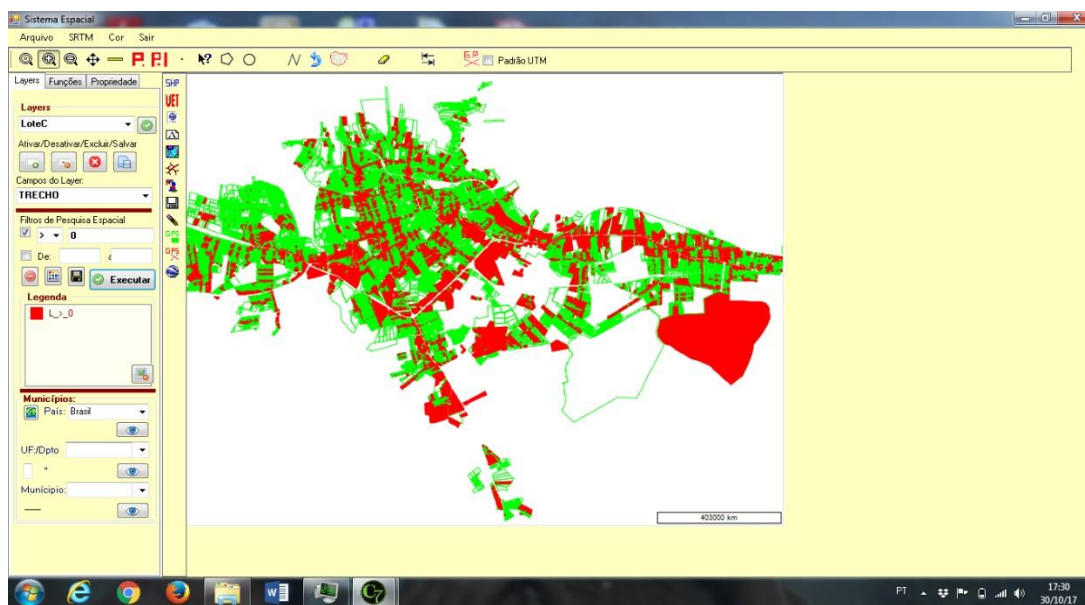
Figura 61 – Aviso de lote já indexado.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Durante este procedimento, de indexação dos lotes, podemos monitorar o processo com o auxílio das funções de espacialização de shapes e imagens do *software* de gestão rural denominado Campeiro, também desenvolvido pelo Laboratório de Geomática da UFSM. As figuras 62 e 63 mostram dois momentos do processo de indexação, onde a cor cinza escuro (vermelho) mostra os lotes já indexados e a cor cinza claro (verde) os que ainda não estão indexados.

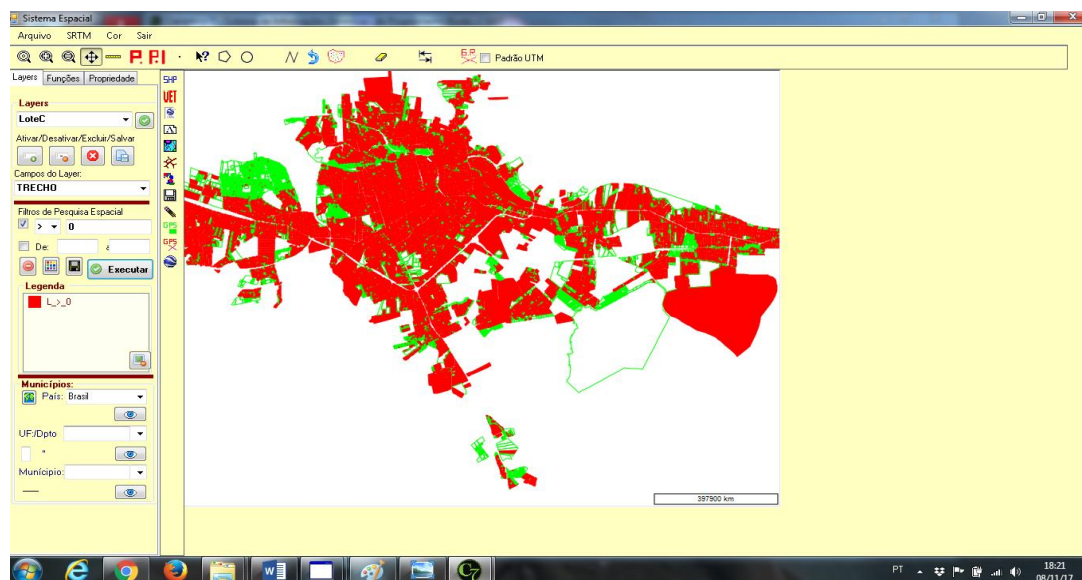
Figura 62 – Lotes indexados e não indexados - 1.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Embora terminada esta primeira faz de indexação, a figura acima mostra que muitos lotes ainda não estão indexados.

Figura 63 – Lotes indexados e não indexados -2.

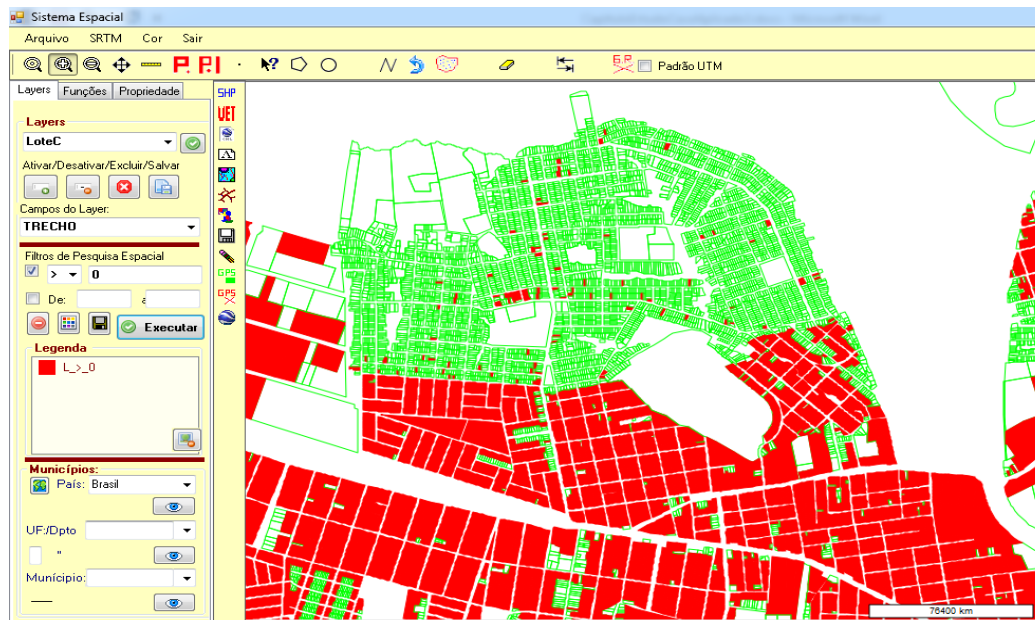


Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

A análise visual do mapa permitiu identificar zonas com concentração de lotes não indexados, como mostram as figuras 64 e 65. As quais coincidem com

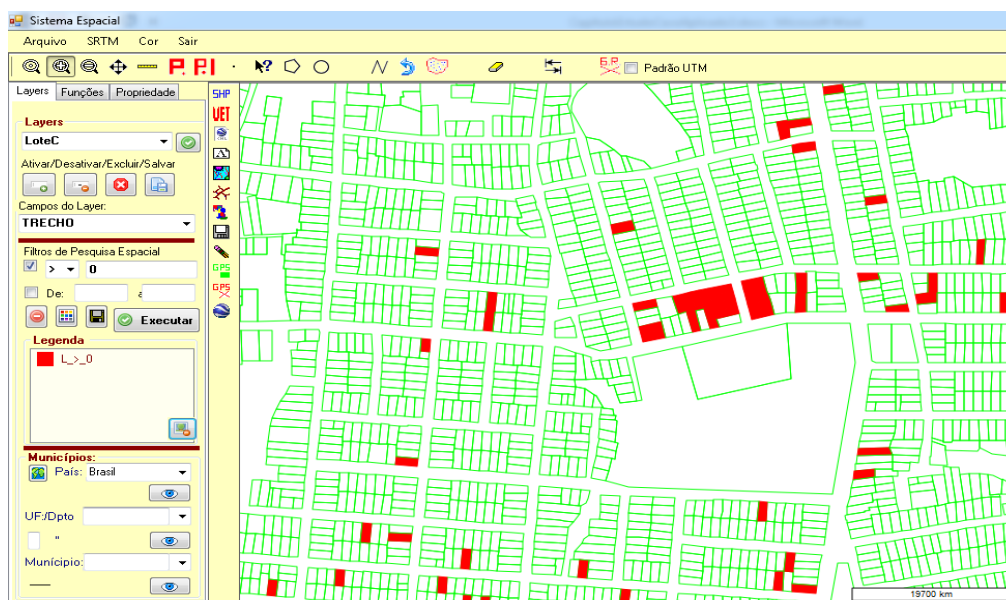
parcelamento não legalizados, onde os lotes não possuem a informações do código de logradouro (CODRUA).

Figura 64 – Lotes não cadastrados – aproximação 1.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

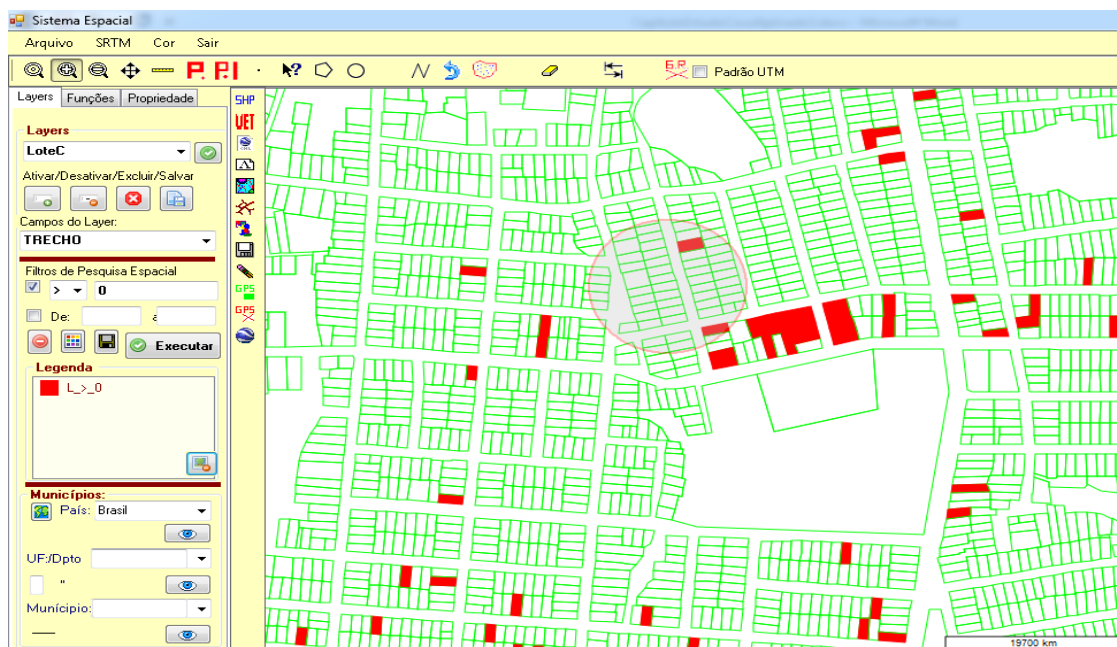
Figura 65 – Lotes não cadastrados – aproximação 2.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

A análise dos dados não-gráficos do shape dos lotes, inscritos no círculo mostrado na figura 66, revela os motivos de tantos lotes não terem sido indexados.

Figura 66 – Seleção de lotes para acesso ao Banco de Dados.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

A planilha de dados não-gráficos, figura 67, mostra lotes que não possuem identificação do logradouro a que pertencem, além daqueles cuja informação está errada. Muitas vezes o nome do logradouro está correto, mas consta um código de logradouro diferente daquele que designa o mesmo no shape dos logradouros.

Figura 67 – Planilha do Banco de Dados.

URL	CODLOCAL	OID_	NRCADASTRO	CODLOCAL_1	TIPOIMP	CODRUA	NOMERUA
0	SO.0016.0058.0183	0	0		0	0	
0	SO.0016.0058.0173	0	0		0	0	
0	SO.0016.0058.0070	0	0		0	0	
0	SO.0016.0058.0050	0	0		0	0	
0	SO.0016.0058.0024	0	0		0	0	
0	SO.0016.0057.0020	0	0		0	0	
0	SO.0016.0057.0009	0	0		0	0	
0	SO.0016.0056.0301	0	0		0	0	
0	SO.0016.0056.0291	0	0		0	0	
0	SO.0016.0056.0286	0	0		0	0	
0	SO.0016.0056.0041	0	0		0	0	

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Indexação por proximidade espacial

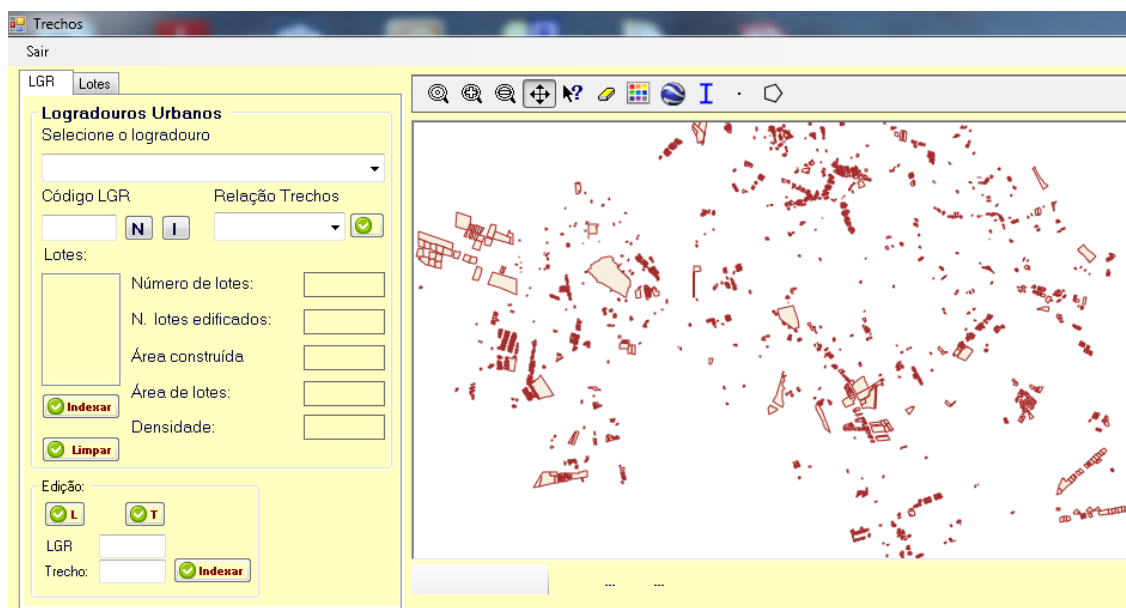
A partir da identificação dos motivos da não indexação de todos os lotes, passa-se a aprimorar o programa Trechos. Visando indexar os lotes que não foram “encontrados” na primeira parte do processo, o programa passa a mostrar todos os lotes ainda não identificados para que possam ser indexados ao trecho de logradouro que são adjacentes.

Assim, neste segundo momento a confrontação dos trechos de logradouros com os lotes ocorre por proximidade espacial.

O passo inicial consiste na visualização do shape dos lotes (figura 68) e, na sequência, do shape dos logradouros (figura 69).

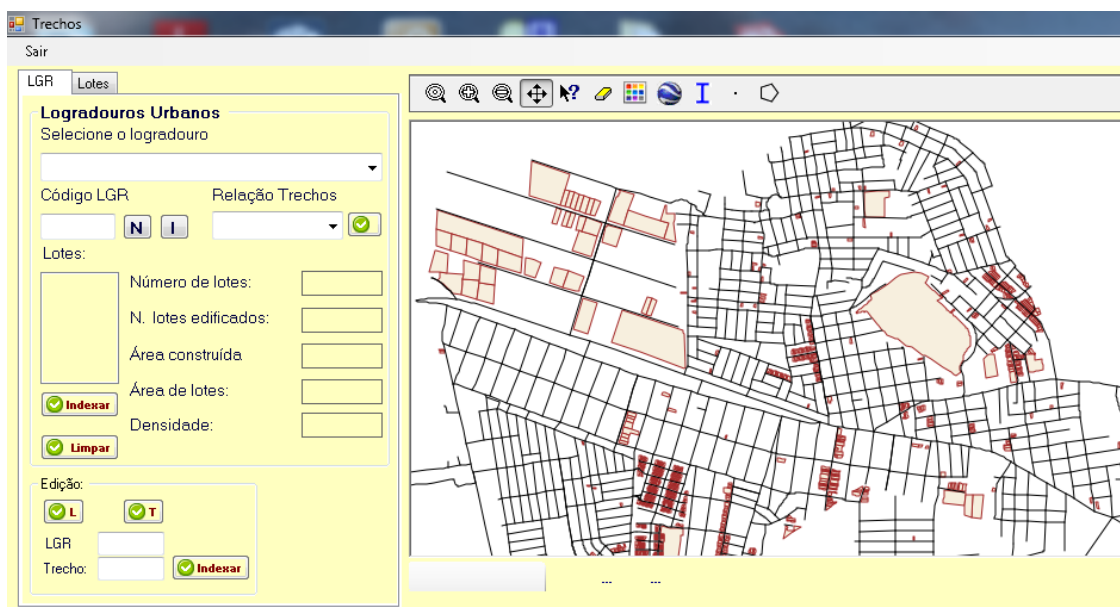
Note-se que o programa mostra apenas os lotes que apresentam o número de inscrição no Cadastro Imobiliário. Isto porque os demais, considerados irregulares, não possuem informações a serem anexadas ao shape.

Figura 68 – Visualização do shape dos lotes.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

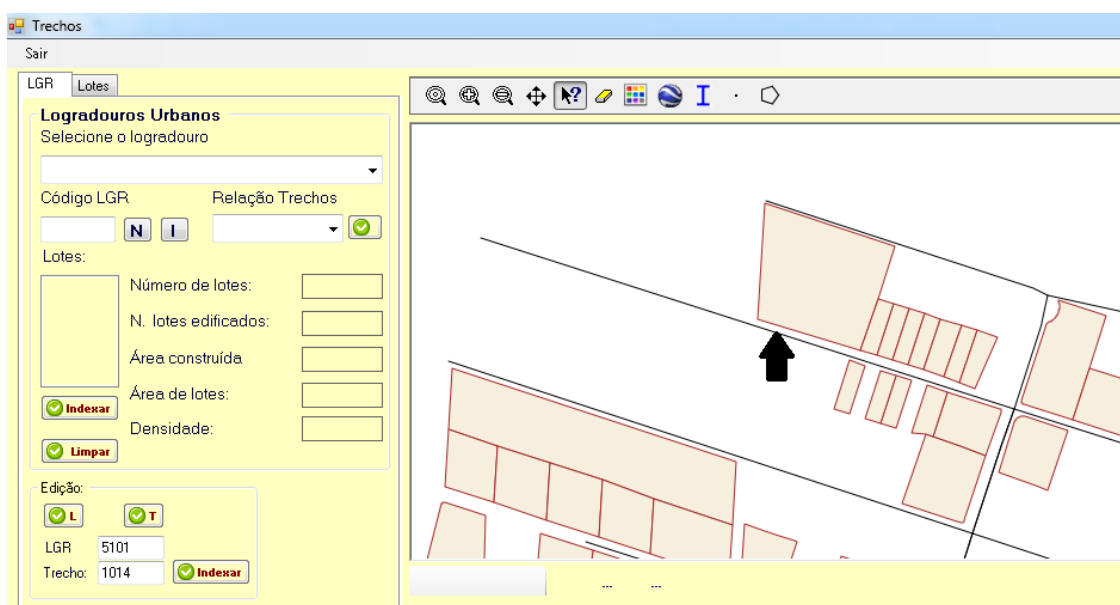
Figura 69 – Visualização do shape dos lotes e dos logradouros.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Aproxima-se a imagem e seleciona-se o trecho ao qual se quer indexar os lotes, como mostra a figura 70. Neste caso, o trecho 1014 da Rua Eixo Secundário 5 Distrito Industrial, cujo código é 5101.

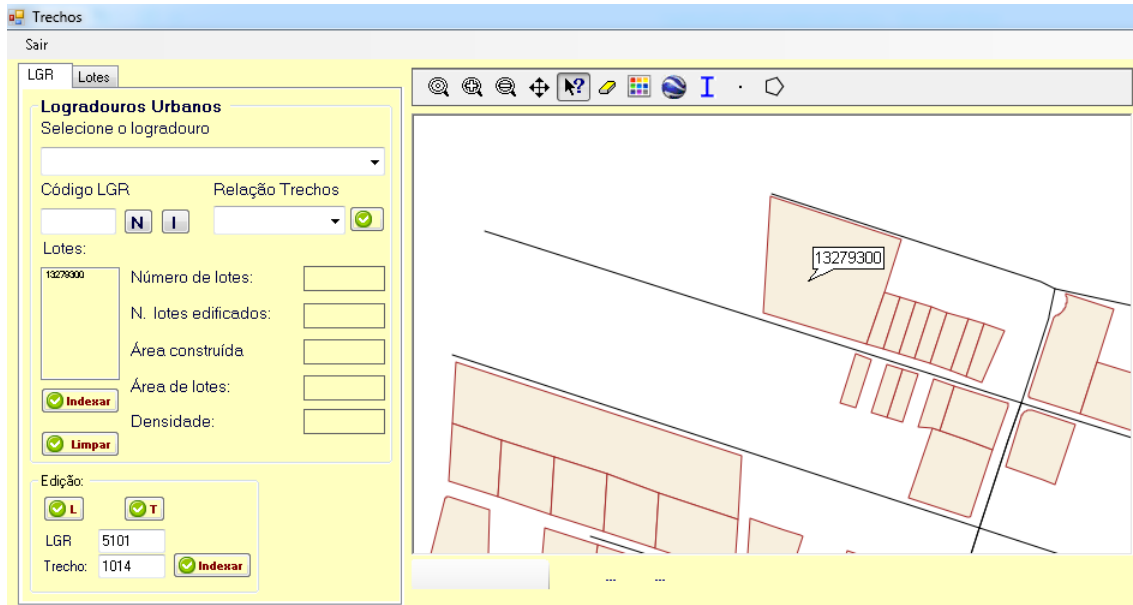
Figura 70 – Seleção do trecho.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Na sequência seleciona-se o primeiro lote a ser indexado (figura 71).

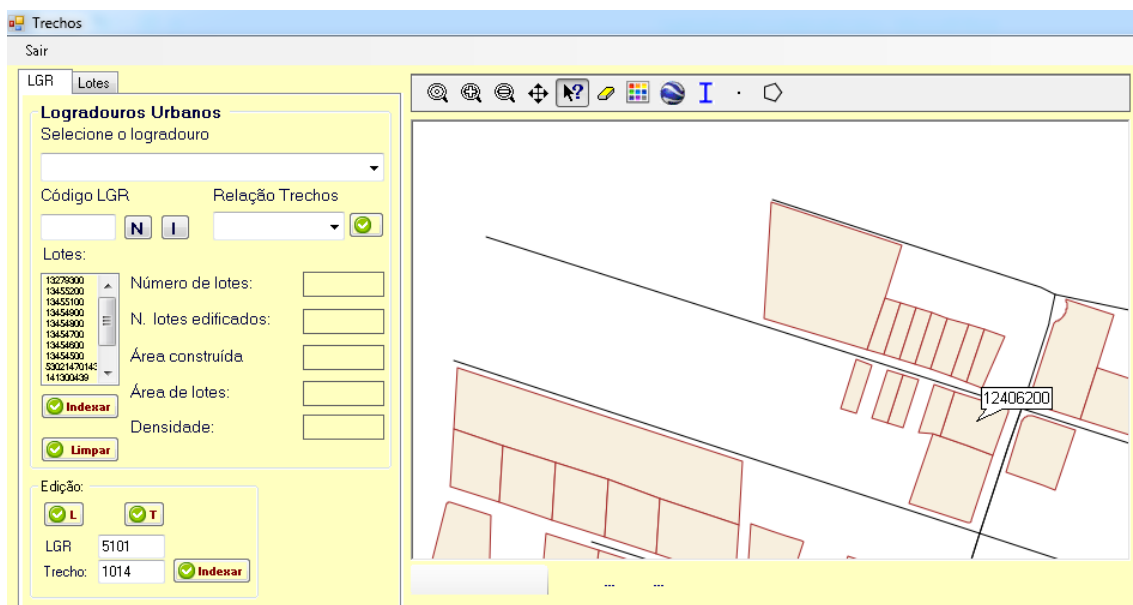
Figura 71 – Seleção do primeiro lote.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

E os demais lotes a serem indexados, como apresenta a figura 72.

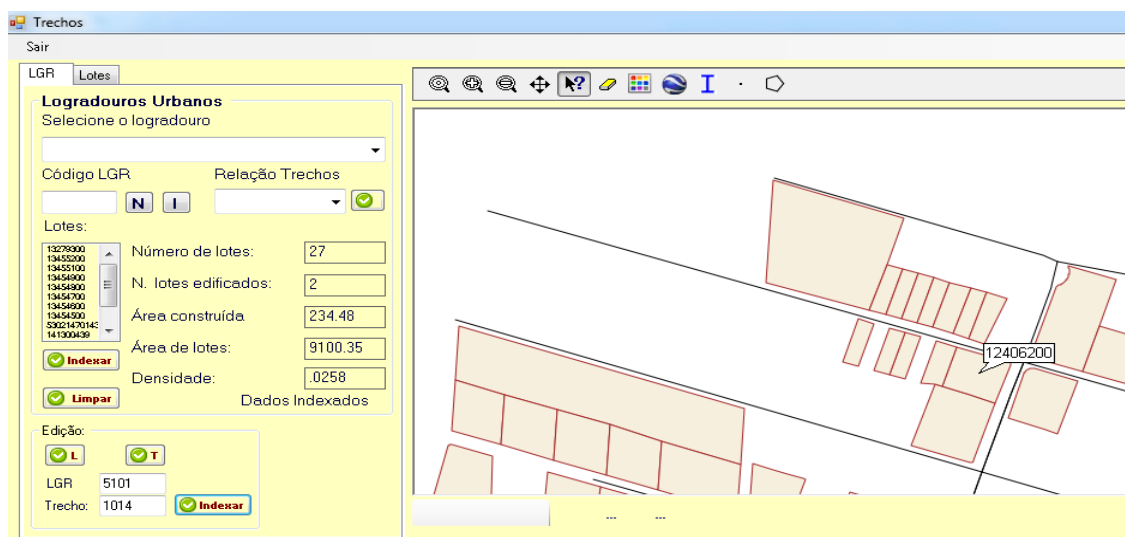
Figura 72 – Seleção do último lote.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Selecionados todos os lotes, aciona-se a função indexar. A figura 73 mostra que assim que os lotes são indexados ao banco de dados, o programa mostra os totais de número de lotes, número de lotes edificadas, área construída e área de lotes, bem como a densidade construída resultante.

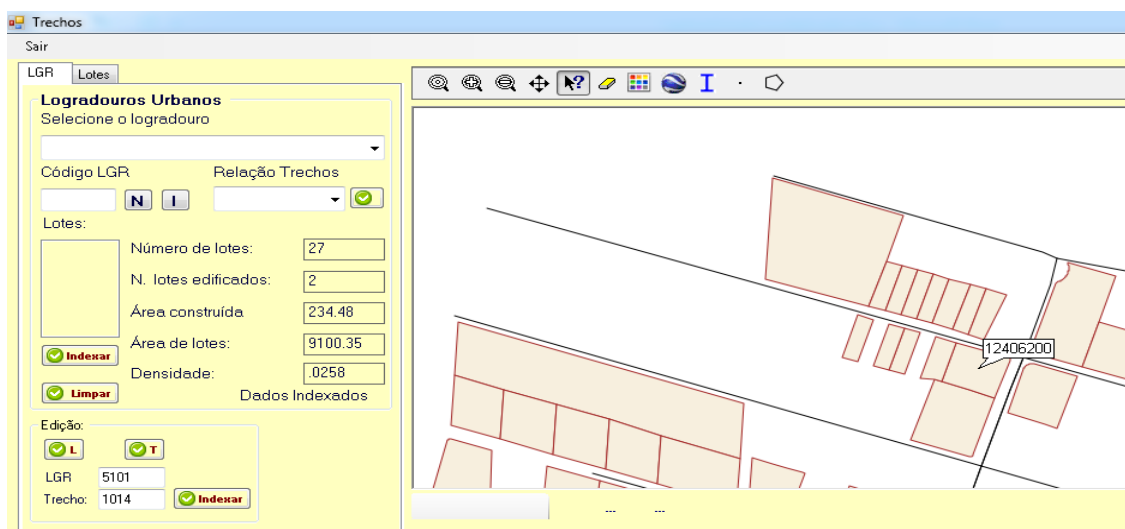
Figura 73 – Somatório dos lotes indexados.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Na sequência, limpamos o box que mostra os lotes selecionados (figura 74) e seguimos na indexação dos lotes do próximo trecho.

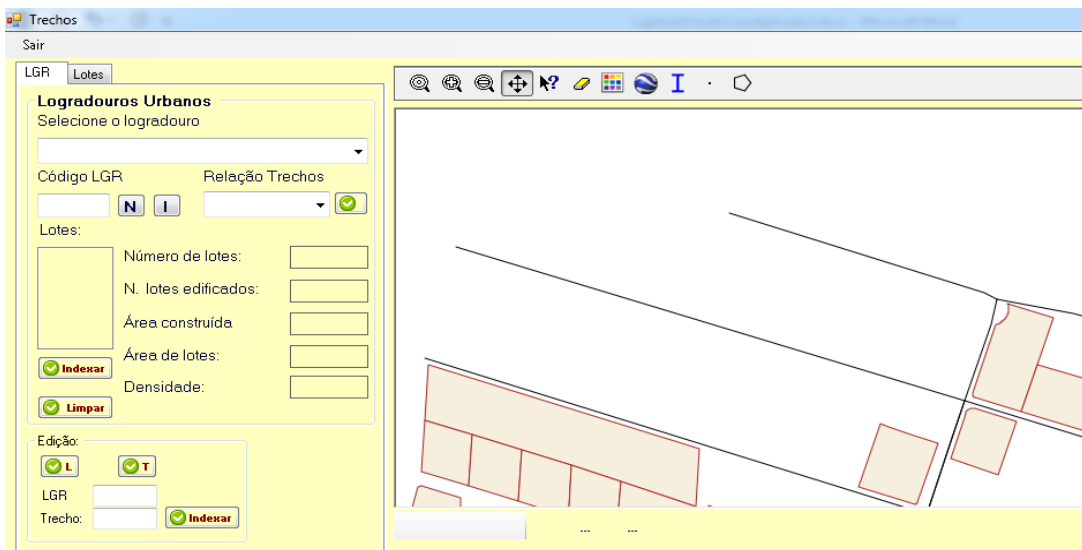
Figura 74 – Limpeza dos códigos dos lotes já indexados.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

A figura 75 mostra o mapa sem os lotes que já forma indexados.

Figura 75 – Lotes já indexados desaparecem da tela.

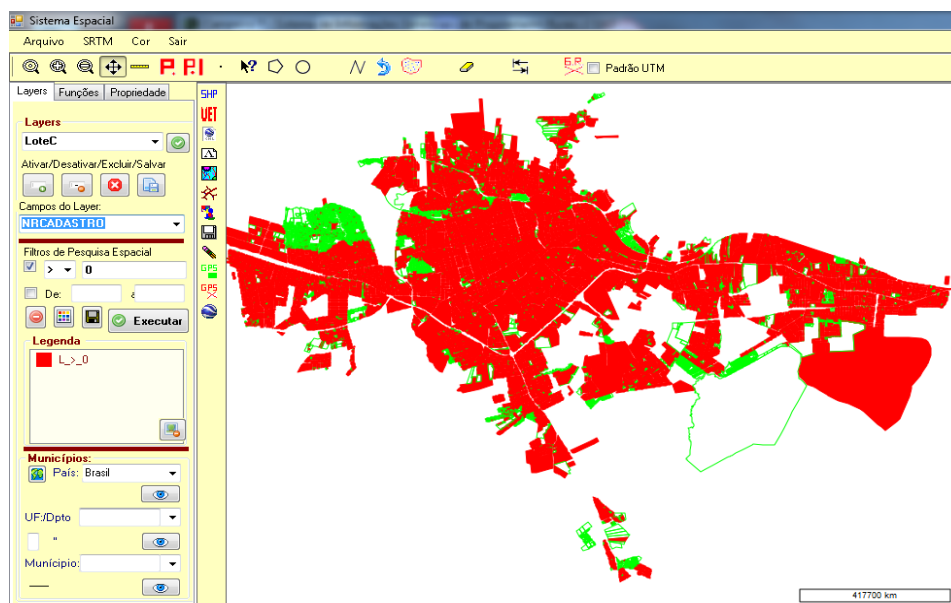


Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Ao indexar os lotes de todos de todos os trechos, no software Campeiro, faz-se um filtro para verificar os lotes indexados (em cinza escuro/vermelho) e os não indexados (em cinza claro/verde). Conforme apresenta a figura 76.

Uma conferência, por amostragem aleatória, permite verificar que os lotes não indexados são os irregulares, que não possuem o número de inscrição no Cadastro Imobiliário.

Figura 76 – Lotes indexados e não indexados.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Com isso encerra-se o processo de indexação dos lotes aos trechos de logradouro e pode-se passar a trabalhar com os dados de área de lote e área construída dos diversos anos da série histórica.

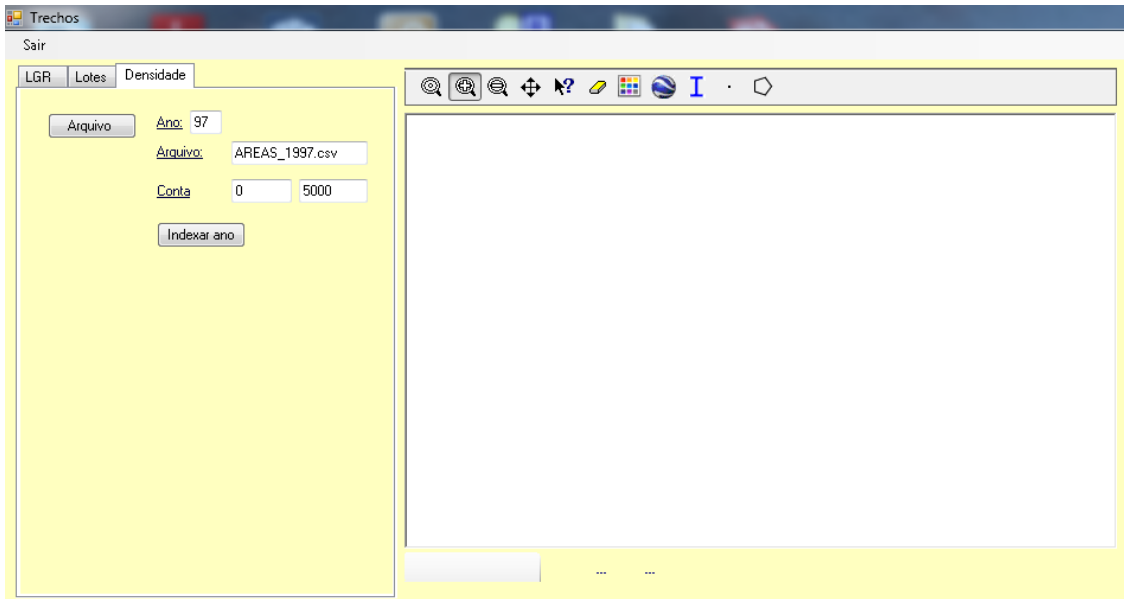
Terceira etapa: anexação dos dados temporais

Com os lotes indexados aos trechos viários, já com os dados do ano 2017, a segunda etapa consiste na incorporação, ao banco de dados, dos dados cadastrais dos demais anos da série histórica.

A rotina desenvolvida, apresentada na figura 77, para este fim processa as ações a seguir:

- Anexa os dados cadastrais, área de lote e área construída, de cada lote aos respectivos polígonos do shape dos lotes;
- Cria arquivos/pastas de banco de dados de lotes para cada ano do estudo;
- Cria shapes dos lotes com os dados cadastrais para cada ano da série.

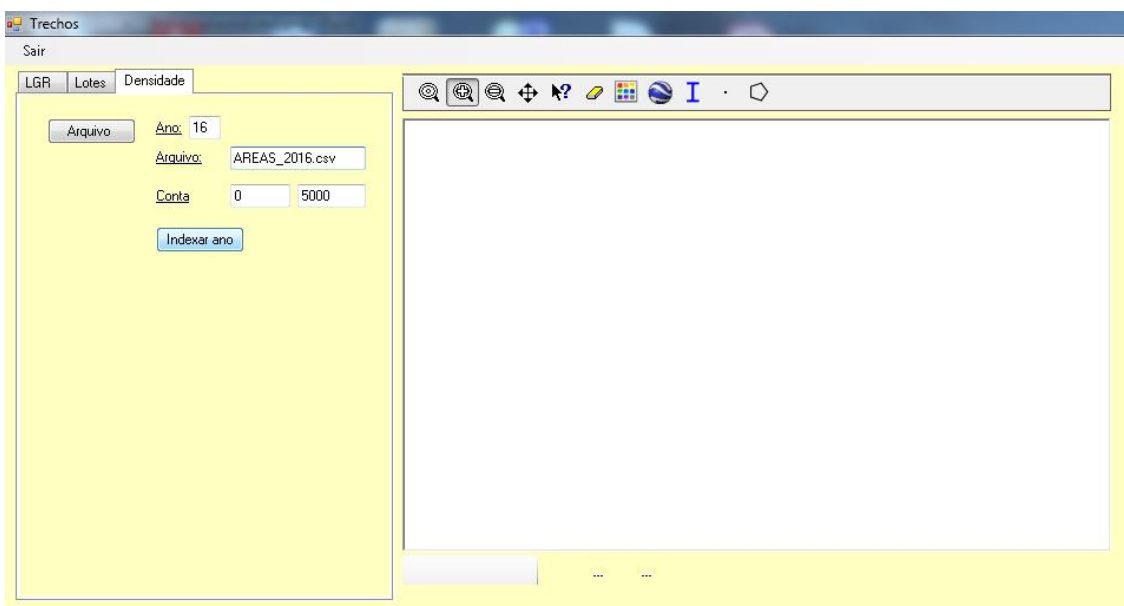
Figura 77 – Tela inicial da rotina no Programa C7 CDS.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

O passo inicial, apresentado na figura 78, consiste na seleção do ano a ser processado, neste caso 2016 cujo nome do banco de dados é 16, do arquivo que contém os dados cadastrais, AREAS_2016.csv, e do intervalo de lotes a serem processados e, então, clicar no botão “indexar ano” para iniciar o processamento.

Figura 78 – Seleção do ano a ser indexado.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Ao final do processamento, o programa exibe o aviso com o número de lotes que foram registrados e, então, verifica-se o Banco de Dados, no arquivo “urbano.mdb” do software Access, para conferir se os lotes foram indexados. A figura 79 mostra o início da tabela (primeiros lotes), enquanto a figura 80, apresenta os últimos lotes.

Figura 79 – Banco de dados do “ano16” e o início da tabela.

id	nrcadastro	lgr	trecho	area_lote	area_cons	ano	Clique para Adicionar
1	4217500	2102	291	180.09	146.76	16	
2	4217700	2102	291	362.61	222.89	16	
3	4217800	2102	291	398.86	21.78	16	
4	42162200	2102	291	543.84	524.8	16	
5	4218000	2102	291	231	117.23	16	
6	4218100	2102	291	320	187.23	16	
7	4218200	2102	291	372.73	61.44	16	
8	12404900	2102	291	575.23	239.41	16	
9	4218400	2102	291	300.88	118.95	16	
10	4218500	2102	291	271.87	162.96	16	
11	4218600	2102	291	429.45	84.51	16	
12	4218900	2102	291	760.47	139.6	16	
13	4219000	2102	168	765.62	158.52	16	
14	4219100	2102	168	611.09	97.92	16	
15	4219200	2102	168	508.22	172.12	16	
16	4219400	2102	168	844.75	225.42	16	
17	4219500	2102	168	345.15	223.73	16	
18	4219600	2102	168	1204	187.17	16	
19	8916000	2102	168	1129.25	292.54	16	
20	4220400	2102	168	507.24	210.58	16	
21	4220500	2102	168	647.23	144	16	
22	100	2101	619	3714.9	0	16	

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

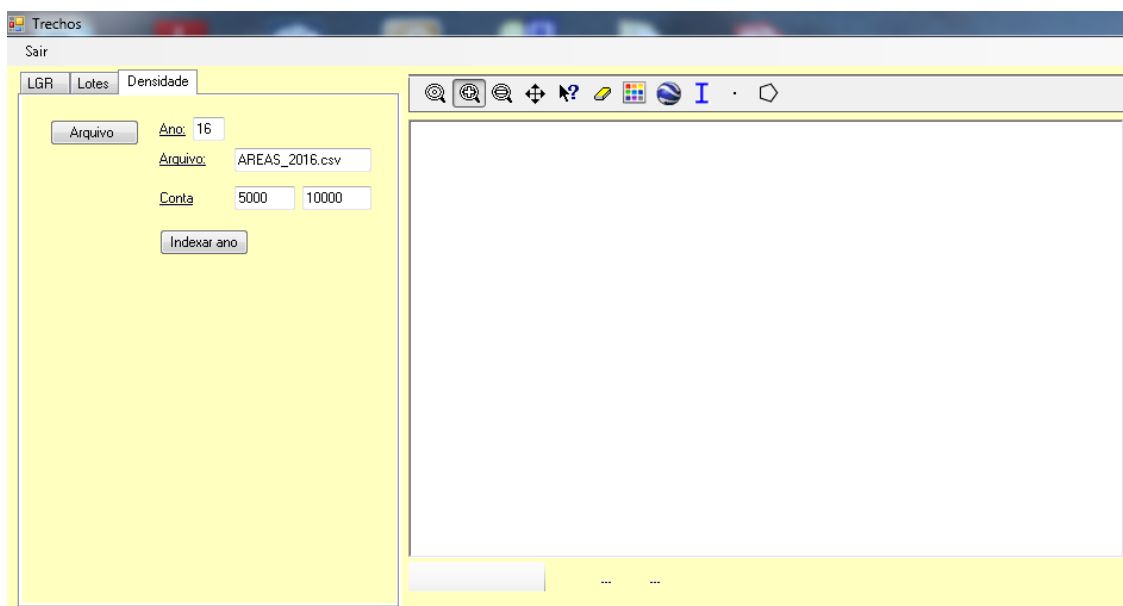
Figura 80 – Banco de dados “ano16” e os últimos lotes registrados.

id	nrcadastro	lgr	trecho	area_lote	area_cons	ano	Clique para Adicionar
4986	4938500	2699	331	513	54.89	16	
4987	4938600	2699	331	519	90.73	16	
4988	4938700	2699	331	525	121.7	16	
4989	4938800	2699	331	887.8	73.31	16	
4990	4938900	2699	331	924.06	58.1	16	
4991	4939000	2699	331	1018.64	103.04	16	
4992	4939100	2699	331	576	139.76	16	
4993	4939200	2699	331	576	49.5	16	
4994	4939300	2699	331	576	51.2	16	
4995	12308800	4361	187	1476	88.62	16	
4996	4939700	4361	187	552	75.6	16	
4997	4939800	4361	187	984	288.8	16	
4998	4939900	4361	187	984	67.2	16	
4999	4940000	4361	187	984	163.11	16	
5000	4940100	4361	187	556.44	149.21	16	
*	(Novo)	0	0	0	0	0	

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

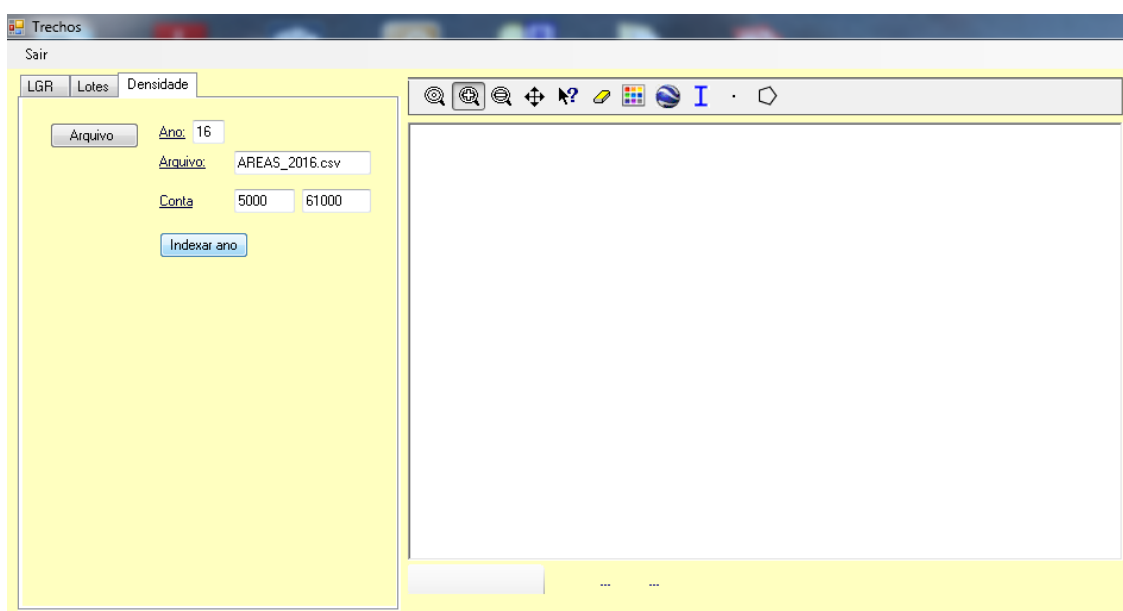
Na sequência, realiza-se a indexação dos demais lotes do arquivo. Como o programa está pré-definido para processar 5.000 lotes por vez (figura 81) redefine-se o intervalo para abarcar os 60.391 lotes integrantes do Cadastro Imobiliário em 2016, como mostra a figura 82, e então inicia-se a indexação.

Figura 81 – Predefinição de 5.000 lotes por processamento.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Figura 82 – Seleção dos demais lotes do ano 2016.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Após duas horas de processamento, o programa informa que os 60.931 lotes foram processados e registrados no Bando de Dados, ou seja, estão indexados aos respectivos trechos de logradouro.

Passa-se, então, a indexar os dados do próximo ano até completar todos os dados da série temporal.

A última ação desta rotina consiste na criação dos shapes dos lotes com os dados cadastrais para cada ano da série. Isto é realizado no programa C7CDS.

Tendo por base o shape Lote2017, que contém os dados cadastrais do ano 2017, limpa-se, no arquivo Lote1.DBF, os dados dos campos "AREA_LOTE" e "AREA_CONS" que contém a área do lote e a área construída de cada lote naquele ano.

Na sequência, os arquivos do shape Lote1 são replicados para cada ano, sendo denominados L1997, L1998, e assim por diante.

Então, os dados área do lote e a área construída de cada lote, provenientes da tabela "ano/97" do banco de dados são transferidos para o L1997.dbf.

Os lotes não existentes neste ano ficam com os referidos campos zerados, enquanto os arquivos vetoriais com os polígonos dos lotes mantêm todos os vetores do ano base 2017.

O número de lotes não indexados é muito grande em função das alterações nas informações cadastrais durante os vinte anos do estudo. Isto ocorre em funções dos parcelamentos, onde novos números cadastrais são gerados para os novos lotes criados, perdendo-se a possibilidade de rastrear historicamente a evolução dos lotes. Sendo assim não será possível utilizar estes shapes no estudo.

Para contornar esta situação, faz necessária a quinta etapa, onde, por recorte espacial, os polígonos de lotes que não pertencem a área parcelada até cada ano são retirados.

Quarta etapa: agregação dos dados

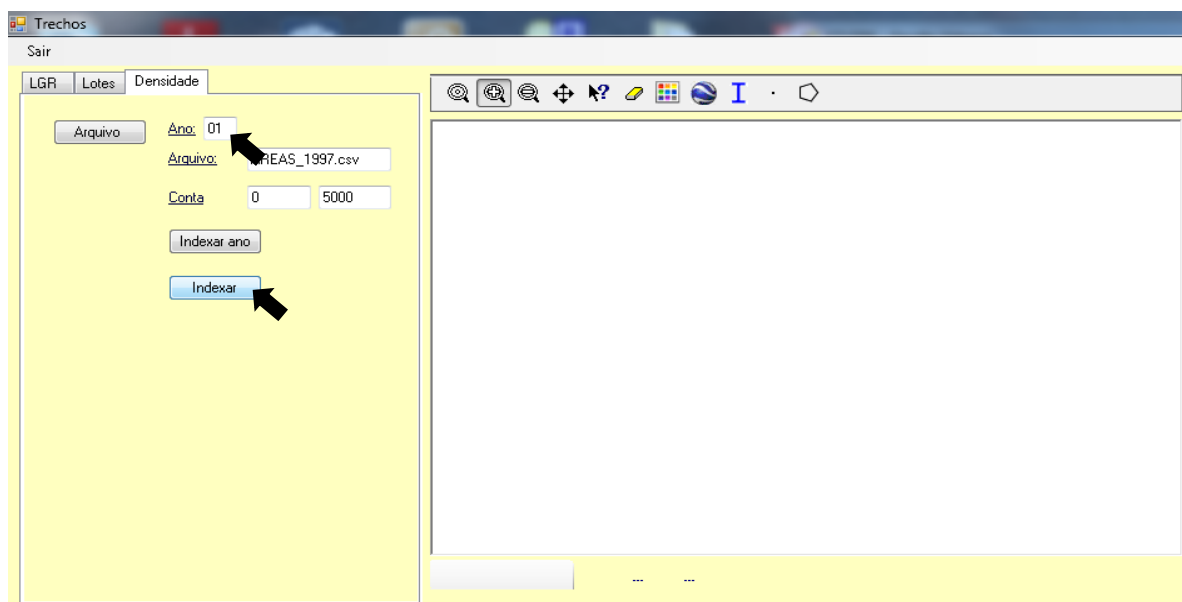
A etapa consiste em agregar os dados dos lotes aos trechos aos quais estes são adjacentes.

A rotina desenvolvida para este fim, tela inicial apresentada na figura 7, processa as seguintes ações:

- Agrega os dados dos lotes, constantes nos arquivos de banco de dados de lotes anuais, aos respectivos trechos. Faz isto por meio da soma das áreas de todos os lotes e das áreas construídas de todos os lotes adjacentes a cada trecho viário;
- Calcula a densidade em cada trecho, dividindo o total de área construída pelo total de área de lote;
- Armazena estes dados em arquivos/pastas de banco de dados de trechos para cada ano do estudo;
- Cria shapes dos trechos viários para cada ano agregando os dados calculados acima ao shape trecho.

O passo inicial, apresentado na figura 83, consiste na seleção do ano a ser processado e no click no botão “indexar” para iniciar o processamento. Neste caso selecionamos o ano 2001, ou 01, que equivale a tabela “ano01” do arquivo “urbano.mdb” do Banco de Dados que contém os dados cadastrais dos lotes no respectivo ano. Os dados dos lotes, indexados aos trechos, serão armazenados na tabela “trecho01” do arquivo “urbano.mdb”.

Figura 83 – Tela inicial da rotina no Programa C7 CDS.

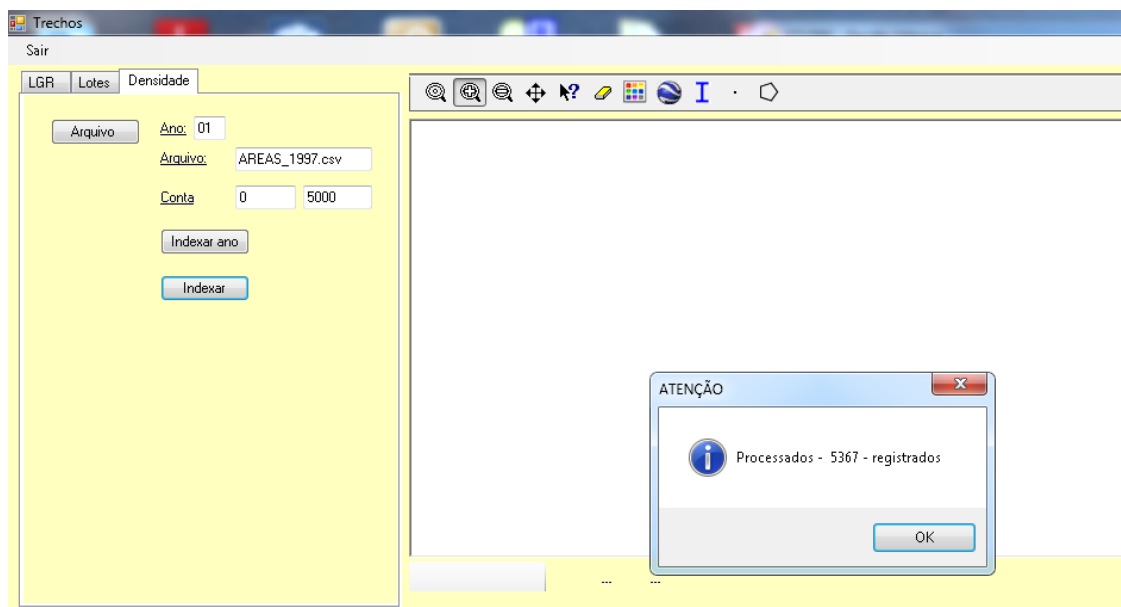


Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Ao final do processamento (figura 84) o programa exibe o aviso com o número de trechos que foram registrados e, então, verifica-se no arquivo “urbano.mdb” do

Banco de Dados, no software Access, para conferir, na tabela “trecho01”, se os trechos foram corretamente indexados.

Figura 84 – Aviso do número de trechos processados e registrados.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

A figura 85 mostra o início da planilha (primeiros trechos), enquanto a figura 86, apresenta os últimos 5.367 trechos.

Figura 85 – Banco de Dados “trecho01” e o início da planilha.

The image shows a screenshot of the Microsoft Access application. The main window is titled 'Microsoft Access' and has a menu bar with 'ARQUIVO', 'PÁGINA INICIAL', 'CRIAR', 'DADOS EXTERNOS', 'FERRAMENTAS DE BANCO DE DADOS', 'CAMPOS', and 'TABELA'. Below the menu bar, there are several toolbars: 'Modo de Exibição', 'Área de Transferência', 'FERRAMENTAS DE TABELA', 'FERRAMENTAS DE BANCO DE DADOS', 'CAMPOS', and 'TABELA'. A yellow warning bar at the top reads 'AVISO DE SEGURANÇA: Parte do conteúdo abaixo foi desabilitada. Clique para obter mais detalhes.' Below the warning bar, there is a list of tables on the left, with 'trecho01' selected. The main window displays a datasheet view of the 'trecho01' table. The table has the following columns: 'id', 'trecho', 'lgr', 'n_lotes', 'n_lotes_cor', 'area_lotes', 'area_cons', 'densidade', and 'Clique para Adicionar'. The data is as follows:

id	trecho	lgr	n_lotes	n_lotes_cor	area_lotes	area_cons	densidade	Clique para Adicionar
1	139	1	13	12	5250.05	3803.74	0.7245	
2	241	1	13	9	4751.15	840.3	0.1769	
3	354	1	9	9	4283.34	2049.79	0.4785	
4	464	1	8	6	4986.47	2762.83	0.5541	
5	544	1	6	5	2724.85	858.65	0.3151	
6	657	1	10	10	5290.98	6072.73	1.1478	
7	706	1	1	1	8545.12	3450.05	0.4082	
8	919	1	12	12	39932.25	9845.42	0.2472	
9	1235	1	34	31	24995.16	14178.45	0.5672	
10	1432	1	27	27	12616.71	11859.39	0.94	
11	1516	1	4	3	1041.35	771.35	0.7407	
12	1608	1	1	1	190.9	91.94	0.4816	
13	125	2	3	3	1564.75	1849.34	1.1819	
14	261	2	7	7	3090.05	2084.82	0.6747	
15	276	2	5	5	2832.92	936.63	0.3306	
16	486	2	17	17	15673.25	9075.051	0.5791	
17	555	2	8	7	4620.72	1059.21	0.2292	
18	669	2	9	9	3651.05	1916.92	0.525	
19	1351	2	3	3	1481.1	310.06	0.2093	
20	95	3	8	7	1620.27	2341.46	1.4451	

The status bar at the bottom shows 'Registro: 1 de 5367' and 'Pesquisar'.

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Figura 86 – Banco de Dados “trecho01” e os últimos trechos registrados.

id	trecho	lgr	n_lotes	n_lotes_cor	area_lotes	area_cons	densidade	Clique para Adicionar
5353	161	9640	25	12	8872.5	1287.48	0.1451	
5354	110	9703	2	2	298.17	244.89	0.8213	
5355	64	9707	6	3	19505.17	1639.77	0.0841	
5356	157	9707	1	1	1400	304.06	0.2172	
5357	115	9728	1	1	298.5	106.45	0.3566	
5358	669	9734	9	2	4084.01	16051.66	3.9304	
5359	818	9734	9	3	1989.51	73.95	0.0372	
5360	243	9754	1	0	750	0	0	
5361	427	9767	3	0	2410.8	0	0	
5362	540	9787	3	3	877.14	404.12	0.4607	
5363	614	9787	5	4	1621.04	888.29	0.548	
5364	159	9795	1	0	172.4	0	0	
5365	121	9804	1	1	250	57.5	0.23	
5366	165	9859	1	0	3710	0	0	
5367	828	9863	1	1	326.34	195.82	0.6	
*	(Novo)	0	0	0	0	0	0	

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Passa-se, então, a indexar os dados do próximo ano até completar todos os dados da série temporal, como mostra a figura 87.

Figura 87 – Seleção do próximo ano.

The screenshot shows a software window titled "Trechos" with a sub-window titled "Sair". The "Sair" window has three tabs: "LGR", "Lotes", and "Densidade". The "Lotes" tab is active. Inside the "Sair" window, there is a form with the following elements:

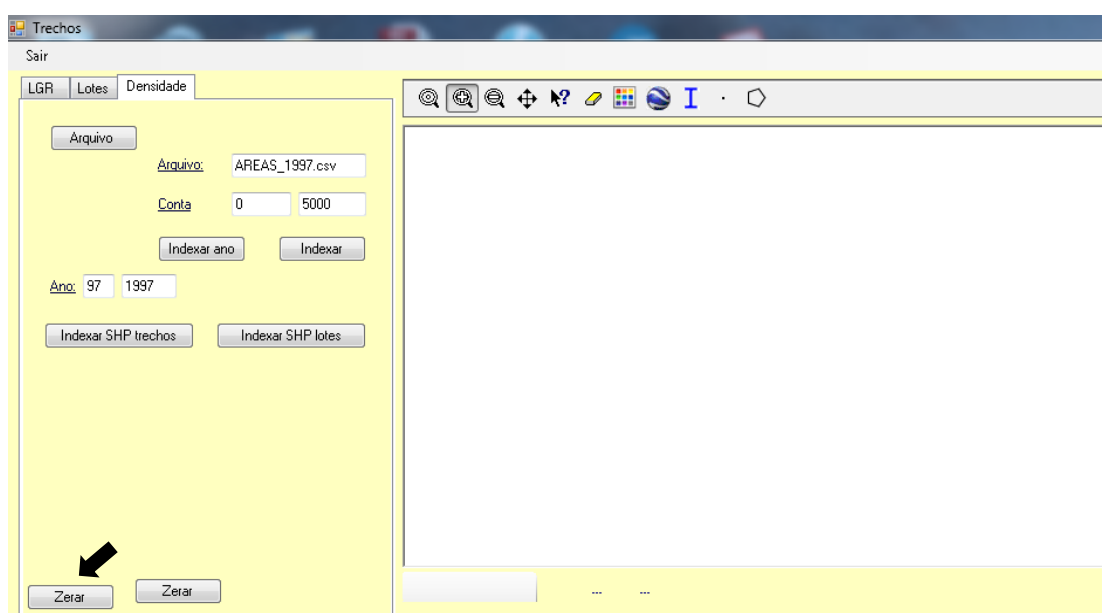
- A button labeled "Arquivo".
- A text field labeled "Ano" containing the value "02".
- A text field labeled "Arquivo:" containing the value "PREAS_1997.csv".
- Two text fields labeled "Conta" containing the values "0" and "5000".
- A button labeled "Indexar ano".
- A button labeled "Indexar".

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Assim como na terceira etapa, a última ação desta, consiste na criação dos shapes dos trechos com os dados cadastrais anuais dos lotes agregados aos trechos. Esta ação é, também, realizada no programa C7CDS.

Tendo por base o shape Trecho2017, que contém os dados cadastrais do ano 2017, limpa-se, no arquivo Trecho1.DBF, os dados dos campos “AREA_LOTE”, “AREA_CONS” e “DENSIDADE” que contém as áreas de lote e construída e a densidade de cada trecho naquele ano, conforme mostra a figura 88.

Figura 88 – Limpeza dos campos.

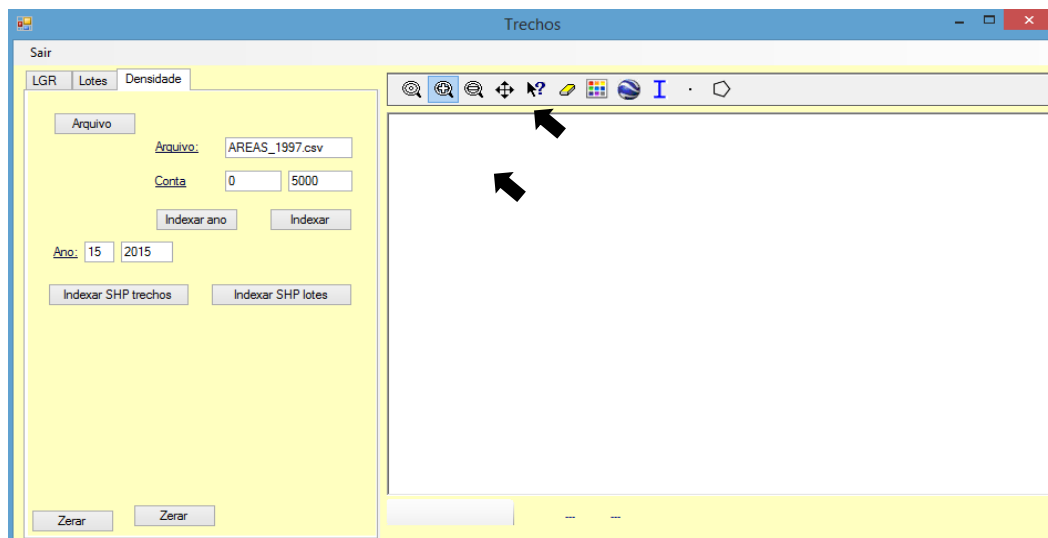


Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Na sequência, os arquivos do shape Trecho1 são replicados para cada ano, sendo denominados t1997, t1998, e assim por diante.

Seleciona-se o ano a ser indexado, 2015 no caso da figura 89, e pressiona-se o botão “indexar trechos”. Com isso, os dados área do lote e a área construída dos lotes adjacentes a cada trecho, provenientes do arquivo do banco de dado “trecho15”, são somados e transferidos para o respectivo trecho no arquivo t2015.dbf. Simultaneamente, com o somatório das áreas, a rotina calcula a densidade

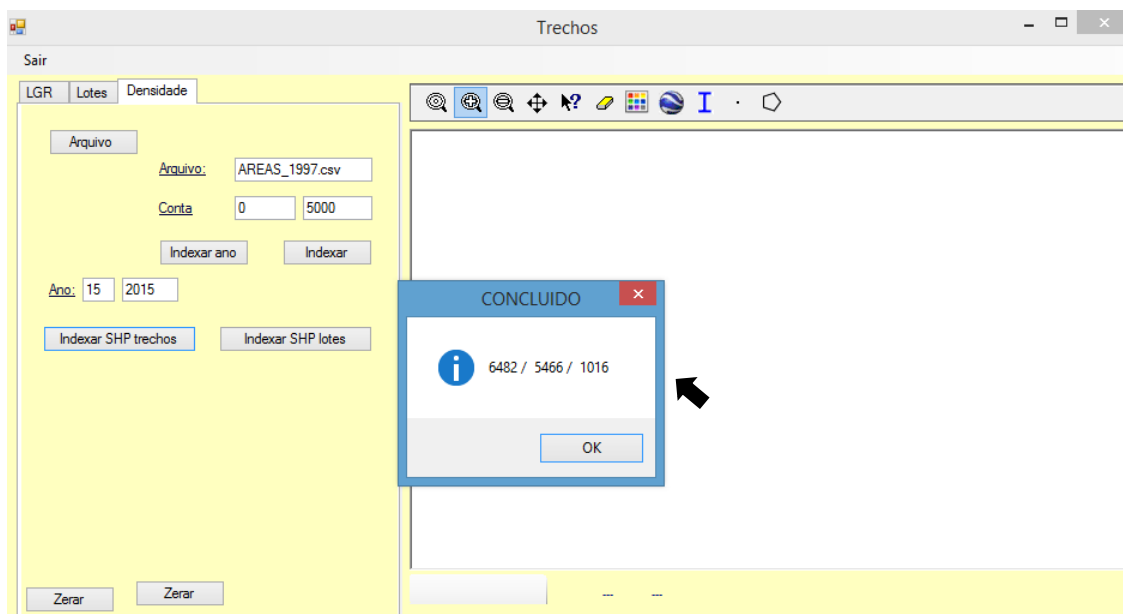
Figura 89 – Indexação do shape do ano 2015.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Ao concluir o processamento de indexação dos dados dos trechos ao shape, o programa exibe o aviso de concluído, informando os números de trechos do arquivo de entrada, de trechos indexados e os não indexados, como apresenta a figura 90. Esta verificação mostrou que entre 12,0% e 15,6% dos trechos não foram indexados aos shapes durante os vinte anos da série de estudo.

Figura 90 – Conclusão da indexação do shape do ano 2015.



Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

Assim como acontece com os lotes, os trechos não existentes em cada ano ficam com os campos zerados no arquivo .dbf, enquanto os arquivos vetoriais com as linhas e poli linhas dos trechos mantém todos os vetores do ano base 2017.

Em função disto, faz-se necessária a quinta etapa, onde as linhas e poli linhas que correspondem aos trechos inexistentes no ano em questão são retiradas.

Quinta etapa: recorte espacial

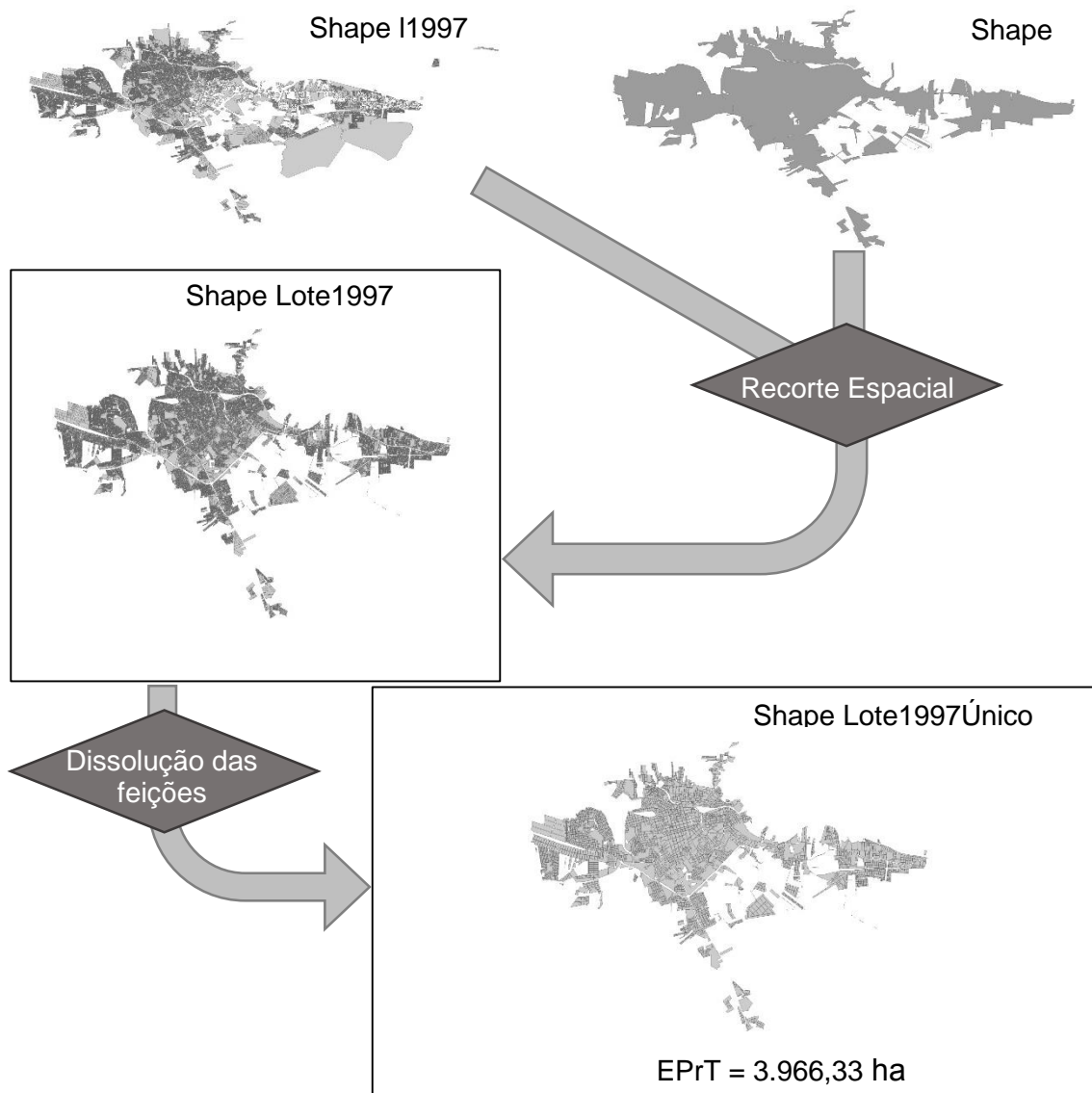
Obtidos os arquivos de Banco de Dados dos lotes e dos trechos e os shapes dos lotes e dos trechos para cada ano da série, procede-se a verificação da sua consistência. Constata-se, então, que os shapes ainda não estão prontos para serem utilizados.

Recorte Espacial do Espaço Privado

Os shapes dos lotes, além de terem sido gerados com os polígonos de todos os lotes do ano base 2017, tiveram por base arquivos extraídos do Cadastro Imobiliário de duas formas diferentes: enquanto os dos anos iniciais, de 1997 a 2011, foram extraídos de backups anuais, os de 2012 a 2017 foram retirados da base de 2017. Com isso, eles contêm as áreas construídas relativas a cada ano, mas os lotes e suas áreas relativos a 2017. Para solucionar o problema, vamos compará-los com os shapes do parcelamento do solo em cada ano e extrair, por meio da ferramenta “clip“, os polígonos dos lotes que não pertencem a parcelamentos aprovados até o respectivo ano.

O recorte espacial realizado para o shape dos lotes, em cada ano da série, é apresentado na figura 91, e ilustra o ano de 1997.

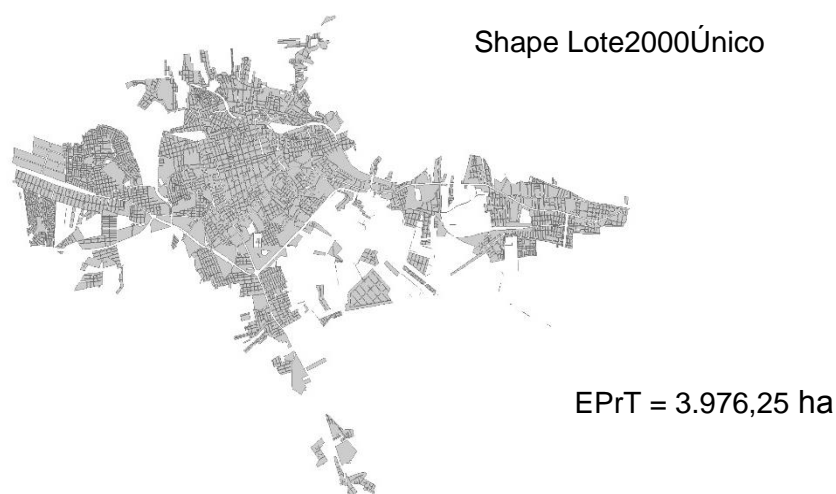
Figura 91 – Recorte Espacial do Espaço Privado em 1997.



Fonte: Elaboração do autor (2017).

A figura 92, por sua vez, apresenta o shape resultante do recorte espacial e o somatório das áreas de lotes para o ano 2000.

Figura 92– Recorte Espacial do Espaço Privado em 2000.



Fonte: Elaboração do autor (2017).

Recorte Espacial do Espaço Público

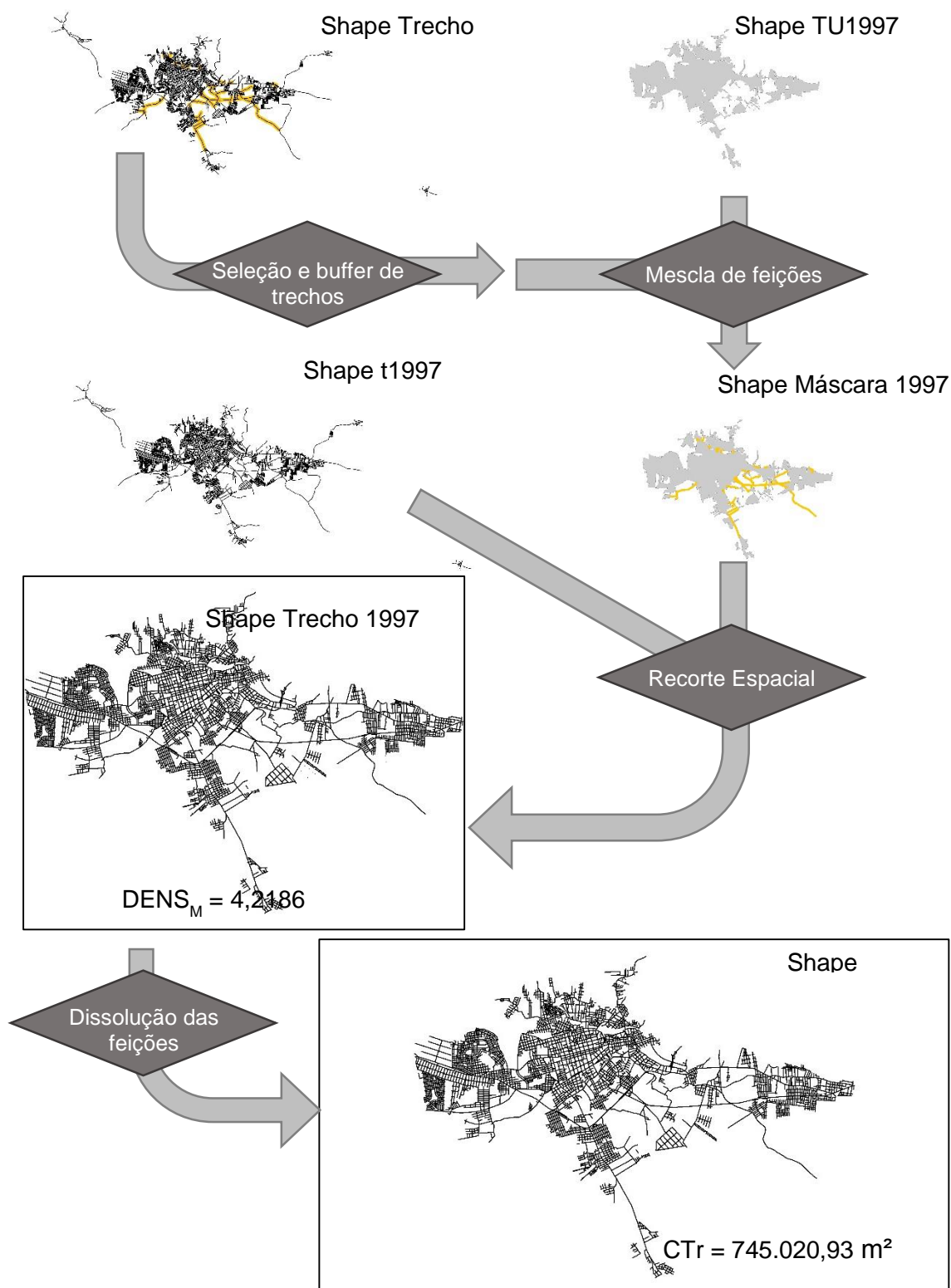
Situação análoga ocorre com os shapes dos trechos de cada ano, embora cada um contenha os dados textuais do respectivo ano, todos eles possuem todos os trechos (vetores) do ano 2017. A solução, igualmente aos lotes, passa pela retirada dos trechos que não estão contidos nos parcelamentos existentes até cada ano, também com a utilização da ferramenta “clip”.

Neste caso, ao elaborarmos os recortes, verificamos que vários trechos junto aos vazios urbanos, são indevidamente retirados. A solução passa pela elaboração de máscaras para cada ano.

Para tanto, cria-se um shape com os trechos localizados nos vazios urbanos e elabora-se um outro shape com buffer dos trechos. Este shape é mesclado, com a ferramenta “merge”, ao shape dos parcelamentos existentes em cada ano, originando os shapes máscaras do TU para cada ano.

O recorte espacial realizado para o shape dos trechos, em cada ano da série, é apresentado na figura 93, e ilustra o ano de 1997.

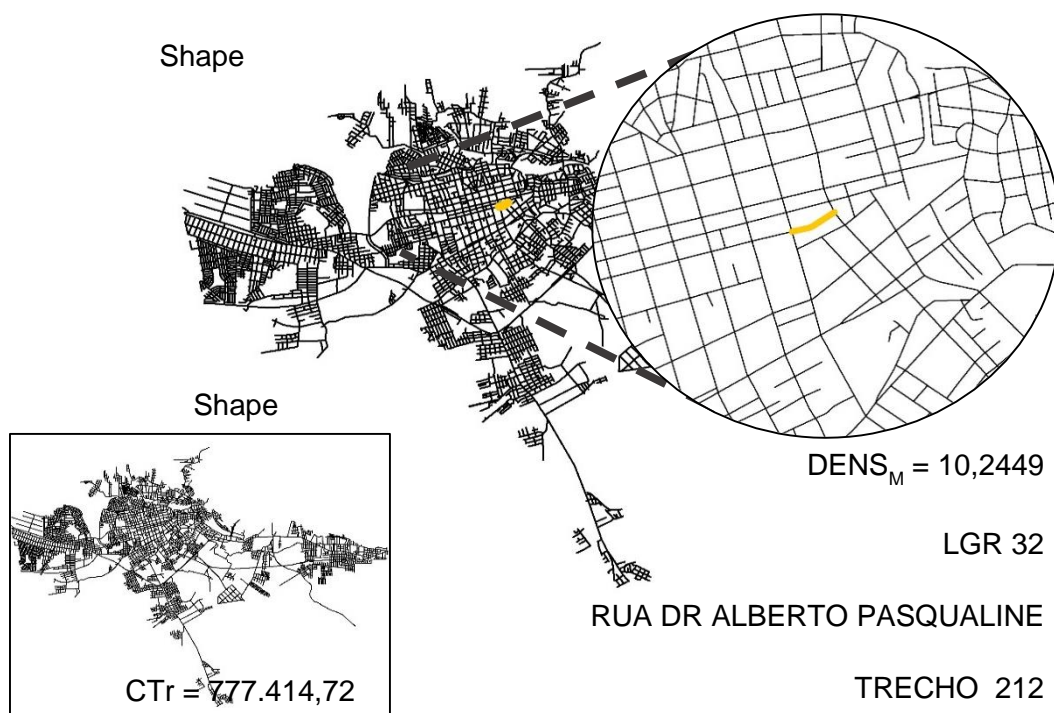
Figura 93 – Recorte Espacial do Espaço Público em 1997.



Fonte: Elaboração do autor (2017).

A figura 94, por sua vez, ilustra os shapes resultantes do recorte espacial para o ano de 2012, destacando o trecho de via com maior densidade e o seu valor.

Figura 94 – Recorte Espacial do Espaço Público em 2012.



Fonte: Elaboração do autor (2017).

Assim, com as duas etapas de recorte espacial, o Banco de Dados do sistema Urbano Santa Maria fica completo, sendo constituído dos shapes:

- “Tecido Urbano” para cada ano do recorte temporal, com a área de tecido urbano acumulada até o referido ano e os parcelamentos aprovados no mesmo;
- “Lote” para cada ano, com os lotes, área construída e área da lote em cada ano;
- “Trecho” para cada ano, com os trechos de via, o somatório das áreas construídas e áreas de lote adjacentes a cada trecho e as respectivas **densidades**.

Por sua vez, as medidas de **centralidade** são calculadas para cada um dos trecho de via em cada um dos anos entre 1997 e 2016, no software “Medidas Urbanas” 1.50.

APÊNDICE B – RELAÇÃO COMPLETA DOS INDICADORES TAM_{PARC} E TEMP_{PARC}.

A tabela 18 apresenta todas as mediadas TAM_{PARC} e TEMP_{PARC}.

Tabela 18 – Medidas TAM_{PARC} e TEMP_{PARC}.

(continua)			
Nome do parcelamento	data	TAM _{PARC} (ha)	TEMP _{PARC} (meses)
Vila Leste	jun/16	28.16	136
Vila Independência	nov/27	2.87	1
Vila Artur Tietze	jan/28	1.98	0
Vila Tombezi	fev/28	4.17	0
V Jose Carlos Krueel - Celina K. Moraes	mar/28	1.37	0
Vila São Joao Batista	abr/28	18.39	0
Vila Oficina Ramos	mai/28	4.14	0
Vila Ponte Seca	jun/28	10.19	2
Vila Oswaldo Beck	set/28	9.59	0
Vila Felipe Neri Menna Barreto -V Miloca-V Picucho	set/28	4.73	0
Honório Magno	jun/31	1.78	71
Vila Sinhá	jun/37	6.65	10
Vila Menna Barreto	abr/38	19.3	1
Vila Major Duarte	jun/38	12.07	22
Jose Azenha	mai/40	2.69	0
Vila Carolina	jun/40	21.13	7
Itararé 1	fev/41	3.48	27
Vila Palmares	jun/43	7.13	23
Vila Medianeira	jun/45	29.98	13
Vila Popular	ago/46	10.9	62
Vila Mariante	nov/51	1.29	0
Vila Mariante - parte Vila Nova	dez/51	1.65	0
Vila Prado	jan/52	36.5	0
Vila Schimidt	fev/52	6.2	8
Vila Guarani	nov/52	12.79	0
Vila Cauduro	nov/52	26.32	0
Vila Alegria ou Lindolfo C Santos	dez/52	6.88	1
Rodolfo Schmitt	fev/53	0.53	3
Vila Tropical-Agostinho Aita	jun/53	18.92	1
Vila São Luiz	ago/53	4.3	2
Vila São Joao	nov/53	20.64	0
Vila Formosa	dez/53	9.59	5
Ana P Londero	jun/54	7.04	0
Vila Jockey Club	jun/54	5.06	0
Vila Assunção	jul/54	27.75	0
Vila Imembui	ago/54	3.94	1

(continuação)

Nome do parcelamento	data	TAM_{PARC} (ha)	TEMP_{PARC} (meses)
Vila Norte	dez/54	12.53	8
Vila Noal	set/55	4.59	2
Vila Quitandinha	dez/55	7.69	3
Balneário das Pedras Brancas	abr/56	2.01	0
Vila Negrine	mai/56	8.56	0
Vila Roemer	jun/56	8.88	1
Vila Rigão	ago/56	6.24	1
Vila Severo	out/56	20.08	0
Vila Santa Rita	nov/56	4.37	0
Vila Imembui (ampliação)	nov/56	2.16	0
Moacir e Ernani Schirmer	dez/56	4.23	0
Vila Vitoria	dez/56	6.58	0
Vila Militar	jan/57	9.43	0
Loteamento Getúlio Vargas	fev/57	1.35	0
Vila Santa Rita de Cassia -Jacarea Canga	fev/57	7.45	0
Vila Bela Vista	mar/57	7.22	0
Vila São Jose	abr/57	6.87	0
Vila Militar -Francisco Teitelroit	mai/57	11.27	0
Honório Magno	jun/57	4.28	0
Vila Nacional - Antiga Marechal Mallet	jul/57	4.29	0
Pasta Felipe J Borges	ago/57	1.11	1
Vila Rossi	out/57	19.99	2
Vila Rohde	jan/58	3.33	0
Vila Passo da Areia-Vila Rohde	fev/58	3.11	0
Vila Nova/Ewaldo Schirmer	mar/58	6.59	0
Vila São Luiz (amplia	abr/58	1.75	2
Vila Neumayer-Marcelino Neumayer	jul/58	4.96	0
Vila Urlândia	jul/58	77.81	0
Crispim Pereira	jul/58	0.41	0
Vila Thereza	ago/58	26.31	0
Roberto Holtermann/ Vila Holtermann	set/58	9.67	0
Vila São Pedro	out/58	8.08	0
Vila Anacleto Correa (divisão/ alteração lot.)	out/58	0.55	1
Vila Tomaz	dez/58	39.24	3
Vila Kozoroski	abr/59	7.66	1
Parque Residencial Padre Caetano	jun/59	21.83	6
Leôncio Martins da Silva	jan/60	3.52	0
Vila Brenner	jan/60	12.5	1
Vila Mariante-Felipe-Evaldo Schirmer	mar/60	1.69	9
Vila Lameira	jan/61	6.89	4
Parque Sarandi	jun/61	15.44	3
Vila Almeida	out/61	6.85	3
Vila Ana Maria	fev/62	5.65	0
Aristides Lobo e Ernesto Beck	fev/62	4.53	3

(continuação)

Nome do parcelamento	data	TAM_{PARC} (ha)	TEMP_{PARC} (meses)
Vila Cerrito	jun/62	16.18	0
Vila Zulmira	jul/62	3.93	0
Sr. Leonel Grings	ago/62	1.35	0
Vila Schirmer- planta divisão de lotes	set/62	1.25	1
Vila Celso Teixeira	nov/62	3.65	6
Vila Menino Deus	jun/63	9.85	0
Vila Menino Deus	jul/63	5.52	3
Vila Favarin	nov/63	7.96	6
Vila Santa Helena	jun/64	6.81	2
Vila Jane	set/64	2.9	8
Vila Valdemar Rodrigues	jun/65	4.66	4
Vila Elvanger	nov/65	4.93	6
Vila Vitorio Rossato	jun/66	6.59	5
Vila Bilibio	dez/66	17.03	12
Vila Dr. Wauthier	nov/67	23.03	1
Vila Rolim	jan/68	11.7	6
Vila Fredolina -parte Vila Schirmer	ago/68	3.26	0
Vila Santa Catarina	set/68	22.66	6
Conj. Resid Joao G Rolin-COHOSAN	abr/69	2.93	8
Vila Bela União	jan/70	19.65	2
Vila Renascença	abr/70	5.32	3
Vila Brasília	ago/70	6.62	3
Vila Operaria -antiga Brilmann	dez/70	3.42	12
Vila Nossa Senhora da Conceição	jan/72	3.07	2
Vila Lorenzi	abr/72	13.69	2
Irmãos Pisani	jul/72	1.25	2
Vila Maringá	out/72	22.38	2
Zona Norte-Nossa S. Trabalho/ Vila Matadouro	jan/73	12.72	2
Vila do Carmo	abr/73	17.31	5
Lady Kurtz de Oliveira- Parque Centenário	out/73	1.6	1
Rizzato Irmãos	dez/73	1.59	6
Núcleo Nossa Senhora de Lourdes	jul/74	24.14	0
Parque Residencial Camobi	ago/74	3.22	2
Parque Residencial Camobi	nov/74	3.13	0
Parque Residencial Camobi	jan/75	4.17	0
Vila Bazegio	jan/75	5.28	0
Vila Soares do Canto- Ant. Lot Grazziotin	fev/75	7.14	0
Montanha Russa	fev/75	1.42	0
Grazziotin - Soares do Canto	fev/75	2.08	0
Vila Jordânia	mar/75	21.27	0
Cerrito II	abr/75	13.35	0
Vila Farroupilha	mai/75	20.04	2
Parque Residencial Camobi	ago/75	1.7	0

(continuação)

Nome do parcelamento	data	TAM_{PARC} (ha)	TEMP_{PARC} (meses)
Vila Goiânia	set/75	9.65	0
Parque Residencial Duque de Caxias	set/75	4.59	0
Irmãos Link LTDA	set/75	14.92	2
Parque Residencial Camobi	dez/75	1.74	0
Vila Lameira (prolongamento)	jan/76	3.81	0
Vila Lameira (prolongamento)	jan/76	0.43	0
Vila Santos Dumont	fev/76	23.41	0
COHAB Santa Marta	mar/76	41.61	0
Parque Residencial Universitário	abr/76	7.62	0
Parque Residencial Pinheiro Machado	mai/76	149.39	0
Vila Moreira	jun/76	3.98	0
Núcleo Nossa Senhora de Lourdes (continua	jul/76	3.83	0
Vila Bom Jesus	ago/76	5.75	0
Parque Residencial N Sra. da Saúde	ago/76	8.13	0
Vila Rolim	ago/76	1.66	1
Parque Residencial Dom Antônio Reis	nov/76	52.66	0
Vila Nonoay	dez/76	13.63	0
Vila Imembui	jan/77	2.42	0
Vila Selmer	fev/77	17.25	0
Vila Martelet	mar/77	5.5	0
Vila Tonetto	abr/77	12.6	0
Vila Santos 2	mai/77	7.53	0
Noêmio Lemos	jun/77	1	0
Vila Querência	jul/77	5.58	0
Vila São Martin	ago/77	7.44	0
Vila Santo Antônio	set/77	2.01	0
Vila São Jorge	out/77	4.31	0
Vila Salgado Filho	nov/77	15.48	0
Vila Sargento Dorneles	nov/77	20.01	0
Vila Santos (continuai o)	dez/77	11.37	0
Vila Rossato	dez/77	4.52	0
Vila Kennedy-COHAB	dez/77	12.55	0
Vila Figueira	dez/77	12.91	0
Vila Astrogildo de Azevedo	jan/78	4.8	0
Vila Astrogildo de Azevedo	jan/78	0.91	0
Vila das Flores ou Chácara das Flores	jan/78	8.08	0
Vila Dona Ana ou Sant Anna	jan/78	4.58	0
Jose V.C. Moraes	fev/78	1.34	0
Parque Residencial Camobi	mar/78	1.14	0
Vila Caramelo	abr/78	46.44	0
Vila Belém	mai/78	1	0
Vila Antônio Correa	jun/78	1.5	0
Vila Cassel	jul/78	8.15	0
Vila Joao Manoel Machado Ferreira	ago/78	3.06	0

(continuação)

Nome do parcelamento	data	TAM_{PARC} (ha)	TEMP_{PARC} (meses)
Condomínio Vila Verde	set/78	6.45	0
Vila Noal (prolongamento)	out/78	9.25	0
Vila Mariante	nov/78	1.63	0
Vila Jockey Club	dez/78	26.31	0
Valdemar Roveda	jan/79	0.98	0
Parque Res Duque de Caxias- parte 2	fev/79	7.03	0
Jardim Berleze	mar/79	93.18	2
Residencial São Carlos	jun/79	22.44	12
Fiori D Itália	mai/80	4.67	2
Panorama Parque Residencial	ago/80	3.8	0
COHAB Tancredo Neves	set/80	103.95	3
Res. Adolfo Behr	jan/81	32.12	8
Jardim Lindoia	out/81	6.36	0
Proj Lotes Urbanos	nov/81	1.74	1
Vila Presidente Vargas	jan/82	24.39	4
Vila Santa Terezinha	jun/82	7.29	5
Vila Figueira ou Pé-de-plátano	dez/82	6.52	5
Parque Residencial São Carlos	jun/83	4.69	0
Noé Tavares	jul/83	1.78	5
Subestação CEEE	jan/84	2.4	4
Felipe de Oliveira	jun/84	6.24	5
Itararé	dez/84	3.94	5
Parque do Sol	jun/85	12.74	2
Vila Pércio Reis II	set/85	7.85	0
COHAB Fernando Ferrari	set/85	27.96	2
Irmão Leão	dez/85	2.8	0
Vila Jardim	jan/86	2.81	1
Estação Colônia	mar/86	12.63	2
Vila São Rafael	jun/86	6.29	4
Carlos Gomes	nov/86	2.66	6
Antiga Linha velha - Erradicação subhabitacoes	jun/87	6.3	0
Cidade Jardim	jul/87	7.91	12
Fernando Friedrich	mar/88	1.69	5
Parque Residencial Santa Lucia I	set/88	10.04	4
Parque Residencial Santa Lucia II	fev/90	3.65	3
Parque Alto da Colina	jun/90	16.98	2
Parque Residencial Amaral	set/90	18.32	7
Residencial Lopes I e II	mai/91	33.93	0
Bela Vista	jun/91	13.58	2
Parque Residencial Novo Horizonte	set/91	32.51	0
Condomínio Res. Novo Horizonte	out/91	2.16	0
Parque Residencial Monte Carlo	nov/91	3.95	1
COHAB Santa Marta/Alto da Boa Vista	jan/92	34.71	3

(continuação)

Nome do parcelamento	data	TAM_{PARC} (ha)	TEMP_{PARC} (meses)
Condomínio Fechado Horizontal Morada do Lago	mai/92	11.62	5
Parque Residencial Novo Horizonte II	nov/92	19.09	7
Vila Panteão	jul/93	2.76	4
Parque Residencial Camobi	dez/93	2.38	0
Casas tipo popular Vila Lídia	jan/94	7.79	0
Vila Arco-íris	jan/94	14.21	0
Parque Residencial Santa Lucia III	jan/94	16.77	8
Vila Almeida	out/94	10.36	3
Núcleo Hab. Diácono Joao Pozzobon	fev/95	11.55	6
Vila Neumayer	set/95	14.38	1
Chácara das Rosas	nov/95	2.89	8
Parque Residencial Jardim Tamandai	ago/96	2.7	0
Desmembramento junto Vila Cauduro	set/96	6.43	29
Áreas Junto ao Monumento ao Ferroviário	mar/99	2.53	2
Condomínio Fechado Della Valle	jun/99	0.87	2
Residencial Arco Verde Pinheiro Machado	set/99	7.34	8
Villa Madre Paulina	jun/00	5.27	13
Sem nome	set/01	2.19	9
Sem nome	jul/02	4.13	3
Sociedade de Medicina de Santa Maria	nov/02	13.61	1
Núcleo Hab Paroquia das Dores	jan/03	14.51	4
Greenwood Village	jun/03	5.11	3
Conjunto Res Luís Bavaresco	out/03	0.64	7
Vila São Serafim - no proj Res Bela Vista	jun/04	9.89	4
PAR Noel Guarany	nov/04	1.15	5
Parque Ouro Verde	mai/05	12.65	7
Morada do Parque I e II	jan/06	2.52	2
Montes Verdes	abr/06	1.02	4
Condomínio Residencial Medianeira	set/06	0.88	8
N	jun/07	31.97	0
Km2	jul/07	22.7	0
Km3	ago/07	19.27	4
Monte Belo I	jan/08	4.1	10
Terra Nova	dez/08	39.71	6
Monte Belo II	jul/09	3.78	4
Residencial Multifamiliar Videiras	dez/09	1.99	4
Zilda Arns	mai/10	15.91	0
Residencial Brenner	jun/10	15.97	0
Residencial Novara	jun/10	0.71	3
Condomínio Residencial Aruba	out/10	4	2
Monte Belo III	jan/11	6.4	0
Santa Julia	jan/11	4.82	9
Parque das Oliveiras	nov/11	13.12	0

(conclusão)

Nome do parcelamento	data	TAM_{PARC} (ha)	TEMP_{PARC} (meses)
Bauhaus Residencial	nov/11	11.32	0
Providence Clube Eco residencial	dez/11	2.9	0
Condomínio de casas em lote urbano existente	jan/12	0.15	3
Residencial Dom Ivo Lorscheiter	mai/12	20.28	2
Conjunto Multifamiliar Residencial Oliveiras	ago/12	0.37	1
Condomínio de casas em lote urbano existente	out/12	0.03	0
Quinta da Figueira	out/12	13.81	0
Condomínio Alexandria	out/12	19.27	0
Terras de Santorini	nov/12	11.5	0
Condomínio Uma Grande Família	dez/12	1.32	0
Cond. de casas em lote urbano existente (Santo Antônio)	jan/13	0.15	2
Residencial Leonel Brizola	abr/13	12.95	2
Residencial Galápagos	jul/13	23.65	0
Cidade Universitária EcoVillage	jul/13	30.77	0
Residencial Real Park Santa Maria	ago/13	24.96	0
Parque Itália	ago/13	5.24	4
Condomínio Viareggio	jan/14	10.06	0
Loteamento Capri	jan/14	2.84	0
Loteamento Alberto Schons	jan/14	27.62	0
Loteamento Popular (Construtora Rapa)	fev/14	2.97	3
Loteamento Verdes Pampas	jun/14	15.67	20
Loteamento da Construtora Lote	mar/16	43.89	2
Loteamento de Eugenio Brutti	jun/16	2.33	5
Providence Village	dez/16	1.46	-

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2017).

APÊNDICE C – RELAÇÃO DAS MEDIDAS $DENS_{MED}$ E $CENT_{MED}$ COM FREQUÊNCIA MENSAL.

A tabela 19 apresenta as medidas PARC (em cinza), $DENS_{MED}$ e $CENT_{MED}$, com frequência mensal, e a identificação dos respectivos PC- $DENS_{MED}$ e PC- $CENT_{MED}$ (negrito) e $DENS_{MEDpósPC}$ e $CENT_{MEDpósPC}$ (sublinhado).

Tabela 19 – Medidas $DENS_{MED}$ e $CENT_{MED}$, com frequência mensal, e indicadores de PC.

(continua)			
Data	Parcelamentos (ha)	$DENS_{MED}$	$CENT_{MED}$
jan/97	0	0.118783	3.870.83
fev/97	0	0.119238	3.884.84
mar/97	0	0.119692	3.898.85
abr/97	0	0.120146	3.912.85
mai/97	0	0.120600	3.926.86
jun/97	0	0.121055	3.940.87
jul/97	0	0.121509	3.954.88
ago/97	0	0.121963	3.968.88
set/97	0	0.122417	3.982.89
out/97	0	0.122872	3.996.90
nov/97	0	0.123326	4.010.91
dez/97	0	0.123780	4.024.92
jan/98	0	0.123946	316.183.734.69
fev/98	0	0.124112	632.363.444.47
mar/98	0	0.124278	948.543.154.24
abr/98	0	0.124444	1.264.722.864.02
mai/98	0	0.124610	1.580.902.573.79
jun/98	0	0.124776	1.897.082.283.57
jul/98	0	0.124942	2.213.261.993.35
ago/98	0	0.125108	2.529.441.703.12
set/98	0	0.125274	2.845.621.412.90
out/98	0	0.125440	3.161.801.122.67
nov/98	0	0.125606	3.477.980.832.45
dez/98	0	0.125772	3.794.160.542.22
jan/99	0	0.125817	3.794.908.095.33
fev/99	0	0.125861	3.795.655.648.44
mar/99	2.53	0.125905	3.796.403.201.55
pós avalanche	0	<u>0.125845</u>	<u>3.794.599.826.81</u>
abr/99	0	0.125889	3.795.347.024.81
mai/99	0	0.125934	3.796.094.222.82
jun/99	0.87	0.125978	3.796.841.420.82
pós avalanche	0	<u>0.125957</u>	<u>3.796.221.317.72</u>

(continuação)

Data	Parcelamentos (ha)	DENS _{MED}	CENT _{MED}
jul/99	0	0.126001	3.796.968.393.69
ago/99	0	0.126046	3.797.715.469.66
set/99	7.34	0.126090	3.798.462.545.63
pós avalanche	0	<u>0.125916</u>	<u>3.793.235.839.29</u>
out/99	0	0.125961	3.793.981.887.28
nov/99	0	0.126005	3.794.727.935.27
dez/99	0	0.126049	3.795.473.983.26
jan/00	0	0.126273	3.809.258.980.95
fev/00	0	0.126498	3.823.043.978.63
mar/00	0	0.126722	3.836.828.976.32
abr/00	0	0.126947	3.850.613.974.00
mai/00	0	0.127171	3.864.398.971.69
jun/00	5.27	0.127396	3.878.183.969.37
pós avalanche	0	<u>0.127270</u>	<u>3.874.356.300.46</u>
jul/00	0	0.127494	3.888.127.692.71
ago/00	0	0.127719	3.901.899.084.95
set/00	0	0.127943	3.915.670.477.19
out/00	0	0.128167	3.929.441.869.44
nov/00	0	0.128392	3.943.213.261.68
dez/00	0	0.128616	3.956.984.653.92
jan/01	0	0.131238	4.137.254.045.33
fev/01	0	0.133859	4.317.523.436.73
mar/01	0	0.136481	4.497.792.828.14
abr/01	0	0.139103	4.678.062.219.54
mai/01	0	0.141724	4.858.331.610.95
jun/01	0	0.144346	5.038.601.002.35
jul/01	0	0.146968	5.218.870.393.76
ago/01	0	0.149589	5.399.139.785.16
set/01	2.19	0.152211	5.579.409.176.56
pós avalanche	0	<u>0.152149</u>	<u>5.577.121.737.25</u>
out/01	0	0.154769	5.757.317.222.03
nov/01	0	0.157390	5.937.512.706.81
dez/01	0	0.160010	6.117.708.191.59
jan/02	0	0.160347	6.144.419.261.90
fev/02	0	0.160684	6.171.130.332.21
mar/02	0	0.161020	6.197.841.402.52
abr/02	0	0.161357	6.224.552.472.83
mai/02	0	0.161693	6.251.263.543.14
jun/02	0	0.162030	6.277.974.613.45
jul/02	4.13	0.162366	6.304.685.683.76
pós avalanche	0	<u>0.162241</u>	<u>6.299.814.942.07</u>
ago/02	0	0.162577	6.326.505.376.50
set/02	0	0.162914	6.353.195.810.93
out/02	0	0.163250	6.379.886.245.36

(continuação)

Data	Parcelamentos (ha)	DENS _{MED}	CENT _{MED}
nov/02	13.61	0.163586	6.406.576.679.80
pós avalanche	0	<u>0.163171</u>	<u>6.390.307.655.82</u>
dez/02	0	0.163506	6.416.930.311.88
jan/03	14.51	0.163978	6.453.109.876.44
pós avalanche	0	<u>0.163535</u>	<u>6.435.686.207.19</u>
fev/03	0	0.164006	6.471.768.085.40
mar/03	0	0.164476	6.507.849.963.61
abr/03	0	0.164947	6.543.931.841.81
mai/03	0	0.165417	6.580.013.720.02
jun/03	5.11	0.165888	6.616.095.598.23
pós avalanche	0	<u>0.165730</u>	<u>6.609.810.485.76</u>
jul/03	0	0.166200	6.645.858.087.15
ago/03	0	0.166670	6.681.905.688.55
set/03	0	0.167140	6.717.953.289.94
out/03	0.64	0.167610	6.754.000.891.34
pós avalanche	0	<u>0.167591</u>	<u>6.753.197.402.59</u>
nov/03	0	0.168061	6.789.240.715.58
dez/03	0	0.168531	6.825.284.028.58
jan/04	0	0.169064	6.870.949.344.80
fev/04	0	0.169598	6.916.614.661.03
mar/04	0	0.170132	6.962.279.977.25
abr/04	0	0.170666	7.007.945.293.48
mai/04	0	0.171200	7.053.610.609.70
jun/04	9.89	0.171733	7.099.275.925.92
pós avalanche	0	<u>0.171418</u>	<u>7.086.248.716.47</u>
jul/04	0	0.171951	7.131.830.236.59
ago/04	0	0.172484	7.177.411.756.71
set/04	0	0.173017	7.222.993.276.83
out/04	0	0.173550	7.268.574.796.96
nov/04	1.15	0.174083	7.314.156.317.08
pós avalanche	0	<u>0.174045</u>	<u>7.312.596.008.60</u>
dez/04	0	0.174578	7.358.167.804.94
jan/05	0	0.174824	7.379.141.597.33
fev/05	0	0.175069	7.400.115.389.71
mar/05	0	0.175315	7.421.089.182.10
abr/05	0	0.175560	7.442.062.974.48
mai/05	12.65	0.175806	7.463.036.766.87
pós avalanche	0	<u>0.175394</u>	<u>7.445.565.010.02</u>
jun/05	0	0.175639	7.466.489.700.55
jul/05	0	0.175884	7.487.414.391.07
ago/05	0	0.176129	7.508.339.081.59
set/05	0	0.176374	7.529.263.772.12
out/05	0	0.176619	7.550.188.462.64
nov/05	0	0.176864	7.571.113.153.16

(continuação)

Data	Parcelamentos (ha)	DENS _{MED}	CENT _{MED}
dez/05	0	0.177109	7.592.037.843.69
jan/06	2.52	0.177115	7.593.931.217.98
pós avalanche	0	<u>0.177033</u>	<u>7.590.391.283.89</u>
fev/06	0	0.177039	7.592.283.775.58
mar/06	0	0.177045	7.594.176.267.27
abr/06	1.02	0.177051	7.596.068.758.96
pós avalanche	0	<u>0.177017</u>	<u>7.594.635.795.55</u>
mai/06	0	0.177024	7.596.527.930.23
jun/06	0	0.177030	7.598.420.064.91
jul/06	0	0.177036	7.600.312.199.59
ago/06	0	0.177042	7.602.204.334.27
set/06	0.88	0.177048	7.604.096.468.95
pós avalanche	0	<u>0.177019</u>	<u>7.602.859.081.65</u>
out/06	0	0.177025	7.604.750.908.43
nov/06	0	0.177031	7.606.642.735.21
dez/06	0	0.177037	7.608.534.561.99
jan/07	0	0.177915	7.691.973.750.57
fev/07	0	0.178793	7.775.412.939.15
mar/07	0	0.179670	7.858.852.127.73
abr/07	0	0.180548	7.942.291.316.31
mai/07	0	0.181426	8.025.730.504.89
jun/07	31.97	0.182304	8.109.169.693.46
pós avalanche	0	<u>0.181232</u>	<u>8.061.511.838.04</u>
jul/07	22.7	0.183182	8.144.460.651.78
pós avalanche	0	<u>0.181348</u>	<u>8.110.615.602.83</u>
ago/07	19.27	0.182217	8.193.219.715.21
pós avalanche	0	<u>0.181577</u>	<u>8.164.418.293.79</u>
set/07	0	0.182443	8.246.732.029.99
out/07	0	0.183309	8.329.045.766.19
nov/07	0	0.184175	8.411.359.502.39
dez/07	0	0.185040	8.493.673.238.59
jan/08	4.1	0.185397	8.527.998.598.26
pós avalanche	0	<u>0.185258</u>	<u>8.521.625.011.79</u>
fev/08	0	0.185614	8.555.924.717.66
mar/08	0	0.185970	8.590.224.423.52
abr/08	0	0.186326	8.624.524.129.38
mai/08	0	0.186682	8.658.823.835.24
jun/08	0	0.187038	8.693.123.541.11
jul/08	0	0.187394	8.727.423.246.97
ago/08	0	0.187750	8.761.722.952.83
set/08	0	0.188106	8.796.022.658.69
out/08	0	0.188462	8.830.322.364.56
nov/08	0	0.188818	8.864.622.070.42
dez/08	39.71	0.189174	8.898.921.776.28

(continuação)

Data	Parcelamentos (ha)	DENS _{MED}	CENT _{MED}
pós avalanche	0	<u>0.187814</u>	<u>8.834.969.231.09</u>
jan/09	0	0.188709	8.918.958.620.26
fev/09	0	0.189603	9.002.948.009.44
mar/09	0	0.190497	9.086.937.398.61
abr/09	0	0.191392	9.170.926.787.79
mai/09	0	0.192286	9.254.916.176.96
jun/09	0	0.193180	9.338.905.566.14
jul/09	3.78	0.194075	9.422.894.955.32
pós avalanche	0	<u>0.193942</u>	<u>9.416.453.266.93</u>
ago/09	0	0.194836	9.500.385.239.20
set/09	0	0.195729	9.584.317.211.47
out/09	0	0.196623	9.668.249.183.74
nov/09	0	0.197517	9.752.181.156.01
dez/09	1.99	0.198410	9.836.113.128.28
pós avalanche	0	<u>0.198339</u>	<u>9.832.574.427.18</u>
jan/10	0	0.198897	9.874.942.290.48
fev/10	0	0.199455	9.917.310.153.78
mar/10	0	0.200012	9.959.678.017.07
abr/10	0	0.200570	10.002.045.880.37
mai/10	15.91	0.201128	10.044.413.743.67
pós avalanche	0	<u>0.200551</u>	<u>10.015.605.639.04</u>
jun/10	16.68	0.201107	10.057.851.988.25
pós avalanche	0	<u>0.200504</u>	<u>10.027.699.907.51</u>
jul/10	0	0.201059	10.069.819.607.87
ago/10	0	0.201613	10.111.939.308.23
set/10	0	0.202168	10.154.059.008.59
out/10	4	0.202722	10.196.178.708.95
pós avalanche	0	<u>0.202576</u>	<u>10.188.853.815.30</u>
nov/10	0	0.203130	10.230.943.257.04
dez/10	0	0.203684	10.273.032.698.78
jan/11	11.22	0.204001	10.320.534.324.61
pós avalanche	0	<u>0.203590</u>	<u>10.299.779.232.44</u>
fev/11	0	0.203906	10.347.185.330.21
mar/11	0	0.204222	10.394.591.427.97
abr/11	0	0.204537	10.441.997.525.74
mai/11	0	0.204853	10.489.403.623.51
jun/11	0	0.205168	10.536.809.721.28
jul/11	0	0.205484	10.584.215.819.04
ago/11	0	0.205800	10.631.621.916.81
set/11	0	0.206115	10.679.028.014.58
out/11	0	0.206431	10.726.434.112.35
nov/11	24.44	0.206746	10.773.840.210.11
pós avalanche	0	<u>0.205845</u>	<u>10.726.850.468.71</u>
dez/11	2.9	0.206159	10.774.049.806.38

(continuação)

Data	Parcelamentos (ha)	DENS _{MED}	CENT _{MED}
pós avalanche	0	<u>0.206052</u>	<u>10.768.476.876.21</u>
jan/12	0.15	0.206471	10.805.869.210.44
pós avalanche	0	<u>0.206465</u>	<u>10.805.580.111.85</u>
fev/12	0	0.206884	10.842.971.445.70
mar/12	0	0.207302	10.880.362.779.54
abr/12	0	0.207721	10.917.754.113.39
mai/12	20.28	0.208139	10.955.145.447.23
pós avalanche	0	<u>0.207389</u>	<u>10.915.662.183.71</u>
jun/12	0	0.207806	10.952.918.756.05
jul/12	0	0.208223	10.990.175.328.39
ago/12	0.37	0.208640	11.027.431.900.73
pós avalanche	0	<u>0.208627</u>	<u>11.026.706.839.81</u>
set/12	0	0.209044	11.063.960.962.50
out/12	33.11	0.209461	11.101.215.085.20
pós avalanche	0	<u>0.208236</u>	<u>11.036.279.871.54</u>
nov/12	11.5	0.208650	11.073.316.080.75
pós avalanche	0	<u>0.208227</u>	<u>11.050.864.616.27</u>
dez/12	1.32	0.208641	11.087.825.733.51
pós avalanche	0	<u>0.208592</u>	<u>11.085.245.919.48</u>
jan/13	0.15	0.209150	11.145.348.109.41
pós avalanche	0	<u>0.209144</u>	<u>11.145.053.435.63</u>
fev/13	0	0.209702	11.205.154.036.50
mar/13	0	0.210259	11.265.254.637.37
abr/13	12.95	0.210817	11.325.355.238.25
pós avalanche	0	<u>0.210336</u>	<u>11.299.563.060.43</u>
mai/13	0	0.210893	11.359.526.789.18
jun/13	0	0.211449	11.419.490.517.93
jul/13	54.42	0.212005	11.479.454.246.69
pós avalanche	0	<u>0.209995</u>	<u>11.370.634.018.72</u>
ago/13	30.2	0.210546	11.430.029.317.43
pós avalanche	0	<u>0.209444</u>	<u>11.370.214.956.00</u>
set/13	0	0.209992	11.429.299.433.83
out/13	0	0.210540	11.488.383.911.65
nov/13	0	0.211089	11.547.468.389.48
dez/13	0	0.211637	11.606.552.867.30
jan/14	40.52	0.212127	11.665.191.082.53
pós avalanche	0	<u>0.210648</u>	<u>11.583.856.770.21</u>
fev/14	2.97	0.211135	11.642.086.136.68
pós avalanche	0	<u>0.211027</u>	<u>11.636.139.411.48</u>
mar/14	0	0.211514	11.694.339.034.64
abr/14	0	0.212001	11.752.538.657.81
mai/14	0	0.212488	11.810.738.280.98
jun/14	15.67	0.212975	11.868.937.904.15
pós avalanche	0	<u>0.212402</u>	<u>11.837.037.027.67</u>

(conclusão)

Data	Parcelamentos (ha)	DENS _{MED}	CENT _{MED}
jul/14	0	0.212888	11.895.080.224.13
ago/14	0	0.213373	11.953.123.420.58
set/14	0	0.213859	12.011.166.617.03
out/14	0	0.214344	12.069.209.813.48
nov/14	0	0.214830	12.127.253.009.93
dez/14	0	0.215315	12.185.296.206.38
jan/15	0	0.215808	12.235.905.601.65
fev/15	0	0.216301	12.286.514.996.92
mar/15	0	0.216795	12.337.124.392.18
abr/15	0	0.217288	12.387.733.787.45
mai/15	0	0.217781	12.438.343.182.72
jun/15	0	0.218274	12.488.952.577.99
jul/15	0	0.218767	12.539.561.973.26
ago/15	0	0.219260	12.590.171.368.52
set/15	0	0.219753	12.640.780.763.79
out/15	0	0.220246	12.691.390.159.06
nov/15	0	0.220739	12.741.999.554.33
dez/15	0	0.221232	12.792.608.949.60
jan/16	0	0.221707	12.848.188.635.80
fev/16	0	0.222182	12.903.768.322.00
mar/16	43.89	0.222657	12.959.348.008.20
pós avalanche	0	<u>0.220993</u>	<u>12.862.517.254.46</u>
abr/16	0	0.221464	12.917.681.655.66
mai/16	0	0.221936	12.972.846.056.86
jun/16	2.33	0.222407	13.028.010.458.05
pós avalanche	0	<u>0.222319</u>	<u>13.022.844.791.55</u>
jul/16	0	0.222790	13.077.987.319.80
ago/16	0	0.223261	13.133.129.848.06
set/16	0	0.223732	13.188.272.376.32
out/16	0	0.224204	13.243.414.904.57
nov/16	0	0.224675	13.298.557.432.83
dez/16	1.46	0.225146	13.353.699.961.09
pós avalanche	0	<u>0.225090</u>	<u>13.350.383.011.07</u>

Fonte: dados da pesquisa, elaboração do autor (2018).